

**STUDI PERBANDINGAN KINERJA M-PSK DAN
M-QAM PADA SISTEM OFDM DENGAN
MENGUNAKAN KANAL AWGN**

TESIS

Dibuat Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Mendapatkan Gelar Magister Teknik Pada
Magister Teknik Elektro
Fakultas Teknologi Industri
Universitas Trisakti

Oleh
UJANG WIHARJA
162.090.004



**MAGISTER TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS TRISAKTI
2012**

**COMPARATIVE STUDY ON PERFORMANCE OF M-
PSK AND M-QAM IN OFDM SYSTEM OVER
AWGN CHANNEL**

THESIS

In Partial Fulfillment of The Requirement
For The Degree of Master of Engineering
Electrical Engineering Department
Faculty of Industrial Technology
Trisakti University

By
UJANG WIHARJA
162.090.004



**MAGISTER OF ELECTRICAL ENGINEERING
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
TRISAKTI UNIVERSITY
2012**

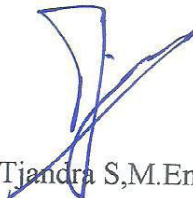
**STUDI PERBANDINGAN KINERJA M-PSK DAN
M-QAM PADA SISTEM OFDM DENGAN
MENGUNAKAN KANAL AWGN**

TESIS

Oleh
UJANG WIHARJA
162.090.004

Disetujui Untuk Magister Teknik Elektro
Fakultas Teknologi Industri Universitas Trisakti

Pembimbing Utama



(Ir. Tjandra S, M. Eng. Sc, Phd)

Mengetahui
Ketua Program Studi Magister Teknik Elektro



(Ir. Tjandra S, M. Eng. Sc, Phd)

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Ujang Wiharja

NIRM : 162.090.004

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Tesis dengan Judul :

“STUDI PERBANDINGAN KINERJA M-PSK DAN M-QAM PADA SISTEM OFDM DENGAN MENGGUNAKAN KANAL AWGN”

Yang saya buat ini adalah hasil karya sendiri, dan bukan merupakan duplikasi, serta tidak mengutip sebagian atau seluruhnya karya orang lain, kecuali yang telah di sebutkan sumbernya dan sesuai dengan batasan serta tata cara pengutipan. Apabila didapati pelanggaran atas pernyataan saya ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Jakarta, 15 Februari 2012



Ujang Wiharja

ABSTRAK

Di era sekarang ini dimana pemakaian bandwidth mulai di batasi, sehingga harus ada suatu cara untuk mengatasinya. Adanya sifat yang menarik dari system M-ary, yaitu menghemat bandwidth dan daya yang di gunakan, menjadikan alasan penulisan ini.

Dalam tesis ini, menganalisa perbandingan SER vs SNR dengan alat bantu hitung menggunakan matlab. Perbandingan system M-ary yang di bahas hanya membandingkan dengan nilai M yang sama, 4 PSK vs 4QAM, 8-PSK vs 8-QAM, 16-PSK vs 16-QAM, dan 64-PSK vs 64-QAM.

Di antara keluarga dari M-ary PSK, QPSK (M=4) menawarkan trade-off yang terbaik antara power dan kebutuhan bandwidth, dengan efisiensi bandwidth = 1 dan $E_s/N_0 = 10,3$ dB. Dalam kanal AWGN, M-ary QAM mempunyai kinerja lebih baik dari M-ary PSK untuk $M > 4$. Semakin tinggi level M-ary, penghematan daya 64-PSK atas 64-QAM mempunyai nilai paling besar yaitu 9,55 dB, efisiensi bandwidth sebesar 3 bit/sec/Hz

ABSTRACT

In today's world which started in the limit bandwidth usage, so there should be a way to cope. The existence of attractive properties of M-ary system, which saves bandwidth and power, making the reason of this writing.

In this thesis, analyzing the ratio of SER vs SNR with the tools calculated using the matlab. Comparison of M-ary system are discussed only compared with the same M value, 4QAM vs 4 PSK, 8-PSK vs 8-QAM, 16-PSK vs. 16-QAM, and 64-PSK vs. 64-QAM.

Among the family of M-ary PSK, QPSK ($M = 4$) offers the best trade-off between power and bandwidth requirements, the efficiency of bandwidth = 1 and $E_s / N_0 = 10.3$ dB. In AWGN channel, M-ary QAM has better performance than M-ary PSK for $M > 4$. Higher levels of M-ary, power reduction of 64-PSK to 64-QAM has the largest value is 9.55 dB, bandwidth efficiency of 3 bit / sec / Hz.

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa yang telah melimpahkan kesehatan, rahmat dan hidayahnya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan Tesis ini dengan judul : “*Analisa Perbandingan Kinerja M-PSK dan M-QAM Pada Sistem OFDM Dengan Menggunakan Kanal AWGN*”.

Dalam penyusunan Tesis ini penulis menyadari masih banyak kekurangan, hal ini disebabkan oleh keterbatasan pengetahuan dan kemampuan yang penulis miliki. Penulis berharap dari keterbatasan Tesis ini dapat bermanfaat bagi pembaca untuk dapat dikembangkan lebih lanjut.

Pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu hingga terselesaikannya Tesis ini. Khusus ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada Bpk Ir.Tjandra S.,M.Eng.Sc,Phd, selaku Dosen Pembimbing.

Semoga Tuhan Yang Maha Esa selalu memberikan rahmat dan anugrahnya kepada kita semua.

Jakarta, 15 Februari 2012

Penulis

DAFTAR ISI

	<u>Halaman</u>
HALAMAN PENGESAHAN	i
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN TESIS	ii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang Masalah	1
1.2. Perumusan Masalah	2
1.3. Batasan Masalah	2
1.4. Tujuan dan Manfaat Penelitian	3
1.5. Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Prinsip Kerja OFDM	5

2.2. Modulator	6
2.3. Inverse Fast Fourier Transform dan Fast Fourier Transform	7
2.4. Ortogonalitas	8
2.5. Cyclic Prefix	9
2.6. Kanal Additive White Gaussian Noise (AWGN)	12
2.7. Kanal Rayleigh	13
2.8. Equalizer	15
2.9. MODULASI DIGITAL	16
2.9.1 Modulasi PSK	17
2.9.2 BPSK	18
2.9.3 QPSK	20
2.9.4 8-PSK	21
2.9.5 M-ary PSK	22
2.10 QAM (Quadrature Amplitude Modulation)	24
BAB III LANGKAH PENGGUNAAN MATLAB	28
3.1. Langkah Awal	28

	3.2. Perbandingan 4-PSK dan 4-QAM	28
	3.3. Perbandingan 8-PSK dan 8-QAM	30
	3.4. Perbandingan 16-PSK dan 16-QAM	31
	3.5. Perbandingan 64-PSK dan 64-QAM	33
BAB IV	PEMBAHASAN	36
	4.1. Pendahuluan	36
	4.2. Bandwidth M-ary	40
	4.3. Mencari Nilai SNR dengan Matlab	42
	4.3.1. Perbandingan M-ary, $M = 4$	43
	4.3.2. Perbandingan M-ary, $M = 8$	44
	4.3.3. Perbandingan M-ary, $M = 16$	44
	4.3.4. Perbandingan M-ary, $M = 64$	45
	4.4. Analisa	46
BAB V	KESIMPULAN	48
	DAFTAR ACUAN	49

DAFTAR TABEL

<u>Tabel</u>	<u>Halaman</u>
2.1. BPSK	19
2.2. QPSK	20
2.3. 8-PSK	21
2.4. Perbandingan M-ary PSK dengan BPSK	23
4.1. Efisiensi bandwidth dan nilai E_s/N_0 pada $SER = 10^{-3}$	47

DAFTAR GAMBAR

<u>Gambar</u>	<u>Halaman</u>
2.1. Blok Diagram OFDM	5
2.2. OFDM Modulator dengan IFFT	7
2.3. Ortogonalitas OFDM	9
2.4. Penyisipan Periode Guard (cyclic prefix)	10
2.5. Respon impuls pada kanal multipath	14
2.6. Respon kanal dan respon equalizer	16
2.7.a. Konstelasi BPSK	19
2.7.b. Konstelasi efisien BPSK	19
2.8. Konstelasi QPSK	20
2.9. Karakteristik 8-PSK	21
2.10. Konstelasi M-ary QAM	27
4.1. Distribusi Gaussian	37
4.2. OFDM dengan Kanal AWGN	42

4.3. Perbandingan 4-PSK dan 4-QAM	43
4.4. Perbandingan 8-PSK dan 8-QAM	44
4.5. Perbandingan 16-PSK dan 16-QAM	45
4.6. Perbandingan 64-PSK dan 64-QAM	46

BAB I PENDAHULUAN

1.1. LATAR BELAKANG MASALAH

OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) merupakan teknik pentransmisian data berkecepatan tinggi dengan menggunakan beberapa sinyal *carrier* secara parallel dalam pemodulasiannya. Sehingga data yang ditransmisikan akan mempunyai kecepatan yang lebih rendah. Teknik seperti ini dapat menghemat *bandwidth* kanal sistem komunikasi. Pada teknik transmisi OFDM setiap *sub-carrier* tidak ditempatkan berdasarkan bandwidth yang ada, tetapi *sub-carrier* tersebut disusun untuk saling *overlapping*. Jarak atau *space* antara *subcarrier* diatur sedemikian rupa, sehingga antar *sub-carrier* mempunyai sifat yang *orthogonal*. Keorthogonalitasan diantara *sub-carrier* inilah yang menyebabkan munculnya istilah *Orthogonal Frquency Division Multiplexing*. Dengan menggunakan teknik overlapping ini dapat menghemat *bandwidth* kanal sampai dengan 50%.

Dalam penggunaan skema modulasi OFDM ini, umumnya menggunakan modulasi PSK atau QAM. Karena hal itu penulis ingin mengetahui kinerja PSK dan QAM, khususnya M-ary dilihat probabilitas simbol error (SER) dengan signal to noise ratio (SNR).

Saluran Aditif White Gaussian Noise (AWGN) adalah model saluran komunikasi dengan menggunakan tambahan linear pita lebar dalam hal ini white noise dengan kerapatan spektral konstan (dinyatakan sebagai watt

per hertz) dan terdistribusi Gaussian. AWGN umumnya digunakan untuk mempelajari latar belakang noise yang diteliti, di samping multipath, dan interferensi.

1.2. PERUMUSAN MASALAH

Untuk memperoleh kesimpulan akhir maka susunan permasalahan sebagai berikut ini.

1. Menentukan rumus probabilitas symbol error (SER) sesuai dengan M-ary masing – masing, 4PSK, 8PSK, 16PSK, 64-PSK, 4QAM, 8QAM, 16QAM, 64QAM.
2. Instalkan terlebih dahulu software matlab, dan tuangkan rumus SER dalam bentuk bahasa matlab.
3. Buat perbandingan antara system M-ary, 4PSK vs 4QAM, 8PSK vs 8QAM, 16PSK vs 16QAM dan 64PSK vs 64QAM.
4. Tentukan SER pada nilai 10^{-3} , dan nilai E_s/N_0 didapat.
5. Untuk efisiensi bandwidth di dapat dengan memasukan nilai M

1.3. BATASAN MASALAH

1. Kanal yang digunakan adalah kanal AWGN, tidak membahas non linieritas atau dispersi.
2. Modulasi digital yang di gunakan M-ary PSK dan QAM meliputi : 4-PSK, 8-PSK, 16-PSK, 64-PSK, 4-QAM, 8-QAM, 16-QAM, 64 QAM

1.4. TUJUAN

Tujuan akhir dari penulisan ini adalah untuk mengetahui kinerja system OFDM dengan kanal AWGN. Ukuran kinerja yang digunakan adalah probabilitas symbol error rate (SER) dan signal to noise ratio (SNR) pada system modulasi M-ary PSK dan M-ary QAM. Dengan menggunakan rumus probabilitas symbol error dan simulasi SER vs E_s/N_0 akan menghasilkan sebuah kurva yang hasilnya dapat dibandingkan.

Dalam aplikasinya beberapa M-ary yang digunakan misalnya :

1. IEEE 802.11 (Wi-Fi): Sebuah Wireless sangat penting Local Area Networking teknologi. Karena Wi-Fi memiliki banyak variasi, menggunakan teknik modulasi berbeda seperti: BPSK, QPSK, 16-QAM.
2. IEEE 802.16 (Wi-MAX): Wi-MAX beralih secara dinamis antara skema modulasi berbeda seperti: BPSK, QPSK, 16-QAM, dan 64-QAM.
3. DVB (Digital Video Broadcasting), ada banyak standar variasi: DVB-S (untuk siaran satelit) menggunakan QPSK, 8-PSK, DVB-C (untuk kabel) menggunakan 16-QAM, 32-QAM, 64-QAM, dan DVB-T (untuk siaran televisi terrestrial) menggunakan 16-QAM atau 64-QAM.

1.5. SISTEMATIKA PENULISAN

BAB 1. PENDAHULUAN

Berisikan latar belakang, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan dan sistematika penulisan.

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

Untuk mendukung pembahasan ini berisikan teori singkat OFDM dan modulasi M-ary. Teori OFDM yang meliputi prinsip kerja OFDM, Modulator, IFFT dan FFT, cyclic prefix, kanal AWGN. Untuk teori dasar modulasi digital, khususnya mempelajari skema modulasi M-ary PSK dan M-ary QAM yang meliputi QPSK, 8-PSK, 16-PSK dan 4-QAM, 8-QAM, 16-QAM.

BAB III. PEMBAHASAN

Dengan menggunakan hasil alat bantu hitung matlab, dan bila ditentukan $SER = 10^{-3}$, maka nilai E_s/N_0 akan didapat dengan mudah melalui pembacaan kurva. Selanjutnya nilai E_s/N_0 ini yang akan di analisa. Adapun untuk efisiensi bandwidth untuk system M-ary ini hanya dengan menggunakan rumus akan di dapat.

BAB IV. LANGKAH PENGGUNAAN MATLAB

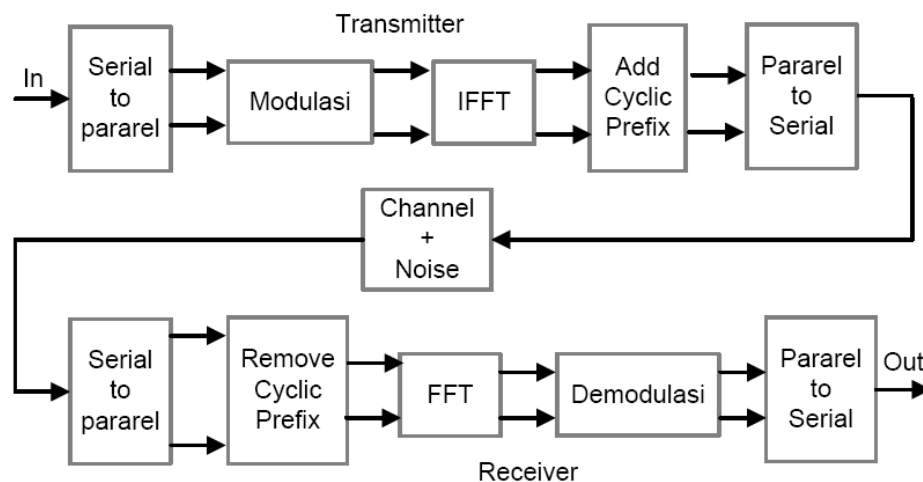
Disini dijelaskan langkah – langkah penggunaan alat bantu hitung matlab sebelum hasilnya di analisa.

BAB V. KESIMPULAN

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. PRINSIP KERJA 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 2.1



Gambar 2.1. Blok diagram OFDM

Prinsip kerja dari *OFDM* dapat dijelaskan sebagai berikut. Deretan data informasi yang akan dikirim dikonversikan kedalam bentuk parallel, sehingga jika bit rate semula adalah R , maka bit rate pada tiap-tiap jalur parallel adalah R/N dimana N adalah jumlah jalur parallel (sama dengan

jumlah *sub-carrier*). Setelah itu modulasi dilakukan pada tiap-tiap *sub-carrier*. Modulasi ini bisa berupa BPSK, QPSK, QAM atau yang lain, tapi ketiga teknik tersebut sering digunakan pada OFDM. Kemudian sinyal yang telah termodulasi tersebut diaplikasikan ke dalam IFFT untuk pembuatan simbol OFDM. Penggunaan IFFT ini memungkinkan pengalokasian frekuensi yang saling tegak lurus (*orthogonal*).

Setelah itu simbol OFDM ditambahkan *cyclic prefix* kemudian simbol-simbol OFDM dikonversikan lagi kedalam bentuk serial, dan kemudian sinyal dikirim. Sinyal keluaran dari *transmitter* berupa sinyal yang saling *overlapping*, hal seperti ini dapat menghemat bandwidth kanal sampai 50%. Kondisi overlapping ini tidak akan menimbulkan *interferensi* di karenakan telah memenuhi kondisi orthogonal.

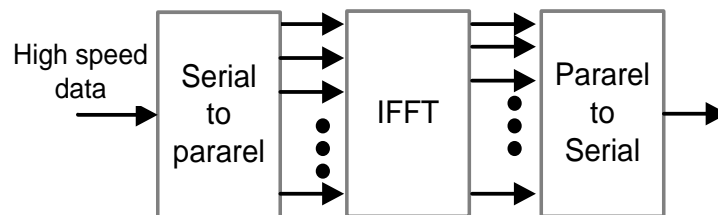
Pada *receiver*, dilakukan operasi yang berkebalikan dengan apa yang dilakukan di stasiun pengirim. Mulai dari konversi dari serial ke parallel, pelepasan cyclic prefix kemudian konversi sinyal parallel dengan FFT setelah itu demodulasi, dan terakhir konversi parallel ke serial, dan akhirnya kembali menjadi bentuk data informasi.

2..2. MODULATOR

Pada modulator OFDM konvensional, dapat dijelaskan data biner yang telah dipetakan dalam simbol QAM, selain QAM dapat menggunakan PSK dalam pemetaannya. Simbol tersebut dipecah dalam bentuk serial parallel

dan dimodulasi oleh sinyal *sub-carrier* dengan frekuensi tertentu sehingga dihasilkan sinyal saling orthogonal. Kemudian semua sinyal tersebut ditambahkan sehingga dihasilkan symbol OFDM.

OFDM konvensional membutuhkan lebih banyak modulator jika menggunakan lebih banyak *sub-carrier*. Untuk mengatasi hal seperti itu dapat menggunakan prinsip dasar dari Inverse *Fast Fourier Transform* (IFFT), adapun prinsip kerjanya seperti pada Gambar 2.2. Untuk demodulatornya dapat menggunakan *Fast Fourier Transform* (FFT).



2.2. OFDM Modulator dengan IFFT

2.3. INVERSE FAST FOURIER TRANSFORM DAN FAST FOURIER TRANSFORM

Proses IFFT dan FFT merupakan kunci utama dalam OFDM. IFFT berfungsi sebagai pembuatan simbol (modulator) OFDM dan FFT sebagai pengurai dari simbol OFDM (demodulator). Untuk persamaan FFT dan IFFT dapat dituliskan sebagai berikut.

FFT:

$$x(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) \sin\left(\frac{2\pi kn}{N}\right) + j \sum_{n=0}^{N-1} x(n) \cos\left(\frac{2\pi kn}{N}\right) \dots\dots\dots 2.1$$

IFFT:

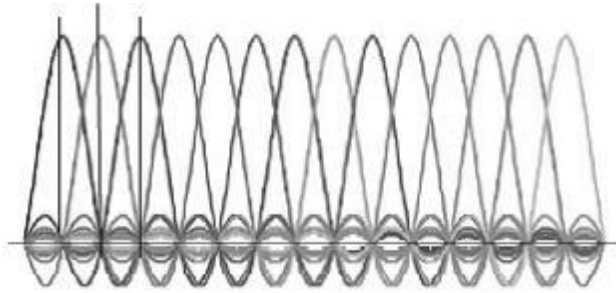
$$X(n) = \sum_{k=0}^{N-1} x(k) \sin\left(\frac{2\pi kn}{N}\right) - j \sum_{k=0}^{N-1} x(k) \cos\left(\frac{2\pi kn}{N}\right) \dots\dots\dots 2.2$$

Tetapi pada OFDM sinyal inputan dari IFFT adalah domain waktu, hal seperti ini tidak masalah karena IFFT adalah sebuah konsep matematis yang tidak peduli apa yang dihasilkan dan seperti apa inputannya. Asalkan selama yang menjadi inputan berupa amplitudo-amplitudo dari beberapa sinusoida, IFFT akan menghasilkan suatu nilai dalam bentuk domain waktu

2.4. ORTOGONALITAS

Pada teknik *OFDM* masing-masing sub-carrier tidak disebar berdasarkan bandwidth yang ada, tetapi sub-carrier tersebut disusun saling overlap. Jarak atau space antara sub-carrier disusun sedemikian rupa, sehingga antar sub-carrier akan saling orthogonal. Dalam tiap sub-carrier dibedakan dengan sebuah simbol dan masing – masing simbol saling

orthogonal atau tidak saling mempengaruhi, sebuah simbol dikatakan orthogonal dengan yang lain jika factor korelasinya adalah 0.



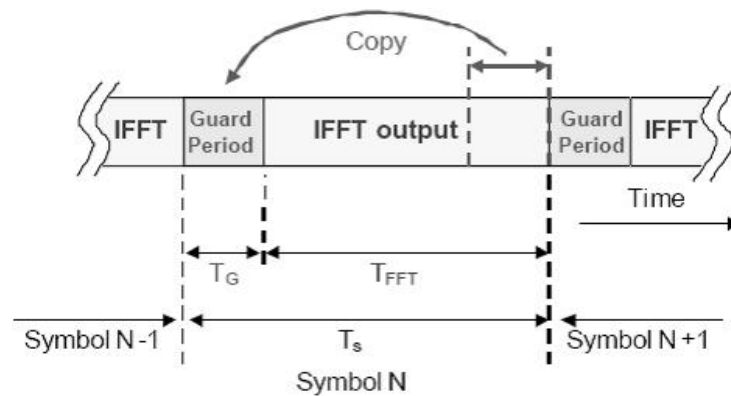
Gambar 2.3. Ortogonalitas OFDM

Telah diketahui bahwa suatu sinyal orthogonal meskipun saling overlapping mereka tidak saling menginterferensi. Dari gambar 2.3 di atas jika ditarik suatu garis lurus maka nilai puncak dari suatu sub-carrier akan terhubung dengan nilai minimum dari sub-carrier yang ada di sebelahnya. Atau dapat dijelaskan bahwa energy pada tiap-tiap sub-carrier tidak berkorelasi dengan energy pada sub-carrier yang ada di dekatnya. Dikarenakan oleh hal seperti itu, meskipun sub-carrier saling overlapping tidak akan terjadi interferensi.

2.5. CYCLIC PREFIX

Masalah utama dalam sistem komunikasi wireless adalah adanya suatu kanal multipath. Dalam kanal multipath, suatu sinyal dapat mengalami tundaan sehingga dapat menyebabkan Intersymbol Interference (ISI). Untuk mengatasi hal itu, dapat menggunakan suatu guard interval yang telah

diketahui dengan nama cyclic prefix. Cyclic prefix adalah salinan dari bagian akhir simbol OFDM yang ditambahkan pada awal simbol OFDM. Syarat agar tidak terjadi ISI yaitu durasi dari cyclic prefix harus lebih panjang dari durasi dari delay multipath. Alasan guard interval terdiri dari salinan dari akhir symbol OFDM adalah agar receiver nantinya mengintegrasikan masing-masing multipath melalui angka integer dari siklus sinusoid ketika proses demodulasi OFDM dengan FFT.



Gambar 2.4. Penyisipan periode guard (cyclic prefix)

Dari gambar 2.4 diatas dapat dibuat suatu persamaan tentang panjang keseluruhan simbol T_S dari OFDM yaitu

$$T_S = T_G + T_{FFT} \dots\dots\dots 2.3$$

Dimana: T_S = Panjang total simbol dalam sampel OFDM

T_G = Panjang periode guard

T_{FFT} = Ukuran dari IFFT yang digunakan untuk menghasilkan sinyal OFDM

Untuk decoder sinyal OFDM penerima harus mengambil FFT dari setiap simbol yang diterima, untuk bekerja di luar fase dan amplitudo dari subcarrier. Untuk sistem OFDM yang memiliki tingkat sampel yang sama untuk kedua pemancar dan penerima, harus menggunakan ukuran yang sama FFT baik pada penerima dan sinyal ditransmisikan dalam rangka mempertahankan ortogonal subcarrier. Setiap simbol diterima mempunyai sampel $T_G + T_{FFT}$ karena periode guard ditambahkan. Penerima hanya memerlukan sampel T_{FFT} dari simbol yang diterima untuk memecahkan kode sinyal. Sampel T_G sisanya tidak diperlukan. Untuk saluran yang ideal tanpa delay spread penerima dapat memilih setiap saat offset, sampai panjang periode guard, dan masih mendapatkan jumlah sampel yang benar, tanpa melintasi batas simbol. Karena sifat siklik periode guard mengubah waktu offset hanya menghasilkan rotasi fase dari semua subcarrier pada sinyal. Jumlah rotasi fase ini sebanding dengan frekuensi subcarrier, dengan subcarrier pada frekuensi Nyquist berubah oleh 180° untuk setiap kali sampel offset. Diperoleh waktu offset tetap konstan dari simbol ke simbol, putaran fase karena offset waktu bisa dilepas keluar sebagai bagian dari pemerataan saluran. Dalam lingkungan multipath ISI mengurangi panjang efektif dari periode guard yang mengarah ke pengurangan yang sesuai dalam waktu yang diijinkan offset error.

Dalam sebuah sinyal OFDM amplitudo dan fase subcarrier harus tetap konstan selama periode simbol dalam rangka untuk subcarrier untuk

mempertahankan ortogonal. Pada batas simbol amplitudo dan perubahan fasa tiba-tiba ke nilai baru yang diperlukan untuk simbol data berikutnya.

Dalam lingkungan multipath ISI menyebabkan penyebaran energi antara simbol, mengakibatkan perubahan transient dalam amplitudo dan fase subcarrier pada awal simbol. Panjang efek ini sementara sesuai dengan menunda penyebaran saluran radio. Sinyal transien merupakan hasil dari setiap komponen multipath tiba pada waktu yang sedikit berbeda, mengubah vektor subcarrier diterima. Menambahkan periode guard memungkinkan waktu untuk bagian transien sinyal memburuk, sehingga FFT diambil dari bagian steady state simbol. Hal ini menghilangkan efek ISI dengan ketentuan bahwa jangka waktu guard lebih panjang dari keterlambatan penyebaran saluran radio. Efek yang tersisa disebabkan oleh multipath, seperti skala amplitudo dan fase rotasi dikoreksi oleh ekualisasi saluran.

2.6. KANAL ADDITIVE WHITE GAUSSIAN NOISE (AWGN)

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. Pada model ini, sinyal yang ditransmisikan $x(t)$ terkena sebuah noise acak yaitu $n(t)$. Ketika sinyal

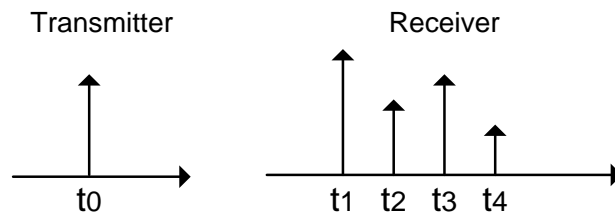
mendapat redaman selama proses pentransmisian melalui sebuah kanal, maka sinyal yang diterima pada interval $0 \leq t \leq T$, dapat dinyatakan dengan persamaan :

$$y(t) = x(t) + n(t) \dots \dots \dots 2.4$$

Secara fisik proses *additive noise* berasal dari komponen elektronik dan beberapa *amplifier* (penguat) dari *receiver* pada suatu sistem komunikasi. Jika noise tersebut disebabkan oleh komponen elektronik dan *amplifier* dari *receiver*, maka dikarakteristikan sebagai *thermal noise* (noise yang disebabkan oleh suhu dari rangkaian itu sendiri). Noise AWGN merupakan noise yang terbangkit dengan distribusi Gaussian yaitu dengan nilai mean = 0.

2.7. KANAL RAYLEIGH

Dalam sistem komunikasi bergerak, perambatan sinyal antara pemancar dan penerima melalui berbagai lintasan yang berbeda. Lintasan yang berbeda-beda tersebut mengakibatkan kuat sinyal penerimaan menjadi bervariasi. Sinyal yang diterima oleh receiver yang melewati suatu kanal multipath merupakan jumlah superposisi dari keseluruhan sinyal yang dipantulkan akibat banyak lintasan (multipath). Pada kanal multipath mempunyai respon impuls yang bervariasi, seperti di tunjukan pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5. Respon impuls pada kanal multipath

Karena rendahnya antena *receiver* dan adanya struktur bangunan yang mengelilingi *receiver*, menyebabkan fluktuasi yang cepat pada penjumlahan sinyal-sinyal multipath menurut distribusi statistik yang disebut distribusi *Rayleigh* yang dikenal dengan *Rayleigh* Fading. *Rayleigh* fading terjadi jika tidak ada jalur Line Of Sight (LOS) yang dominan antara transmitter dengan receiver. *Rayleigh* fading dapat ditentukan dengan persamaan dibawah ini

$$h = h_{re} + jh_{im} \dots\dots\dots 2.5$$

Dimana bagian h_{re} dan jh_{im} mempunyai nilai distribusi Gaussian dengan nilai mean = 0. Hasil sinyal pada receiver setelah melewati kanal tersebut dapat dipresentasikan seperti persamaan di bawah ini

$$y = hx + n \dots\dots\dots 2.6$$

Dimana,

y = Sinyal yang diterima

h = *Rayleigh multipath* fading

x = Sinyal terkirim

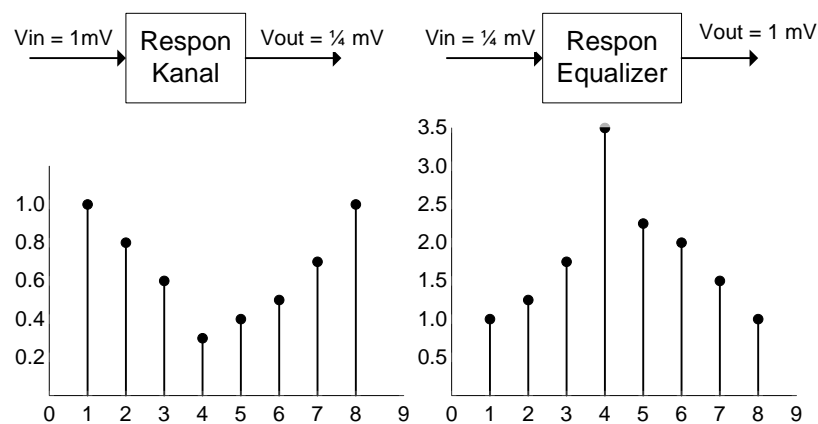
n = Noise AWGN

Dalam sistem komunikasi digital sinyal yang diterima oleh receiver merupakan hasil konvolusi dengan respon impuls kanal dalam domain

waktu . Dengan kata lain konvolusi dalam domain waktu merupakan perkalian dalam domain frekuensi.

2.8. EQUALIZER

Untuk mendeteksi sinyal yang telah melewati suatu kanal multipath yaitu dengan cara menggunakan equalizer dalam domain frekuensi, equalizer dalam domain frekuensi terdiri dari perkalian kompleks untuk masing-masing subcarrier. Nilai ideal dari respon equalizer merupakan nilai inverse dari respon frekuensi dari suatu respon kanal atau dapat dikatakan membagi dengan respon kanal tersebut dalam domain frekuensi.



Gambar 2.6. Respon kanal dan respon equalizer

Dari Gambar 2.6 diatas dapat dijelaskan yaitu jika nilai respon kanal besar maka nilai respon equalizer kecil dan jika nilai respon kanal kecil nilai respon equalizer akan besar.

Misal suatu sinyal melewati suatu kanal yang belum diketahui responnya, ketika diinputkan suatu sinyal dengan tegangan 1 mV ternyata

keluaran dari kanal tersebut bernilai $\frac{1}{4}$ mV. Jadi nilai $\frac{1}{4}$ ini merupakan nilai dari respon kanal tersebut. Telah diketahui bahwa konvolusi dalam domain waktu merupakan perkalian dalam domain frekuensi, jadi nilai keluaran dari kanal merupakan perkalian dari sinyal input dengan respon kanal atau $1\text{mV} * \frac{1}{4} = \frac{1}{4}$ mV. Untuk memulihkan sinyal tersebut telah dijelaskan bahwa harus menggunakan *equalizer* yang merupakan *inverse* dari respon kanal. Telah diketahui bahwa respon kanal adalah $\frac{1}{4}$ berarti respon *equalizer* inverse dari $\frac{1}{4}$ yaitu 4. Jika sinyal keluaran dari kanal dimasukan sebagai inputan dari *equalizer* akan menghasilkan keluaran yaitu $\frac{1}{4}$ mV * 4 = 1mV

2.9. MODULASI DIGITAL

Modulasi adalah proses memfasilitasi transfer informasi melalui media. Suara tidak dapat dikirim sangat jauh dengan berteriak. Untuk memperluas jangkauan suara, kita perlu mengirimkan melalui udara selain media, misalnya saluran telepon atau radio. Proses konversi informasi (suara dalam hal ini) sehingga dapat berhasil dikirim melalui media gelombang radio disebut modulasi.

Teknik modulasi digital dapat diklasifikasikan ke dalam teknik coherent dan noncoherent, tergantung pada apakah penerima dilengkapi dengan sirkuit fase-recovery atau tidak. Sirkuit fase recovery memastikan bahwa osilator memasok gelombang pembawa lokal yang dihasilkan di penerima adalah disinkronkan (

frekuensi dan fase) untuk osilator memasok gelombang pembawa digunakan modulasi aliran data asli yang masuk di transmitter.

Skema sinyal M-ary lebih disukai daripada skema sinyal biner untuk transmisi informasi digital melalui saluran band-pass ketika kebutuhannya adalah untuk menghemat bandwidth dengan mengorbankan daya yang meningkat. Dalam prakteknya, jarang menemukan saluran komunikasi yang memiliki bandwidth yang tepat diperlukan untuk transmisi output dari sumber informasi dengan rata-rata dari skema sinyal biner. Jadi ketika bandwidth saluran kurang dari nilai yang diminta, maka dapat menggunakan skema sinyal M-ary untuk efisiensi maksimum. Jika untuk mengirimkan informasi melalui PSK biner, maka membutuhkan bandwidth yang berbanding terbalik dengan T_b . Namun, jika kita mengambil blok n bit dan menggunakan skema M-ary PSK dengan $M = 2^n$ dan simbol durasi $T = nT_b$, bandwidth yang diperlukan adalah propotional untuk $1/nT_b$. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan M-ary PSK memungkinkan pengurangan bandwidth transmisi dengan faktor $n = \log_2 M$ atas PSK biner

2.9.1 MODULASI PSK (Phase Shift Keying)

PSK merupakan skema modulasi yang menyampaikan data dengan mengubah sejumlah phase digunakan untuk mewakili data digital. Masing-masing phase diberikan suatu pola yang unik dari bit-bit biner. Setiap pola bit bentuk simbol yang diwakili oleh phase tertentu.

Fase dari carrier yang bervariasi untuk mewakili 1 binary atau 0. Kedua puncak amplitudo dan frekuensi tetap konstan sebagai perubahan fase. Sebuah cara mudah untuk mewakili skema PSK yang pada diagram konstelasi. Pada skema modulasi PSK, titik-titik konstelasi (constellation points) ditempatkan dengan jarak antar simbol yang seragam sepanjang lingkaran konstelasi. Hal ini menunjukkan titik-titik dalam bidang Argand dimana, dalam konteks ini, sumbu nyata disebut phase-in dan imajiner yang disebut sumbu quadrature.

2.9.2 BPSK (Binary Phase Shift Keying)

Sinyal BPSK diberikan oleh :

$$s(t) = A_c \cos [\omega_c t + D_p m(t)] \dots\dots\dots 2.7$$

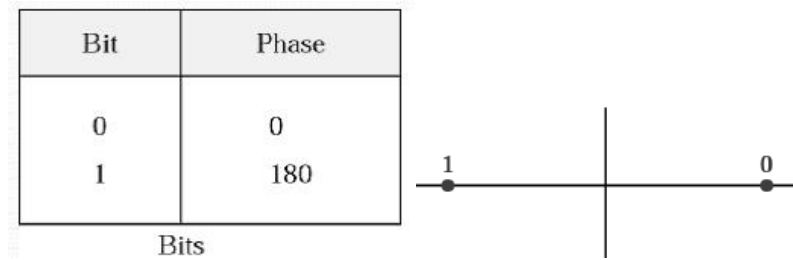
dimana, $m(t)$ = sinyal data baseband polar memiliki nilai ± 1 , D_p = nilai deviasi puncak, $\Delta\theta = D_p$

$$s(t) = \underbrace{(A_c \cos D_p)}_{\text{Pilot carrier term}} \cos \omega_c t - \underbrace{(A_c \sin D_p)}_{\text{data term}} m(t) \sin \omega_c t \dots\dots\dots 2.8$$

Untuk digital modulasi sudut, indeks modulasi digital adalah:

$$h = \frac{2\Delta\theta}{\pi} \dots\dots\dots 2.9$$

Dimana, $2\Delta\theta$ adalah maksimum puncak ke puncak deviasi phase, untuk konstelasi seperti di tunjukan pada Gambar 2.7a dibawah ini.

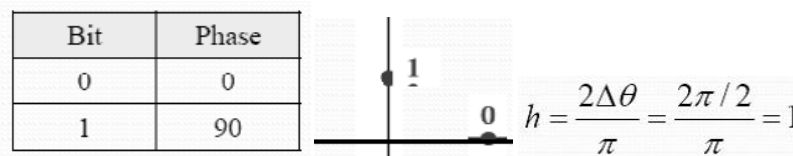


Gambar 2.7a. konstelasi BPSK

Untuk memaksimalkan efisiensi, nilai Dp harus besar atau data harus besar, $\Delta\theta = D_p = 90^\circ = \pi / 2$, maka $h = 1$ sehingga sinyal BPSK dapat ditulis :

$$s(t) = -A_c m(t) \sin \omega_c t \dots\dots\dots 2.10$$

Dan konstelasi BPSK seperti Gambar 2.7b dibawah ini



Gambar 2.7b. Konstelasi efisien BPSK

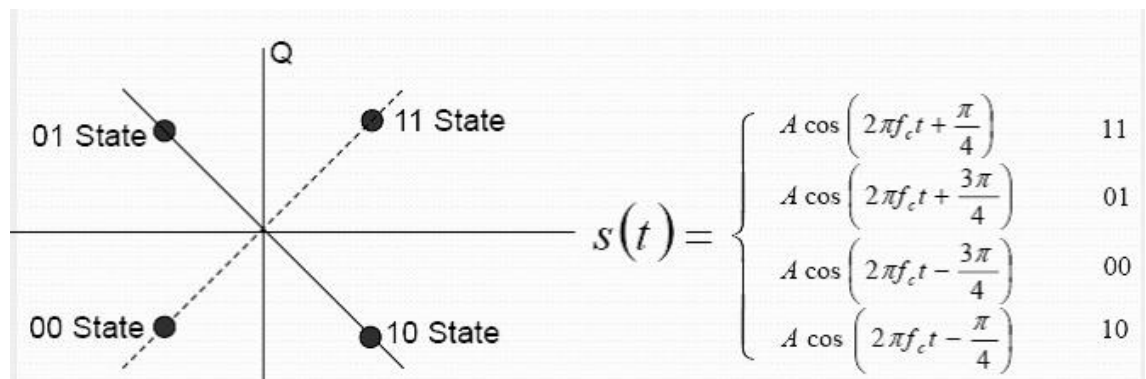
Untuk lebih jelas dapat dilihat pada tabel 2.1 dibawah ini

Table 2.1. karakteristik BPSK

Symbol	Bit	Expression	Carrier Signal	I	Q
S1	0	$\sqrt{\frac{2E_s}{T}} \cos(\omega t)$		1	0
S2	1	$\sqrt{\frac{2E_s}{T}} \cos(\omega t + \pi)$		-1	0

2.9.3 QPSK (Quadrature Phase Shift Keying)

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 seperti di jelaskan pada Gambar 2.8 di bawah ini.



Gambar 2.8. Konstelasi QPSK

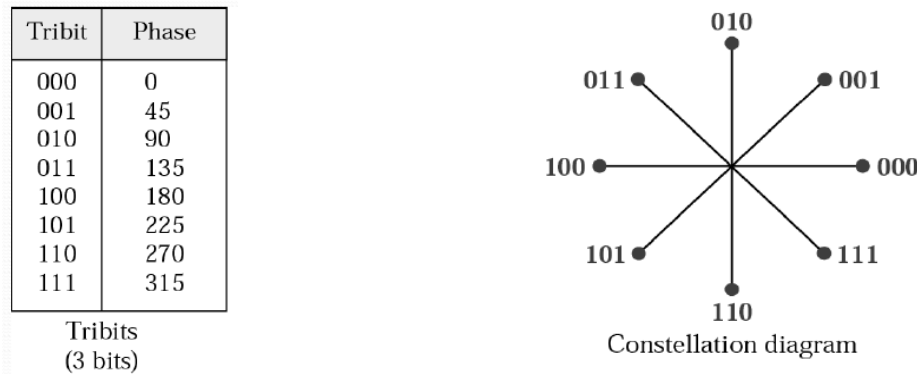
Untuk lebih jelas dapat pada tabel 2.2 dibawah ini,

Table 2.2. Karakteristik QPSK

Symbol	Bits	Expression	Phase, (Deg.)	Carrier Signal	I	Q
S1	00	$\sqrt{\frac{2E_s}{T}} \cos(\omega t + \pi/4)$	45		$\frac{1}{\sqrt{2}}$	$\frac{1}{\sqrt{2}}$
S2	01	$\sqrt{\frac{2E_s}{T}} \sin(\omega t + 3\pi/4)$	135		$-\frac{1}{\sqrt{2}}$	$\frac{1}{\sqrt{2}}$
S3	11	$\sqrt{\frac{2E_s}{T}} \cos(\omega t + 3\pi/4)$	225		$-\frac{1}{\sqrt{2}}$	$-\frac{1}{\sqrt{2}}$
S4	10	$\sqrt{\frac{2E_s}{T}} \sin(\omega t + \pi/4)$	310		$\frac{1}{\sqrt{2}}$	$-\frac{1}{\sqrt{2}}$

2.9.4 8-PSK

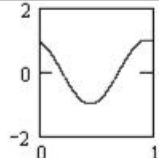
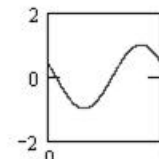
Adapun untuk konstelasi dan karakteristik 8PSK seperti dijeaskan Gambar 2.9 dibawah ini.

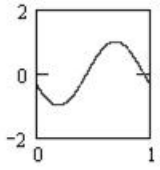
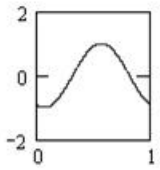
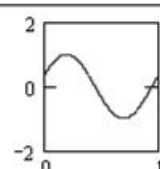
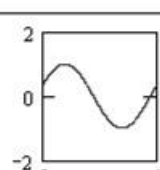
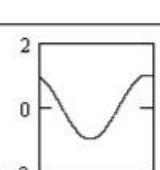
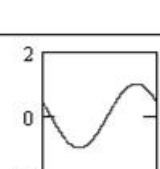


Gambar 2.9. Konstelasi 8-PSK

Adapun karakteristik 8-PSK seperti di tunjukan pada table 2.3 di bawah ini.

Tabel 2.3. karakteristik 8-PSK

Symbol	Expression	Phase	I	Q	Signal
S1 000	$s_1(t) = \sqrt{\frac{2E_s}{T}} \cos(\omega t + \pi/8)$	22.5°	1.414	.707	
S2 001	$s_2(t) = \sqrt{\frac{2E_s}{T}} \cos(\omega t + 3\pi/8)$	67.5°	.707	1.414	

S3 011	$s_3(t) = \sqrt{\frac{2E_s}{T}} \cos(\omega t + 5\pi/8)$	112.5°	-.707	1.414	
S4 010	$s_4(t) = \sqrt{\frac{2E_s}{T}} \cos(\omega t + 7\pi/8)$	157.5°	-1.414	.707	
S5 110	$s_5(t) = \sqrt{\frac{2E_s}{T}} \sin(\omega t + \pi/8)$	202.5°	-1.414	-.707	
S6 111	$s_6(t) = \sqrt{\frac{2E_s}{T}} \sin(\omega t + 3\pi/8)$	247.5°	-.707	-1.414	
S7 101	$s_7(t) = \sqrt{\frac{2E_s}{T}} \sin(\omega t + 5\pi/8)$	292.5°	.707	-1.414	
S8 100	$s_8(t) = \sqrt{\frac{2E_s}{T}} \sin(\omega t + 7\pi/8)$	337.5°	1.414	-.707	

2.9.5 M-ary PSK

Motivasi di balik M-ary PSK adalah untuk meningkatkan efisiensi bandwidth dari skema modulasi PSK. Dalam BPSK, sedikit data diwakili oleh simbol. Dalam MPSK, $n = \log_2 M$ bit data yang diwakili oleh simbol, sehingga

efisiensi bandwidth ditingkatkan menjadi n kali. Di antara semua skema M -ary PSK, QPSK adalah skema yang paling sering digunakan karena tidak mengalami dari penurunan BER sementara efisiensi bandwidth meningkat. M -ary PSK mengatur sinyal ditentukan sebagai

$$s_i(t) = A \cos(2\pi f_c t + \theta_i), \quad 0 \leq t \leq T, \quad i = 1, 2, \dots, M \quad \dots\dots\dots 2.11$$

dengan $\theta_i = \frac{(2i-1)\pi}{M} \dots\dots\dots 2.12$

Frekuensi pembawa dipilih sebagai multiple integer dari tingkat simbol, sehingga dalam setiap interval simbol, fase awal sinyal juga merupakan salah satu fase M . Biasanya M dipilih sebagai $M = 2^n$, $n = \log_2 M$. Oleh karena itu aliran data biner dibagi menjadi n kali.

Tabel 2.4. Perbandingan M -ary PSK dengan BPSK

Requirements for M -ary PSK with Binary PSK. Probability of Symbol Error = 10^{-4}

Value of M	$\frac{(\text{Bandwidth})_{M\text{-ary}}}{(\text{Bandwidth})_{\text{Binary}}}$	$\frac{(\text{Average power})_{M\text{-ary}}}{(\text{Average power})_{\text{Binary}}}$
4	0.5	0.34 dB
8	0.333	3.91 dB
16	0.25	8.52 dB
32	0.2	13.52 dB

* See Shanmugam (1979, p. 424).

Dalam tabel 2.4 diatas telah meringkas nilai kebutuhan power dan bandwidth untuk koheren binery dan M -ary PSK scheme, mengasumsikan probabilitas simbol error rata-rata sebesar 10^{-4} dan bahwa sistem beroperasi dalam identik lingkungan noise. Tabel ini menunjukkan bahwa, di antara sinyal M -ary PSK, QPSK (sesuai dengan $M = 4$) menawarkan yang terbaik trade-off antara kebutuhan daya dan bandwidth. itu adalah alasan QPSK banyak digunakan dalam

praktek. untuk $M > 8$, kebutuhan daya menjadi lebih besar, skema M-ary PSK dengan $M > 8$ yang tidak banyak digunakan dalam praktek. juga, koheren skema M-ary PSK cukup membutuhkan peralatan yang lebih kompleks daripada koheren skema PSK biner untuk membangkitkan sinyal atau deteksi, terutama bila $M > 8$.

2.10 QAM (*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.

Dalam sinyal QAM, ada dua operator, masing-masing memiliki frekuensi yang sama tetapi berbeda pada fase sebesar 90 derajat (seperempat siklus, dari mana istilah quadrature muncul). Satu sinyal disebut sinyal I, dan yang lainnya disebut sinyal Q. Matematis, salah satu sinyal dapat diwakili oleh sebuah gelombang sinus, dan yang lainnya oleh gelombang cosinus. Kedua pembawa dimodulasi digabungkan pada sumber untuk transmisi. Di tempat tujuan, operator dipisahkan, data diambil dari masing-masing, dan kemudian data akan digabungkan menjadi informasi modulasi asli.

Menyatakan kemungkinan konfigurasi tertentu dapat menjadi yang terbaik dinotasikan menggunakan diagram konstelasi. Dalam diagram konstelasi, poin

konstelasi disusun dalam kotak persegi dengan jarak horizontal dan vertikal sama (konfigurasi lain yang mungkin juga).

M-ary QAM adalah generalisasi dua dimensi dari M-ary PAM dalam penyusunannya melibatkan dua fungsi dasar passband ortogonal, seperti yang ditunjukkan oleh:

$$\phi_1(t) = \sqrt{\frac{2}{T}} \cos(2\pi f_c t), \quad 0 \leq t \leq T \quad \dots\dots\dots 2.13$$

$$\phi_2(t) = \sqrt{\frac{2}{T}} \sin(2\pi f_c t), \quad 0 \leq t \leq T \quad \dots\dots\dots 2.14$$

Misalkan i banyaknya pesan pada titik s , pada bidang (Φ_1, Φ_2) akan dilambangkan dengan $(a_{i\text{dmin}} / 2, b_{i\text{dmin}} / 2)$, di mana d_{min} adalah jarak minimum antara setiap dua titik pesan di konstelasi, a_i dan b_i adalah bilangan bulat, dan $i = 1, 2, 3, \dots, M$. Bila $(d_{\text{min}} / 2) = \sqrt{E_0}$, di mana E_0 adalah energi dari sinyal dengan amplitudo terendah. sinyal M-ary QAM yang di transmisikan dengan simbol k , kemudian didefinisikan menjadi

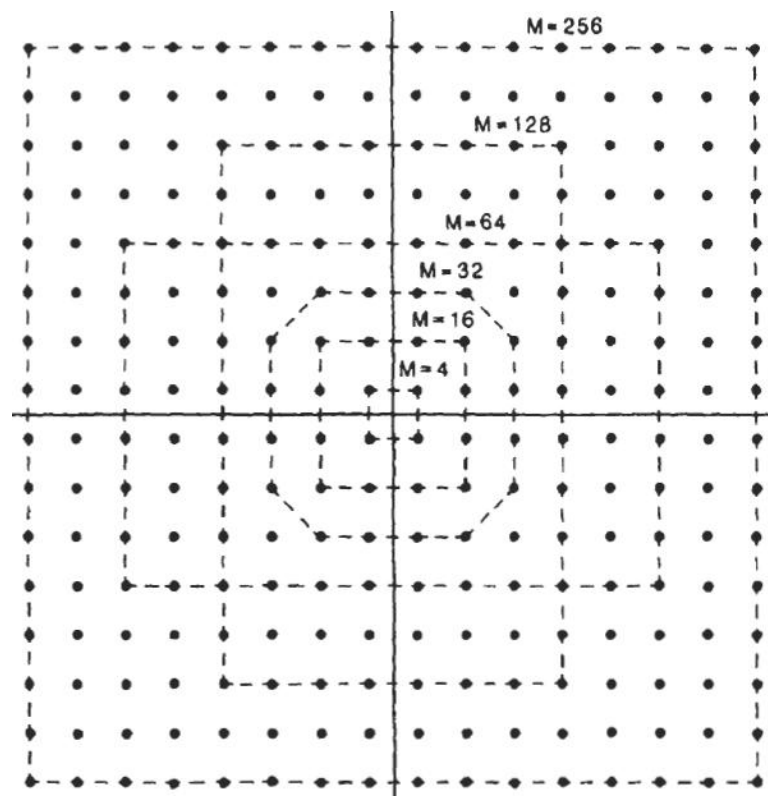
$$s_k(t) = \sqrt{\frac{2E_0}{T}} a_k \cos(2\pi f_c t) - \sqrt{\frac{2E_0}{T}} b_k \sin(2\pi f_c t), \quad \begin{matrix} 0 \leq t \leq T \\ k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \end{matrix} \quad 2.15$$

setiap sinyal ($s_k(t)$) terdiri dari dua fase kuadratur dengan masing-masing pembawa yang dimodulasi oleh satu set amplitudo diskrit, karenanya disebut dengan nama quadrature amplitudo modulasi.

4QAM 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. Modulasi 16-QAM

merupakan modulasi QAM yang menggunakan inputan 4 bit dengan 16 kondisi logika, posisi phase dan point dapat di lihat pada gambar 2.10.

Bahkan jika mungkin untuk mentransfer bit per simbol lebih dengan konstelasi orde tinggi, secara teoritis, masalah teknis yang melekat mungkin ada. Untuk mempertahankan energi rata-rata dari suatu konstelasi tatanan yang lebih tinggi pada tingkat yang sama, sangat penting bahwa titik konstelasi tetap dekat satu sama lain. Namun, konfigurasi seperti ini akan membuat peluang besar adanya noise. Dalam aplikasi praktis, QAM orde tinggi memberikan data lebih banyak, tetapi memberikan kurang andal dari order QAM lebih rendah.



Gambar 2.10. Konstelasi M-ary QAM

Pada 4-QAM dan 8-QAM, jumlah pergeseran amplitudo lebih sedikit dari jumlah pergeseran fasa. Karena perubahan amplitudo rentan terhadap noise dan memerlukan perbedaan bergeser lebih besar daripada melakukan perubahan fasa, jumlah pergeseran fasa yang digunakan oleh sistem QAM selalu lebih besar dari jumlah pergeseran amplitudo.

BAB III. LANGKAH PENGGUNAAN MATLAB

3.1. LANGKAH AWAL

Penggunaan alat bantu hitung dilakukan dengan menggunakan software MATLAB Versi R2008a, dalam hal ini menterjemahkan rumus yang ada ke dalam bahasa software. Langkah awal pengujian adalah menginstallkan terlebih dahulu software MATLAB ke komputer (PC) atau laptop yang ada. Langkah berikutnya buka software MATLAB dan tulis rumus atau data yang ada ke bahasa software MATLAB.

Berikut ini bahasa software yang di tulis untuk mencari probabilitas symbol error rate untuk masing – masing M-ary modulasi.

3.2. PERBANDINGAN 4 PSK DAN 4 QAM

Sesuai teori bahwa untuk mencari probabilitas simbol error untuk M =4 mempunyai rumus persamaan tersendiri. Dalam hal ini untuk 4 PSK dan 4 QAM mempunyai persamaan rumus probabilitas symbol error rate (lihat persamaan 4.5)

$$P_s \text{ 4QAM} = P_s \text{ QPSK} = \text{erfc} \left(\sqrt{\frac{E_s}{2N_0}} \right) - \frac{3}{4} \text{erfc}^2 \left(\sqrt{\frac{1}{2} \frac{E_s}{N_0}} \right)$$

$$P_s \text{ 4 QAM} = P_s \text{ 4 PSK} = \text{erfc} \left(\sqrt{\frac{E_s}{2N_0}} \right)$$

Berikut ini penulisan simulasi 4PSK atau 4QAM :

```
% Matlab for comparing the symbol error rate for M-ary modulation
clear
M = 4;
Es_N0_dB = [-7:15] % multiple Es/N0 values
theorySer_QPSK = erfc(sqrt(10.^(Es_N0_dB/10))*sin(pi/M))
theorySer_4QAM = erfc(sqrt(0.5*(10.^(Es_N0_dB/10))))
```

```

close all
figure
semilogy(Es_N0_dB,theorySer_QPSK,'bs-','LineWidth',2);
hold on
semilogy(Es_N0_dB,theorySer_4QAM,'mx-','LineWidth',2);
axis([-7 15 10^-7 1])
grid on
legend('simulasi-8PSK', 'simulasi-8QAM');
xlabel('Es/No, dB')
ylabel('Symbol Error Rate')
title('Symbol error probability curve for 8-PSK and 8-QAM
modulation')

```

Tampilan di **Command Windows** sebagai berikut ini

```

>> M = 4;
Es_N0_dB = [-7:15] % multiple Es/N0 values
theorySer_QPSK = erfc(sqrt(10.^(Es_N0_dB/10))*sin(pi/M))
theorySer_4QAM = erfc(sqrt(0.5*(10.^(Es_N0_dB/10))))
close all
figure
semilogy(Es_N0_dB,theorySer_QPSK,'bs-','LineWidth',2);
hold on
semilogy(Es_N0_dB,theorySer_4QAM,'mx-','LineWidth',2);
axis([-7 20 10^-7 1])
grid on
legend('simulasi-8PSK', 'simulasi-8QAM');
xlabel('Es/No, dB')
ylabel('Symbol Error Rate')
title('Symbol error probability curve for 8-PSK and 8-QAM modulation')

```

Es_N0_dB =

Columns 1 through 13

-7 -6 -5 -4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4 5

Columns 14 through 23

6 7 8 9 10 11 12 13 14 15

theorySer_QPSK =

Columns 1 through 8

0.6551 0.6162 0.5739 0.5281 0.4790 0.4270 0.3728 0.3173

Columns 9 through 16

0.2619 0.2081 0.1578 0.1130 0.0754 0.0460 0.0252 0.0120

Columns 17 through 23

0.0048 0.0016 0.0004 0.0001 0.0000 0.0000 0.0000

theorySer_4QAM =

Columns 1 through 8

0.6551 0.6162 0.5739 0.5281 0.4790 0.4270 0.3728 0.3173

Columns 9 through 16

0.2619 0.2081 0.1578 0.1130 0.0754 0.0460 0.0252 0.0120

Columns 17 through 23

0.0048 0.0016 0.0004 0.0001 0.0000 0.0000 0.0000

>>

3.3. PERBANDINGAN 8 PSK DAN 8 QAM

Berikut ini adalah langkah simulasi 8PSK dan 8QAM dengan persamaan probabilitas simbol error rate (lihat persamaan 4.7 dan 4.8) :

$$P_s \text{ 8PSK} = \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{E_s}{N_0}} \sin \frac{\pi}{8} \right)$$

$$P_s \text{ 8QAM} = 1,293 \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{3}{14} \frac{E_s}{N_0}} \right)$$

Untuk penulisan software MATLAB (m.file) seperti berikut ini

```
% Matlab for comparing the symbol error rate for M-ary modulation
clear
M = 8;
Es_NO_dB = [-7:20] % multiple Es/N0 values
theorySer_8PSK = erfc(sqrt(10.^(Es_NO_dB/10))*sin(pi/M))
theorySer_8QAM = 1.293*erfc(sqrt(0.214*(10.^(Es_NO_dB/10))))
close all
figure
semilogy(Es_NO_dB,theorySer_8PSK,'bs-','LineWidth',2);
hold on
semilogy(Es_NO_dB,theorySer_8QAM,'mx-','LineWidth',2);
axis([-7 20 10^-7 1])
grid on
legend('simulasi-8PSK', 'simulasi-8QAM');
xlabel('Es/No, dB')
ylabel('Symbol Error Rate')
title('Symbol error probability curve for 8-PSK and 8-QAM
modulation')
```

Tampilan di **Command Windows** sebagai berikut ini

```
>> M = 8;
Es_NO_dB = [-7:20] % multiple Es/N0 values
theorySer_8PSK = erfc(sqrt(10.^(Es_NO_dB/10))*sin(pi/M))
theorySer_8QAM = 1.293*erfc(sqrt(0.214*(10.^(Es_NO_dB/10))))
close all
figure
semilogy(Es_NO_dB,theorySer_8PSK,'bs-','LineWidth',2);
hold on
semilogy(Es_NO_dB,theorySer_8QAM,'mx-','LineWidth',2);
axis([-7 20 10^-7 1])
grid on
legend('simulasi-8PSK', 'simulasi-8QAM');
```

```
xlabel('Es/No, dB')
ylabel('Symbol Error Rate')
title('Symbol error probability curve for 8-PSK and 8-QAM modulation')
```

```
Es_NO_dB =
```

```
Columns 1 through 13
```

```
-7 -6 -5 -4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4 5
```

```
Columns 14 through 26
```

```
6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18
```

```
Columns 27 through 28
```

```
19 20
```

```
theorySer_8PSK =
```

```
Columns 1 through 8
```

```
0.8090 0.7862 0.7609 0.7327 0.7016 0.6673 0.6296 0.5884
```

```
Columns 9 through 16
```

```
0.5437 0.4957 0.4446 0.3910 0.3358 0.2802 0.2257 0.1740
```

```
Columns 17 through 24
```

```
0.1272 0.0870 0.0548 0.0312 0.0156 0.0067 0.0023 0.0006
```

```
Columns 25 through 28
```

```
0.0001 0.0000 0.0000 0.0000
```

```
theorySer_8QAM =
```

```
Columns 1 through 8
```

```
0.9958 0.9607 0.9218 0.8789 0.8317 0.7801 0.7239 0.6633
```

```
Columns 9 through 16
```

```
0.5986 0.5303 0.4596 0.3876 0.3164 0.2480 0.1849 0.1297
```

```
Columns 17 through 24
```

```
0.0843 0.0499 0.0262 0.0119 0.0045 0.0013 0.0003 0.0000
```

```
Columns 25 through 28
```

```
0.0000 0.0000 0.0000 0.0000
```

```
>>
```

3.4. PERBANDINGAN 16 PSK DAN 16 QAM

Berikut ini adalah langkah simulasi 16PSK dan 16QAM dengan persamaan

probabilitas simbol error rate (lihat persamaan 4.9 dan 4.10) :

$$P_s \text{ 16PSK} = \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{E_s}{N_0}} \sin \frac{\pi}{16} \right)$$

$$P_s \text{ 16QAM} = \frac{3}{2} \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{1}{10} \frac{E_s}{N_0}} \right)$$

Untuk penulisan m.file seperti berikut ini

```
% Matlab comparing the symbol error rate for 16PSK and 16QAM modulation
clear
M = 16;
Es_NO_dB = [0:30] % multiple Es/NO values
theorySer_16PSK = erfc(sqrt(10.^(Es_NO_dB/10))*sin(pi/M))
theorySer_16QAM = 3/2*erfc(sqrt(0.1*(10.^(Es_NO_dB/10))))
close all
figure
semilogy(Es_NO_dB,theorySer_16PSK,'bs-','LineWidth',2);
hold on
semilogy(Es_NO_dB,theorySer_16QAM,'mx-','LineWidth',2);
axis([0 30 10^-7 1])
grid on
legend('simulasi-16PSK', 'simulasi-16QAM');
xlabel('Es/No, dB')
ylabel('Symbol Error Rate')
title('Symbol error probability curve for 16-PSK and 16-QAM modulation')
```

Tampilan di **Command Windows** sebagai berikut ini

```
>> M = 16;
Es_NO_dB = [0:30] % multiple Es/NO values
theorySer_16PSK = erfc(sqrt(10.^(Es_NO_dB/10))*sin(pi/M))
theorySer_16QAM = 3/2*erfc(sqrt(0.1*(10.^(Es_NO_dB/10))))
close all
figure
semilogy(Es_NO_dB,theorySer_16PSK,'bs-','LineWidth',2);
hold on
semilogy(Es_NO_dB,theorySer_16QAM,'mx-','LineWidth',2);
axis([0 30 10^-7 1])
grid on
legend('simulasi-16PSK', 'simulasi-16QAM');
xlabel('Es/No, dB')
ylabel('Symbol Error Rate')
title('Symbol error probability curve for 16-PSK and 16-QAM modulation')
```

Es_N0_dB =

Columns 1 through 13

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12

Columns 14 through 26

13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25

Columns 27 through 31

26 27 28 29 30

theorySer_16PSK =

Columns 1 through 8

0.7826 0.7569 0.7283 0.6967 0.6619 0.6237 0.5820 0.5368

Columns 9 through 16

0.4883 0.4368 0.3830 0.3276 0.2720 0.2178 0.1667 0.1208

Columns 17 through 24

0.0817 0.0508 0.0284 0.0139 0.0058 0.0020 0.0005 0.0001

Columns 25 through 31

0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000

theorySer_16QAM =

Columns 1 through 8

0.9821 0.9237 0.8601 0.7914 0.7177 0.6397 0.5583 0.4751

Columns 9 through 16

0.3919 0.3113 0.2359 0.1688 0.1125 0.0686 0.0375 0.0179

Columns 17 through 24

0.0072 0.0023 0.0006 0.0001 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000

Columns 25 through 31

0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000

>>

3.5. PERBANDINGAN 64 PSK DAN 64 QAM

Berikut ini adalah langkah penggunaan matlab pada sistem M-ary, $M = 64$, 64PSK dan 64QAM dengan persamaan probabilitas simbol error rate (lihat persamaan 4.11 dan 4.12) :

$$P_s \text{ 64PSK} = \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{E_s}{N_0}} \sin \frac{\pi}{64} \right)$$

$$P_s \text{ 64QAM} = \frac{7}{4} \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{3}{126} \frac{E_s}{N_0}} \right)$$

Untuk penulisan m.file seperti berikut ini

```
% Matlab for comparing the symbol error rate for M-ary modulation
clear
M = 64;
Es_NO_dB = [0:40] % multiple Es/NO values
theorySer_64PSK = erfc(sqrt(10.^(Es_NO_dB/10))*sin(pi/M))
theorySer_64QAM = 7/4*erfc(sqrt(3/126*(10.^(Es_NO_dB/10))))
close all
figure
semilogy(Es_NO_dB,theorySer_64PSK,'bs-','LineWidth',2);
hold on
semilogy(Es_NO_dB,theorySer_64QAM,'mx-','LineWidth',2);
axis([5 40 10^-7 1])
grid on
legend('simulasi-64PSK', 'simulasi-64QAM');
xlabel('Es/No, dB')
ylabel('Symbol Error Rate')
title('Symbol error probability curve for 64-PSK and 64-QAM modulation')
```

Tampilan di **Command Windows** sebagai berikut ini

```
>> M = 64;
Es_NO_dB = [0:40] % multiple Es/NO values
theorySer_64PSK = erfc(sqrt(10.^(Es_NO_dB/10))*sin(pi/M))
theorySer_64QAM = 7/4*erfc(sqrt(3/126*(10.^(Es_NO_dB/10))))
close all
figure
semilogy(Es_NO_dB,theorySer_64PSK,'bs-','LineWidth',2);
hold on
semilogy(Es_NO_dB,theorySer_64QAM,'mx-','LineWidth',2);
axis([5 40 10^-7 1])
grid on
legend('simulasi-64PSK', 'simulasi-64QAM');
xlabel('Es/No, dB')
ylabel('Symbol Error Rate')
title('Symbol error probability curve for 64-PSK and 64-QAM modulation')
```

Es_NO_dB =

Columns 1 through 13

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12

Columns 14 through 26

13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25

Columns 27 through 39

26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38

Columns 40 through 41

39 40

theorySer_64PSK =

Columns 1 through 8

0.9447 0.9379 0.9304 0.9219 0.9124 0.9018 0.8899 0.8765

Columns 9 through 16

0.8616 0.8449 0.8263 0.8055 0.7824 0.7566 0.7280 0.6964

Columns 17 through 24

0.6615 0.6232 0.5815 0.5363 0.4877 0.4362 0.3823 0.3270

Columns 25 through 32

0.2714 0.2172 0.1662 0.1203 0.0813 0.0505 0.0282 0.0138

Columns 33 through 40

0.0057 0.0019 0.0005 0.0001 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000

Column 41

0.0000

theorySer_64QAM =

Columns 1 through 8

1.4477 1.4115 1.3712 1.3263 1.2765 1.2215 1.1607 1.0941

Columns 9 through 16

1.0213 0.9424 0.8578 0.7679 0.6737 0.5770 0.4797 0.3846

Columns 17 through 24

0.2950 0.2142 0.1453 0.0906 0.0509 0.0251 0.0105 0.0036

Columns 25 through 32

0.0010 0.0002 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000

Columns 33 through 40

0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000

Column 41

0.0000

>>

BAB IV. PEMBAHASAN

4.1. PENDAHULUAN

Analisis noise dalam sistem komunikasi pada system ideal umumnya yang disebut white noise, kepadatan spektral daya yang independen dari frekuensi operasi. Kata sifat white digunakan dalam arti bahwa cahaya putih mengandung jumlah yang sama dari semua frekuensi dalam band yang terlihat dari radiasi elektromagnetik. Dengan mengungkapkan kepadatan spektral daya noise putih, dengan fungsi sampel yang dinotasikan dengan $w(t)$, sebagai :

$$S_w(f) = N_0/2 \dots\dots\dots 4.1$$

Dimensi N_0 dalam watt per Hertz. Parameter N_0 biasanya direferensikan ke tahap input dari penerima sistem komunikasi. Spektral daya white noise (N_0) dapat juga dinyatakan sebagai

$$N_0 = k T_e \dots\dots\dots 4.2$$

Dimana k = konstanta Boltzmann, dan T_e = noise temperatur di penerima.

Menggunakan Additive White Gaussian Noise (AWGN) model matematika untuk menggambarkan noise pada saluran komunikasi. Oleh karena itu, noise $n(t)$ dianggap sebagai suatu proses acak Gaussian dengan rata-rata (μ) nol dan variansi $\sigma^2 = N_0/2$.

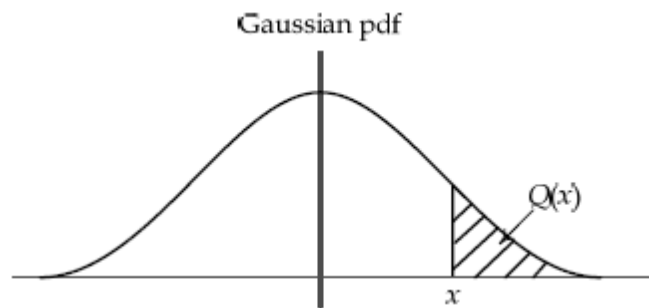
Untuk suatu variabel acak x standar Gaussian dengan varian rata-rata nol dan probability density function (pdf) adalah :

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2}} \dots\dots\dots 4.3$$

Untuk tujuan analisis kinerja, dengan menentukan fungsi Quantile $Q(x)$ sebagai pelengkap dari fungsi distribusi kumulatif $F(x)$ dari variabel acak Gaussian standar, yaitu,

$$Q(x) = 1 - F(x) = 1 - \int_{-\infty}^x f(\alpha) d\alpha = \int_x^{\infty} f(\alpha) d\alpha = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^{\infty} e^{-\frac{\alpha^2}{2}} d\alpha \quad \dots\dots\dots 4.4$$

Gambar 4.1 di bawah ini memberikan representasi visual untuk $Q(x)$ yang merupakan area yang diarsir di bawah kurva density standar Gaussian:



Gambar 4.1. Distribusi Gaussian

Dalam sistem OFDM dengan penambahan noise maka di sisi penerima akan ada data yang dikirim dan noise sehingga akan ada kemungkinan sudut fasa akan berubah hal ini menyebabkan probabilitas error di penerima.

Jika menggunakan E_s untuk mewakili energi rata-rata per-simbol yang ditransmisikan (semua simbol mungkin dalam sinyal termodulasi), dapat ditulis persamaan di atas sebagai berikut:

Probabilitas symbol error untuk 4-QAM = QPSK

$$P_{s,4QAM} = P_{s,4PSK} = \text{erfc} \left(\sqrt{\frac{E_s}{2N_0}} \right) \quad \dots\dots\dots 4.5$$

karena $k = \log_2 M$ dan $E_s = k E_b$ atau

$$P_{b,4QAM} = P_{b,4PSK} = \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{Eb}{No}} \right) \dots\dots\dots 4.6$$

Probabilitas symbol error untuk 8-QAM dan 8-PSK adalah sebagai berikut ini

$$P_{s,8PSK} = \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{Es}{No}} \sin \frac{\pi}{8} \right) \text{ atau } \dots\dots\dots 4.7$$

$$P_{b,8PSK} = \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{3Eb}{No}} \sin \frac{\pi}{8} \right)$$

$$P_{s,8QAM} = 1,293 \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{3}{14} \frac{Es}{No}} \right) \text{ atau } \dots\dots\dots 4.8$$

$$P_{b,8QAM} = 1,293 \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{9}{14} \frac{Es}{No}} \right)$$

Probabilitas symbol error untuk 16-QAM dan 16-PSK adalah sebagai berikut ini

$$P_{s,16PSK} = \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{Es}{No}} \sin \frac{\pi}{16} \right) \text{ atau } \dots\dots\dots 4.9$$

$$P_{b,16PSK} = \operatorname{erfc} \left[\sqrt{\frac{4Eb}{No}} \sin \left(\frac{\pi}{16} \right) \right]$$

$$P_{s,16QAM} = \frac{3}{2} \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{1}{10} \frac{Es}{No}} \right) \text{ atau } \dots\dots\dots 4.10$$

$$P_{b,16QAM} = \frac{3}{2} \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{4Eb}{10No}} \right)$$

Probabilitas symbol error untuk 64-QAM dan 64-PSK adalah sebagai berikut ini

$$P_{s,64PSK} = \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{Es}{No}} \sin \frac{\pi}{64} \right) \text{ atau } \dots\dots\dots 4.11$$

$$P_{b,64PSK} = \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{6Eb}{No}} \sin \frac{\pi}{64} \right)$$

$$P_{s,64QAM} = \frac{7}{4} \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{3}{126} \frac{E_s}{N_0}} \right) \text{ atau} \dots\dots\dots 4.12$$

$$P_{b,64QAM} = \frac{7}{4} \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{18}{126} \frac{E_b}{N_0}} \right)$$

Secara umum persamaan probabilitas symbol error untuk modulasi M-ary adalah

$$P_{s,MPSK} = \operatorname{erfc} \left[\sqrt{\frac{E_s}{N_0}} \sin \left(\frac{\pi}{M} \right) \right] \dots\dots\dots 4.13$$

$$P_{s,MQAM} = 2 \left(1 - \frac{1}{\sqrt{M}} \right) \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{3}{2(M-1)} \frac{E_s}{N_0}} \right) - \left(1 - \frac{2}{M} + \frac{1}{M} \right) \operatorname{erfc}^2 \left(\sqrt{\frac{3}{2(M-1)} \frac{E_s}{N_0}} \right)$$

Karena $E_b = k E_s$ dan $k = \log_2(M)$ maka

$$P_{b,MPSK} = \frac{1}{k M} \operatorname{erfc} \left[\sqrt{\frac{k M E_b}{N_0}} \sin \left(\frac{\pi}{M} \right) \right] \text{ dan}$$

$$P_{b,MQAM} = \frac{1}{\log_2 M} \left[2 \left(1 - \frac{1}{\sqrt{M}} \right) \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{3}{2(M-1)} \frac{\log_2(M) E_b}{N_0}} \right) - \left(1 - \frac{2}{M} + \frac{1}{M} \right) \operatorname{erfc}^2 \left(\sqrt{\frac{3}{2(M-1)} \frac{\log_2(M) E_b}{N_0}} \right) \right]$$

SNR adalah besaran fisik yang dapat dengan mudah diukur, untuk mengevaluasi efisiensi daya, maka harus mengetahui energi rata-rata per bit E_b . Jika $\log_2(M)$ yang digunakan untuk bit yang ditransmisikan oleh masing-masing simbol, hubungan

$$\text{SNR} = \frac{E_s}{N_0} \text{ dan } E_s = \log_2(M) E_b \dots\dots\dots 4.14$$

Sehingga signal to noise ratio memiliki berhubungan

$$\text{SNR} = \log_2(M) \frac{E_b}{N_0} \dots\dots\dots 4.15$$

Dan penting bahwa $E_b = P_s / R_b$ adalah rata-rata power sinyal (P_s) yang dibutuhkan per bit rate (R_b).

4.2. BANDWIDTH M-ARY

Pada skema M-ary, misalkan mengirim satu dari M signal $s_1(t)$, $s_2(t)$ $S_m(t)$ dengan durasi interval signaling T. Untuk semua aplikasi, jumlah signal yang mungkin $M= 2^n$ dimana $n=integer$. Durasi symbol $T_s = T_b \cdot n$, dengan $T_b=$ durasi bit.

Signal-signal ini dibangkitkan dengan menambah atau merubah amplitude fase atau frekuensi dari carrier dalam M step yang diskrit. Jadi memperoleh M-ary ASK, M-ary FSK dan M-ary-PSK.

Cara lain untuk membangkitkan sinyal M-ary adalah menggabungkan metoda-metoda yang berbeda menjadi satu bentuk hybrid. Contohnya menggabungkan perubahan diskrit dari Amplitudo dan phasa untuk membuat M-ary Amplitudo phase keying (APK) bentuk khusus dari modulasi hybrid ini disebut M-ary QAM yang mempunyai sifat-sifat menarik.

Bila mengirim informasi dengan PSK biner, maka diperlukan bandwidth yang berbanding terbalik dengan T_b tapi bila diambil blok terdiri dari n bit dan M-ary PSK dipakai dengan $M=2^n$ dan durasi symbol $T_s = nT_b$ maka bandwidth yang diperlukan sebanding dengan $(1/n T_b)$. Ini memperlihatkan dengan M-ary PSK, bandwidth transmisi bisa dikecilkan dengan faktor $n = {}^2\log M$ dibandingkan kalau menggunakan binary PSK.

Binary = $1/T_b$ dibandingkan M-ary = $1/(n \cdot T_b)$, sehingga disini dapat diambil kesimpulan bahwa M-ary menghemat bandwidth sebanyak n kali.

Untuk fungsi dasar passband pada M-ary PSK dan M-ary QAM besarnya bandwidth (B) dapat di tentukan :

$$B = 2/T \dots\dots\dots 4.16$$

Dengan $T = T_b \log_2 M$ dan $R_b = 1/T_b$

Dimana T adalah durasi symbol dan T_b adalah durasi bit sehingga bandwidth dapat juga ditulis

$$B = \frac{2.R_b}{\log_2 M} \dots\dots\dots 4.17$$

Dan untuk efisiensi bandwidth (ρ) dapat diberikan sebagai

$$\rho = \frac{R_b}{B} \text{ atau } \rho = \frac{\log_2 M}{2} \dots\dots\dots 4.18$$

Peningkatan amplitudo atau besar fasa pada titik di konstelasi tidak mengubah bandwidth transmisi, sehingga menggunakan ukuran jumlah bit yang ditransfer per detik untuk setiap Hz yang berpengaruh, memungkinkan untuk efisiensi spektral yang lebih baik. Misalnya 16-QAM memiliki efisiensi spektral 4 b/s/Hz, dibandingkan dengan hanya 1 b/s/Hz pada BPSK. Namun, semakin besar jumlah titik dalam konstelasi modulasi, semakin sulit untuk menyelesaikan pada penerima. Sebagai lokasi I dan Q menjadi berjarak lebih dekat , hanya membutuhkan sejumlah kecil noise menyebabkan kesalahan dalam transmisi. Hal ini menghasilkan trade off antara toleransi noise dan efisiensi spektral dari skema modulasi dan diringkas oleh Shannon Teori Informasi , yang menyatakan bahwa kapasitas maksimum saluran bandwidth (W), dengan power sinyal (S), terganggu oleh daya rata-rata white noise (N), diberikan oleh :

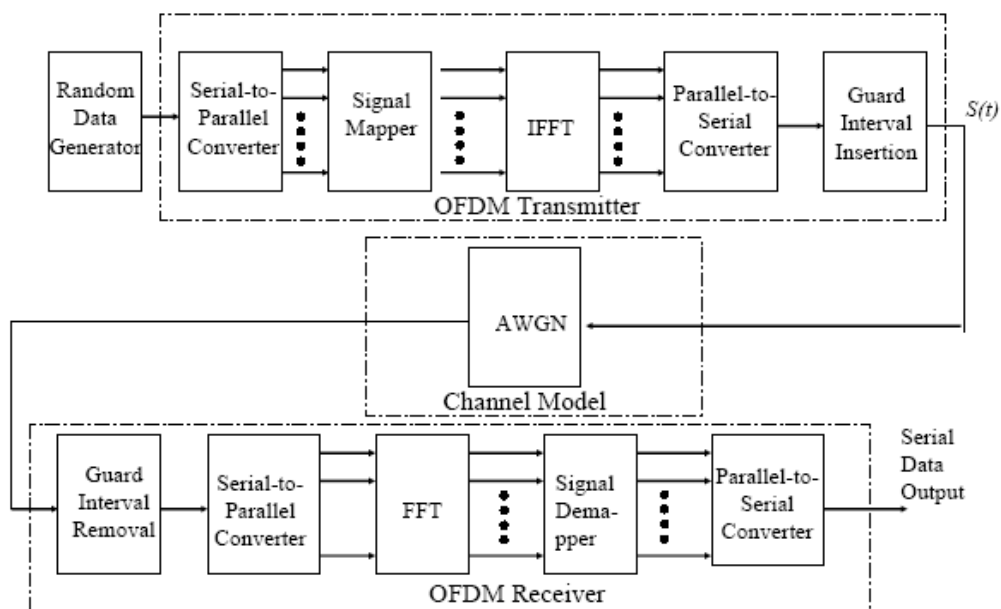
$$C = W \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right) \dots\dots\dots 4.19$$

Efisiensi spektral saluran yang merupakan ukuran jumlah bit yang ditransfer per detik untuk setiap Hz bandwidth dan dengan demikian efisiensi spektral S_E diberikan oleh :

$$S_E = \frac{C}{w} = \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right) \dots\dots\dots 4.20$$

Di mana kedua sinyal dan noise adalah skala linier, dan efisiensi spektral diukur dalam b/s/Hz. Jika SNR secara signifikan lebih tinggi dari satu maka setiap dua kali lipat dari power sinyal (peningkatan 3dB) meningkatkan efisiensi spektral yang ideal dengan 1 b/s/Hz.

4.3. MENCARI NILAI SNR (E_s/N_0) DENGAN MATLAB

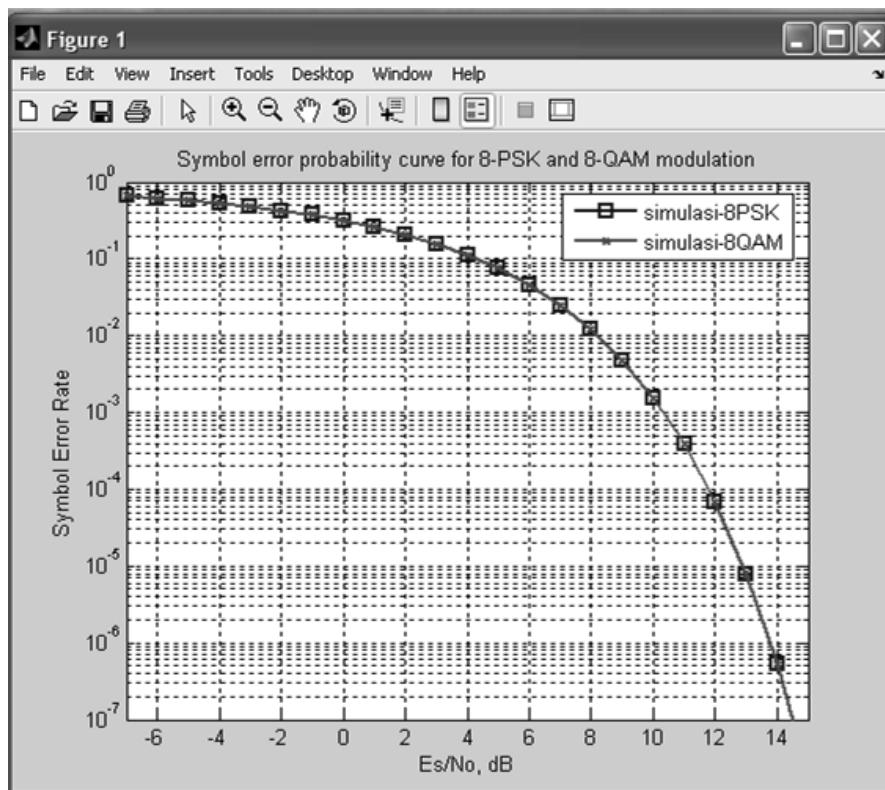


Gambar 4.2. Kinerja OFDM dengan kanal AWGN

Untuk mengukur kinerja system OFDM dengan variasi M-ary modulasi menggunakan alat bantu hitung MATLAB 2008a, di hasilkan bentuk kurva masing – masing seperti pada gambar berikut ini.

4.3.1. Perbandingan M-ary, M = 4

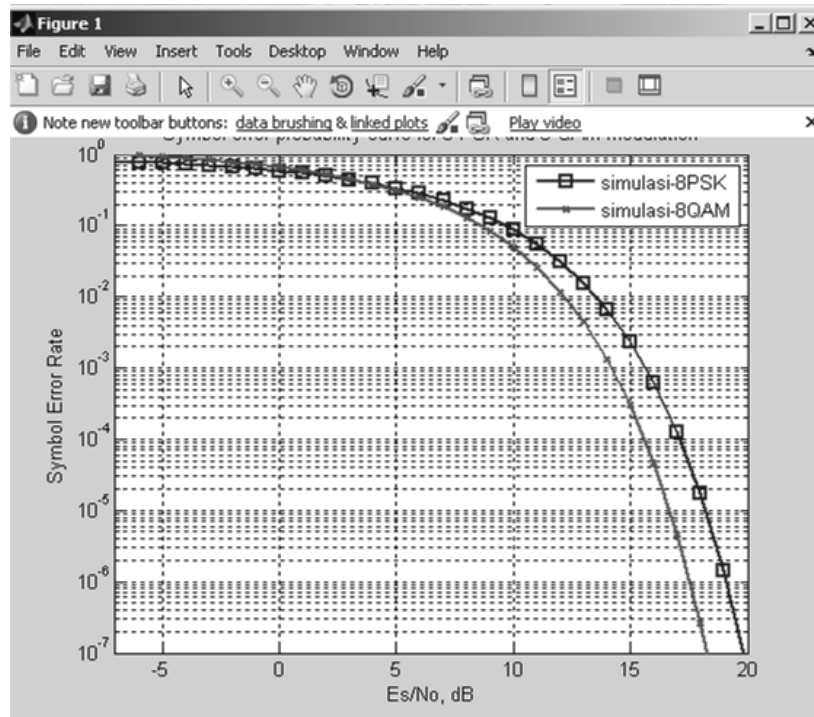
Untuk M = 4 ini, berarti baik nilai amplitude maupun fase akan sama untuk 4PSK dan 4 QAM ini dapat dilihat pada bentuk konstelasi masing – masing. Hal ini yang membuat probabilitas symbol error pada 4PSK dan 4 QAM mempunyai nilai yang sama. Pada penggunaan matlab ini bila diambil SER (symbol error rate) = 10^{-3} , maka didapat daya yang diperlukan sebesar 10,3 dB (sesuai Gambar 4.3).



Gambar 4.3. Perbandingan 4PSK dan 4QAM

4.3.2. Perbandingan M-ary, M = 8

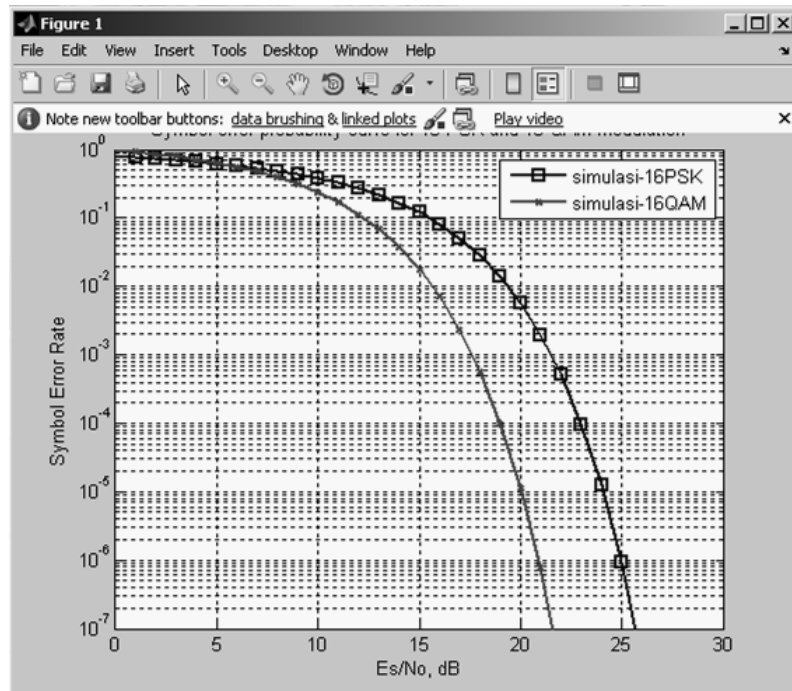
Bila di tentukan SER (symbol error rate) = 10^{-3} , maka di dapat daya yang diperlukan untuk 8-PSK sebesar 15,65 dB dan untuk 8 QAM sebesar 14,2 dB (sesuai Gambar 4.4)



Gambar 4.4. Perbandingan 8PSK dan 8QAM

4.3.3. Perbandingan M-ary, M = 16

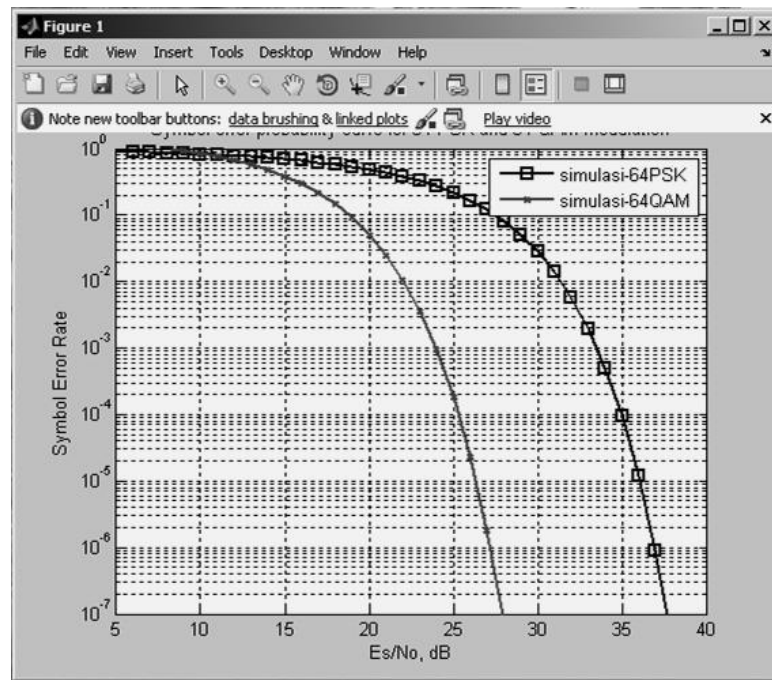
Bila di tentukan SER (symbol error rate) = 10^{-3} , maka di dapat daya yang diperlukan untuk 16-PSK sebesar 21,5 dB dan untuk 16-QAM sebesar 17,6 dB (sesuai Gambar 4.5).



Gambar 4.5. Perbandingan 16PSK dan 16QAM

4.3.4. Perbandingan M-ary, M = 64

Bila di tentukan SER (symbol error rate) = 10^{-3} , maka di dapat daya yang diperlukan untuk 64-PSK sebesar 33,5 dB dan untuk 64-QAM sebesar 23,95 dB (sesuai gambar 4.6).



Gambar 4.6. Perbandingan 64PSK dan 64QAM

4.4. ANALISA

Dari data atau kurva yang dihasilkan dapat dibuatkan suatu tabel dengan mengacu pada probabilitas symbol error rate (SER) = 10^{-3} , dan kapasitas bandwidth dapat di efisienkan pada M-ary modulasi sebanyak n kali dimana $\rho = 2 \log M/2$

Dari tabel 4.1 perbandingan di atas dapat disimpulkan bahwa semakin besar M-ary efisiensi bandwidth semakin besar, akan tetapi mempunyai Es/No yang buruk atau kurang tahan terhadap noise. Dengan melihat penghematan daya pada M-ary pada tabel diatas dihasilkan nilai yang semakin besar, karena itu 4PSK atau 4QAM yang paling baik tahan terhadap noise, dengan efisiensi bandwidth = 1 dan Es/No = 10,3 dB.

Untuk nilai $M > 4$, modulasi M-QAM lebih baik atau lebih tahan terhadap noise dibandingkan M-PSK. Besarnya penghematan daya M-PSK atas M-QAM dapat di lihat dari tabel 3.1 di bawah.

Tabel 4.1. Efisiensi bandwidth dan Nilai Es/No pada $SER = 10^{-3}$.

M-ary	Efficiency Bandwidth $\rho = (\log_2 M)/2$ bit/sec/Hz	Es/No	Penghematan daya MPSK atas MQAM
4PSK	1	10,3 dB	0 dB
4QAM	1	10,3 dB	
8PSK	1,5	15,65 dB	1.45 dB
8QAM	1,5	14,2 dB	
16PSK	2	21,5 dB	3.9 dB
16QAM	2	17,6 dB	
64PSK	3	33,5 dB	9.55 dB
64QAM	3	23,95 dB	

BAB V. KESIMPULAN

1. Semakin tinggi level modulasi M-ary, maka nilai SER yang dihasilkan akan semakin besar atau sistem akan memburuk.
2. Semakin tinggi nilai M-ary maka daya noise yang dibutuhkan sangat kecil untuk membuat suatu kesalahan data.
3. Simbol modulasi 4 (QPSK dan 4-QAM) merupakan teknik modulasi yang paling kebal terhadap derau, akan tetapi memiliki kapasitas data paling sedikit bila dibandingkan symbol modulasi $M = 8$, $M = 16$.
4. Untuk kanal transmisi AWGN, nilai SER sistem OFDM dengan modulasi M-QAM lebih baik dari nilai SER sistem OFDM dengan modulasi M-PSK, khususnya untuk $M > 4$.
5. Semakin tinggi level M-ary, penghematan daya 64-PSK atas 64-QAM mempunyai nilai paling besar yaitu 9,55 dB. Efisiensi bandwidth sebesar 3 bit/sec/Hz

DAFTAR ACUAN

1. Bernad Sklar, Digital Communication, Fundamentals and applications, Second Edition, Prentice Hall PTR, ISBN 0-13-084788-7
2. Fuqin Xiong, DIGITAL MODULATION TECHNIQUES, Artech House, 2000, ISBN 0-89006-979-0
3. Henrik Schulze, Christian Luders, Theory and Applications of OFDM and CDMA, Wideband Wireless Communications, John Wiley & Sons Ltd, 2005
4. Prasad, Ramjee, OFDM for Wireless Communications Systems, Artech House, 2004, ISBN 1-58053-796-0
5. Shinsuke Hara, Ramjee, Prasad, Multicarrier Techniques for 4G Mobile Communications, Artech House, 2003, ISBN 1-58053-482-1
6. Simon Haykin, Digital Communication, John Wiley & Sons Ltd, 3Edition, 1988.
7. Simon Haykin, Digital Communication, John Wiley & Sons Ltd, 4Edition, 2001
8. Kusuma Abdillah, Ir Yoedy Moegiharto, MT.Analisa Kinera Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) Berbasis Perangkat Lunak. (journal Online). (<http://repo.eepis-its.edu/300/1/1161.pdf> , diakses 18 Maret 2011 : 20.00 WIB).
9. Comparing-16psk-vs-16qam-for-symbol-error-rate /2008/03/29/, Article in DSPDesignLine.com. (<http://www.dsplog.com>, diakses 09 Maret 2011: 17.00 WIB).