

**SIMULASI DAN ANALISIS PERBANDINGAN
PERFORMANSI ANTARA TEKNIK MODULASI 16 PSK DAN
TEKNIK MODULASI 16 QAM DENGAN KODE HAMMING**



HAEKAL AUFAR AMRIEL

5215116390

Skripsi ini Ditulis untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan dalam
Memperoleh Gelar Sarjana

PROGRAM STUDI PENDIDIKAN TEKNIK ELEKTRONIKA

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

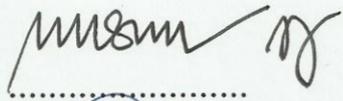
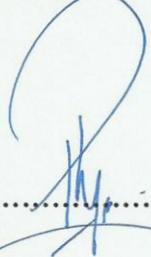
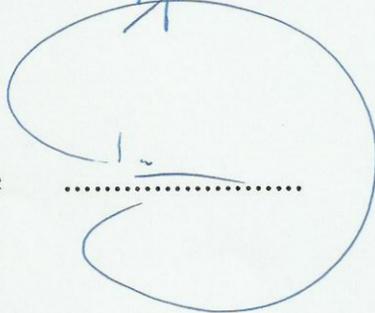
UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA

2014

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

Nama Dosen	Tanda Tangan	Tanggal
<u>Efri Sandi, S.Pd, MT</u> (Dosen Pembimbing I)		10 Februari 2015
<u>Dr. Baso Maruddani, MT</u> (Dosen Pembimbing II)		6 Februari 2015

PENGESAHAN PANITIA UJIAN SIDANG

Nama Dosen	Tanda Tangan	Tanggal
<u>Drs. Wisnu Djatmiko, MT</u> (Ketua Sidang)		5 Februari 2015
<u>Drs. Pitoyo Yuliatmojo, MT</u> (Dosen Penguji)		2 Februari 2015
M. Ficky Duskarnaen, M.Sc (Dosen Ahli)		27 Januari 2015

Tanggal Lulus : 26 Januari 2015

LEMBAR PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa :

1. Karya tulis skripsi saya dengan judul “Simulasi dan Analisis Perbandingan Performansi antara Teknik Modulasi 16 PSK dan Teknik Modulasi 16 QAM dengan Kode Hamming” adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik sarjana, baik di Universitas Negeri Jakarta maupun di perguruan tinggi lain.
2. Karya tulis ini adalah murni gagasan, rumusan dan penelitian saya sendiri dengan arahan dosen pembimbing.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya tulis ini, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di Universitas Negeri Jakarta.

Jakarta, Desember 2014
Yang membuat pernyataan

Haekal Aufar Amriel
NIM : 5215116390

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga skripsi dengan judul “Simulasi dan Analisis Perbandingan Performansi antara Teknik Modulasi 16 PSK dan Teknik Modulasi 16 QAM dengan Kode Hamming” dapat penulis selesaikan. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Pendidikan Teknik Elektronika Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Negeri Jakarta.

Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan, doa dan bimbingan dari berbagai pihak, sangatlah sulit bagi penulis untuk menyusun skripsi ini. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Drs. Wisnu Djatmiko, MT, selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Negeri Jakarta.
2. Drs. Pitoyo Yuliatmojo, MT, selaku Ketua Program Studi Pendidikan Teknik Elektronika dan selaku penasehat akademik selama di Universitas Negeri Jakarta.
3. Efri Sandi, S.Pd, MT, selaku dosen pembimbing I atas segala ketulusan, arahan dan motivasi untuk segera menyelesaikan skripsi.
4. Dr. Baso Maruddani, MT, selaku dosen pembimbing II atas segala kepercayaan, bimbingan dan motivasi untuk segera menyelesaikan skripsi.
5. Kedua orang tua yaitu Maher Amriel dan Shinta Amelia, adik penulis Farkhan Khairullah Amriel serta keluarga besar Amriel dan Soewardi yang selalu mendoakan, memotivasi dan menyayangi penulis.

6. Rekan-rekan seperjuangan selama menempuh kuliah, keluarga besar ERA FM, adik dan kakak di kampus serta teman-teman seangkatan, khususnya keluarga besar KURCACI 2011 yang selalu memberi motivasi dan doa selama menjalani kuliah di Universitas Negeri Jakarta.
7. Sahabat-sahabat penulis baik di dalam kampus maupun di luar kampus yang selalu memotivasi, membantu dan mendoakan penulis dalam kelancaran mengikuti kuliah di Universitas Negeri Jakarta.

Semoga Allah SWT membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu penyusunan skripsi ini dengan balasan yang lebih baik. Penulis juga memohon maaf apabila terdapat kekurangan dan kesalahan, baik dari isi maupun tulisan dalam skripsi ini. Akhir kata, semoga skripsi ini bisa membawa manfaat yang besar bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi.

Jakarta, Desember 2014

Penulis

Haekal AUFAR Amriel

NIM : 5215116390

ABSTRAK

Haekal AUFAR Amriel, Simulasi dan Analisis Perbandingan Performansi antara Teknik Modulasi 16 PSK dan Teknik Modulasi 16 QAM dengan Kode Hamming. Skripsi. Jakarta, Program Studi Pendidikan Teknik Elektronika, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Jakarta, 2014.

Tujuan yang akan dicapai dari penelitian pada pembuatan skripsi adalah penulis mampu merancang simulasi dan melakukan uji analisis performansi antara teknik modulasi 16 PSK dan teknik Modulasi 16 QAM dengan Kode Hamming menggunakan perangkat lunak *Matlab R2014a*. Analisis terhadap simulasi dilakukan dengan membangkitkan grafik nilai BER terhadap nilai SNR pada masing-masing teknik modulasi untuk dianalisis. Grafik nilai BER terhadap nilai SNR yang disimulasikan penulis merupakan nilai rata-rata yang didapatkan berulang melalui metode *monte carlo* sebanyak sepuluh kali.

Berdasarkan dari hasil simulasi yang telah diuji, teknik modulasi 16 QAM dengan kode hamming terbukti memiliki performansi BER terhadap SNR terbaik jika dibandingkan dengan teknik modulasi lainnya yang telah diuji melalui simulasi. Untuk mencapai nilai BER standar maksimum 10^{-6} , teknik modulasi 16 QAM dengan kode hamming memerlukan level nilai SNR minimal 17 dB, untuk teknik modulasi 16 QAM pada kanal AWGN memerlukan level nilai SNR minimal 20 dB, untuk teknik modulasi 16 PSK dengan kode hamming memerlukan level nilai SNR minimal 21 dB, dan teknik modulasi 16 PSK pada kanal AWGN memerlukan level nilai SNR minimal 24 dB. Semakin tinggi nilai SNR, maka performansi suatu teknik modulasi semakin baik, karena kesalahan yang dihasilkan menjadi semakin kecil dan nilai BER yang dihasilkan menjadi semakin rendah.

Kode hamming terbukti membuat performansi BER suatu modulasi menjadi lebih baik pada level nilai SNR yang sama. Selain itu untuk efisiensi daya, jika dilihat pada sisi nilai BER yang sama, kode hamming mampu memberikan efisiensi yang lebih baik dibandingkan teknik modulasi yang tidak menggunakan kode hamming. Namun jika dilihat pada sisi nilai SNR yang sama, kode hamming justru membuat daya pada bit yang dikirimkan menjadi tidak efisien karena membuat kapasitas bit bertambah yang bahkan bisa melebihi kapasitas bit kanal komunikasi tersebut.

Kata Kunci : Modulasi 16 PSK, 16 QAM, Kode Hamming, BER, SNR.

ABSTRACT

Haekal Aufar Amriel, Simulation and Analysis for The Comparison Performance between of 16 PSK Modulation Technique dan 16 QAM Modulation Technique with Hamming Code. Minithesis. Jakarta, Education Program Electronical Engineering, Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, State University of Jakarta, 2014.

The purpose of this minithesis is the writer can design the simulation and do the performance test between 16 PSK Modulation Technique and 16 QAM Modulation Technique with Hamming Code using *Matlab R2014a* Software. The writer did analysis by raising the graphic of BER level versus SNR level on each modulation technique. The graphic of BER level versus SNR level which has been raised by the writer is the average score using *monte carlo* methods about ten times.

Based on the result of simulation, 16 QAM modulation technique with hamming code has the best BER versus SNR level performance which compared with another modulation technique that has been tested towards the simulation before. To reach BER on standart maximum 10^{-6} , 16 QAM modulation technique with hamming code needs SNR level at least 17 dB, for 16 QAM modulation technique over AWGN channel needs SNR level at least 20 dB, for 16 PSK modulation technique with hamming code needs SNR level at least 21 dB and for 16 PSK modulation technique over AWGN channel needs SNR level at least 24 dB. More higher the level of SNR, then performance of the modulation technique will get better, because the errors is being smaller and the BER level which has been result is being lower.

Hamming code has been proven that can makes BER performance of modulation changed to be better on the same level of SNR. Besides that for the power efficiency, if it sees from the same side of BER level, hamming code can give better efficiency than the modulation technique that didn't use hamming code. But if it sees from the same side of SNR level, hamming code makes the power become more inefficient. Because it makes the bit capacity increased and moreover can exceed the bit capacity of that communication channel.

Keywords : Modulation of 16 PSK, 16 QAM, Hamming Code, BER, SNR.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	II
LEMBAR PERNYATAAN	III
KATA PENGANTAR.....	IV
ABSTRAK.....	VI
ABSTRACT	VII
DAFTAR ISI.....	VIII
DAFTAR TABEL	XI
DAFTAR GAMBAR.....	XII
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang Masalah.....	1
1.2. Identifikasi Masalah.....	3
1.3. Pembatasan Masalah.....	4
1.4. Perumusan Masalah	5
1.5. Tujuan Penelitian	6
1.6. Kegunaan Penelitian	7
BAB II KERANGKA TEORITIK, BERPIKIR DAN HIPOTESIS	8
2.1. Kerangka Teoritik.....	8
2.1.1. Sistem Komunikasi Digital	8
2.1.2. Teknik Modulasi Digital	11
2.1.3. <i>Frequency Shit Keying</i> (FSK)	13

2.1.4.	<i>Amplitude Shift Keying (ASK)</i>	14
2.1.5.	<i>Phase Shift Keying (PSK)</i>	14
2.1.6.	<i>Quadrature Amplitude Modulation (QAM)</i>	18
2.1.7.	<i>Additive White Gaussian Noise (AWGN)</i>	21
2.1.8.	<i>Bit Error Rate (BER)</i>	22
2.1.9.	SNR dan Eb/No	23
2.1.10.	Kode Hamming	25
2.2.	Kerangka Berpikir	28
2.3.	Hipotesis Penelitian	31
BAB III METODE PENELITIAN		32
3.1.	Tempat dan Waktu Penelitian	32
3.1.1.	Tempat Penelitian	32
3.1.2.	Waktu Penelitian	32
3.2.	Metode Penelitian	32
3.3.	Rancangan Penelitian.....	34
3.4.	Instrumen Penelitian	38
3.5.	Prosedur Penelitian	39
3.6.	Teknik Analisis Data	41
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....		42
4.1.	Hasil Penelitian	42
4.1.1.	Tampilan Graphical User Interface (GUI) Simulasi Program	42
4.1.2.	Pengujian Performansi Modulasi 16 PSK pada Kanal AWGN	46
4.1.3.	Pengujian Performansi Modulasi 16 QAM pada Kanal AWGN	48

4.1.4. Pengujian Performansi Modulasi 16PSK dengan Hamming	51
4.1.5. Pengujian Performansi Modulasi 16QAM dengan Hamming	54
4.2. Pembahasan	57
BAB V PENUTUP	63
5.1. Kesimpulan.....	63
5.2. Saran	65
DAFTAR PUSTAKA	66
LAMPIRAN	67
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	77

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Jenis Kode Hamming berdasarkan Bit <i>Parity</i>	26
Tabel 4.1. Hasil Pengujian Perbandingan Nilai BER terhadap SNR pada Teknik Modulasi 16 PSK di Kanal AWGN.....	47
Tabel 4.2. Hasil Pengujian Perbandingan Nilai BER terhadap SNR pada Teknik Modulasi 16 QAM di Kanal AWGN.....	50
Tabel 4.3. Hasil Pengujian Perbandingan Nilai BER terhadap SNR pada Teknik Modulasi 16 PSK dengan Kode Hamming	53
Tabel 4.4. Hasil Pengujian Perbandingan Nilai BER terhadap SNR pada Teknik Modulasi 16 QAM dengan Kode Hamming	56

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Sistem Komunikasi Digital secara Umum	9
Gambar 2.2. Proses Modulasi secara Umum	11
Gambar 2.3. Bentuk Sinyal Modulasi FSK.....	13
Gambar 2.4. Bentuk Sinyal Modulasi ASK.....	14
Gambar 2.5. Bentuk Sinyal Modulasi PSK.....	16
Gambar 2.6. Diagram Konstelasi Modulasi 16 PSK	17
Gambar 2.7. Diagram Konstelasi Modulasi 16 QAM	20
Gambar 2.8. Model Kanal AWGN.....	21
Gambar 2.9. Diagram Alir Kerangka Berpikir	30
Gambar 3.1. Digram Alir Program Simulasi.....	35
Gambar 4.1. Tampilan GUI Program Simulasi	42
Gambar 4.2. Tampilan Kotak Dialog Input Program Simulasi	43
Gambar 4.3. Tampilan Kotak Dialog Output Program Simulasi (I).....	44
Gambar 4.4. Tampilan Kotak Dialog Output Program Simulasi (II)	45
Gambar 4.5. Tampilan Grafik Perbandingan Nilai BER terhadap SNR.....	45
Gambar 4.6. Grafik Hasil Pengujian Perbandingan Nilai BER terhadap SNR pada Teknik Modulasi 16 PSK di Kanal AWGN.....	46
Gambar 4.7. Grafik Hasil Pengujian Perbandingan Nilai BER terhadap SNR pada Teknik Modulasi 16 QAM di Kanal AWGN.....	49
Gambar 4.8. Grafik Hasil Pengujian Perbandingan Nilai BER terhadap SNR pada Teknik Modulasi 16 PSK dengan Kode Hamming	52
Gambar 4.9. Grafik Hasil Pengujian Perbandingan Nilai BER terhadap SNR pada Teknik Modulasi 16 QAM dengan Kode Hamming	55

Gambar 4.10. Grafik Gabungan Hasil Pengujian Perbandingan Nilai BER Terhadap SNR yang Telah Disimulasikan.....	57
Gambar 4.11. Gambar Bit Data Saat dikirimkan Awal (kiri) dan Saat Ditambahkan Bit Parity pada Hamming Encoder (kanan).	59
Gambar 4.12. Hasil Simulasi yang Menunjukkan Terjadi Satu Error pada Bit Codeword yang Dikirimkan.....	60
Gambar 4.13. Hasil Simulasi yang Menunjukkan Kode Hamming Memperbaiki Error pada Bit Codeword yang Dikirimkan.....	61
Gambar 4.14. Kelemahan Kode Hamming Tidak Bisa Memperbaiki Bit Codeword Apabila Terjadi Lebih dari Satu Error.....	62

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Seperti yang diketahui komunikasi merupakan suatu hal penting yang dibutuhkan oleh manusia dalam memenuhi kebutuhannya sebagai makhluk sosial. Dan tentunya di era modern seperti saat ini, berkembangnya pengetahuan manusia ternyata ikut mendukung tersedianya berbagai teknologi telekomunikasi yang dapat membantu memenuhi kebutuhan manusia dalam melakukan komunikasi jarak jauh. Salah satu teknologi telekomunikasi tersebut adalah dengan ditemukannya sistem komunikasi digital.

Dalam kehidupan sehari-hari, saat proses komunikasi berlangsung, terkadang informasi yang ingin disampaikan kepada seseorang kemungkinan bisa terjadi suatu kesalahan ataupun ketidaksamaan dengan informasi awal yang sebenarnya ingin disampaikan. Hal itu dapat terjadi karena adanya faktor eksternal seperti adanya pengaruh bising dari lingkungan sekitar. Begitupun halnya yang terjadi dalam komunikasi digital. Kesamaan antara sinyal informasi yang dikirim dari pemancar pun juga memiliki rasio kesalahan bit atau *bit error rate* (BER) saat di terima di sisi penerima. Hal itu terjadi akibat adanya gangguan, baik itu berupa *noise* ataupun *fading* yang terjadi pada suatu sistem komunikasi digital.

Untuk itulah dibutuhkan suatu teknik modulasi sinyal yang tepat agar tingkat kesalahan bit saat sinyal informasi yang dikirim sangat kecil dan sinyal informasi yang diterima penerima pun bisa sama dengan sinyal informasi yang dikirimkan oleh pengirim. Modulasi sinyal sendiri berarti suatu proses

penumpangan sinyal informasi yang akan dikirim dengan gelombang pembawa, sehingga sinyal informasi bisa dikirimkan melalui suatu kanal komunikasi. Berdasarkan jenis sinyal informasi yang akan dikirimkannya, modulasi sinyal ini pun terbagi menjadi dua jenis, yaitu teknik modulasi analog dan teknik modulasi digital.

Untuk teknik modulasi digital terbagi lagi menjadi beberapa jenis, yaitu *Amplitude Shift Keying* (ASK), *Frequency Shift Keying* (FSK), *Phase Shift Keying* (PSK) dan teknik modulasi gabungan seperti teknik modulasi *Quadrature Amplitude Modulation* (QAM). Dan tentunya masing-masing teknik modulasi tersebut juga memiliki karakteristik serta keunggulan yang berbeda satu sama lain. Berdasarkan itulah kemudian penulis tertarik untuk membuat suatu analisis dan simulasi dari perbandingan performansi antara suatu teknik modulasi dengan teknik modulasi lain. Dan teknik modulasi yang akan diteliti disini adalah teknik modulasi digital 16 PSK dan teknik modulasi 16 QAM dengan kode hamming.

Kedua teknik modulasi tersebut dipilih karena keduanya merupakan jenis teknik modulasi digital yang sering digunakan pada berbagai teknologi komunikasi data saat ini. Selain itu untuk membantu melakukan koreksi kesalahan data pada teknik modulasi digital tersebut, maka digunakan salah satu teknik pengkodean yang paling umum digunakan yaitu teknik pengkodean menggunakan hamming. Dengan bantuan teknik kode hamming, data menjadi lebih terlindungi oleh sistem *forward error control* yang mampu meminimalisir terjadinya kesalahan pada data yang dikirimkan.

Keseluruhan sistem yang berlangsung dalam komunikasi digital ini bisa dibilang kompleks dan sulit untuk dievaluasi secara analitik maupun dimodelkan

dalam bentuk fisik. Hal itulah yang menjadi alasan dasar mengapa penulis akhirnya memilih untuk melakukan penelitian menggunakan simulasi. Simulasi yang hendak penulis buat ini menggunakan perangkat lunak *Matlab R2014a* sebagai piranti dalam menyimulasikan performansi antara kedua teknik modulasi tersebut.

Untuk mendapatkan hasil analisis yang maksimal, analisis terhadap simulasi harus dilakukan dengan tahapan yang benar. Pertama-tama penulis akan membangkitkan grafik nilai BER terhadap nilai *signal to noise ratio* (SNR) pada masing-masing teknik modulasi untuk dianalisis. Grafik nilai BER terhadap nilai SNR yang dibangkitkan penulis merupakan nilai rata-rata yang didapatkan berulang melalui teknik *monte carlo* sebanyak 10 kali. Kemudian barulah grafik-grafik yang telah didapat pada masing-masing teknik modulasi akan dibandingkan dalam satu grafik untuk dianalisis performansinya lebih mendalam.

Dengan dibuatnya simulasi ini, penulis mengharapkan bisa menentukan performansi teknik modulasi mana yang lebih baik digunakan dari sisi perbandingan BER terhadap SNR yang dihasilkan oleh masing-masing teknik modulasi tersebut.

1.2. Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah dijelaskan sebelumnya, maka dapat diidentifikasi masalah sebagai berikut:

1. Merancang sistem komunikasi data yang menggunakan teknik modulasi 16 PSK dan teknik modulasi 16 QAM untuk mengirimkan suatu sinyal informasi.

2. Menentukan faktor-faktor yang digunakan untuk mengukur performansi suatu teknik modulasi.
3. Membuat program simulasi yang mampu menguji nilai BER terhadap nilai SNR antara teknik modulasi 16 PSK dan teknik modulasi 16 QAM dengan kode hamming.
4. Menganalisis pengaruh nilai SNR terhadap kualitas nilai BER pada teknik modulasi 16 PSK teknik modulasi 16 QAM.
5. Menganalisis pengaruh level nilai M -Ary pada performansi teknik modulasi 16 PSK teknik modulasi 16 QAM.
6. Menganalisis pengaruh penggunaan kode hamming pada performansi BER terhadap SNR pada teknik modulasi 16 PSK dan teknik modulasi 16 QAM.
7. Menganalisis pengaruh penggunaan kode hamming dari sisi efisiensi daya pada teknik modulasi 16 PSK dan teknik modulasi 16 QAM yang berada pada level nilai SNR dan BER yang sama.

1.3. Pembatasan Masalah

Berdasarkan latar belakang dan identifikasi masalah yang telah diuraikan, maka penulis perlu membatasi permasalahan agar tidak meluas dan tetap terarah sesuai dengan judul yang telah penulis buat. Batasan masalah tersebut diuraikan sebagai berikut:

1. Perbandingan performansi antara teknik modulasi 16 PSK dan 16 QAM dengan kode hamming dianalisis dengan terlebih dahulu membuat

program simulasi perbandingan nilai BER terhadap SNR pada perangkat lunak *Matlab R2014a*.

2. Data masukan yang merupakan bit-bit sinyal informasi dibangkitkan secara acak menggunakan program simulasi.
3. Parameter nilai SNR yang digunakan akan disesuaikan untuk mendapatkan kualitas nilai BER yang baik.
4. Pentransmisian sinyal modulasi pada kanal AWGN (*Addictive White Gaussian Noise*).
5. Teknik pengkodean yang digunakan adalah kode hamming (7,4), dimana terdapat penambahan 3 bit *parity* pada setiap 4 bit *stream* hingga menjadi 7 bit *codeword*.
6. Masing-masing nilai BER yang didapat merupakan hasil rata-rata simulasi yang dilakukan menggunakan metode *monte carlo* sebanyak 10 kali untuk setiap SNR yang dibandingkan.

1.4. Perumusan Masalah

Berdasarkan identifikasi masalah dan pembatasan masalah yang telah dikemukakan sebelumnya, maka dapat dirumuskan masalah yang akan diteliti dalam penelitian ini, yaitu bagaimana membuat simulasi dan melakukan analisis terhadap pengujian performansi antara teknik modulasi 16 PSK dan teknik modulasi 16 QAM dengan kode hamming untuk mencapai nilai BER maksimum pada komunikasi data?

1.5. Tujuan Penelitian

Sesuai dengan masalah yang telah dirumuskan dan diidentifikasi, maka tujuan penelitian dari pembuatan skripsi ini adalah:

1. Penulis mampu merancang sistem komunikasi data yang menggunakan teknik modulasi 16 PSK dan teknik modulasi 16 QAM untuk mengirimkan suatu sinyal informasi
2. Penulis mampu menentukan faktor-faktor yang digunakan untuk mengukur performansi suatu teknik modulasi
3. Penulis mampu membuat program simulasi yang dapat menguji nilai BER terhadap SNR pada teknik modulasi 16 PSK dan teknik modulasi 16 QAM dengan kode hamming.
4. Penulis mengetahui pengaruh nilai SNR terhadap kualitas nilai BER pada teknik modulasi 16 PSK teknik modulasi 16 QAM.
5. Penulis mengetahui pengaruh level nilai M -Ary pada performansi teknik modulasi 16 PSK teknik modulasi 16 QAM.
6. Penulis mengetahui pengaruh penggunaan kode hamming pada performansi BER terhadap SNR pada teknik modulasi 16 PSK dan teknik modulasi 16 QAM.
7. Penulis mengetahui pengaruh penggunaan kode hamming dari sisi efisiensi daya pada teknik modulasi 16 PSK dan teknik modulasi 16 QAM yang berada pada level nilai SNR dan BER yang sama.

1.6. Kegunaan Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat baik dari segi keilmuan dan dari segi masyarakat :

1. Dari segi keilmuan untuk mengaplikasikan ilmu Elektronika dan ilmu Telekomunikasi yang telah dipelajari di Universitas Negeri Jakarta sebagai media yang baik.
2. Dari segi masyarakat atau mahasiswa Universitas Negeri Jakarta adalah memudahkan dalam memilih teknik modulasi yang lebih tepat digunakan dari hasil perbandingan performansi antara teknik modulasi 16 PSK dan 16 QAM dengan kode hamming pada perangkat-perangkat teknologi telekomunikasi saat ini.

BAB II

KERANGKA TEORITIK, KERANGKA BERPIKIR DAN HIPOTESIS PENELITIAN

2.1. Kerangka Teoritik

2.1.1. Sistem Komunikasi Digital

Dalam sistem telekomunikasi terdapat dua jenis sistem komunikasi yaitu sistem komunikasi analog dan sistem komunikasi digital. Perbedaan keduanya adalah pada sinyal yang digunakan untuk melakukan komunikasi. Pada sistem komunikasi analog, sinyal yang dikirimkan berubah secara kontinyu dan tidak memiliki bentuk tetap, sedangkan pada sistem komunikasi digital, sinyal yang dikirimkan memiliki bentuk *discrete* yang tetap karena hanya mempresentasikan dua kondisi yaitu “0” dan “1” (bilangan biner). Jadi pada sistem komunikasi digital, apabila sinyal yang dikirimkan berupa sinyal analog, maka sinyal analog tersebut harus dikonversi menjadi sinyal digital terlebih dahulu.¹

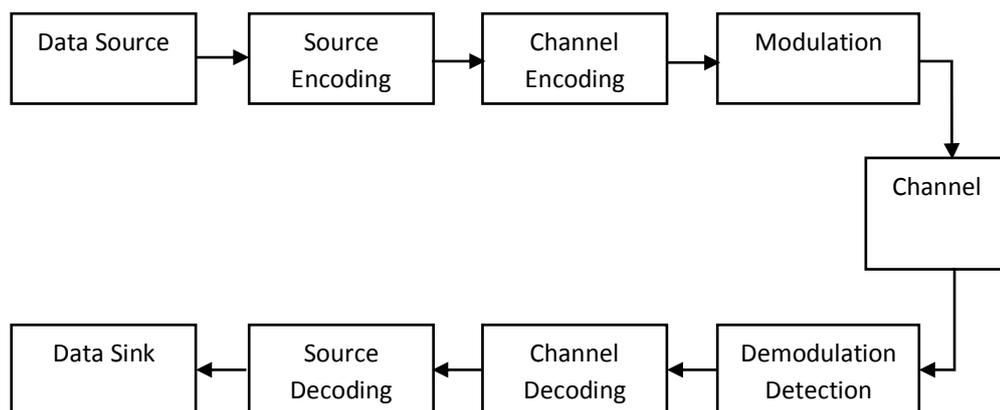
Pada kehidupan sehari-hari, meskipun sistem komunikasi analog masih digunakan, akan tetapi perkembangan dan penggunaan sistem komunikasi digital ternyata lebih banyak bila dibandingkan sistem komunikasi analog. Hal ini karena sistem komunikasi digital mempunyai beberapa kelebihan apabila dibandingkan dengan sistem komunikasi analog, yaitu:

1. Bentuk sinyal digital yang *discrete* membuat sinyal digital menjadi lebih mudah untuk diregenerasi menjadi bentuk awalnya dibandingkan dengan sinyal analog.

¹ Irsan, *Simulasi Pengkodean Hamming Untuk Menghitung Bit Error Rate*, Medan, 2009, hlm. 14.

2. Sistem komunikasi digital memiliki tingkat distorsi dan interferensi yang lebih rendah, sehingga daya tahan terhadap *noise* pun menjadi lebih tinggi.
3. Sistem komunikasi digital memiliki teknik deteksi kesalahan dan koreksi, sehingga dapat mengurangi tingkat kesalahan pada sinyal informasi.
4. Perangkat dari sistem komunikasi digital lebih mudah untuk dikombinasikan dengan perangkat lain.
5. Biaya produksi dari rangkaian sistem komunikasi digital lebih rendah bila dibandingkan dengan rangkaian sistem komunikasi analog.

Untuk mengetahui bagaimana sistem proses komunikasi digital berlangsung, dapat dilihat pada gambar blok diagram berikut² :



Gambar 2.1. Sistem Komunikasi Digital secara Umum

Pada gambar 2.1. ditunjukkan elemen-elemen dasar dari sistem komunikasi digital. Blok yang pertama menunjukkan input dari sistem komunikasi digital yang dapat berupa sinyal analog maupun sinyal digital, sehingga apabila sinyal informasi awal merupakan sinyal analog maka sinyal tersebut harus dikonversi menjadi sinyal digital terlebih dahulu. Selain itu sinyal digital juga perlu dikompresi ukuran informasinya agar dapat disesuaikan dengan

² Irsan, *Simulasi Pengkodean Hamming Untuk Menghitung Bit Error Rate*, Medan, 2009, hlm. 15.

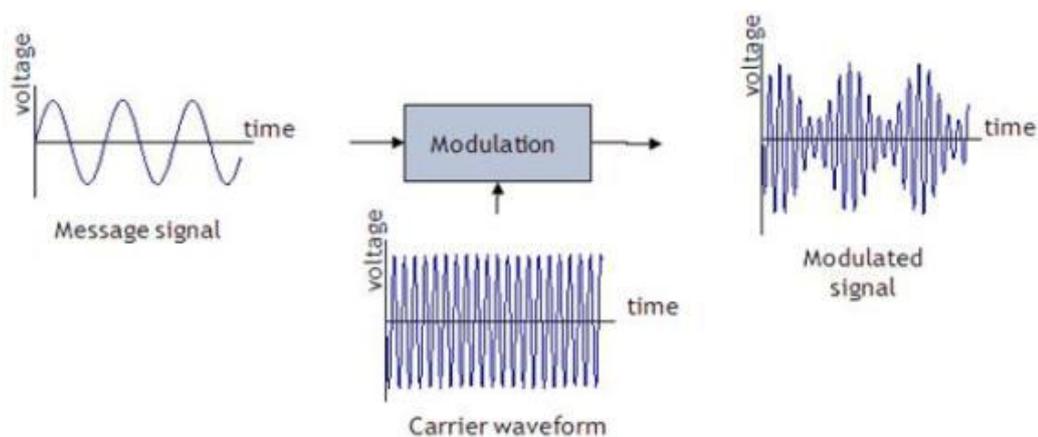
lebar bandwidth transmisi yang tersedia. Proses konversi dan kompresi inilah yang disebut juga sebagai *source encoding*, yang ditunjukkan pada blok diagram kedua pada gambar 2.1.

Setelah proses pada blok kedua selesai, maka akan dihasilkan deretan digit biner yang biasa disebut juga sebagai deretan informasi. Deretan informasi inilah yang kemudian akan dimasukkan ke blok ketiga yaitu *channel encoding*, yang berfungsi untuk mengodekan sinyal agar pada sisi penerima dapat dilakukan *decode* untuk mendeteksi dan memperbaiki *error* yang timbul. Setelah itu sinyal yang telah dikodekan kemudian akan dimodulasi pada blok keempat dengan menggunakan *digital modulator*. Tujuan dari proses modulasi ini adalah supaya sinyal dapat ditumpangkan pada sinyal pembawa sesuai dengan kondisi dari kanal transmisi yang digunakan.

Pada kanal transmisi yang ditunjukkan pada blok kelima, sinyal yang dikirimkan akan dipengaruhi oleh *noise* ataupun *interferensi* yang tentunya dapat mengganggu proses pengiriman sinyal ini. Kemudian pada sisi pengirim, sinyal tersebut akan didemodulasikan dengan *digital demodulator*, seperti yang ditunjukkan pada blok keenam. Setelah didemodulasikan, kemudian sinyal didekodekan sesuai dengan teknik kode yang digunakan pada *channel encoder* di sisi pengirim untuk diperiksa dan dikoreksi *error*-nya. Dan terakhir sinyal akan dikembalikan ke bentuk awal kembali dengan *source decoder* sesuai dengan teknik yang digunakan pada *source encoder* pada sisi pengirim untuk memperoleh sinyal informasi yang sesuai dengan sinyal informasi awal yang dikirimkan.

2.1.2. Teknik Modulasi Digital

Modulasi adalah suatu proses penggabungan sinyal informasi yang akan dikirim dengan gelombang pembawa atau *carrier* yang memiliki frekuensi lebih tinggi, sehingga sinyal yang ingin dikirim bisa dikirimkan melalui suatu kanal komunikasi.³ Gelombang pembawa yang digunakan untuk modulasi ini berbentuk gelombang sinus. Terdapat tiga parameter kunci pada suatu gelombang pembawa yaitu amplitudo, fasa dan juga frekuensi. Ketiga parameter tersebut dapat dimodifikasi sesuai dengan sinyal informasi yang berfrekuensi lebih rendah untuk membentuk sinyal yang termodulasi. Secara umum proses modulasi dapat dilihat pada gambar 2.2. berikut:



Gambar 2.2. Proses Modulasi secara Umum

Untuk melakukan suatu modulasi sinyal pada *transmitter* dibutuhkan suatu peralatan yang dinamakan dengan modulator, sedangkan untuk memperoleh kembali sinyal informasi awal yang telah dimodulasi pada *receiver* digunakan suatu peralatan yang dinamakan dengan demodulator. Kedua peralatan tersebut prosesnya dilaksanakan dalam suatu alat yang disebut dengan modem.

³ Joko Prianto, *Analisis Performansi Modulasi QPSK dan 16 QAM Terhadap Efisiensi Transponder pada Satelit Telkom I*, Depok, 2010, hlm. 27.

Terdapat beberapa manfaat dari teknik modulasi sinyal, yaitu:

1. Memudahkan pergeseran spektrum frekuensi sinyal dari domain frekuensi rendah ke radio frekuensi (RF) untuk dapat dipancarkan (apabila kanal komunikasi berupa sistem radio).
2. Untuk *multiplexing*, yaitu mentranslasikan sinyal ke spektrum frekuensi atau *time slot* yang berbeda-beda untuk memungkinkan beberapa sinyal ditransmisikan melalui kanal yang sama.
3. Untuk mengatasi keterbatasan perangkat keras.
4. Untuk menentukan frekuensi kerja dari pemancar seperti radio, televisi, dan lain sebagainya.
5. Untuk mengurangi *noise* dan interferensi.

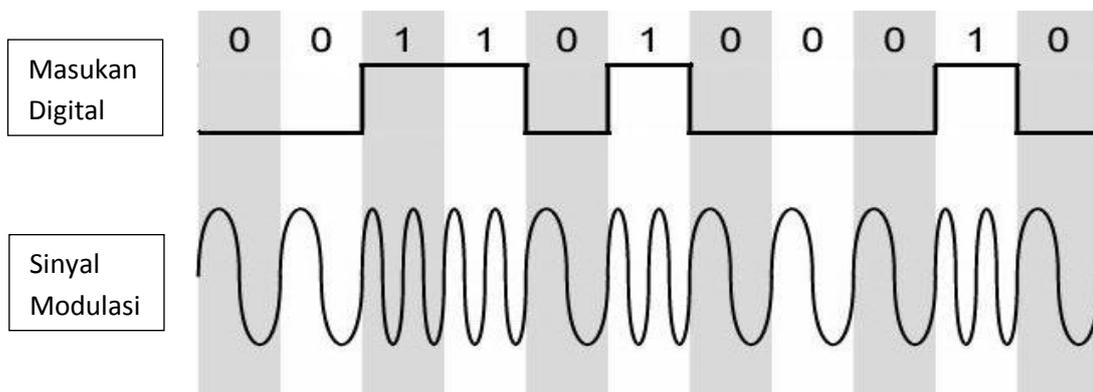
Sama halnya dengan sistem komunikasi yang terbagi menjadi dua, teknik modulasi pun juga terbagi menjadi dua bagian yaitu teknik modulasi digital dan teknik modulasi analog. Teknik modulasi tersebut dibedakan sesuai dengan jenis perubahan karakteristik sinyal yang akan dikirimkan. Apabila sinyal yang dikirimkan akan dimodifikasi dalam bentuk perubahan sinyal analog maka teknik modulasi tersebut dinamakan teknik modulasi analog, sedangkan apabila sinyal yang dikirimkan akan dimodifikasi dalam bentuk perubahan sinyal digital maka teknik modulasi tersebut dinamakan teknik modulasi digital. Jadi yang dimaksud dengan teknik modulasi digital sebenarnya adalah proses mengubah-ubah karakteristik suatu sinyal pembawa yang akan dikirimkan menjadi sedemikian rupa sehingga bentuk hasilnya memiliki ciri dari bentuk bit-bit bilangan biner.⁴

⁴ Joko Prianto, *Analisis Performansi Modulasi QPSK dan 16 QAM Terhadap Efisiensi Transponder pada Satelit Telkom I*, Depok, 2010, hlm. 29.

Secara umum berdasarkan parameter-parameter yang dapat diubah-ubah pada sinyal *carrier*, teknik modulasi digital dibagi menjadi beberapa jenis, yaitu *Frequency Shift Keying* (FSK), *Phase Shift Keying* (PSK) dan *Amplitude Shift Keying* (ASK). Selain ketiga teknik dasar tersebut terdapat pula teknik modulasi gabungan, seperti teknik modulasi *Quadrature Amplitude Modulation* (QAM).

2.1.3. *Frequency Shift Keying* (FSK)

Frequency Shift Keying (FSK) yaitu pengiriman sinyal melalui pergeseran frekuensi. Metode ini merupakan suatu teknik modulasi yang memungkinkan gelombang modulasi menggeser frekuensi *output* gelombang pembawa. Frekuensi sinyal pembawa yang digeser tergantung pada bit informasi yang dikirimkan. Aplikasi dari teknik modulasi ini digunakan pada *control message* pada telepon seluler generasi pertama AMPS (*Advance Mobile Phone Service*). Adapun bentuk modulasi FSK dapat dilihat pada gambar 2.3. berikut ini: ⁵



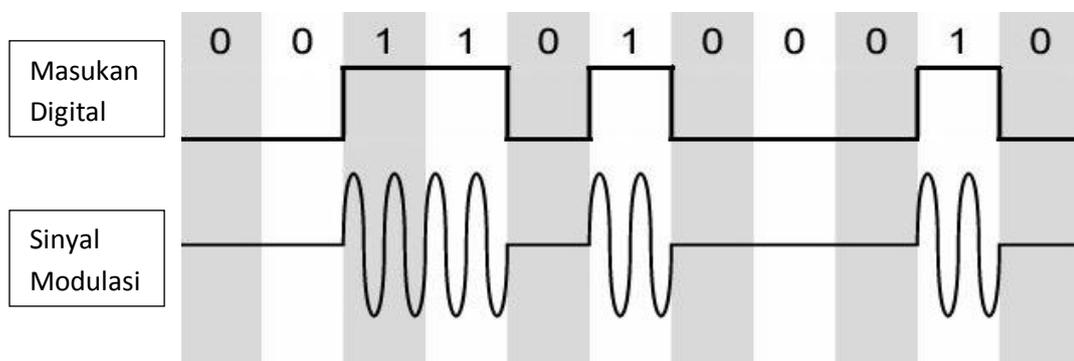
Gambar 2.3. Bentuk Sinyal Modulasi FSK

⁵ Joko Prianto, *Analisis Performansi Modulasi QPSK dan 16 QAM Terhadap Efisiensi Transponder pada Satelit Telkom I*, Depok, 2010, hlm. 30.

2.1.4. *Amplitude Shift Keying (ASK)*

Amplitude Shift Keying (ASK) adalah pengiriman sinyal berdasarkan pergeseran amplitudo. Metode ini merupakan suatu teknik modulasi yang mengubah-ubah amplitudo. Dalam proses modulasi ini kemunculan amplitudo gelombang pembawa tergantung pada ada atau tidak adanya sinyal informasi digital. Keuntungan yang diperoleh dari metode ini adalah bit per baud (kecepatan digital) lebih besar.

Sedangkan kesulitannya adalah dalam menentukan level acuan yang dimilikinya, yakni setiap sinyal yang diteruskan melalui saluran transmisi jarak jauh selalu dipengaruhi oleh redaman dan distorsi lainnya. Oleh sebab itu metode ASK hanya menguntungkan bila dipakai untuk hubungan jarak dekat saja. Adapun bentuk modulasi ASK dapat dilihat pada gambar 2.4. berikut ini: ⁶



Gambar 2.4. Bentuk Sinyal Modulasi ASK

2.1.5. *Phase Shift Keying (PSK)*

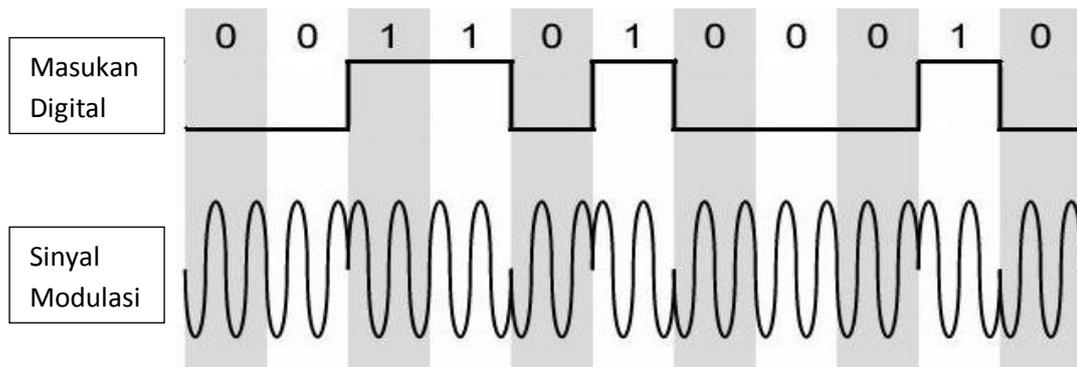
Phase Shift Keying (PSK) adalah salah satu sistem modulasi digital yang mempunyai frekuensi dan amplitudo yang sama tetapi memiliki sudut fasa yang

⁶ Joko Prianto, *Analisis Performansi Modulasi QPSK dan 16 QAM Terhadap Efisiensi Transponder pada Satelit Telkom I*, Depok, 2010, hlm. 31.

berbeda-beda. Dengan kata lain, modulasi PSK akan mengirimkan suatu sinyal informasi berdasarkan pergeseran fasa. Metode ini merupakan suatu teknik modulasi yang memungkinkan fungsi pemodulasi menggeser fasa gelombang termodulasi. Dalam proses modulasi ini tiap bit akan membentuk simbol yang diwakili oleh fasa gelombang yang berbeda satu dengan lainnya.

Sudut fasa harus mempunyai acuan kepada pemancar dan penerima guna memudahkan untuk memperoleh stabilitas. Dalam keadaan seperti ini, fasa yang ada dapat dideteksi apabila fasa sebelumnya telah diketahui. Hasil dari perbandingan inilah yang dipakai sebagai patokan untuk melakukan pergeseran fasa.

Pada modulasi PSK, sinyal pemodulasi yang berupa sinyal digital digunakan untuk memodulasi fasa sinyal pembawa sinusoidal. Pada kondisi ideal, jika sinyal informasi mempunyai logika “1” maka sistem akan mentransmisikan sinyal pembawa dengan suatu fasa tertentu misalnya fasa 0° . Sedangkan jika sinyal informasi mempunyai logika “0” maka sistem akan mentransmisikan sinyal pembawa dengan suatu fase yang lain, misalnya fase 180° . Dengan demikian, maka sinyal PSK yang ditransmisikan adalah sinyal sinusoidal dengan amplitudo konstan dengan fasa yang sesuai dengan arus data pada sinyal informasi. Jenis modulasi PSK seperti ini disebut sebagai *Binary Phase Shift Keying* (BPSK). Aplikasi teknik modulasi ini digunakan pada jaringan mobile seluler TDMA, GSM, dan lain sebagainya. Adapun bentuk modulasi PSK dapat dilihat pada gambar 2.5. berikut ini:



Gambar 2.5. Bentuk Sinyal Modulasi PSK

Dan berikut rumus yang digunakan dalam teknik modulasi PSK secara umum: ⁷

$$\begin{aligned}
 s_i(t) &= \Re\{Ag(t)e^{j2\pi(i-1)/M}e^{j2\pi f_c t}\}, \quad 0 \leq t \leq T_s \\
 &= Ag(t) \cos \left[2\pi f_c t + \frac{2\pi(i-1)}{M} \right] \\
 &= Ag(t) \cos \left[\frac{2\pi(i-1)}{M} \right] \cos 2\pi f_c t - Ag(t) \sin \left[\frac{2\pi(i-1)}{M} \right] \sin 2\pi f_c t.
 \end{aligned}$$

dimana $M = \text{level } M\text{-Ary}$ (Pers 2.1)

Pada perkembangannya teknik modulasi PSK berkembang menjadi beberapa jenis berdasarkan jumlah fasa yang akan dimodulasi atau dikenal dengan sebutan teknik modulasi $M\text{-ary}$ PSK. Teknik modulasi $M\text{-ary}$ PSK bertujuan untuk mempercepat atau memperbanyak data yang akan ditransmisikan sehingga sinyal informasi akan lebih cepat diterima.

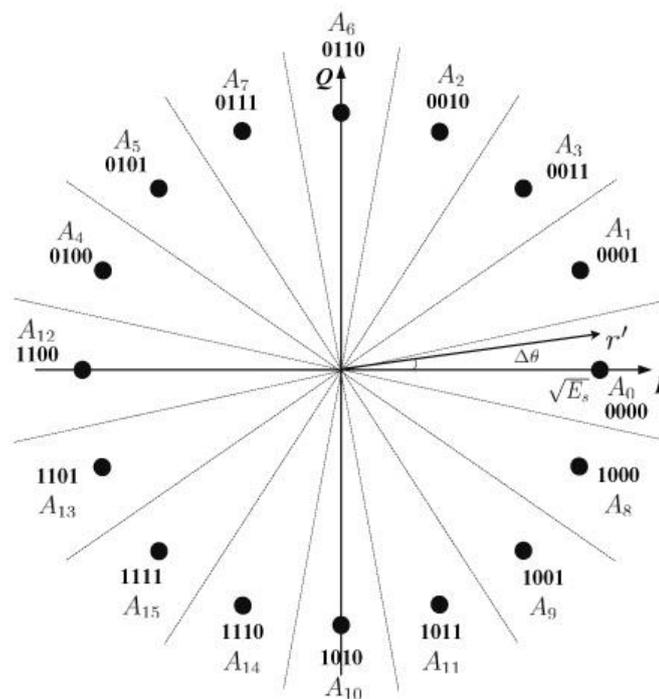
Salah satu contoh dari teknik modulasi $M\text{-ary}$ PSK adalah teknik modulasi 16 PSK. Pada teknik modulasi ini terdapat 16 fasa keluaran yang berbeda, dimana setiap fasa akan merepresentasikan empat bit dari sinyal masukan (4 bit/Hz). Setiap kali level atau tingkat $M\text{-ary}$ PSK meningkat maka lebar efisiensi bandwidth secara teoritis juga akan meningkat.

⁷ Andrea Goldsmith, *Wireless Communication*, 2004, hlm. 143.

Secara umum masing-masing M -ary PSK dapat dilihat perubahan fasanya dengan mengetahui jarak atau beda antar fasanya dengan rumus $360^\circ/M$. Sehingga beda fasa antar sandi untuk 16 PSK adalah $360^\circ/16$ atau $22,5^\circ$. Dan berikut rumus yang digunakan dalam teknik modulasi sinyal 16 PSK:

$$S_i(t) = A_c \cos[2\pi f_c t + 22,5^\circ] \quad (\text{Pers 2.2})$$

Dan untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar diagram konstelasi 2.6 berikut:



Gambar 2.6. Diagram Konstelasi Modulasi 16 PSK

Diagram konstelasi adalah sebuah diagram dua dimensi yang merepresentasikan pola modulasi digital pada bidang kompleks dan titik-titik pada diagram diurutkan berdasarkan aturan kode gray. Kode Gray adalah pengurutan nilai biner dimana kedua nilai yang berdekatan hanya mempunyai perbedaan satu digit. Penggunaan kode gray akan membantu mengurangi bit *error* yang terjadi.

Jumlah titik-titik pada diagram konstelasi adalah hasil pemangkatan dari 2^n . Karena pada teknik modulasi 16 PSK terdapat 4 bit untuk setiap fasanya, maka jumlah titik pada diagram konstelasinya adalah 16 titik. 16 titik tersebut akan menunjukkan posisi fasa yang berbeda-beda dalam bidang 360° .

2.1.6. *Quadrature Amplitude Modulation (QAM)*

Quadrature Amplitude Modulation (QAM) adalah teknik modulasi digital yang merupakan gabungan antara teknik modulasi fasa dan teknik modulasi amplitudo. Jadi beberapa bit ada yang dibawa oleh sinyal *carrier* dalam bentuk perubahan fasa dan beberapa bit lainnya dalam bentuk perubahan amplitudo. QAM merupakan salah satu teknik modulasi digital multisisbol. Pada QAM, setiap simbol yang dikirimkan melambangkan beberapa bit sekaligus. Oleh karena itu, QAM dapat digunakan untuk mendapatkan *data rate* yang tinggi pada *bandwidth* yang terbatas.

Dengan menggunakan teknik ini aliran data yang akan ditransmisikan dibagi menjadi sekumpulan bit tergantung dari orde QAM, kemudian kumpulan bit tersebut ditumpangkan ke dua sinyal pembawa yang mempunyai frekuensi yang sama namun mempunyai beda fase antara keduanya sebesar 90° .⁸

Sinyal informasi yang telah dibagi dua dan saling berbeda fasa 90° melalui proses modulasi QAM, diibaratkan sebagai komponen I dan Q. Komponen I adalah komponen *in-phase* yang merupakan bagian riil dari sinyal modulasi QAM dan komponen Q adalah komponen *quadrature* yang merupakan bagian imajiner

⁸ Akhmad Andito Negoro, *Rancang Bangun Demodulator 16-QAM dengan Menggunakan DSK TMS320C6713 Berbasis Matlab Simulink*, Depok, 2008, hlm. 4.

dari sinyal modulasi. Kata *quadrature* sendiri muncul karena sinyal tersebut berbeda fasa sebesar 90° . Untuk lebih jelasnya bagaimana proses modulasi QAM berlangsung, berikut persamaan yang digunakan pada modulasi QAM secara umum:

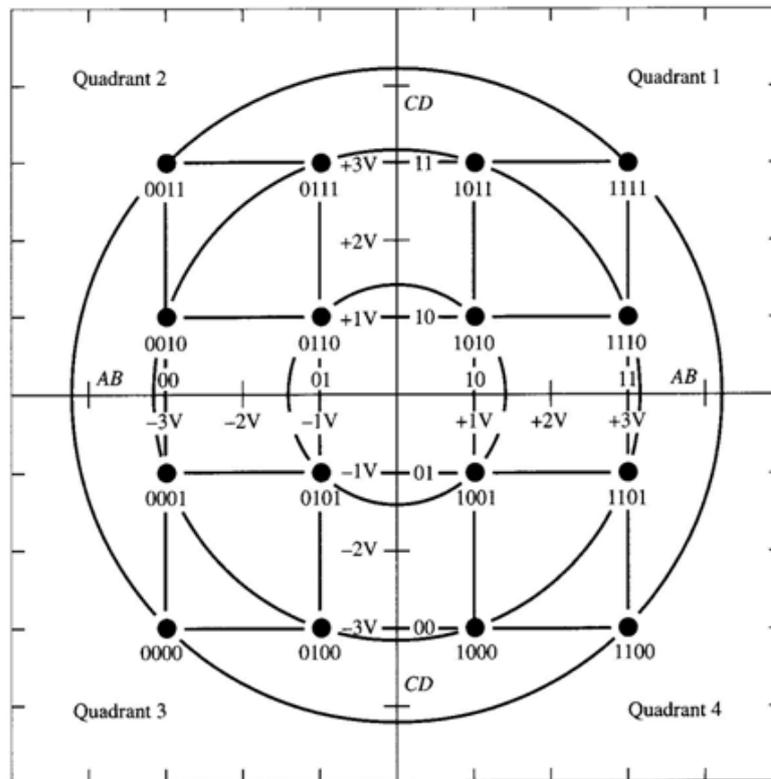
$$S_i(t) = I(t) \cos(\omega_c t) + Q(t) \sin(\omega_c t) \quad (\text{Pers 2.3})$$

dimana $I(t)$ dan $Q(t)$ adalah sinyal yang akan dimodulasi.

Dari persamaan tersebut, dapat dilihat bahwa sinyal QAM dapat dibentuk dengan menjumlahkan sebuah sinyal cosinus dengan amplitudo $I(t)$ dan sebuah sinyal sinus dengan amplitudo $Q(t)$. Hal ini sama dengan menjumlahkan sebuah sinyal *Amplitude Modulation* (AM) yang menggunakan *carrier* kosinus dengan sebuah sinyal AM yang menggunakan *carrier* sinus.

Terdapat beberapa jenis modulasi QAM, salah satunya adalah teknik modulasi 16 QAM. Pada teknik modulasi 16 QAM terdapat aliran bit data yang dikelompokkan menjadi kelompok-kelompok yang terdiri dari 4 bit untuk satu simbol sehingga terdapat 2^4 atau 16 kombinasi sinyal modulasi. Setelah itu data yang telah dibagi dipetakan menurut diagram konstelasi dengan menggunakan *mapper*. Keluaran dari *mapper* adalah komponen inphase dan quadrature untuk simbol yang ditentukan oleh data yang telah dikelompokkan.

Dengan menggunakan orde yang lebih tinggi maka kemungkinan untuk mentransmisikan menjadi lebih banyak bit per simbol. Namun, jika rata-rata energi dari konstelasi tetap bernilai sama, maka jarak titik akan semakin berdekatan dan akan menyebabkan mudah terjadi *noise* dan perubahan lainnya sehingga menghasilkan BER yang lebih tinggi. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar diagram konstelasi QAM berikut:



Gambar 2.7. Diagram Konstelasi Modulasi 16 QAM

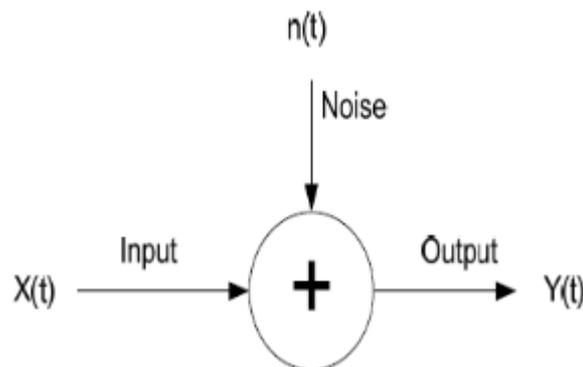
Dari gambar diagram konstelasi untuk modulasi 16 QAM dapat dilihat bahwa terdapat 16 buah titik yang berarti terdapat 16 simbol yang digunakan pada proses modulasi ini. Sumbu horizontal pada gambar merupakan sumbu yang mewakili nilai $\cos(\omega_c t)$ sebagai sumbu I atau *in-phase*, sedangkan sumbu vertikal pada gambar adalah sumbu yang mewakili $\sin(\omega_c t)$ sebagai sumbu Q atau *quadrature*. Selain itu dapat dilihat pula bahwa pergeseran fasa antara bit yang satu dengan yang lain adalah $22,5^\circ$.⁹

⁹ Rundu Adi Wahyudi, *Rancang Bangun Modulator 16-QAM pada DSK TMS 320C6713 dengan Menggunakan Simulink*, Depok, 2008, hlm. 6.

2.1.7. Additive White Gaussian Noise (AWGN)

Dalam sistem komunikasi digital, sistem pentransmisian sinyal membutuhkan suatu media atau kanal untuk menyampaikan informasi dari sisi pengirim ke sisi penerima. Dan diantaranya adalah suatu kanal yang disebut dengan kanal *Additive White Gaussian Noise* (AWGN). Kanal AWGN merupakan kanal yang ideal karena memiliki *bandwidth* tidak terbatas dan mampu merespon terhadap semua jenis frekuensi yang tidak mempengaruhi bentuk asli dari sinyal yang sedang dikirim. Sifatnya yang ideal tersebut ternyata juga memiliki gangguan yang disebut sebagai *noise* AWGN.¹⁰

Noise AWGN termasuk kedalam jenis *white noise*, karena *noise* ini terjadi dari alam bukan karena adanya faktor kesengajaan dari manusia. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 2.8. berikut:



Gambar 2.8. Model Kanal AWGN

Dari model kanal AWGN tersebut terlihat bahwa *noise* AWGN merupakan gangguan yang bersifat *additive* atau tambahan terhadap sinyal transmisi keluaran. Jadi sinyal transmisi keluaran merupakan hasil dari sinyal transmisi masukan

¹⁰ Wahyu Pamungkas, Anggun Fitriani Isnawati, Adi Kurniawan, *Modulasi Digital menggunakan Matlab*, Purwokerto, 2008, hlm. 6.

ditambah dengan *noise* AWGN. Atau secara matematis dapat dirumuskan dengan persamaan:

$$Y(t) = X(t) + n(t) \quad (\text{Pers 2.4})$$

Selain bersifat *additive*, *noise* AWGN juga memiliki ciri dengan pola kemunculannya yang terdistribusi secara *Gaussian* dengan nilai rata-rata adalah nol dan memiliki variansi yang tergantung dengan rapat daya yang berasal dari *noise* itu sendiri.

2.1.8. Bit Error Rate (BER)

Dalam sistem komunikasi digital sinyal informasi yang diterima di sisi penerima bisa terjadi kesalahan bit atau *bit error* dengan sinyal informasi awal yang dikirimkan dari sisi pemancar. Hal itu tentu dapat membuat kualitas sinyal yang diterima berbeda dengan sinyal awal yang dikirimkan oleh pemancar.

Maka dari itu untuk mengukur performansi suatu modulasi sinyal digital salah satunya dapat dilihat dari hasil perumusan rasio kesalahan bit atau *bit error rate* (BER) yang terjadi pada saat pentransmisian informasi dari sisi pengirim ke sisi penerima. *Bit error rate* merupakan suatu ukuran untuk mengukur performansi suatu modulasi sinyal yang dapat diukur dengan cara membandingkan jumlah data *error* dengan jumlah keseluruhan data yang diterima dalam suatu proses komunikasi.¹¹

Persamaan umum dari fungsi BER dapat dituliskan seperti pada persamaan berikut:

$$BER = \frac{\text{Jumlah bit error}}{\text{Jumlah total bit diterima}} \quad (\text{Pers. 2.5})$$

¹¹ Andrea Goldsmith, *Wireless Communication*, 2004, hlm. 171.

Berdasarkan persamaan umum tersebut, perhitungan untuk nilai BER pada modulasi M -PSK di kanal AWGN dapat dicari dengan rumus sebagai berikut:¹²

$$P_b = \frac{2}{\log_2 M} Q \left[\sqrt{2\bar{\gamma}b \log_2 M} \sin \left(\frac{\pi}{M} \right) \right] \quad (\text{Pers. 2.6})$$

Dan untuk perhitungan nilai BER pada modulasi M -QAM di kanal AWGN dapat dicari dengan rumus berikut:

$$P_b = \frac{2(\sqrt{M} - 1)}{\sqrt{M} \log_2 M} Q \left(\sqrt{\frac{2\bar{\gamma}b \log_2 M}{(M - 1)}} \right) \quad (\text{Pers. 2.7})$$

Dimana Q merupakan nilai probabilitas *error* simbol pada *noise Gaussian* dan $\bar{\gamma}b$ merupakan level nilai SNR pada suatu kanal.

Hasil nilai BER tersebut haruslah seminim mungkin, karena jika nilai BER terlalu tinggi maka sistem komunikasi tersebut akan didefinisikan gagal. Maksimum nilai BER yang diijinkan untuk sistem komunikasi suara adalah 10^{-3} , sedangkan untuk komunikasi data adalah 10^{-6} .

Banyak faktor yang mempengaruhi nilai BER dalam sistem komunikasi seperti *noise* AWGN, fading, dan lain sebagainya. Untuk itulah nilai BER dapat diminimalisir dengan cara memilih teknik modulasi yang tepat dan menggunakan kode tertentu seperti kode hamming untuk melakukan koreksi pada nilai-nilai bit yang nantinya akan diterima di sisi penerima.

2.1.9. SNR dan Eb/No

Signal to noise ratio atau SNR adalah ukuran yang digunakan dalam mengukur kualitas sinyal yang diterima pada sisi penerima dalam transmisi

¹² Andrea Goldsmith, *Wireless Communication*, 2004, hlm. 179.

analog. Dengan SNR kualitas sinyal diukur berdasarkan perbandingan antara daya sinyal informasi dengan daya *noise* yang diterima. Persamaan umum dari fungsi SNR dapat dituliskan seperti pada persamaan berikut:

$$SNR = \frac{\text{Daya Sinyal Informasi}}{\text{Daya Sinyal Noise}} \quad (\text{Pers. 2.8})$$

Namun pada sistem komunikasi digital, nilai SNR dapat digunakan sebagai perbandingan dalam mengukur nilai BER pada jenis-jenis modulasi yang berbeda. Semakin tinggi nilai SNR, maka semakin baik pula kualitas sinyal informasi yang diterima pada modulasi digital.

Selain SNR, nilai ukur lain yang dapat digunakan sebagai parameter dalam mengukur performa *bit error rate* (BER) sebagai ukuran kualitas sinyal adalah nilai *energy per bit to noise power spectral density ratio* atau yang biasa dikenal sebagai Eb/No. Secara sederhana Eb/No adalah perbandingan antara energi sinyal tiap bit terhadap daya *noise* suatu sinyal.

Berikut persamaan yang dapat digunakan untuk mengonversi nilai Eb/No menjadi nilai SNR:

$$SNR = Eb / (No \cdot B \cdot Tb) \quad (\text{Pers. 2.9})$$

Dimana B merupakan bandwidth dan Tb merupakan besar bit per waktu. Nilai Eb/No ini sangat berguna saat membandingkan performa *bit error rate* (BER) untuk modulasi digital yang berbeda-beda tanpa menyertakan parameter pita frekuensi.¹³

¹³ Andrea Goldsmith, *Wireless Communication*, 2004, hlm. 172.

2.1.10. Kode Hamming

Kesalahan atau *error* merupakan suatu masalah dalam sistem komunikasi. Sebab *error* dapat mengurangi kinerja dari suatu sistem komunikasi tersebut. Untuk mengatasi masalah tersebut diperlukan suatu cara atau metode yang dapat mengoreksi *error* yang terjadi.

Salah satu cara yang sering digunakan adalah menggunakan metode pemeriksaan bit dengan sistem *forward error control*. Cara kerja metode ini adalah sebelum data dikirimkan ke transmitter, data terlebih dahulu akan dikodekan dengan suatu pembangkit kode atau *encoder*, kemudian akan dikirimkan ke penerima. Sebelum sampai ke penerima, ada sebuah penerjemah kode atau *decoder* yang akan mengodekan data tersebut terlebih dahulu dan apabila terjadi *error* pada data, data akan dikoreksi sehingga *error* pun dapat dihindari.¹⁴

Forward error control sendiri terbagi lagi menjadi beberapa jenis dan salah satunya adalah kode yang sering digunakan dalam komunikasi digital yaitu kode menggunakan hamming. Kode hamming ini merupakan suatu sistem pengoreksi yang dikembangkan menggunakan sistem bit *parity*.

Sistem bit *parity* ini memungkinkan sistem melakukan pengecekan pada data yang pertama kali ada dengan menunjukkan ganjil atau genapnya jumlah bit yang bernilai 1. Bit *parity* dibagi menjadi 2 jenis, yaitu *even* dan *odd*. *Even parity* akan menunjukkan nilai 1 bila jumlah bit satu genap, sebaliknya *odd parity* akan memberikan nilai 1 jika jumlah bit satu ganjil. Bit *Parity code* ini bebas diletakkan dimanapun sesuai kesepakatan penerima dan juga pengirim.

¹⁴ Irsan, *Simulasi Pengkodean Hamming Untuk Menghitung Bit Error Rate*, Medan, 2009, hlm. 8.

Berdasarkan jumlah bit *parity*-nya, kode hamming dibedakan menjadi beberapa jenis seperti yang ditunjukkan pada tabel 2.1. berikut: ¹⁵

Tabel 2.1. Jenis Kode Hamming berdasarkan Bit *Parity*.

M	(n,k)
3	(7,4)
4	(15,11)
5	(31,26)
6	(63,57)
7	(127,120)
8	(255,247)

Kode hamming merupakan suatu kode single error correction yaitu hanya ada satu koreksi kesalahan 1 bit yang mungkin per *codeword*. Struktur kode hamming merupakan sub kelas kode dengan rumus:

$$(n,k) = (2^m - 1, 2^m - m - 1) \quad (\text{Pers 2.10})$$

Dimana n adalah panjang *codeword*, k adalah jumlah bit informasi, dan m adalah jumlah bit *parity* yang merupakan integer positif.

Dengan menggunakan kode hamming, bit *stream* dari sumber data yang masuk ke *encoder* harus dikodekan terlebih dahulu menggunakan suatu generator matriks. Matriks pada generator didapat dengan menentukan nilai polinomial terlebih dahulu sesuai dengan nilai bit *parity* (n) dan (k) suatu kode hamming. Contohnya untuk kode hamming (7,4) nilai polinomial yang digunakan adalah 1101. Lalu susun matriks generator kode hamming (7,4), hingga tersusun dengan susunan sebagai berikut:

¹⁵ Efandi Simatupang, *Analisis BER pada Sistem Modulasi BPSK untuk Peningkatan Kinerja Kanal AWGN dengan Kode Hamming*, Medan, 2010, hlm. 19.

$$G = \begin{bmatrix} g(x) \\ x.g(x) \\ x^2.g(x)+g(x) \\ x^3.g(x)+g(x)+x.g(x) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (\text{Pers 2.11})$$

Kemudian untuk mendapatkan nilai bit *codeword*, hamming *encoder* akan bekerja mengalikan matriks bit *stream* informasi dengan matriks bit pada generator. Contohnya adalah pada kode hamming (7,4). Pada jenis kode ini bit *codeword* diperoleh dari hasil perkalian antara 4 bit *stream* menjadi 7 bit *codeword* pada generator matriks kode hamming yang akan dikirimkan.

Lalu untuk melihat bagaimana kode hamming dapat mendeteksi *error* sekaligus memperbaiki *error* tersebut, maka bit *codeword* yang telah dikirimkan akan diterjemahkan kembali menggunakan *decoder* kode hamming. *Decoder* kode hamming akan melakukan koreksi terhadap *error* yang timbul dengan terlebih dahulu mengetahui matriks bit *parity check* *codeword* tersebut. Dari matriks bit *parity check* dapat dihitung *syndrome error* dengan rumus: ¹⁶

$$S = r.H^T \quad (\text{Pers 2.12})$$

Dimana r adalah bit *codeword* yang diterima dan H^T adalah matriks transposisi dari bit *parity check*. Dan berikut nilai transposisi dari bit *parity check* hamming (7,4):

$$H^T = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (\text{Pers 2.13})$$

¹⁶ Efandi Simatupang, *Analisis BER pada Sistem Modulasi BPSK untuk Peningkatan Kinerja Kanal AWGN dengan Kode Hamming*, Medan, 2010, hlm. 22.

Setelah didapat nilai *syndrome error*, maka dapat ditentukan ada tidaknya *error* pada *codeword* yang diterima pada *decoder*. Jika *syndrome error* yang dihasilkan bernilai nol, maka tidak terjadi *error* pada *codeword* yang diterima. Sebaliknya jika *syndrome error* yang dihasilkan tidak bernilai nol, maka terjadi *error* pada *codeword* yang diterima. Letak *error* dapat ditentukan dengan melihat bit-bit yang sama pada bit *syndrome error* dengan bit-bit pada matriks H^T .

Langkah berikutnya adalah dengan mengoreksi bit-bit yang terkena *error*, yakni dengan menginvert nilai dari kode yang diterima. Apabila nilai dari kode adalah 0 maka nilai kode diubah menjadi 1 dan apabila nilai dari kode adalah 1 maka nilai kode diubah menjadi 0, sehingga diperoleh kode yang dikirimkan. Dan terakhir untuk mendapatkan kembali bit-bit informasi dalam bit *codeword*, dapat dilakukan dengan membuang semua bit *parity* pada bit *codeword*, sehingga didapat nilai dari bit *stream* yang dikirimkan.

2.2. Kerangka Berpikir

Untuk memenuhi kebutuhan manusia modern dalam melakukan hubungan komunikasi jarak jauh, maka diciptakanlah suatu teknologi telekomunikasi yang dikenal dengan sistem komunikasi digital. Dengan teknologi sistem komunikasi digital ini, segala macam bentuk sinyal informasi, baik itu informasi berupa gambar, suara maupun data digital dapat dikirimkan seseorang dari satu tempat ke tempat lain. Untuk dapat dikirimkan, sinyal informasi tersebut harus ditumpangkan terlebih dahulu pada sinyal *carrier* dengan suatu teknik modulasi digital.

Saat proses modulasi berlangsung, berbagai gangguan seperti *fading* maupun *noise* tentu dapat mempengaruhi kualitas sinyal informasi saat sampai di sisi penerima. Karena itulah pemilihan teknik modulasi yang digunakan harus tepat agar kualitas sinyal informasi yang dikirimkan baik. Salah satu parameter kualitas sinyal informasi dikatakan baik apabila *bit error rate* (BER) yang dihasilkan dalam kanal komunikasi tersebut kecil atau mendekati nol.

Dalam perkembangannya saat ini, teknik modulasi digital yang sering digunakan adalah teknik modulasi PSK dan juga teknik modulasi QAM. Keduanya tentu memiliki performansi yang berbeda dalam menentukan kualitas sinyal informasi yang diterima disisi penerima. Hal inilah yang akhirnya mendasari penulis untuk melakukan penelitian dalam melihat performansi antara teknik modulasi 16 PSK dan teknik modulasi 16 QAM dengan kode hamming.

Karena keseluruhan sistem yang berlangsung dalam sistem komunikasi digital ini bisa dibilang kompleks dan sulit apabila dievaluasi secara analitik maupun dimodelkan dalam bentuk fisik, penelitian ini dilakukan dengan terlebih dahulu merancang suatu program simulasi menggunakan perangkat lunak *Matlab R2014a*. Program simulasi yang dirancang akan dibuat sesuai dengan sistem kanal komunikasi digital secara umum. Atau seperti yang dapat dilihat pada gambar 2.1. blok diagram di penulisan kerangka teoritik.

Prinsip kerja dari simulasi yang dibuat adalah dengan terlebih dahulu membangkitkan bit data acak sebagai masukan sinyal informasi yang akan dimodulasi. Kemudian akan ditentukan parameter-parameter yang digunakan dalam penelitian seperti teknik pengoreksian data, jenis modulasi, nilai rentang SNR dan kanal komunikasi yang akan digunakan. Setelah semua parameter

ditentukan, barulah dilakukan perhitungan nilai BER terhadap SNR secara *monte carlo* yang nantinya akan ditampilkan dalam bentuk grafik. Dan terakhir grafik akan dibandingkan dengan membangkitkan grafik lain dari sistem komunikasi yang berbeda menggunakan program simulasi ini.

Dengan program simulasi inilah penulis dapat menganalisis *bit error rate* suatu kanal komunikasi yang merupakan salah satu ukuran yang dapat dilihat untuk mengukur performansi antara teknik modulasi 16 PSK dan teknik modulasi 16 QAM dengan kode hamming pada komunikasi data. Berikut gambar diagram alir kerangka berpikir penelitian ini:



Gambar 2.9. Diagram Alir Kerangka Berpikir

2.3. Hipotesis Penelitian

Hipotesis penelitian yang diperoleh adalah teknik modulasi 16 QAM dengan menggunakan kode hamming memiliki performasi yang lebih baik dibandingkan dengan teknik modulasi 16 QAM tanpa menggunakan kode hamming, teknik modulasi 16 PSK dengan menggunakan kode hamming dan teknik modulasi 16 PSK tanpa kode hamming. Hal tersebut karena penggunaan teknik modulasi QAM ini dapat lebih memaksimalkan penggunaan bandwidth suatu kanal dibandingkan dengan teknik modulasi PSK. Selain itu penggunaan kode hamming juga berpengaruh mengurangi nilai BER karena mampu melakukan koreksi terhadap kesalahan yang terjadi pada *error* saat modulasi.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1. Tempat dan Waktu Penelitian

3.1.1. Tempat Penelitian

Penelitian untuk simulasi dan analisis perbandingan performansi antara teknik modulasi 16 PSK dan teknik modulasi 16 QAM dengan kode hamming dilakukan di Gedung Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Negeri Jakarta.

3.1.2. Waktu Penelitian

Waktu penelitian dilaksanakan dari bulan September 2014 hingga Desember 2014.

3.2. Metode Penelitian

Penelitian performansi antara teknik modulasi 16 PSK dan teknik modulasi 16 QAM dengan kode hamming dilakukan dengan cara membandingkan nilai BER terhadap SNR yang dihasilkan antara masing-masing modulasi dengan menggunakan metode simulasi *monte carlo*.

Monte carlo sendiri merupakan dasar untuk semua algoritma dari metode simulasi yang didasari pada pemikiran penyelesaian suatu masalah dengan melihat model probabilistik suatu kejadian berdasarkan sejarah kejadian yang telah terjadi. Simulasi *monte carlo* adalah suatu metode untuk menganalisis perambatan ketidakpastian, dimana tujuannya adalah untuk menentukan

bagaimana variasi random atau error mempengaruhi sensitivitas, performa atau reliabilitas dari sistem yang sedang dimodelkan.

Dengan kata lain metode *monte carlo* ini dilakukan dengan cara membangkitkan nilai *input* sebanyak-banyaknya secara acak (*random*) agar mendapatkan hasil yang lebih akurat. Sebuah simulasi *monte carlo* dapat melibatkan puluhan hingga ribuan evaluasi bilangan acak atas suatu model dengan melihat hasil pekerjaan di masa lalu (*history*) yang hanya bisa dikerjakan dengan bantuan sebuah software komputer. Dengan menggunakan parameter input berupa bilangan acak, maka model dapat diubah dari suatu bentuk deterministik menjadi model stokastik, dimana model deterministik merupakan suatu model pendekatan yang diketahui dengan pasti sedangkan model stokastik merupakan model pendekatan yang tidak pasti.¹⁷

Metode *monte carlo* ini digolongkan sebagai metode *sampling* karena *input* dibangkitkan secara acak dari suatu distribusi probabilitas untuk proses *sampling* dari suatu populasi nyata. Selain itu metode *monte carlo* ini juga sering digunakan pada model yang cukup kompleks, non linear atau melibatkan lebih dari sepasang parameter yang tidak pasti. Metode ini juga menganut sistem pemrograman yang bebas tanpa terlalu banyak diikat oleh *rule* atau aturan tertentu.

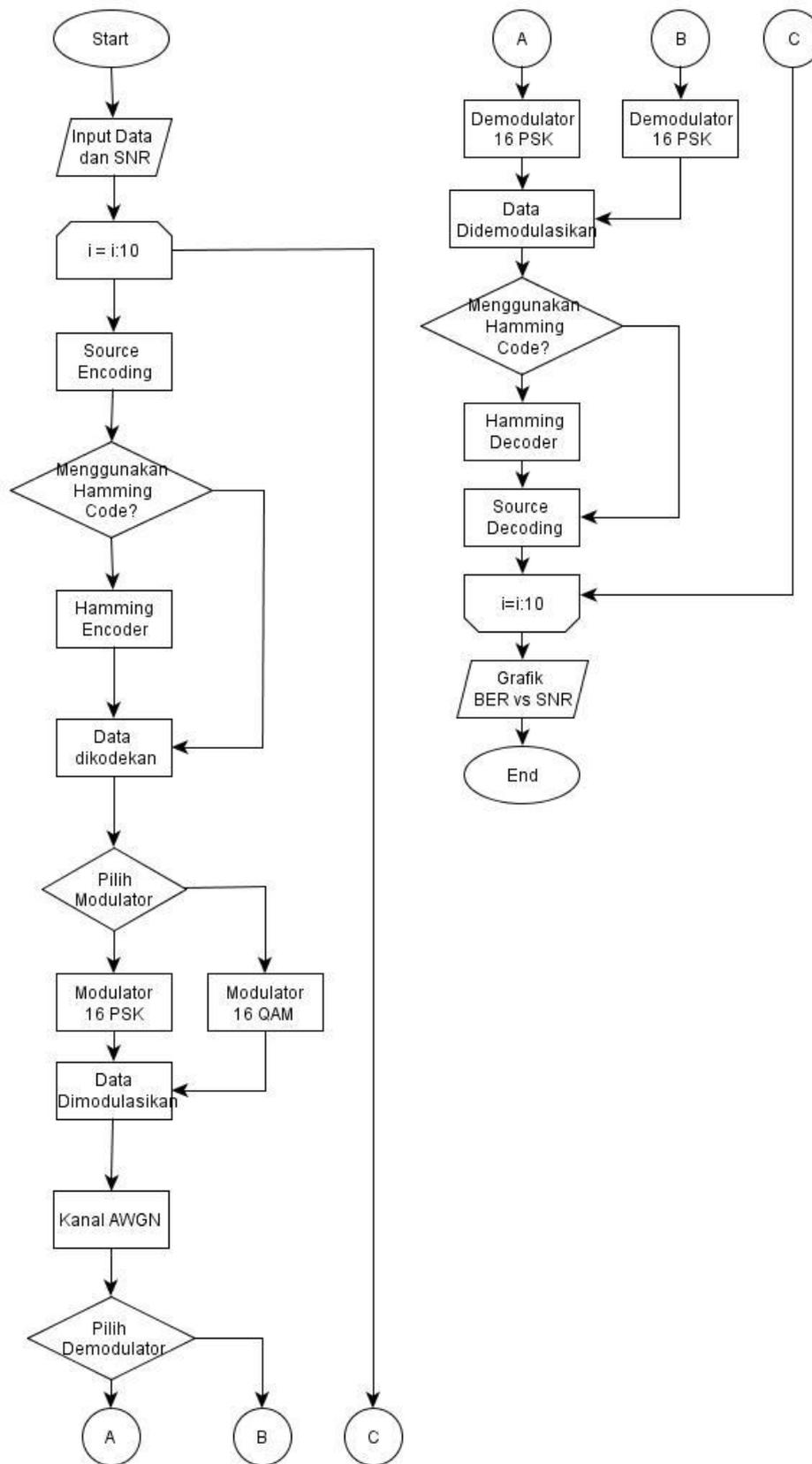
¹⁷ Mahmud Achmad, *Buku Ajar Teknik Simulasi dan Pemodelan*, 2012, hlm. 9.

3.3. Rancangan Penelitian

Perancangan merupakan salah satu tahapan penting yang harus dibuat sebelum membuat simulasi. Dengan dibuatnya perancangan yang baik, tentu akan mempermudah dalam menentukan langkah-langkah yang harus diambil agar simulasi yang dibuat menjadi maksimal. Karena di dalam perancangan sendiri terdapat gambaran diagram blok sistem dan fungsi masing-masing dari blok sistem yang ketika dihubungkan dapat merepresentasikan cara kerja dari simulasi tersebut.

Program simulasi performansi antara teknik modulasi 16 PSK dan teknik modulasi 16 QAM dengan kode hamming dirancang dengan program interaktif yang mampu menghasilkan nilai *bit error rate* terhadap SNR dalam bentuk grafik. Program simulasi tersebut memiliki parameter-parameter yang dapat diatur sesuai dengan keadaan yang ingin penulis analisis.

Untuk melihat lebih jelas bagaimana rancangan dari program simulasi performansi antara teknik modulasi 16 PSK dan teknik modulasi 16 QAM dengan kode hamming pada , maka akan digambarkan menggunakan diagram alir sebagai berikut.



Gambar 3.1. Digram Alir Program Simulasi

Diagram blok program simulasi performansi antara teknik modulasi 16 PSK dan teknik modulasi 16 QAM dengan kode hamming pada dibangun dari tiga blok komponen, yaitu blok masukan (input), blok proses dan blok keluaran (output). Blok pertama yang menunjukkan blok masukan berisi mengenai sinyal informasi berupa bit data yang dibangkitkan secara acak. Selain itu, blok masukan juga berisi mengenai nilai parameter SNR yang akan digunakan untuk menentukan nilai BER yang akan dihasilkan nantinya. Bit data acak dan nilai SNR inilah yang berikutnya akan diolah pada blok proses.

Pada blok diagram berikutnya yaitu blok proses pertama, bit-bit data informasi akan dikodekan dengan *source encoder*. *Source encoder* ini berfungsi untuk melakukan konversi dan kompresi data pada sinyal informasi agar menjadi deretan digit biner yang sesuai dengan lebar bandwidth pada kanal transmisi yang tersedia.

Kemudian deretan biner yang telah sesuai dengan kanal akan ditawarkan untuk dilakukan kode hamming pada blok diagram *Hamming Encoder*. Apabila deretan biner tersebut ingin diberikan suatu proteksi agar *error* yang timbul di sisi penerima dapat dideteksi dan diperbaiki maka data tersebut perlu diberikan kode Hamming.

Setelah data terproteksi dengan kode hamming, maka data tersebut harus dimodulasi agar bisa ditumpangkan pada sinyal pembawa. Pada blok diagram pemilihan modulasi, penulis bisa memilih antara menggunakan teknik modulasi 16 PSK atau teknik modulasi 16 QAM dalam menentukan jenis teknik modulasi yang akan dianalisis terlebih dahulu.

Proses berikutnya pada blok diagram Kanal AWGN, sinyal yang telah dimodulasi akan melewati suatu kanal yang dikenal dengan kanal *Additive White Gaussian Noise* atau disingkat dengan kanal AWGN. Kanal AWGN ini akan memberi gangguan kepada sinyal informasi berupa penambahan linear dari *white noise* dengan kerapatan spektrum yang konstan dan distribusi *gaussian* dari nilai SNR yang bervariasi. Nilai SNR yang digunakan pada kanal AWGN ini akan menyesuaikan dengan nilai parameter SNR yang telah diatur sebelumnya pada blok masukan.

Barulah pada blok diagram demodulator di sisi pengirim setelah sinyal melalui kanal AWGN, sinyal akan dipisahkan kembali dari sinyal pembawa atau didemodulasi menggunakan demodulator sesuai dengan modulator yang sebelumnya digunakan. Apabila modulator yang sebelumnya digunakan adalah modulator 16 PSK, maka demodulator yang digunakan adalah demodulator 16 PSK. Sebaliknya apabila modulator yang sebelumnya digunakan adalah modulator 16 QAM, maka demodulator yang akan digunakan adalah demodulator 16 QAM.

Sesuai dengan cara kerja dari kode hamming yang termasuk dalam sistem *forward error control*, maka pada blok diagram hamming *decoder* ini akan bekerja untuk melakukan koreksi akhir kepada data yang masuk. Pengoreksian data ini dilakukan untuk memperbaiki *error* yang terjadi pada data tersebut.

Selanjutnya pada blok diagram *source decoder* sinyal informasi akan dikembalikan ke bentuk informasinya semula agar sesuai dengan sinyal informasi awal yang dikirimkan dari sisi penerima. Barulah setelah data di *decode* ulang maka akan terlihat keluaran (output) berupa grafik nilai *bit error rate* terhadap

nilai SNR pada hasil akhir simulasi tersebut. Karena metode yang penulis gunakan disini adalah metode simulasi *monte carlo* maka grafik nilai *bit error rate* terhadap nilai SNR yang keluar dari simulasi tersebut merupakan nilai rata-rata *bit error rate* yang diulang secara *looping* sebanyak 10 kali dengan rentang nilai SNR sesuai dengan parameter yang telah diatur sebelumnya.

Berikutnya dari grafik-grafik *bit error rate* terhadap SNR yang didapat melalui program simulasi ini, penulis akan melakukan *link* antara satu grafik dengan grafik lainnya menggunakan *tools* yang terdapat di dalam *Matlab R2014a*. Perbandingan grafik tersebutlah yang akan digunakan penulis untuk melakukan analisis performansi antara teknik modulasi 16 PSK dan teknik modulasi 16 QAM dengan kode hamming.

3.4. Instrumen Penelitian

Instrumen yang digunakan untuk melakukan penelitian adalah dengan membuat simulasi menggunakan perangkat lunak *Matlab 2014a*. Matlab sendiri merupakan salah perangkat lunak yang dikembangkan oleh perusahaan *Mathworks Inc* untuk dapat melakukan analisis dan komputasi berbagai sistem numerik. Matlab dibangun dari bahasa pemrograman tingkat tinggi yaitu Java sebagai *interface*-nya dan bahasa pemrograman tingkat menengah seperti C++ untuk merancang fungsi-fungsi dasar dari program utamanya.¹⁸

Matlab kini telah berkembang menjadi suatu *environment* pemrograman yang canggih dengan fungsi-fungsi *built-in* untuk melakukan berbagai macam sistem pengolahan sinyal, kalkulasi aljabar linier dan kalkulasi matematis lainnya.

¹⁸ Widiarsono, Teguh, *Tutorial Praktis Belajar Matlab*, Jakarta, 2005, hlm. 1.

Secara khusus Matlab juga memiliki berbagai *toolbox* yang dapat digunakan untuk melakukan fungsi-fungsi yang tidak dimiliki aplikasi perancangan simulasi lain.

Salah satu alasan penggunaan Matlab untuk simulasi ini adalah karena Matlab merupakan suatu pemrograman yang mampu mengkalkulasikan sekaligus mensimulasikan suatu sistem telekomunikasi khususnya yang berhubungan dengan pengolahan sinyal seperti modulasi.

Selain itu perangkat lunak Matlab juga bersifat *extensible*, yaitu dapat ditambahkan fungsi-fungsi baru jika fungsi-fungsi *built-in* pada Matlab belum tersedia untuk melakukan beberapa fungsi yang diinginkan. Hal inilah yang menjadikan Matlab lebih praktis digunakan dibanding perangkat lunak simulasi sejenis dalam mensimulasikan suatu sistem komunikasi persinyalan.

3.5. Prosedur Penelitian

Prosedur atau tahap-tahap yang dilakukan dalam penelitian analisis dan simulasi performansi teknik modulasi 16 PSK dan teknik modulasi 16 QAM dengan kode hamming pada yaitu :

1. Studi Literatur

Tahap ini dilakukan dengan mencari dan mengumpulkan materi serta referensi dari berbagai sumber pustaka, baik melalui buku-buku maupun situs internet yang berhubungan dengan sistem komunikasi digital, teknik-teknik modulasi digital, macam-macam gangguan dalam komunikasi digital, parameter mengukur kualitas sinyal dan juga sistem kode hamming.

2. Perancangan Sistem

Setelah mengumpulkan berbagai materi dan teori-teori yang digunakan dalam penelitian, penulis perlu merancang sistem terlebih dahulu agar pembuatan program simulasi dan juga analisis menjadi lebih mudah. Perancangan sistem tersebut berupa perancangan blok diagram alir sistem komunikasi digital yang akan digunakan dalam membuat program simulasi.

3. Pembuatan Program Simulasi menggunakan Software Matlab

Dengan menggunakan blok diagram alir yang telah dirancang, penulis akan membuat sintaks program simulasi pada perangkat lunak *Matlab R2014a*. Keluaran dari program simulasi tersebut berupa grafik nilai *bit error rate* terhadap SNR yang merupakan parameter dalam pengukuran kualitas sinyal suatu modulasi.

4. Uji Simulasi Program dan Analisis Data

Program yang telah selesai dibuat disimulasikan untuk diuji dan data dari simulasi tersebut dianalisis lebih lanjut untuk dibuat ke dalam laporan. Analisis dilakukan secara bertahap dengan membandingkan hasil simulasi dengan teori-teori yang sudah dikumpulkan melalui studi literatur.

5. Penulisan Laporan

Dan terakhir setelah semua analisis dan simulasi selesai, penulis akan menyusun laporan yang menunjukkan hasil yang diperoleh dalam penelitian ini.

3.6. Teknik Analisis Data

Analisis data adalah kegiatan mengubah hasil penelitian menjadi informasi yang dapat digunakan untuk mengambil sebuah kesimpulan dalam suatu penelitian. Analisis data pada penelitian performansi antara teknik modulasi 16 PSK dan teknik modulasi 16 QAM dengan kode hamming pada akan dilakukan dengan cara membandingkan grafik-grafik nilai *bit error rate* terhadap nilai SNR yang dihasilkan melalui program simulasi dengan teori-teori yang telah didapat sebelumnya melalui studi literatur. Dengan program simulasi yang dibuat tersebut, penulis dapat menentukan parameter-parameter apa saja yang nantinya akan digunakan untuk menganalisis performansi suatu teknik modulasi.

Parameter yang digunakan antara lain adalah banyaknya *input* data yang akan dibangkitkan dalam satuan bit, rentang level nilai SNR sebagai nilai pembanding terhadap nilai BER suatu teknik modulasi, jenis kode yang akan digunakan dan jenis teknik modulasi serta nilai *M-Ary* yang akan dijadikan acuan dalam sistem yang akan diuji. Jadi dengan menggunakan hasil simulasi berupa tabel dan grafik yang akan dimunculkan, penulis dapat melihat perbandingan kualitas BER terhadap SNR pada masing-masing teknik modulasi untuk menentukan mana teknik modulasi yang memiliki performansi terbaik.

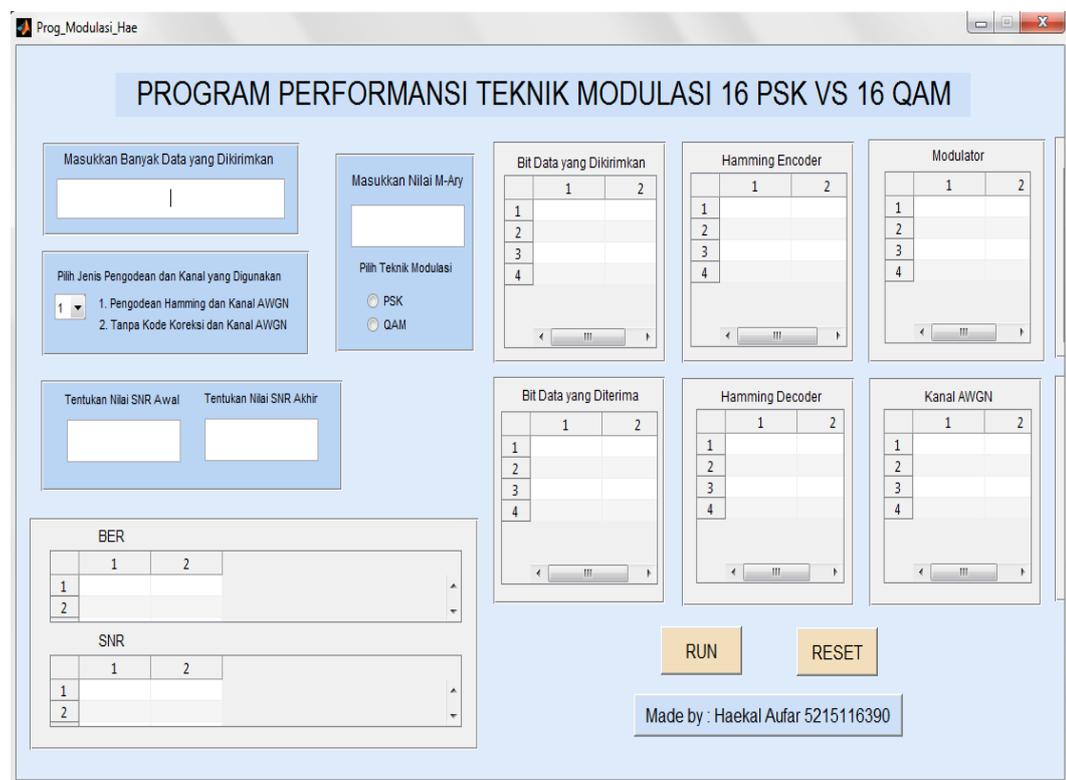
BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Penelitian

4.1.1. Tampilan *Graphical User Interface* (GUI) Simulasi Program

Program simulasi yang dirancang dengan perangkat lunak *Matlab R2014a* ini menggunakan tampilan berupa *Graphical User Interface* (GUI) yang menjadi salah satu pilihan yang dapat digunakan dengan melakukan *coding* pada bahasa pemrograman Matlab ini. Tidak hanya mempercantik tampilan program, penggunaan GUI tersebut juga memudahkan penulis dalam melakukan analisis terhadap program simulasi itu sendiri. Berikut gambar tampilan GUI program simulasi yang dirancang pada *Matlab R2014a*:



Gambar 4.1. Tampilan GUI Program Simulasi

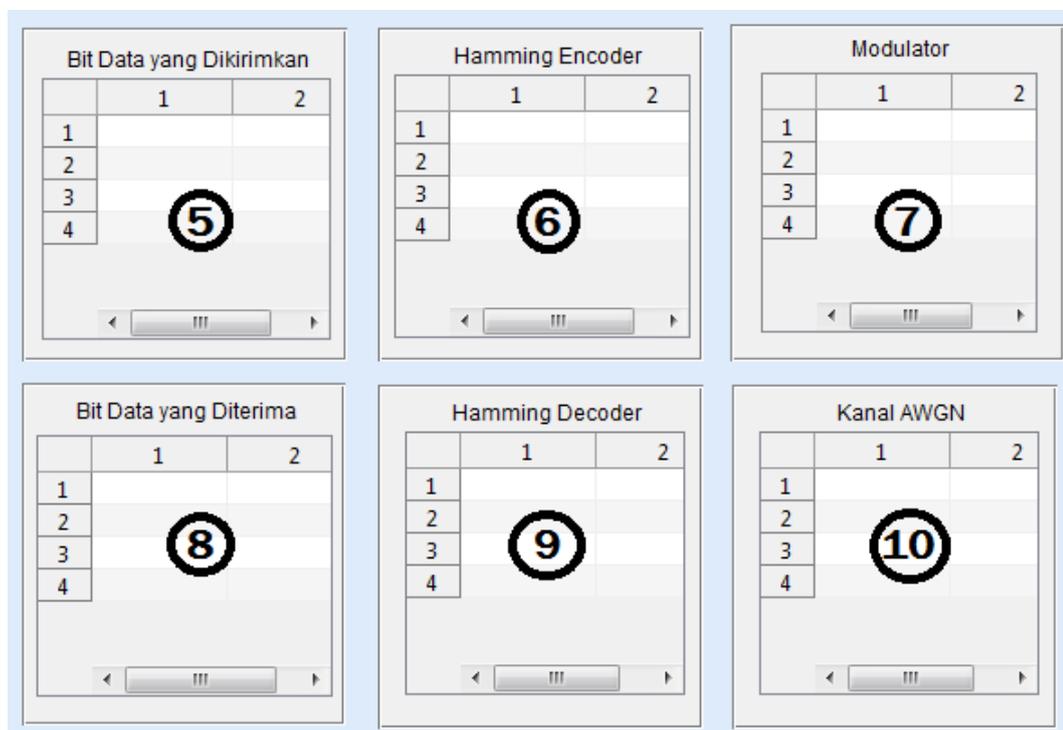
Seperti yang terlihat pada tampilan GUI program simulasi, terdapat kotak-kotak dialog kosong yang merupakan parameter program yang dapat diatur untuk mendapatkan grafik perbandingan nilai BER terhadap nilai SNR yang diinginkan. Untuk membedakan antara kotak dialog *input* dan kotak dialog *output*, pada tampilan GUI program diberikan warna yang berbeda pada keduanya. Pada kotak dialog *input* diberikan warna biru muda dan pada kotak dialog *output* diberikan warna abu-abu. Berikut gambar dan keterangan pada masing-masing kotak dialog *input* dan *output* pada GUI program simulasi:

Gambar 4. 2. Tampilan Kotak Dialog Input Program Simulasi

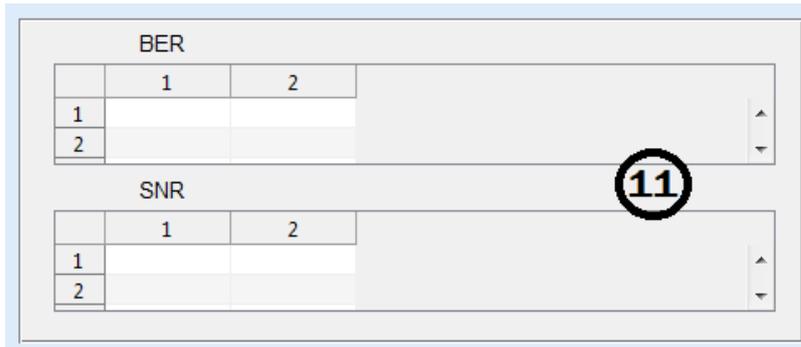
1. Kotak dialog input pertama diisi sesuai dengan banyaknya data informasi yang akan dikirimkan oleh *transmitter*. Banyaknya data yang dikirimkan tersebut berupa bit-bit dalam bilangan biner.
2. Kotak dialog input kedua diisi sesuai nilai *M-Ary* dan teknik modulasi yang akan digunakan. Sebagai contoh karena penulis hendak menganalisis

teknik modulasi 16 PSK, maka nilai M -Ary yang diisi adalah 16 dan teknik modulasi yang digunakan adalah PSK.

3. Kotak dialog input ketiga berupa penentuan jenis kode dan kanal yang akan digunakan. Apabila ingin melakukan analisis terhadap teknik modulasi tanpa kode pada kanal AWGN maka pilih opsi “1” dan apabila ingin melakukan analisis terhadap teknik modulasi dengan kode hamming pada kanal AWGN maka pilih opsi “2”.
4. Kotak dialog input keempat diisi dengan besar nilai SNR awal dan nilai SNR akhir yang akan menjadi parameter untuk banyaknya nilai BER yang akan dibandingkan nantinya. Sebagai contoh, apabila penulis mengisi nilai SNR awal dengan angka “0” dan nilai SNR akhir dengan angka “5” maka akan dihasilkan enam nilai BER yang merupakan perbandingan terhadap nilai SNR 0 sampai dengan nilai SNR 5.



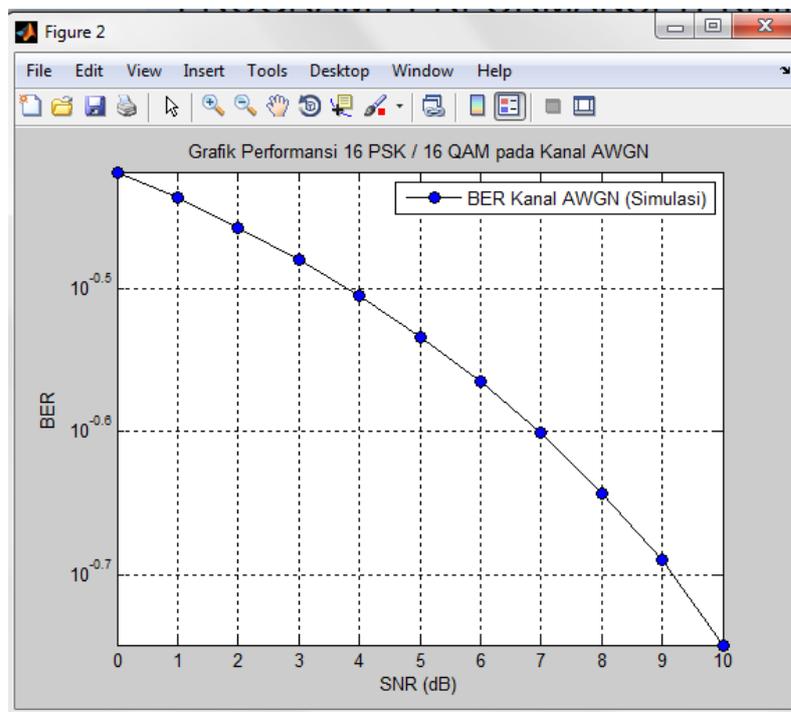
Gambar 4.3. Tampilan Kotak Dialog Output Program Simulasi (I)



Gambar 4.4. Tampilan Kotak Dialog Output Program Simulasi (II)

5. Kotak dialog *output* ke 5 hingga 11 berisi nilai-nilai keluaran yang akan dihasilkan secara otomatis setelah semua parameter pada kotak dialog *input* diisi terlebih dahulu.

Karena *output* akhir yang diinginkan penulis adalah gambar grafik perbandingan BER terhadap SNR, maka setelah semua parameter kotak dialog terisi, secara otomatis akan muncul tampilan berupa jendela grafik seperti yang terlihat pada gambar 4.4 berikut:

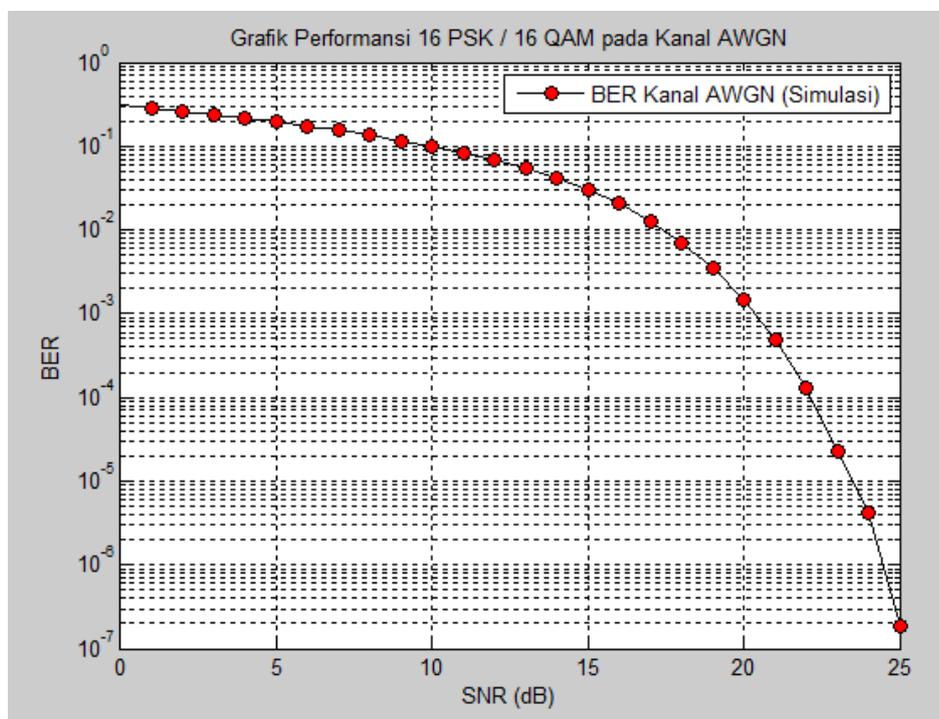


Gambar 4.5. Tampilan Grafik Perbandingan Nilai BER terhadap SNR

4.1.2. Pengujian Performansi Teknik Modulasi 16 PSK pada Kanal AWGN

Pengujian performansi teknik modulasi 16 PSK pada kanal AWGN dilakukan dengan cara melakukan *input* data terlebih dahulu pada program simulasi. Data masukan yang digunakan merupakan variabel acak sebesar 1.000.000 bit data dalam satuan bilangan biner. Dan karena tingkatan *M-Ary* yang digunakan adalah 16, maka setiap 4 bit merupakan bentuk representasi dari satu simbol data.

Selain itu untuk melakukan pengujian terhadap hasil *bit error rate* (BER) yang menunjukkan kualitas dari teknik modulasi 16 PSK pada kanal AWGN tersebut, digunakan variasi level nilai SNR dengan rentang nilai yang dimulai dari 0 dB yang akan terus meningkat 1 dB hingga mencapai level nilai SNR sebesar 30 dB. Berikut grafik hasil pengujian perbandingan nilai BER terhadap SNR pada teknik modulasi 16 PSK di kanal AWGN tersebut:



Gambar 4.6. Grafik Hasil Pengujian Perbandingan Nilai BER terhadap SNR pada Teknik Modulasi 16 PSK di Kanal AWGN

Dari grafik perbandingan nilai BER terhadap SNR pada teknik modulasi 16 PSK di kanal AWGN yang dihasilkan melalui simulasi, terlihat bahwa nilai BER yang dihasilkan semakin menurun seiring dengan bertambahnya level nilai pada SNR. Hal tersebut terjadi karena semakin besar nilai SNR suatu kanal maka level derau yang mempengaruhi sinyal data akan semakin mengecil sehingga kesalahan yang terjadi pada data pun akan semakin kecil.

Dan berikut penjabaran grafik perbandingan nilai BER terhadap SNR pada teknik modulasi 16 PSK di kanal AWGN dalam bentuk tabel:

Tabel 4.1. Hasil Pengujian Perbandingan Nilai BER terhadap SNR pada Teknik Modulasi 16 PSK di Kanal AWGN

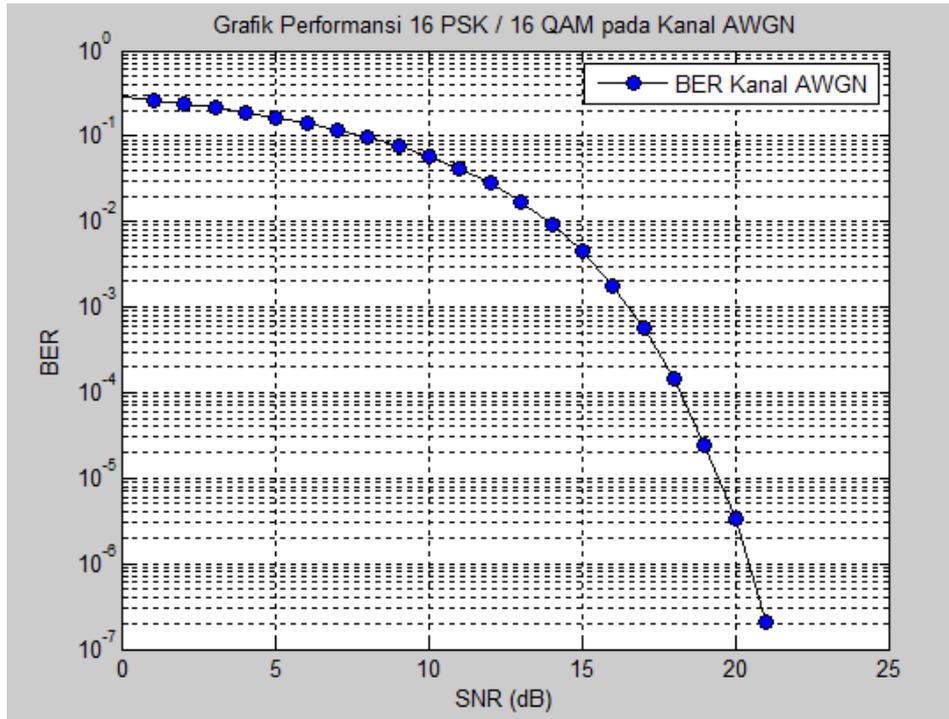
SNR (dB)	BER	SNR (dB)	BER
0	0.3065	16	0.0205
1	0.2858	17	0.0126
2	0.2646	18	0.0071
3	0.2417	19	0.0035
4	0.2191	20	0.0015
5	0.1968	21	4.9089e-04
6	0.1747	22	1.3152e-04
7	0.1539	23	2.2872e-05
8	0.1342	24	4.2029e-06
9	0.1158	25	1.8274e-07
10	0.0991	26	0
11	0.0831	27	0
12	0.0686	28	0
13	0.0544	29	0
14	0.0418	30	0
15	0.0302		

Dari tabel hasil pengujian simulasi terlihat bahwa performansi teknik modulasi 16 PSK di kanal AWGN untuk BER pada level SNR sebesar 0 dB hingga 23 dB, ternyata masih memiliki kualitas yang kurang baik karena masih melebihi dari nilai BER maksimum standar. Dan barulah ketika level SNR mencapai nilai 24 dB, performansi teknik modulasi 16 PSK di kanal AWGN bisa memiliki kualitas modulasi yang baik. Karena nilai BER yang didapat pada level nilai SNR 24 dB lebih kecil dari nilai standarisasi untuk kualitas komunikasi data yaitu sebesar 10^{-6} .

4.1.3. Pengujian Performansi Teknik Modulasi 16 QAM pada Kanal AWGN

Pengujian performansi teknik modulasi 16 QAM pada kanal AWGN dilakukan dengan cara melakukan *input* data terlebih dahulu pada program simulasi. Data masukan yang digunakan merupakan variabel acak sebesar 1.000.000 bit data dalam satuan bilangan biner. Dan karena tingkatan *M-Ary* yang digunakan adalah 16, maka setiap 4 bit merupakan bentuk representasi dari satu simbol data.

Selain itu untuk melakukan pengujian terhadap hasil *bit error rate* (BER) yang menunjukkan kualitas dari teknik modulasi 16 QAM pada kanal AWGN tersebut, digunakan variasi level nilai SNR dengan rentang nilai yang dimulai dari 0 dB yang akan terus meningkat 1 dB hingga mencapai level nilai SNR sebesar 30 dB. Berikut grafik hasil pengujian perbandingan nilai BER terhadap SNR pada teknik modulasi 16 QAM di kanal AWGN tersebut:



Gambar 4.7. Grafik Hasil Pengujian Perbandingan Nilai BER terhadap SNR pada Teknik Modulasi 16 QAM di Kanal AWGN

Dari grafik perbandingan nilai BER terhadap SNR pada teknik modulasi 16 QAM di kanal AWGN yang dihasilkan melalui simulasi, terlihat bahwa nilai BER yang dihasilkan semakin menurun seiring dengan bertambahnya level nilai pada SNR. Hal tersebut terjadi karena semakin besar nilai SNR suatu kanal maka level derau yang mempengaruhi sinyal data akan semakin mengecil sehingga kesalahan yang terjadi pada data pun akan semakin kecil. Dan berikut penjabaran grafik perbandingan nilai BER terhadap SNR pada teknik modulasi 16 QAM di kanal AWGN dalam bentuk tabel:

Tabel 4.2. Hasil Pengujian Perbandingan Nilai BER terhadap SNR pada Teknik Modulasi 16 QAM di Kanal AWGN

SNR (dB)	BER	SNR (dB)	BER
0	0.2873	16	0.0018
1	0.2625	17	5.6787e-04
2	0.2372	18	1.4239e-04
3	0.2123	19	2.4736e-05
4	0.1877	20	3.3426e-06
5	0.1643	21	2.0290e-07
6	0.1415	22	0
7	0.1197	23	0
8	0.0981	24	0
9	0.0780	25	0
10	0.0589	26	0
11	0.0421	27	0
12	0.0282	28	0
13	0.0172	29	0
14	0.0093	30	0
15	0.0045		

Dari tabel hasil pengujian simulasi terlihat bahwa performansi teknik modulasi 16 QAM di kanal AWGN untuk BER pada level SNR sebesar 0 dB hingga 19 dB, ternyata masih memiliki kualitas yang kurang baik karena masih melebihi dari nilai BER maksimum standar. Dan barulah ketika level SNR mencapai nilai 20 dB, performansi teknik modulasi 16 QAM di kanal AWGN bisa memiliki kualitas modulasi yang baik. Karena nilai BER yang didapat pada level nilai SNR 10 dB lebih kecil dari nilai standarisasi untuk kualitas komunikasi data yaitu sebesar 10^{-6} .

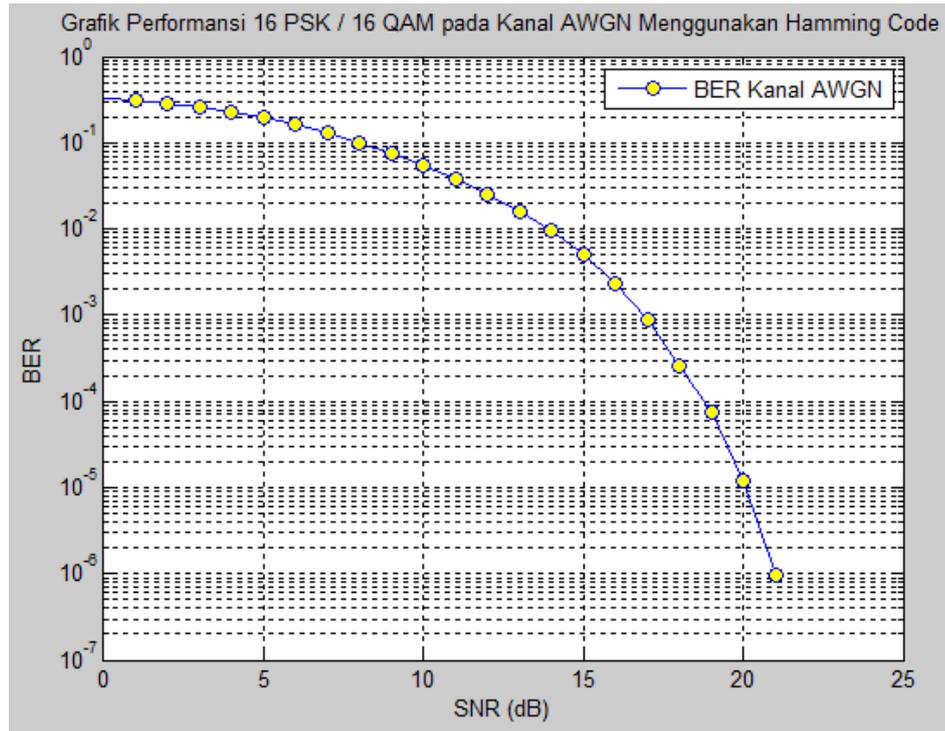
4.1.4. Pengujian Performansi Teknik Modulasi 16 PSK dengan Kode

Hamming

Pengujian performansi teknik modulasi 16 PSK dengan kode hamming dilakukan dengan cara melakukan *input* data terlebih dahulu pada program simulasi. Data masukan yang digunakan merupakan variabel acak sebesar 1.000.000 bit data dalam satuan bilangan biner. Dan karena tingkatan *M-Ary* yang digunakan adalah 16, maka setiap 4 bit merupakan bentuk representasi dari satu simbol data.

Tidak hanya sampai disitu, setelah data dibangkitkan data tersebut akan diolah melalui hamming *encoder* (7,4) sehingga terjadi penambahan 3 bit *parity* pada setiap 4 bit *stream* menjadi 7 bit *codeword* per simbolnya. Maka total bit data setelah diolah melalui hamming *encoder* (7,4) menjadi 1.750.000 bit data.

Kemudian untuk melakukan pengujian terhadap hasil *bit error rate* (BER) yang menunjukkan kualitas dari teknik modulasi 16 PSK dengan kode hamming tersebut, digunakan variasi level nilai SNR dengan rentang nilai yang dimulai dari 0 dB yang akan terus meningkat 1 dB hingga mencapai level nilai SNR sebesar 30 dB. Berikut grafik hasil pengujian perbandingan nilai BER terhadap SNR pada teknik modulasi 16 PSK dengan kode hamming tersebut:



Gambar 4.8. Grafik Hasil Pengujian Perbandingan Nilai BER terhadap SNR pada Teknik Modulasi 16 PSK dengan Kode Hamming

Dari grafik perbandingan nilai BER terhadap SNR pada teknik modulasi 16 PSK dengan kode hamming yang dihasilkan melalui simulasi, terlihat bahwa nilai BER yang dihasilkan semakin menurun seiring dengan bertambahnya level nilai pada SNR. Hal tersebut terjadi karena semakin besar nilai SNR suatu kanal maka level derau yang mempengaruhi sinyal data akan semakin mengecil sehingga kesalahan yang terjadi pada data pun akan semakin kecil. Dan berikut penjabaran grafik perbandingan nilai BER terhadap SNR pada teknik modulasi 16 PSK dengan kode Hamming dalam bentuk tabel:

Tabel 4.3. Hasil Pengujian Perbandingan Nilai BER terhadap SNR pada Teknik Modulasi 16 PSK dengan Kode Hamming

SNR (dB)	BER	SNR (dB)	BER
0	0.3320	16	0.0023
1	0.3093	17	8.8278e-04
2	0.2832	18	2.6121e-04
3	0.2545	19	7.3454e-05
4	0.2241	20	1.1869e-05
5	0.1927	21	9.4806e-07
6	0.1602	22	0
7	0.1287	23	0
8	0.1003	24	0
9	0.0754	25	0
10	0.0543	26	0
11	0.0379	27	0
12	0.0254	28	0
13	0.0160	29	0
14	0.0094	30	0
15	0.0050		

Dari tabel hasil pengujian simulasi terlihat bahwa performansi teknik modulasi 16 PSK dengan kode hamming untuk BER pada level SNR sebesar 0 dB hingga 20 dB, ternyata masih memiliki kualitas yang kurang baik karena masih melebihi dari nilai BER maksimum standar. Dan barulah ketika level SNR mencapai nilai 21 dB, performansi teknik modulasi 16 PSK dengan kode hamming bisa memiliki kualitas modulasi yang baik. Karena nilai BER yang didapat pada level nilai SNR 21 dB lebih kecil dari nilai standarisasi untuk kualitas komunikasi data yaitu sebesar 10^{-6} .

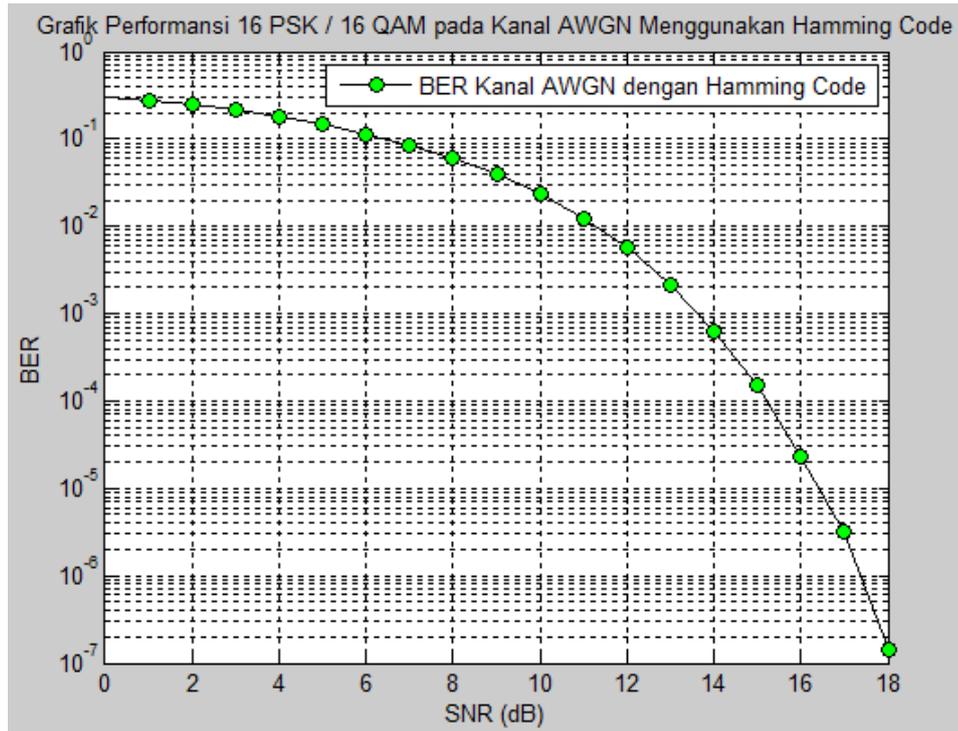
4.1.5. Pengujian Performansi Teknik Modulasi 16 QAM dengan Kode

Hamming

Pengujian performansi teknik modulasi 16 QAM dengan kode hamming dilakukan dengan cara melakukan *input* data terlebih dahulu pada program simulasi. Data masukan yang digunakan merupakan variabel acak sebesar 1.000.000 bit data dalam satuan bilangan biner. Dan karena tingkatan *M-Ary* yang digunakan adalah 16, maka setiap 4 bit merupakan bentuk representasi dari satu simbol data.

Tidak hanya sampai disitu, setelah data dibangkitkan data tersebut akan diolah melalui hamming *encoder* (7,4) sehingga terjadi penambahan 3 bit *parity* pada setiap 4 bit *stream* menjadi 7 bit *codeword* per simbolnya. Maka total bit data setelah diolah melalui hamming *encoder* (7,4) menjadi 1.750.000 bit data.

Kemudian untuk melakukan pengujian terhadap hasil *bit error rate* (BER) yang menunjukkan kualitas dari teknik modulasi 16 QAM dengan kode hamming tersebut, digunakan variasi level nilai SNR dengan rentang nilai yang dimulai dari 0 dB yang akan terus meningkat 1 dB hingga mencapai level nilai SNR sebesar 30 dB. Berikut grafik hasil pengujian perbandingan nilai BER terhadap SNR pada teknik modulasi 16 QAM dengan kode hamming tersebut:



Gambar 4.9. Grafik Hasil Pengujian Perbandingan Nilai BER terhadap SNR pada Teknik Modulasi 16 QAM dengan Kode Hamming

Dari grafik perbandingan nilai BER terhadap SNR pada teknik modulasi 16 QAM di kanal AWGN yang dihasilkan melalui simulasi, terlihat bahwa nilai BER yang dihasilkan semakin menurun seiring dengan bertambahnya level nilai pada SNR. Hal tersebut terjadi karena semakin besar nilai SNR suatu kanal maka level derau yang mempengaruhi sinyal data akan semakin mengecil sehingga kesalahan yang terjadi pada data pun akan semakin kecil. Dan berikut penjabaran grafik perbandingan nilai BER terhadap SNR pada teknik modulasi 16 QAM dengan kode hamming dalam bentuk tabel :

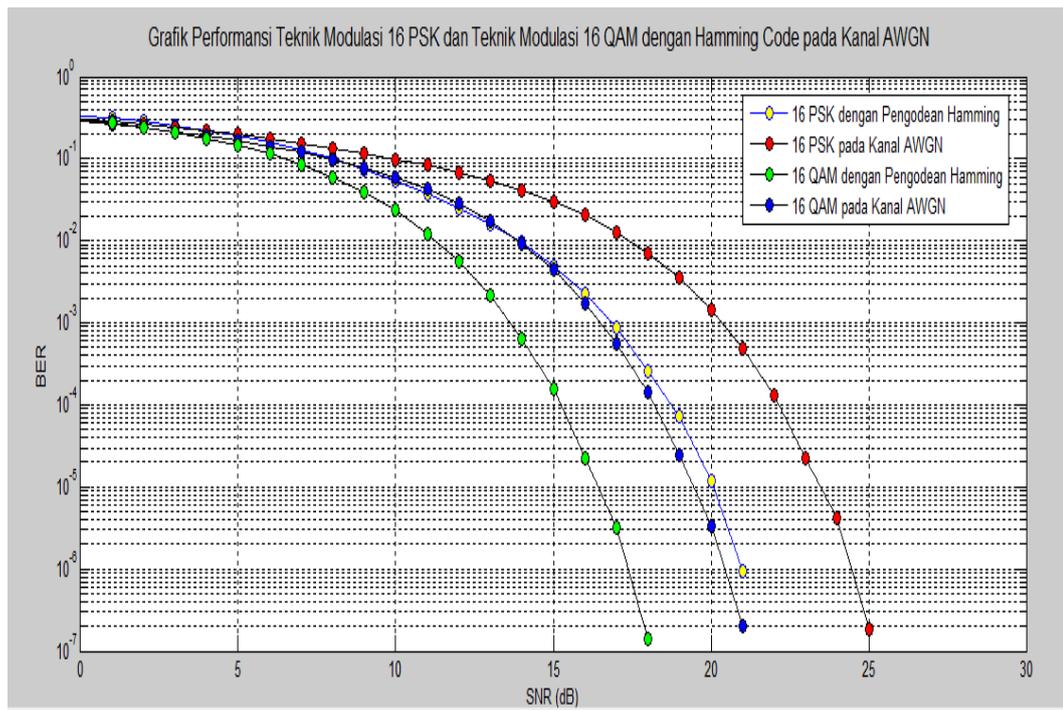
Tabel 4.4. Hasil Pengujian Perbandingan Nilai BER terhadap SNR pada Teknik Modulasi 16 QAM dengan Kode Hamming

SNR (dB)	BER	SNR (dB)	BER
0	0.3057	16	2.2773e-05
1	0.2769	17	3.1838e-06
2	0.2457	18	1.4290e-07
3	0.2128	19	0
4	0.1788	20	0
5	0.1455	21	0
6	0.1140	22	0
7	0.0854	23	0
8	0.0602	24	0
9	0.0392	25	0
10	0.0234	26	0
11	0.0123	27	0
12	0.0057	28	0
13	0.0021	29	0
14	6.3265e-04	30	0
15	1.5430e-04		

Dari tabel hasil pengujian simulasi terlihat bahwa performansi teknik modulasi 16 QAM dengan kode hamming untuk BER pada level SNR sebesar 0 dB hingga 16 dB, ternyata masih memiliki kualitas yang kurang baik karena masih melebihi dari nilai BER maksimum standar. Dan barulah ketika level SNR mencapai nilai 17 dB, performansi teknik modulasi 16 QAM dengan kode hamming bisa memiliki kualitas modulasi yang baik. Karena nilai BER yang didapat pada level nilai SNR 24 dB lebih kecil dari nilai standarisasi untuk kualitas komunikasi data yaitu sebesar 10^{-6} .

4.2. Pembahasan

Keempat teknik modulasi yang telah diuji melalui simulasi dirancang menggunakan sistem dan parameter yang sama, yaitu data awal yang dibangkitkan berjumlah 1.000.000 bit data dalam satuan bilangan biner dan variasi level nilai SNR yang digunakan dimulai dari 0 dB yang akan terus meningkat 1 dB hingga mencapai level nilai SNR sebesar 30 dB. Kemudian untuk melakukan pembahasan penelitian, penulis akan terlebih dahulu menggabungkan keempat grafik yang didapat melalui hasil pengujian simulasi ke dalam satu gambar grafik untuk dianalisis. Berikut gambar gabungan keempat grafik perbandingan performansi teknik modulasi yang telah disimulasikan:



Gambar 4.10. Grafik Gabungan Hasil Pengujian Perbandingan Nilai BER terhadap SNR yang telah disimulasikan

Berdasarkan dari hasil simulasi dan grafik performansi teknik modulasi 16 PSK dan 16 QAM pada kanal AWGN baik menggunakan kode hamming maupun

tidak, dapat terlihat bahwa teknik modulasi 16 QAM dengan menggunakan kode hamming memiliki nilai perbandingan keseluruhan BER terhadap SNR paling kecil jika dibandingkan dengan teknik modulasi lainnya yang telah diuji melalui simulasi.

Selain itu untuk mencapai nilai BER standar maksimum yaitu 10^{-6} , teknik modulasi 16 QAM dengan kode hamming hanya memerlukan level nilai SNR minimal 17 dB untuk mengungguli teknik modulasi 16 QAM pada kanal AWGN diurutan kedua yang memerlukan level nilai SNR minimal 20 dB untuk mencapai nilai BER standar maksimum. Serta mengungguli pula pada teknik modulasi 16 PSK dengan kode hamming dan teknik modulasi 16 PSK pada kanal AWGN yang berada pada urutan ketiga dan keempat, memerlukan level nilai SNR minimal 21 dB dan 24 dB untuk bisa mencapai nilai BER standar maksimum.

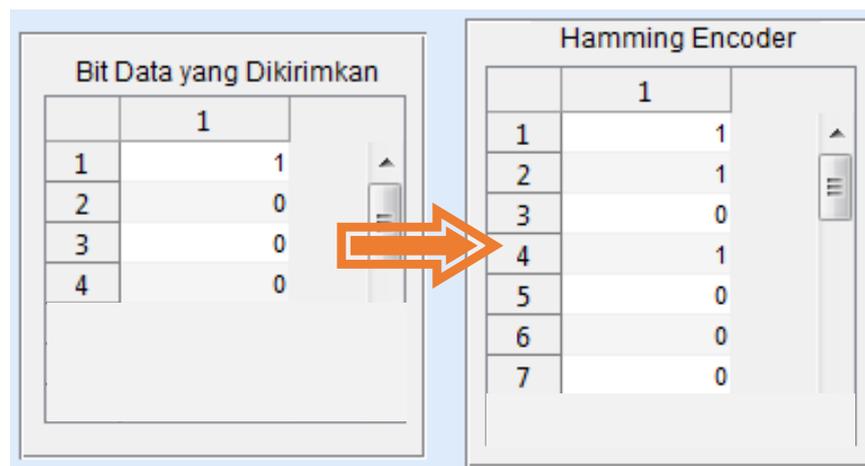
Hasil pengujian yang didapat tersebut dikuatkan dengan teori literatur pada bab sebelumnya yang menjelaskan bahwa teknik modulasi QAM memiliki kualitas BER terhadap SNR yang lebih baik dibandingkan dengan teknik modulasi PSK. Dengan kata lain penggunaan teknik modulasi QAM ini dapat lebih memaksimalkan penggunaan bandwidth suatu kanal dibandingkan dengan teknik modulasi PSK.

Tingginya level nilai *M-Ary* pada teknik modulasi 16 QAM dan teknik modulasi 16 PSK yang berjumlah 16 juga terbukti ikut berperan dalam meningkatkan terjadinya kesalahan bit pada data tersebut. Hal ini disebabkan karena tiap tingkatan *M-Ary* pada teknik modulasi merupakan simbol yang mewakili beberapa bit untuk ditransmisikan melalui proses modulasi. Jadi apabila satu simbol salah pada teknik modulasi 16 QAM atau teknik modulasi 16 PSK,

maka akan semakin besar pula kerusakan pada bit-bit yang diwakilkan didalamnya.

Analisis lain yang ikut memperkuat hasil pengujian adalah dengan adanya penggunaan kode hamming pada teknik modulasi 16 QAM. Terbukti dengan penggunaan kode hamming pada teknik modulasi 16 QAM akan membuat nilai BER yang dihasilkan pada teknik modulasi tersebut menjadi lebih kecil dibandingkan dengan teknik modulasi 16 QAM yang tidak menggunakan kode hamming. Kode hamming ini akan melakukan koreksi satu *error* pada setiap kesalahan bit.

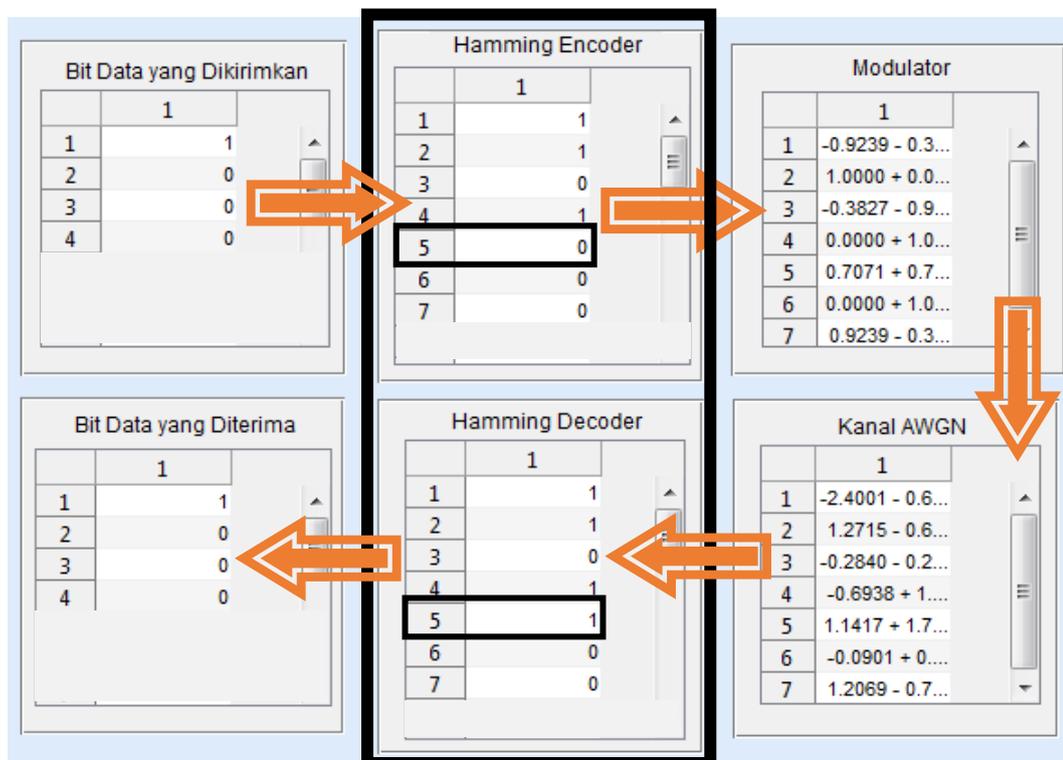
Kode hamming bekerja dengan cara menambahkan bit *parity* pada bit-bit data awal untuk dikodekan melalui hamming *encoder*. Hamming *encoder* yang digunakan pada simulasi adalah jenis kode hamming (7,4) sehingga pada setiap 4 bit *stream* terjadi penambahan 3 bit *parity* menjadi 7 bit *codeword* per simbolnya. Untuk melihat bagaimana cara kerja dari penambahan bit *parity* pada hamming *encoder* (7,4), dapat kita lihat pada gambar hasil simulasi berikut:



Gambar 4.11. Gambar Bit Data Saat dikirimkan Awal (kiri) dan Saat ditambahkan Bit *Parity* pada Hamming Encoder (kanan).

Melalui hasil simulasi juga dapat terlihat bahwa pada 4 bit *stream* yang semula “0010” berubah menjadi “1110010” saat di proses di dalam hamming *encoder* (7,4). Perubahan bit *stream* tersebut berubah akibat terjadi 3 penambahan nilai bit *parity* menjadi 7 bit *codeword* untuk satu simbolnya setelah dikalikan dengan generator matriks yang terdapat pada hamming *encoder*. Sehingga total keseluruhan bit pada simulasi yang semula dibangkitkan berjumlah 1.000.000 bit berubah menjadi 1.750.000 bit akibat penambahan nilai bit *parity* tersebut.

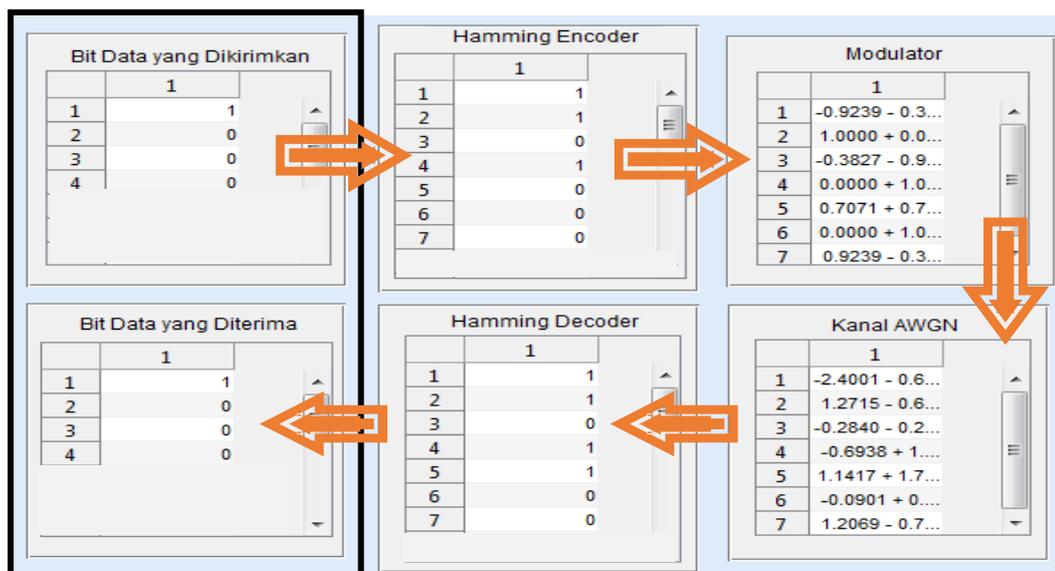
Kemudian untuk mendeteksi *error* sekaligus memperbaiki *error* pada bit yang telah didemodulasi, maka bit *codeword* harus diterjemahkan melalui hamming *decoder* terlebih dahulu. Berikut hasil simulasi yang menunjukkan bahwa hamming *decoder* mampu melakukan koreksi terhadap *error* pada data yang diterima:



Gambar 4.12. Hasil Simulasi yang Menunjukkan Terjadi Satu *Error* pada Bit *Codeword* yang Dikirimkan.

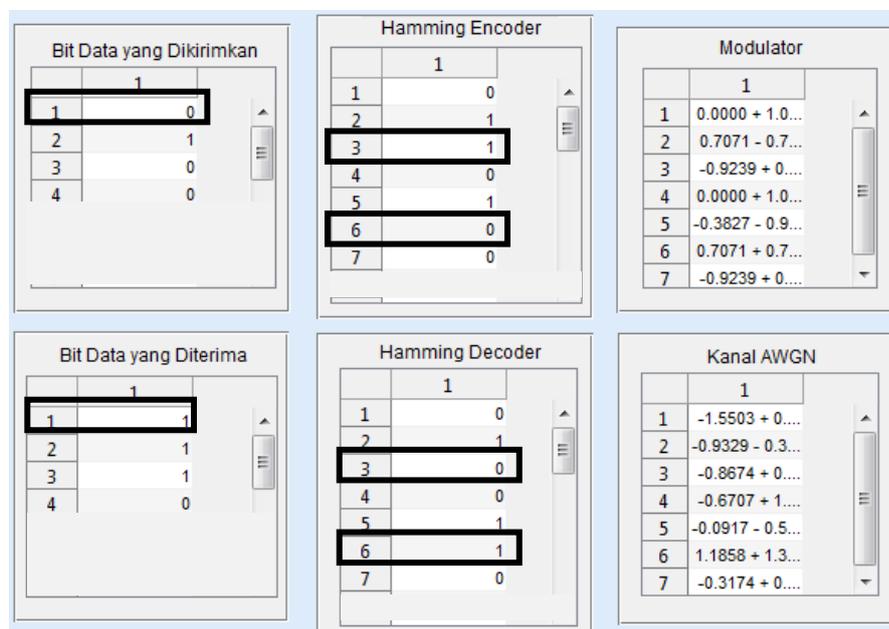
Dari hasil simulasi terlihat bahwa terjadi perbedaan antara nilai bit *codeword* yang ke-5 pada sebelum dan setelah proses modulasi berlangsung. Nilai bit *codeword* yang semula “1101000” pada hamming *encoder* berubah menjadi “1101100” setelah bit *codeword* didemodulasikan. Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa telah terjadi *error* pada bit *codeword* yang telah didemodulasi akibat adanya pengaruh *noise* pada saat bit *codeword* melalui kanal AWGN.

Namun dengan adanya *parity check* dan *syndrome error* pada hamming *decoder*, satu *error* yang terjadi pada bit *codeword* ke-5 tersebut dapat diperbaiki. Hamming *decoder* pada kode hamming ini akan mencari bit-bit yang sama antara bit *syndrome error* dengan bit-bit pada matriks transposisi dari *parity check* untuk menentukan lokasi dari bit *error* tersebut. Setelah posisi bit *error* ditemukan, hamming *decoder* akan menginversi nilai *error* tersebut dan membuang semua bit *parity* pada bit *codeword*, sehingga didapat nilai dari bit *stream* yang dikirimkan. Untuk lebih jelasnya perhatikan kembali hasil simulasi berikut:



Gambar 4.13. Hasil Simulasi yang Menunjukkan Kode Hamming Memperbaiki Error pada Bit Codeword yang Dikirimkan

Jadi kode hamming terbukti membuat performansi kualitas BER suatu teknik modulasi menjadi lebih baik pada level nilai SNR yang sama, dengan melakukan koreksi tepat satu *error* pada setiap bit *codeword* yang menggunakan kode hamming. Namun karena kode hamming hanya bisa melakukan koreksi pada satu bit *error* saja pada setiap bit *codeword*, maka kode hamming tidak bisa mengoreksi *error* apabila terjadi lebih dari satu *error* pada suatu bit *codeword*. Berikut bukti yang didapat dari hasil simulasi:



Gambar 4.14. Kelemahan Kode Hamming Tidak Bisa Memperbaiki Bit *Codeword* Apabila Terjadi Lebih dari Satu *Error*.

Selain itu untuk efisiensi daya, jika dilihat pada sisi nilai BER yang sama, kode hamming mampu memberikan efisiensi yang lebih baik dibandingkan teknik modulasi yang tidak menggunakan kode hamming. Sebaliknya, jika dilihat dari sisi nilai SNR yang sama, kode hamming justru membuat daya pada bit yang dikirimkan menjadi tidak efisien karena membuat kapasitas jumlah bit bertambah yang bahkan bisa melebihi kapasitas bit kanal komunikasi tersebut.

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Dari hasil perancangan analisis dan simulasi performansi teknik modulasi 16 PSK dan teknik modulasi 16 QAM dengan kode hamming dapat diambil kesimpulan, yaitu:

1. Berdasarkan dari hasil simulasi yang telah diuji, teknik modulasi 16 QAM dengan menggunakan kode hamming memiliki performansi terbaik dengan nilai perbandingan BER terhadap SNR paling kecil jika dibandingkan teknik modulasi 16 QAM tanpa menggunakan kode hamming, teknik modulasi 16 PSK dengan menggunakan kode hamming dan teknik modulasi 16 PSK tanpa kode hamming
2. Untuk mencapai nilai BER standar maksimum yaitu 10^{-6} , teknik modulasi 16 QAM dengan kode hamming hanya memerlukan level nilai SNR minimal 17 dB yang mengungguli teknik modulasi 16 QAM pada kanal AWGN di urutan kedua yang memerlukan level nilai SNR minimal 20 dB. Serta mengungguli pula pada teknik modulasi 16 PSK dengan kode hamming dan teknik modulasi 16 PSK pada kanal AWGN yang berada pada urutan ketiga dan keempat, memerlukan level nilai SNR minimal 21 dB dan 24 dB untuk bisa mencapai nilai BER standar maksimum.

3. Nilai *Bit Error Rate* (BER) dapat digunakan untuk mengukur kualitas suatu sistem komunikasi data.
4. Penggunaan teknik modulasi dan jenis kode berpengaruh pada kualitas nilai BER pada setiap komunikasi data.
5. Parameter level nilai SNR dapat digunakan untuk membandingkan nilai BER yang diperoleh pada setiap modulasi. Semakin tinggi nilai SNR maka performansi suatu teknik modulasi semakin baik, karena kesalahan yang dihasilkan menjadi semakin kecil dan nilai BER yang dihasilkan menjadi semakin rendah.
6. Semakin tinggi level *M-Ary* yang digunakan pada frekuensi dan level nilai SNR yang sama, maka semakin tinggi pula kesalahan bit yang diperoleh. Karena level *M-Ary* tersebut akan menentukan banyaknya bit-bit yang akan diwakilkan dalam satu simbol.
7. Kode hamming dapat mengoreksi tepat satu *error* pada setiap bit *codeword* dan dapat memperkecil *bit error rate* (BER) dalam sistem komunikasi data.
8. Untuk efisiensi daya, jika dilihat pada sisi nilai BER yang sama, kode hamming mampu memberikan efisiensi yang lebih baik dibandingkan teknik modulasi yang tidak menggunakan kode hamming. Namun jika dilihat pada sisi nilai SNR yang sama, kode hamming justru membuat daya pada bit yang dikirimkan menjadi tidak efisien karena membuat kapasitas jumlah bit bertambah yang bahkan bisa melebihi kapasitas bit kanal komunikasi tersebut.

5.2. Saran

Berdasarkan kesimpulan yang diperoleh, maka saran yang dapat diberikan penulis adalah sebagai berikut:

1. Simulasi dapat dikembangkan dengan menyertakan parameter-parameter sistem komunikasi digital lainnya.
2. Menggunakan model kanal yang lain untuk merepresentasikan kondisi kanal dengan berbagai gangguannya.
3. Menggunakan jenis kode lain untuk melihat perbandingan dengan penggunaan kode hamming.
4. Gunakan komputer yang memiliki spesifikasi tinggi untuk menjalankan simulasi, agar *input* data dan hasil yang didapatkan bisa lebih maksimal.
5. Apabila terdapat fasilitas yang mencukupi, hasil dari simulasi ini bisa dibandingkan dengan hasil analisis langsung dengan perangkat keras aslinya.

DAFTAR PUSTAKA

Achmad, Mahmud. 2012. *Buku Ajar Teknik Simulasi dan Pemodelan*. Makassar: Universitas Hasanuddin.

Goldsmith, Andrea. 2004. *Wireless Communication*. England: Stanford University.

<http://www.mathworks.com/help/> (Diakses tanggal 1 September 2014)

Hakim, M Lukmanul Hakim; Sukiswo; Santoso, Imam. 2010. Analisis Kinerja Sistem MIMO-OFDM pada Kanal Rayleigh dan AWGN dengan Modulasi QPSK. *Transmisi* 12(4):150-154.

Irsan. 2009. *Simulasi Pengkodean Hamming untuk Menghitung Bit Error Rate* [skripsi]. Medan: Fakultas Teknik Elektro, Universitas Sumatera Utara.

Negoro, Akhmad Andito. 2007. *Rancang Bangun Demodulator 16-QAM dengan Menggunakan DSK TMS320C6713 Berbasiskan Matlab Simulink* [skripsi]. Depok: Fakultas Teknik Elektro, Universitas Indonesia.

Pamungkas, Wahyu; Isnawati, Anggun Fitriani; Kurniawan, Adi. 2012. Modulasi Digital menggunakan Matlab. *Infotel* 4(2):1-11.

Prianto, Joko. 2010. *Analisis Performansi Modulasi QPSK dan 16 QAM Terhadap Efisiensi Transponder pada Satelit Telkom I* [skripsi]. Depok: Fakultas Teknik Elektro, Universitas Indonesia.

Simatupang, Efendi. 2010. *Analisis BER pada Sistem Modulasi BPSK untuk Peningkatan Kinerja Kanal AWGN dengan Kode Hamming* [skripsi]. Medan: Fakultas Teknik Elektro, Universitas Sumatera Utara.

Wahyudi, Rundu Adi. 2008. *Rancang Bangun Modulator 16-QAM pada DSK TMS 320C6713 dengan Menggunakan Simulink* [skripsi]. Depok: Fakultas Teknik Elektro, Universitas Indonesia.

Widiarsono, Teguh. 2005. *Tutorial Praktis Belajar Matlab*. Jakarta.

LAMPIRAN

List Program Simulasi pada *Matlab R2014a* :

```

function varargout = Prog_Modulasi_Hae_fix(varargin)
% PROG_MODULASI_HAE_FIX MATLAB code for Prog_Modulasi_Hae_fix.fig
%   PROG_MODULASI_HAE_FIX, by itself, creates a new
PROG_MODULASI_HAE_FIX or raises the existing
%   singleton*.
%
%
%   H = PROG_MODULASI_HAE_FIX returns the handle to a new
PROG_MODULASI_HAE_FIX or the handle to
%   the existing singleton*.
%
%
%
PROG_MODULASI_HAE_FIX('CALLBACK',hObject,eventData,handles,...)
calls the local
%   function named CALLBACK in PROG_MODULASI_HAE_FIX.M with the
given input arguments.
%
%   PROG_MODULASI_HAE_FIX('Property','Value',...) creates a new
PROG_MODULASI_HAE_FIX or raises the
%   existing singleton*. Starting from the left, property
value pairs are
%   applied to the GUI before Prog_Modulasi_Hae_fix_OpeningFcn
gets called. An
%   unrecognized property name or invalid value makes property
application
%   stop. All inputs are passed to
Prog_Modulasi_Hae_fix_OpeningFcn via varargin.
%
%   *See GUI Options on GUIDE's Tools menu. Choose "GUI allows
only one
%   instance to run (singleton)".
%
% See also: GUIDE, GUIDATA, GUIHANDLES

% Edit the above text to modify the response to help
Prog_Modulasi_Hae_fix

% Last Modified by GUIDE v2.5 27-Dec-2014 22:03:41

% Begin initialization code - DO NOT EDIT
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',       mfilename, ...
                  'gui_Singleton',  gui_Singleton, ...
                  'gui_OpeningFcn', @Prog_Modulasi_Hae_fix_OpeningFcn, ...
                  'gui_OutputFcn',  @Prog_Modulasi_Hae_fix_OutputFcn, ...
                  'gui_LayoutFcn',  [], ...
                  'gui_Callback',    []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});

```

```

end

if nargin
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
% End initialization code - DO NOT EDIT

% --- Executes just before Prog_Modulasi_Hae_fix is made visible.
function Prog_Modulasi_Hae_fix_OpeningFcn(hObject, eventdata,
handles, varargin)
% This function has no output args, see OutputFcn.
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
% varargin   command line arguments to Prog_Modulasi_Hae_fix (see
VARARGIN)

% Choose default command line output for Prog_Modulasi_Hae_fix
handles.output = hObject;

% Update handles structure
guidata(hObject, handles);

% UIWAIT makes Prog_Modulasi_Hae_fix wait for user response (see
UIRESUME)
% uiwait(handles.figure1);

% --- Outputs from this function are returned to the command line.
function varargout = Prog_Modulasi_Hae_fix_OutputFcn(hObject,
eventdata, handles)
% varargout  cell array for returning output args (see VARARGOUT);
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Get default command line output from handles structure
varargout{1} = handles.output;

function edit1_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit1 as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of
edit1 as a double

```

```

m = str2num(get(handles.edit1, 'String'));
handles.m=m;
guidata(hObject, handles)

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function edit1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all
CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject, 'BackgroundColor'),
get(0, 'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject, 'BackgroundColor', 'white');
end

% --- Executes on button press in radiobutton1.
function radiobutton1_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to radiobutton1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hint: get(hObject, 'Value') returns toggle state of radiobutton1
set(handles.radiobutton2, 'Value', 0);
pilih = 1;
handles.pilih=pilih
guidata (hObject,handles)

% --- Executes on button press in radiobutton2.
function radiobutton2_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to radiobutton2 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hint: get(hObject, 'Value') returns toggle state of radiobutton2
set(handles.radiobutton1, 'Value', 0);
pilih = 2;
handles.pilih=pilih
guidata (hObject,handles)

% --- Executes on button press in pushbutton1.
function pushbutton1_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to pushbutton1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
m=handles.m;
MA=handles.MA;
k= log2(MA);
txData = randi([0 1], m, 1);

```

```

o=handles.o;
q=handles.q;
SNR = o:q;
    BER = zeros(10,1);

% Choose Modulation
    pilih=handles.pilih
    switch handles.pilih
        case 1
            hMod = modem.pskmod('M', MA, 'SymbolOrder', 'Gray',
'InputType', 'Bit')
            hDemod = modem.pskdemod('M', MA, 'SymbolOrder', 'Gray',
'OutputType', 'Bit');
        case 2
            hMod = modem.qammod('M', MA, 'SymbolOrder', 'Gray',
'InputType', 'Bit')
            hDemod = modem.qamdemod('M', MA, 'SymbolOrder', 'Gray',
'OutputType', 'Bit');
    end

% Choose Parameters?
    indeks=get(handles.popupmenu2,'Value');
    if indeks == 1

% Use Hamming Code?
for h = 1:length(SNR)
% Use 16-PSK modulation in an AWGN channel
    hAWGN = SNR(h);

% (i.e., one symbol) transient caused by the differential
modulation
    hError = comm.ErrorRate;
    for i= 1:10
        data = encode(txData,7,4,'hamming/binary');
        modData = modulate(hMod, data);
        receivedSignal = awgn(modData,hAWGN,'measured');
        demodData = demodulate(hDemod, receivedSignal);
        rxData = decode(demodData,7,4,'hamming/binary');
        errors = step(hError, txData, rxData);
        BER(i,h) = errors(1);
    end
    errorrate = mean(BER)
    set(handles.txlist, 'Data',txData);
    set(handles.hamlist, 'Data',data);
    set(handles.modlist, 'Data',modData);
    set(handles.awgnlist, 'Data',receivedSignal);
    set(handles.hamdelist, 'Data',demodData);
    set(handles.rxlist, 'Data',rxData);
    set(handles.BERlist, 'Data',errorrate);
    set(handles.SNRlist, 'Data',SNR);
end
figure;
semilogy(SNR, errorrate,'MarkerFaceColor',[0 0
0], 'Marker', 'o', ...
'Color',[0 0 1]);
grid on;
xlabel('SNR (dB)'); ylabel('BER');

```

```

    title('Grafik Performansi 16 PSK / 16 QAM pada Kanal AWGN
Menggunakan Hamming Code');
    legend('BER Kanal AWGN dengan Hamming Code',1);

    else if indeks == 2

for h = 1:length(SNR)
% Use 16-PSK modulation in an AWGN channel
    hAWGN = SNR(h);
% (i.e., one symbol) transient caused by the differential
modulation
    hError = comm.ErrorRate;

% Calculate BER for 10 frames
    for i= 1:10
        modData = modulate(hMod, txData);
        receivedSignal = awgn(modData,hAWGN,'measured');
        demodData = demodulate(hDemod, receivedSignal);
        errors = step(hError, txData, demodData);
        BER(i,h) = errors(1);
    end
    errorrate = mean(BER)
    set(handles.txlist, 'Data',txData);
    set(handles.modlist, 'Data',modData);
    set(handles.awgnlist, 'Data',receivedSignal);
    set(handles.rxlist, 'Data',demodData);
    set(handles.BERlist, 'Data',errorrate);
    set(handles.SNRlist, 'Data',SNR);
end

figure;
semilogy(SNR,
errorrate,'MarkerFaceColor','blue','Marker','o',...
'Color',[0 0 0]);
grid on;
xlabel('SNR (dB)'); ylabel('BER');
title('Grafik Performansi 16 PSK / 16 QAM pada Kanal AWGN');
legend('BER Kanal AWGN',1);

    end
end

% --- Executes on button press in pushbutton2.
function pushbutton2_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to pushbutton2 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
set(handles.edit1, 'string', ''); %mengosongkan string pada edit1
set(handles.edit2, 'string', '');
set(handles.edit5, 'string', '');
set(handles.txlist, 'Data', '');
set(handles.hamlist, 'Data', '');
set(handles.modlist, 'Data', '');
set(handles.rxlist, 'Data', '');

```

```

set(handles.BERlist, 'Data', '');
set(handles.SNRlist, 'Data', '');

% --- Executes on selection change in popupmenu2.
function popupmenu2_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to popupmenu2 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: contents = cellstr(get(hObject,'String')) returns
popupmenu2 contents as cell array
%          contents{get(hObject,'Value')} returns selected item from
popupmenu2
indeks=get(handles.popupmenu2,'Value');
handles.indeks=indeks;
guidata(hObject, handles)

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function popupmenu2_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to popupmenu2 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all
CreateFcns called

% Hint: popupmenu controls usually have a white background on
Windows.
%          See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function BERlist_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to BERlist (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all
CreateFcns called

% --- Executes when entered data in editable cell(s) in BERlist.
function BERlist_CellEditCallback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to BERlist (see GCBO)
% eventdata  structure with the following fields (see UITABLE)
%   Indices: row and column indices of the cell(s) edited
%   PreviousData: previous data for the cell(s) edited
%   EditData: string(s) entered by the user
%   NewData: EditData or its converted form set on the Data
property. Empty if Data was not changed
%   Error: error string when failed to convert EditData to
appropriate value for Data

```

```

% handles      structure with handles and user data (see GUIDATA)

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function SNRlist_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to SNRlist (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles      empty - handles not created until after all
CreateFcns called

% --- Executes when entered data in editable cell(s) in SNRlist.
function SNRlist_CellEditCallback(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to SNRlist (see GCBO)
% eventdata    structure with the following fields (see UITABLE)
%   Indices:   row and column indices of the cell(s) edited
%   PreviousData: previous data for the cell(s) edited
%   EditData:  string(s) entered by the user
%   NewData:   EditData or its converted form set on the Data
property. Empty if Data was not changed
%   Error:    error string when failed to convert EditData to
appropriate value for Data
% handles      structure with handles and user data (see GUIDATA)

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function pushbutton1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to pushbutton1 (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles      empty - handles not created until after all
CreateFcns called

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function pushbutton2_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to pushbutton2 (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles      empty - handles not created until after all
CreateFcns called

function edit2_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to edit2 (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles      structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit2 as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of
edit2 as a double

```

```

o = str2num(get(handles.edit2, 'String'));
handles.o=o;
guidata(hObject, handles)

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function edit2_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit2 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all
CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject, 'BackgroundColor'),
get(0, 'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject, 'BackgroundColor', 'white');
end

% --- Executes on button press in radiobutton11.
function radiobutton11_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to radiobutton11 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hint: get(hObject, 'Value') returns toggle state of radiobutton11

% --- Executes on button press in radiobutton12.
function radiobutton12_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to radiobutton12 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hint: get(hObject, 'Value') returns toggle state of radiobutton12

function edit5_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit5 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject, 'String') returns contents of edit5 as text
%         str2double(get(hObject, 'String')) returns contents of
edit5 as a double
q = str2num(get(handles.edit5, 'String'));
handles.q=q;
guidata(hObject, handles)

```

```

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function edit5_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit5 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all
CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit6_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit6 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit6 as text
%         str2double(get(hObject,'String')) returns contents of
edit6 as a double
MA = str2num(get(handles.edit6, 'String'));
handles.MA=MA;
guidata(hObject, handles)

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function edit6_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit6 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all
CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%         See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

% --- Executes when entered data in editable cell(s) in txlist.
function txlist_CellEditCallback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to txlist (see GCBO)
% eventdata  structure with the following fields (see UITABLE)
%     Indices: row and column indices of the cell(s) edited
%     PreviousData: previous data for the cell(s) edited
%     EditData: string(s) entered by the user
%     NewData: EditData or its converted form set on the Data
property. Empty if Data was not changed

```

```
% Error: error string when failed to convert EditData to
appropriate value for Data
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function txlist_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to txlist (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all
CreateFcns called
```

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



Haekal Aufar Amriel, lahir di Jakarta, 20 September 1993.

Merupakan anak pertama dari dua bersaudara, dari pasangan Bapak Maher Amriel dan Ibu Shinta Amelia.

Riwayat pendidikan formal yang pernah ditempuh oleh penulis adalah pendidikan dasar di SDI Al-Azhar 6 Jaka Permai (1999-2005), pendidikan menengah pertama di SMP

Labschool Jakarta (2005-2008), pendidikan menengah atas di SMAN 61 Jakarta (2008-2011) dan melanjutkan ke jenjang universitas di Universitas Negeri Jakarta, Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Elektro, Program Studi Teknik Elektronika, Kosenterasi Peminatan Telekomunikasi.

Selama kuliah, penulis aktif di organisasi kemahasiswaan yaitu Radio Kampus ERA FM UNJ sebagai *Staff Program Director* pada periode 2012-2013. Penulis juga aktif dalam berbagai *event* kepanitiaan yang ada di kampus, seperti perekrutan anggota baru Radio Kampus ERA FM tahun 2013 sebagai Ketua Sie Acara, acara ramah tamah prodi elektronika MEKATRONIKA pada tahun 2013 sebagai *Staff* Sie Publikasi dan lain sebagainya. Penulis juga aktif sebagai Ketua Kelas Elektronika Non Reguler Angkatan 2011 periode 2012 hingga sekarang.

Penulis juga berkesempatan mendapatkan dana hibah dikti untuk Program Kreativitas Mahasiswa (PKM) pada periode 2014-2015 dan dana hibah Program Mahasiswa Kewirausahaan (PMW) pada periode 2012-2013. Selain aktif di dalam kampus, penulis juga aktif di organisasi luar kampus yaitu sebagai anggota GAMIS SMAN 61 Jakarta dan sebagai anggota Alumni OSIS SMAN 61 Jakarta.