

# Implementasi Modulasi dan Demodulasi M-ary QAM pada DSK TMS320C6416T

Angga Yuda Prasetya, Suwadi, dan Titiek Suryani

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

E-mail: suwadi110@gmail.com, titiks@ee.its.ac.id

**Abstrak**—Modulasi merupakan metode penumpangan sinyal informasi ke dalam sinyal pembawa yang memiliki frekuensi lebih tinggi, sehingga metode ini sangat penting dalam proses pengiriman informasi. Salah satu jenis modulasi digital yang sering digunakan adalah QAM (*Quadrature Amplitude Modulation*). Modulator dan demodulator M-ary QAM dapat diprogram dengan menggunakan *DSP processor*. DSK TMS320C6416T adalah suatu *board/hardware* untuk memproses sinyal yang termasuk dalam keluarga besar *processor* TMS320 produksi *Texas Instrument*, bekerja pada frekuensi 0-96 kHz yang merupakan standar dalam sistem telekomunikasi. Tujuannya yaitu melakukan implementasi modulasi dan demodulasi M-ary QAM secara real ke dalam *DSP Starter Kit* TMS320C6416T. Pemodelan sistemnya di-generate dengan menggunakan *software* MATLAB, sehingga lebih fleksibel untuk mengubah parameter dalam modulator dan demodulator M-ary QAM. Terdapat empat implementasi sistem yaitu sistem dengan input *bernoulli binary generator*, input *pulse generator*, sinyal input dari *function generator* melalui *port Line-In* dan input suara melalui *port Mic-In*. Pengujian dilakukan untuk mengetahui kinerja DSK TMS320C6416T yang ditampilkan dalam bentuk grafik *Bit Error Rate* terhadap variasi nilai  $E_b/N_0$  dilakukan dengan mengirimkan 100.000 bit. Kinerja terbaik terdapat pada implementasi menggunakan sistem QAM dengan nilai BER mencapai  $1.00E-05$  pada nilai  $E_b/N_0 \geq 11$  dB. Sedangkan kinerja terburuk pada semua sistem dengan input dari *function generator* dengan nilai BER yang tidak mencapai  $1.00E-05$  dibandingkan dengan sistem yang telah dirancang.

**Kata Kunci**—QAM, Modulasi Digital, DSK TMS320C6416T, Matlab

## I. PENDAHULUAN

PADA transmisi digital terdapat tiga macam teknik dasar modulasi yaitu ASK, FSK, dan PSK. Dalam perkembangannya, terdapat modulasi QAM yang merupakan kombinasi dari modulasi ASK dan PSK. Modulasi QAM membagi sinyal yang ditransmisikan menjadi dua bagian, dimana kedua bagian ini berbeda fasa  $90^\circ$ . Orde QAM yang sering dinyatakan sebagai M-ary QAM menunjukkan jumlah simbol QAM yang dapat dihasilkan ( $M=2^n$ ), dimana pengelompokan ini tergantung pada banyaknya jumlah bit informasi total yang diwakilkan pada satu simbol.

Untuk membuat modulator dan demodulator M-ary QAM dapat dilakukan dengan pemrograman pada DSK TMS320C6416T yang merupakan suatu *board/hardware* yang digunakan untuk memproses sinyal digital, *speech*, hingga *image processing* dan termasuk dalam keluarga besar *processor* TMS320 produksi *Texas Instrument*. Pemrograman *DSP*

*processor* dapat dilakukan menggunakan bahasa C dan bahasa *assembly*. Selain itu metode pemrograman lain yang lebih praktis yaitu menggunakan *DSP Simulink blockset* yang terdapat dalam *software* MATLAB.

Oleh karena itu akan diimplementasikan modulasi dan demodulasi M-ary QAM secara real ke dalam DSK TMS320C6416T. Pemodelan sistemnya di-generate dengan menggunakan *software* MATLAB melalui bantuan *software* *Code Composer Studio* yang merupakan *interface board* untuk DSK TMS320C6416T.

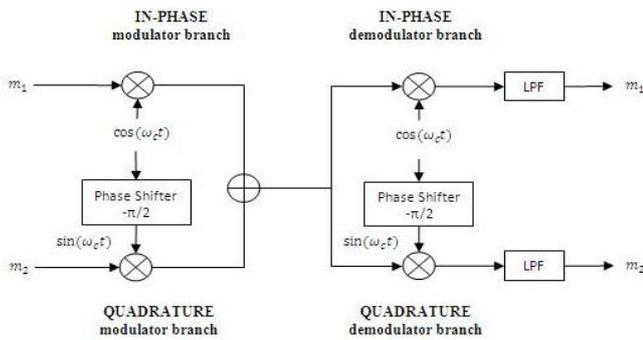
## II. TEORI PENUNJANG

### A. Quadrature Amplitude Modulation

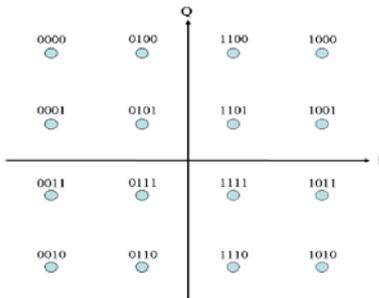
Modulasi merupakan proses penumpangan sinyal informasi pada sinyal *carrier*. Sinyal informasi tersebut dapat ditumpangkan dengan cara mengubah amplitudo, frekuensi maupun fase dari sinyal *carrier*. Untuk meningkatkan kapasitas informasi yang dikirimkan, dapat melakukan perubahan dengan kombinasi dari beberapa parameter tersebut.

QAM mengkombinasikan antara ASK dan PSK. Jadi konstelasi sinyalnya berubah sesuai *amplitude* (jarak dari titik asal ke titik konstelasi) juga berdasarkan *phase* (titik konstelasi tersebar di bidang kompleks). *Quadrature Amplitude Modulation* adalah skema modulasi dua *sinusoidal carrier*, tepat  $90^\circ$  dari fase dengan yang lainnya, digunakan untuk mengirimkan data melalui suatu saluran fisik [1]. Proses modulasi secara umum dapat dilihat pada Gambar 1. Pada umumnya sistem ini dibagi menjadi dua yaitu *modulator* yang berfungsi sebagai *transmitter* dan *demodulator* sebagai *receiver*. Sinyal informasi yang akan dikirim (*baseband*) dibagi menjadi dua komponen, *Inphase* merupakan bagian real dan *Quadrature* merupakan bagian imajiner dari sinyal modulasi yang berbeda  $90^\circ$ . Data yang akan dikirim dibagi menurut jumlah bit kemudian dikonversi menjadi suatu simbol. Setiap simbol pada modulasi QAM memiliki pola digital 2 bit. Misalkan bitstream (0 1 1 1 0 0 0) dikelompokkan menjadi 2 bit menjadi (0 1, 1 1, 1 0, 0 0) yang nantinya dipetakan menjadi 4 simbol sesuai amplitudo dan fasenya [3].

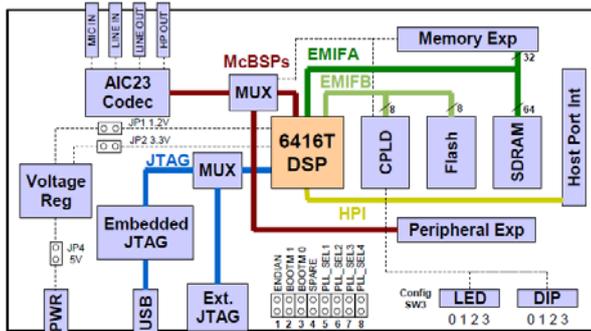
Sinyal QAM yang sudah ditransmisikan harus didemodulasikan agar didapatkan sinyal informasi sesuai yang dikirimkan pemancar. Penerima hanya melakukan proses kebalikan dari pemancar. Dengan melewati sinyal pada penerima *matched filter*, sinyal yang berfrekuensi tinggi akan dihilangkan sehingga diperoleh sinyal *Inphase*. Begitu pula pada komponen *Quadrature*, untuk mendapatkan nilainya didapatkan dengan cara mengalikan sinyal hasil modulasi dengan gelombang *sinus*. Kedua sinyal tersebut kemudian digabungkan kembali sama seperti bentuk sinyal informasinya.



Gambar. 1. Blok Diagram QAM Modulator / Demodulator [2].



Gambar. 2. Diagram Konstelasi 16-QAM [4].



Gambar. 3. DSK TMS320C6416T [6].

**B. Diagram Konstelasi**

Diagram konstelasi adalah sebuah diagram yang merepresentasikan pola modulasi digital pada bidang kompleks dan 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 berupa pemangkatan dari  $2^n$ , karena pada komunikasi digital datanya bernilai biner [4].

**C. Probabilitas Error Bit**

Dalam pengiriman bit, pada bagian penerima dapat terjadi kesalahan yang biasa disebut *probabilitas error bit* ( $P_b$ ). Untuk menunjukkan kinerja sistem, digunakan probabilitas error yang nantinya didapatkan nilai BER (*Bit Error Rate*). Pada konstelasi rectangular, kanal *Gaussian*, dan penerima *matched filter*, *probabilitas error bit* untuk M-ary QAM dimana  $M=2^k$  dan  $k=2,4,6,\dots,n$  (bilangan genap) dinyatakan dalam persamaan 1 [1]:

$$P_b = \frac{2(1-L^{-1})}{\log_2 L} Q \left[ \sqrt{\frac{3 \log_2 L \cdot 2Eb}{L^2 \cdot N_0}} \right] \quad (1)$$

Dimana  $Q(x)$  merupakan persamaan *Q-function* yang disebut *complementary error function* atau *co-error function*, didefinisikan sebagai probabilitas error simbol

pada *noise Gaussian* dan  $L = \sqrt{M}$  yang merepresentasikan level amplitudo pada satu dimensi. Sedangkan perbandingan nilai *energy bit* dengan *noise* ( $E_b/N_0$ ) [1] didapatkan dari persamaan 2 berikut:

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{S \cdot W}{N \cdot R} \quad (2)$$

S merupakan daya sinyal, N adalah daya noise yang terukur, W merupakan bandwidth dan R adalah laju bit yang digunakan.

**D. DSP Starter Kit TMS320C6416T**

Texas Instruments DSK TMS320C6416T adalah *low cost development platform* untuk aplikasi pemrosesan sinyal digital secara *real-time*. Terdiri dari sebuah papan sirkuit kecil berisi DSP TMS320C6416 *fixed-point* dan *interface* rangkaian analog (codec) TLV320AIC23 yang terhubung ke PC melalui port USB [5]. *Digital Signal Processor* digunakan untuk berbagai aplikasi, dari komunikasi, *speech control* dan *image processing*. Aplikasi umum yang menggunakan DSP ini yaitu untuk frekuensi 0-96 kHz. Frekuensi tersebut merupakan standar dalam sistem telekomunikasi untuk *sample speech* di 8 kHz (satu sampel setiap 0,125 ms).

DSK TMS320C6416 merupakan *multi-layer board* berukuran 8.75 x 4.5 inch (210 x 115 mm), disuplai daya eksternal +5 volt. DSK ini terdiri dari sebuah 1 GHz DSK TMS320C6416 *fixed-point digital signal processor* dan 16-bit *stereo codec* TLV 320AIC23 untuk *input* dan *output* analog. Codec AIC23 menyediakan ADC dan DAC dengan *clock* 12 MHz dan *sampling rate* 8–96 kHz. DSK memiliki 16 MB *Synchronous Dynamic Random* (SDRAM) dan 512 kB *flash memory*. Fasilitas *card expansion* dan dua konektor 80-pin juga disediakan untuk *external peripheral* dan *external memory interfaces*. *JTAG emulation* melalui *on-board JTAG emulator* dengan *USB host interface* atau *external emulator*. Konfigurasi *software board* melalui register diimplementasikan pada CPLD serta pemilihan *configured boot* dan *clock input* [6].

Terdapat empat konektor pada DSK untuk *input* dan *output*:

- MIC IN untuk *input* dari *microphone*.
- LINE IN untuk *input* dari *function generator*.
- LINE OUT untuk *output*.
- HEADPHONE untuk *output* pada *headphone*.

*Dip switch* dalam DSK dapat difungsikan sesuai program dan menyediakan fungsi kontrol. Terdapat pengatur tegangan yang menyediakan 1,26 V untuk *processor* dan 3,3 V untuk sistem memori dan kelengkapan lain.

**E. Code Composer Studio v3.1**

CCS merupakan sebuah *Integrated Development Environment* (IDE) untuk Texas Instruments (TI) *embedded processor*. CCS menyediakan IDE untuk pemrosesan sinyal digital *real-time* berdasarkan bahasa pemrograman C. CCS menghasilkan kode seperti *assembler*, *C compiler*, dan *linker* untuk keluaran DSK Texas Instrument. CCS memiliki kemampuan grafis dan mendukung *real-time debugging*. *C compiler* mengkompilasi sebuah program dalam bahasa C dengan ekstensi \*.c, untuk menghasilkan file *assembly* menggunakan ekstensi \*.asm. *Assembler* memproses file \*.asm untuk menghasilkan file bahasa mesin dengan ekstensi \*.obj. Kemudian *linker* menggabungkan file-file tersebut menjadi *executable file* dengan ekstensi \*.out. File ini kemudian dimasukkan ke dalam prosesor C6714. Untuk analisis *real-time* dapat menggunakan fasilitas *real-time*

data exchange (RTDX) yang memungkinkan pertukaran data antara PC dan DSK tanpa melepas DSK [6].

Pada *software* Matlab telah disediakan sebuah fungsi untuk berkomunikasi dengan DSK TMS320C6x dengan bantuan CCS. Kemudian CCS mengintegrasikan simulasi yang sudah dibentuk dari Simulink Matlab kemudian mengkonversikan ke dalam bahasa C maupun *assembly*.

III. PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI SISTEM

Implementasi sistem dibuat diagram alir yang berpedoman pada Gambar 5. Sesuai dengan blok diagram yang dirancang, sinyal input akan dibangkitkan dengan 2 cara, yaitu:

1. Sinyal input dari Matlab yang berupa *bernoulli binary generator* serta *pulse generator*.
2. Sinyal input dari *function generator* (*port Line-In*) dan input suara (*port Mic-In*).

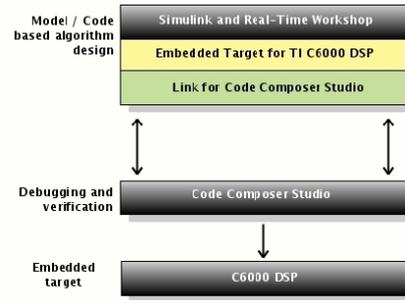
Jika sinyal input digital yang dibangkitkan dari dalam Matlab, bit yang dihasilkan dapat dibuat secara acak dari *bernoulli binary generator* (misalkan 1 1 0 1 0 0 1 0 1 1 0) atau melalui *pulse generator* dengan logika “1” dan “0” sesuai pengaturan parameternya (misal 1 0 1 0 1 0 atau 1 1 0 0 1 1 0 0). Untuk sinyal input digital yang dibangkitkan dari *function generator* merupakan sinyal kotak dengan pengaturan frekuensi yang sesuai dengan jenis modulasinya dan amplitudo 1 Vpp dengan bit yang dihasilkan adalah logika “1” dan “0”. Jika sinyal input yang berasal dari *port Mic-In*, maka sinyal input berasal dari suara manusia.

Berdasarkan diagram alir pada Gambar 5, untuk input dari Matlab berasal dari *bernoulli binary generator* (dengan nilai 1 dan 0 secara acak) dan *pulse generator* (dengan nilai 1 dan 0 sesuai pengaturan parameter). Selanjutnya dilakukan konversi bit-bit sebanyak n menjadi sinyal yang bernilai *integer* dengan nilai 0 hingga  $(2^n)-1$  sesuai jenis modulasi yang telah ditentukan m-QAM ( $m=2^n$ , dimana  $n=2,4,6$ ). Sinyal tersebut kemudian dipetakan sesuai dengan amplitudo dan fasanya untuk dikalikan sinyal *carrier*  $\cos(2\pi f_c t)$  untuk komponen *Inphase* dan sinyal *carrier*  $\sin(2\pi f_c t)$  untuk komponen *Quadrature* dengan frekuensi yang ditentukan yaitu 8000 Hz. Sinyal output dari proses modulasi ini disebut sinyal hasil modulasi.

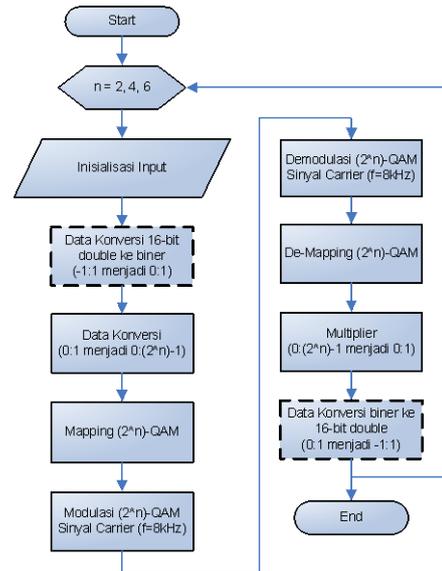
Proses demodulasi merupakan proses kebalikannya yaitu dengan mengalikan sinyal hasil modulasi dengan sinyal *carrier* untuk memisahkan sinyal *carrier* dengan sinyal informasi. Selanjutnya dilakukan proses *de-mapping* yang kemudian masuk blok *multiplier* untuk mengembalikan sinyal info dengan nilai *integer* 0 hingga  $(2^n)-1$  menjadi bit 0 dan 1.

Sesuai dengan diagram alir pada Gambar 4, maka dibuat pemodelan sistem modulasi-demodulasi dengan menggunakan *software* Matlab Simulink seperti pada Gambar 6.

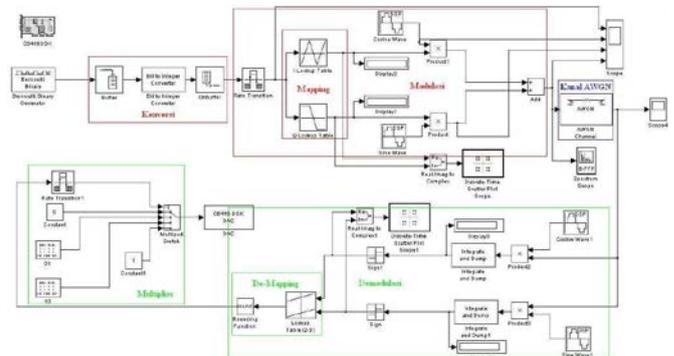
Untuk pemodelan sistem yang menggunakan sinyal input dari blok *pulse generator* sama seperti Gambar 6, hanya saja blok *bernoulli binary generator* diganti dengan blok *pulse generator*. Untuk sinyal input dari *function generator* dan sinyal input suara, sebelum dan setelah masuk sistem modulasi-demodulasi harus dilakukan konversi untuk menghasilkan sinyal dengan logika “0” dan “1”. Bentuk sinyal input dari *function generator* adalah sinyal kotak dengan amplitudo  $\pm 1V$  dan frekuensi 1000 Hz. Dengan sinyal yang amplitudonya  $\pm 1V$  bertipe data 16-bit *double*, sinyal tersebut harus dikonversi dahulu ke nilai biner 0 dan 1 agar dapat masuk ke dalam sistem yang telah dirancang.



Gambar. 4. Diagram alir antara Simulink, CCS, dan C6000 DSP [7].



Gambar. 5. Diagram Alir Modulasi dan Demodulasi M-ary QAM.

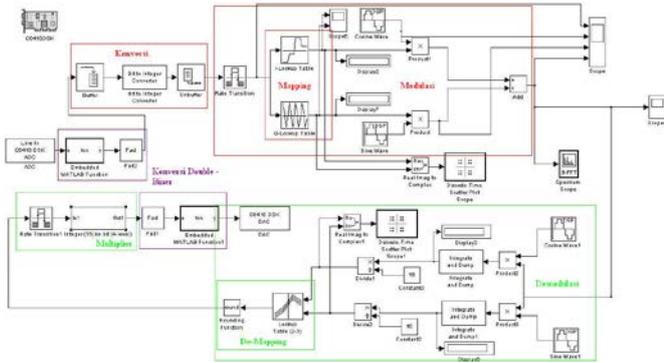


Gambar. 6. Implementasi Sistem Modulasi Demodulasi QAM dengan input *Bernoulli Binary Generator*.

Pada output dari sistem demodulasi dilakukan proses konversi kebalikannya yaitu mengkonversikan sinyal dengan nilai biner 0 dan 1 menjadi sinyal dengan amplitudo  $\pm 1V$  bertipe data 16-bit *double*.

Sama seperti halnya dengan sinyal input dari *port Line-In*, sinyal input dari *port Mic-In* menghasilkan sinyal dengan amplitudo  $\pm 1V$  namun memiliki *range* frekuensi yang berbeda pula yaitu mulai 0 hingga 4000 Hz. Semua jenis sinyal dapat ditangkap oleh *microphone* jika berada dalam *range* frekuensi tersebut.

Pada pemodelan sistem yang menggunakan sinyal input dari luar (*function generator* melalui *port Line-In* dan sinyal suara melalui *port Mic-In*) ditambahkan blok konversi. Blok ini berfungsi untuk mengubah nilai output dari blok *Line-In* atau *Mic-In* yang bertipe data 16-bit *double* menjadi nilai biner.



Gambar. 7. Implementasi Sistem Modulasi Demodulasi 16-QAM dengan input *Line-In C6416DSK (ADC)*.

IV. PENGUJIAN DAN ANALISA SISTEM

Dalam bab ini akan dibahas mengenai pengujian dari implementasi modulasi dan demodulasi M-ary QAM yang telah dijelaskan sebelumnya pada bagian III. Hasil pengujian kinerja sistem akan ditampilkan pada grafik BER vs Eb/N0. Terdapat beberapa model sistem yang dapat dianalisis yaitu:

1. Sinyal input dari Matlab yang berupa *bernoulli binary generator* serta *pulse generator*.
2. Sinyal inputan dari *function generator (port Line-In)* dan suara (*port Mic-In*).

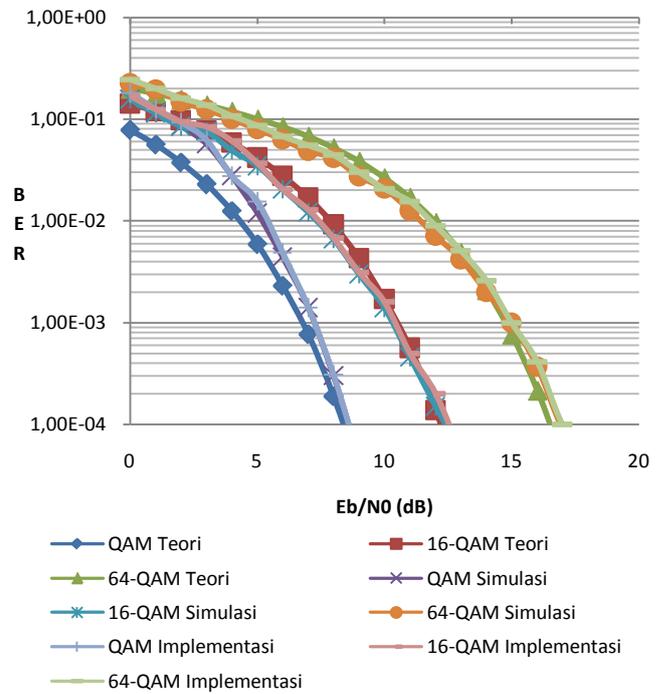
Selain dilakukan pengujian berdasarkan simulasi dan implementasi, hasil dari kinerja sistem tersebut dibandingkan dengan kinerja modulasi dan demodulasi M-ary QAM secara teoritis. Kinerja sistem baik secara simulasi dan implementasi untuk sinyal generator direpresentasikan melalui grafik BER vs Eb/N0 menggunakan metode *Monte Carlo*. Berbeda untuk sinyal input suara dari *port Mic-In*, pengujiannya menggunakan metode *MOS (Mean Opinion Score)* dimana dalam penilaiannya diberikan sesuai dengan parameter yang diukur pada kinerja sistemnya.

A. Pengujian Sistem dengan Input dari Matlab

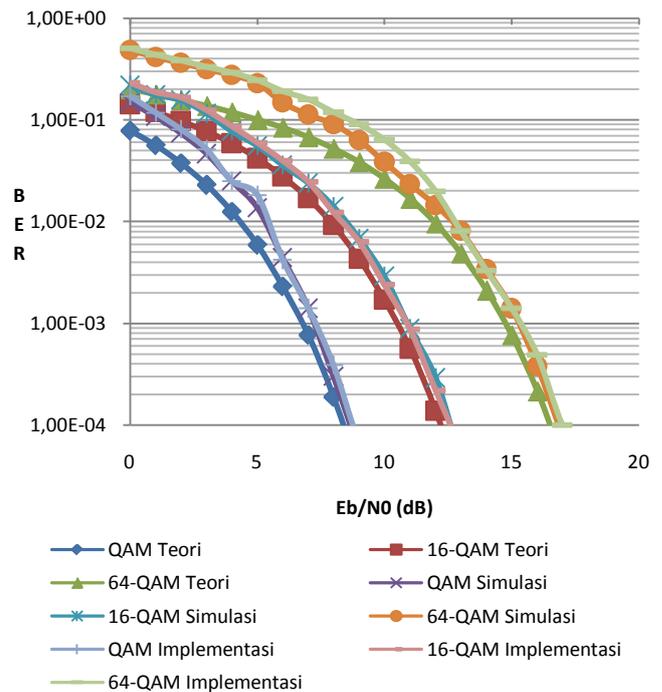
Pengujian sistem ini menggunakan input dari Matlab yaitu *bernoulli binary generator* dan *pulse generator*. Hal ini bertujuan untuk mengetahui kinerja maksimal dari DSK TMS320C6416T dalam melakukan proses modulasi dan demodulasi M-ary QAM. Pada Gambar 8 dan 9 dapat dilihat bahwa nilai BER implementasi lebih buruk karena berada diatas grafik nilai BER teori. Grafik nilai BER dari implementasi yang paling bagus terdapat pada sistem QAM dengan input *pulse generator* dan input *bernoulli binary generator*. Sistem ini merupakan kondisi terbaik dari DSK TMS320C6416T karena hanya memiliki salah 1 bit di penerima dari 100.000 bit yang dikirimkan dalam tiga kali pengujian dengan nilai BER rata-rata 0,00001 dengan variasi nilai  $E_b/N_0 \geq 11$  dB. Hal ini dikarenakan DSK bekerja dalam kondisi sinkron baik antara sinyal informasi dengan sinyal *carrier* dan keseluruhan pengolahan sinyalnya.

B. Pengujian Sistem dengan Input melalui port Line-In

Sinyal input atau data dari sistem ini dibangkitkan dari *function generator* yang dihubungkan ke *port line-in* pada DSK TMS320C6416T. *Function Generator* dapat dibangkitkan dari *software Visual Analyzer*. Input ini dibangkitkan dari luar DSK, hal ini bertujuan untuk mengetahui kinerja DSK TMS320C6416T dalam melakukan proses modulasi dan demodulasi ketika menerima sinyal input dari *port line-in*.

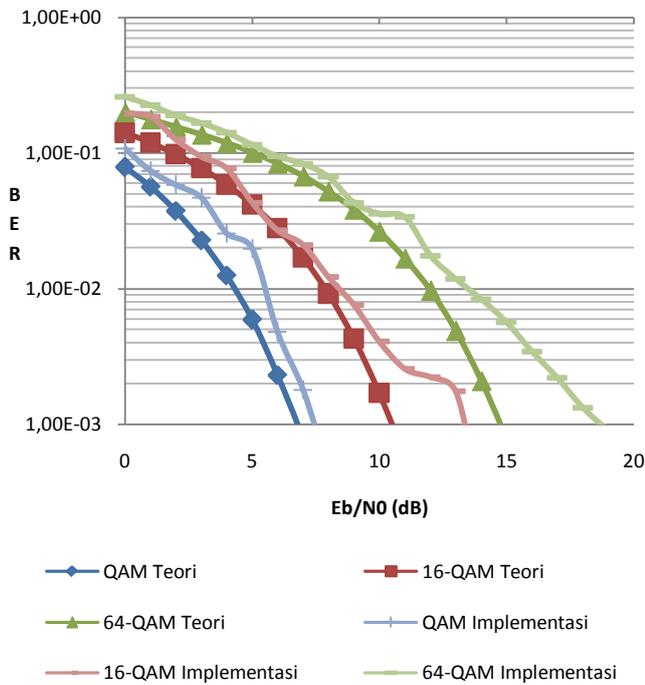


Gambar. 8. Grafik BER vs Eb/N0 dengan input *Bernoulli Binary Generator*.



Gambar. 9. Grafik BER vs Eb/N0 dengan input *Pulse Generator*.

Dapat dilihat pada Gambar 10, grafik nilai BER pada mulanya memiliki nilai BER lebih baik daripada BER teori namun semakin besar nilai Eb/N0 semakin buruk pula hasil yang didapatkan sehingga nilai BER melebihi nilai BER teori. Peristiwa ini disebabkan sistem sangat rentan terhadap noise jika menggunakan sinyal input yang dihasilkan oleh *function generator* yang dihasilkan *software Visual Analyzer*. Karena *function generator* dibangkitkan melalui PC maka kejadian tersebut juga tergantung berdasarkan kualitas sinyal yang dihasilkan *software Visual Analyzer*.



Gambar. 10. Grafik BER vs Eb/N0 dengan input *Function Generator*.

Tabel 1.  
Penguji nilai MOS sistem QAM melalui port *Mic-In*

Eb/N0 (dB)	Suara	Music
0	2.4	2.4
1	2.4	2.4
2	2.7	3.1
3	3	3.3
4	3.2	3.3
5	3.3	3.3
6	3.3	3.2
7	3.3	3.5
8	3.5	3.5
9	3.6	3.6
10	3.6	3.6
11	3.8	3.8

C. Penguji Sistem dengan Input melalui port *Mic-In*

Untuk pengujian dengan input menggunakan *microphone* dilakukan dengan metode lain yaitu dengan MOS (*Mean Opinion Score*). MOS merupakan salah satu metode yang digunakan untuk memberikan indikasi numerik tentang kualitas suara yang didapatkan setelah melewati jalur transmisi. Metode ini merupakan hasil rekomendasi dari International Telecommunication Union (ITU-T P.800.1) [8]. Kualitas dari MOS ini ditentukan secara subyektif menggunakan pendapat orang-perorangan. Pengujiannya dapat menggunakan *conversation opinion test* dan *listening test*. Dari uji ini akan diperoleh 5 jenis nilai MOS sebagai berikut :

1. Nilai MOS 5, artinya tidak terdengar derau.
2. Nilai MOS 4, artinya derau terdengar tapi tidak mengganggu.
3. Nilai MOS 3, artinya derau sedikit mengganggu.
4. Nilai MOS 2, artinya derau mengganggu.
5. Nilai MOS 1, artinya derau sangat mengganggu.

Hasil pengujian dengan input menggunakan *microphone* dapat dilihat pada Tabel 1 untuk sistem QAM, dengan jumlah responden sebanyak 10 orang.

Untuk sinyal input dengan menggunakan suara melalui port *Mic-In*, pengujiannya menggunakan metode MOS (*Mean Opinion Score*). Didapatkan hasil sistem QAM memiliki nilai MOS paling baik dibandingkan sistem 16-QAM maupun 64-QAM. Hal ini juga sudah sesuai teori karena sesuai nilai BER sistem QAM yang lebih baik dibandingkan dengan sistem 16-QAM dan 64-QAM.

V. KESIMPULAN/RINGKASAN

1. Pada sistem QAM kondisi sinkron, hasil implementasi didapatkan nilai BER=1.00E-05 dalam pengujian 100.000 bit pada Eb/N0≥11dB baik untuk input *Pulse Generator* maupun input *Bernoulli Binary Generator*.
2. Pada sistem 16-QAM kondisi sinkron, hasil implementasi didapatkan nilai BER=1.00E-05 dalam pengujian 100.000 bit pada Eb/N0≥15dB untuk input *Pulse Generator* dan Eb/N0≥14dB input *Bernoulli Binary Generator*.
3. Pada sistem 64-QAM kondisi sinkron, hasil implementasi didapatkan nilai BER=1.00E-05 dalam pengujian 100.000 bit pada Eb/N0≥19dB baik untuk input *Pulse Generator* maupun input *Bernoulli Binary Generator*.
4. Hasil implementasi terburuk terdapat pada sinyal input dari *Function Generator* dengan BER yang dihasilkan tidak ada yang mencapai nilai 1.00E-05 untuk semua sistem M-QAM.
5. Hasil implementasi terburuk terdapat pada sistem 64-QAM dibandingkan dengan sistem QAM dan 16-QAM untuk keempat input yang digunakan. Hasil ini karena sistem 64-QAM memiliki nilai BER yang lebih buruk berdasarkan variasi nilai Eb/N0 jika dibandingkan dengan nilai BER yang sama yaitu 1.00E-05.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sklar, Bernard. “*Digital Communications Fundamentals and applications*”. Prentice Hall. California. 2001.
- [2] Kousa, Maan A. Muqaibel, Ali H. “*LAB Manual: EE370 Communication Engineering*”. King Fahd University of Petroleum and Minerals. 2011.
- [3] National Instrument. “*Quadrature Amplitude Modulation (QAM)*”. 2007.
- [4] K, Kisiel. D, Sahota. G, Swaminathan. “*Quadrature Amplitude Modulation : A simulation study*”. Simon Fraser University. Canada. 2005.
- [5] \_\_\_\_\_. “*TMS320C6416T DSK Technical Reference*”. SPECTRUM DIGITAL, INC. 2004.
- [6] Chassaing, Rulph. “*Digital Signal Processing and Applications with the TMS320C6713 and TMS320C6416 DSK*”. JOHN WILEY & SONS, INC. USA. Second Edition, 2008.
- [7] Hasnain, S K. Jamil, Nighat. “*Implementation of DSP Real Time Concepts Using CCS 3.1, TI DSK TMS320C6713 and DSP Simulink Blocksets*”. Pakistan Navy Engineering College. 2007.
- [8] Siddiq, Nur Halim. “*Penyisipan Pesan Rahasia pada Berkas MP3 Menggunakan Algoritma Advanced Encryption Standard (AES)*”. Jurusan Matematika FMIPA-ITS. Surabaya. 2012.