

**PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI SISTEM
ORTHOGONAL FREQUENCY DIVISION MULTIPLEXING (OFDM)
DENGAN MENGGUNAKAN DSK-TMS320C6713**

**DESIGN AND IMPLEMENTATION
ORTHOGONAL FREQUENCY DIVISION MULTIPLEXING (OFDM)
SYSTEM BY USING DSK-TMS320C6713**

¹Dwi Aryanta, ²Arsyad Ramadhan Darlis, ³Yusup Mulyadi

^{1,2,3} Jurusan Teknik Elektro Institut Teknologi Nasional (ITENAS) Bandung
¹dwiaryanta@gmail.com, ²arsyaddarlis@gmail.com, ³yusup.mulyadi16@gmail.com

Abstrak

OFDM adalah salah satu teknik transmisi yang menggunakan beberapa buah *frequency subcarrier* yang saling tegak lurus (*orthogonal*). Karakteristik yang saling tegak lurus membuat *frequency subcarrier* dapat saling *overlap* tanpa menimbulkan interferensi. Dilakukan perancangan sistem OFDM dengan menggunakan DSK (*Digital Signal Processing Starter Kit*) TMS320C6713 berbasis m-file dan Simulink dengan menggunakan beberapa modulasi diantaranya QPSK, 16QAM, dan 64QAM. Pengujian dilakukan dengan membandingkan hasil keluaran dari diagram konstelasi sinyal, sinyal OFDM, dan *Bit Error Rate* (BER) pada m-file, Simulink dan DSK TMS320C6713. Hasil BER yang ditunjukkan pada saat implementasi, Modulasi QPSK memiliki nilai BER yang paling baik dari pada modulasi 16QAM dan 64QAM. Pada nilai Eb/No 10dB, modulasi QPSK memiliki nilai BER sebesar 0,14400, modulasi 16-QAM memiliki nilai BER sebesar 0,253600, dan modulasi 64-QAM memiliki nilai BER sebesar 0,288700. Kemudian modulasi QPSK memiliki efisiensi memori yang paling baik sebesar 1,0530303 % setelah diimplementasikan pada DSK TMS320C6713.

Kata Kunci : OFDM, Modulasi, Diagram Konstelasi, BER, DSK TMS320C6713

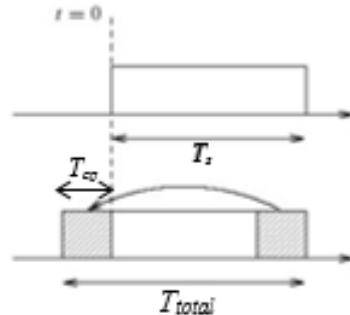
Abstract

OFDM is a transmission technique that uses multiple pieces of frequency subcarrier which is orthogonal. The orthogonal characteristic make frequency subcarrier can be overlap without causing interference. OFDM system was design with DSK (*Digital Signal Processing Starter Kit*) TMS320C6713 that based m-file and simulink using several modulation including QPSK, 16QAM, dan 64QAM. The evaluation was done by comparing the ouput from constellation signal diagram, OFDM signal and BER (Bet Error Rate) on m file, Simulink and DSK TMS320C6713. The BER result when implementation showedthat QPSK modulation has a better BER value than 16-QAM and 64-QAM modulation. The value on Eb/No 10dB, QPSK modulation has BER value 0,14400, 16-QAM has BER value 0,253600, and 64-QAM has BER value 0,288700. Then QPSK modulation has the most excellent memory efficiency of 1.0530303% after implemented on the TMS320C6713 DSK

Keywords : OFDM, Modulation, constellation diagram, BER, DSK TMS320C6713

2.3.2 Cyclic Prefix

Cyclic Prefix adalah mekanisme penambahan simbol dengan cara mengambil beberapa simbol di akhir *frame* IFFT untuk dimasukkan pada awal *frame*.



Gambar 1. Pola Dari *Cyclic Prefix*

Pada Gambar 1 diatas menunjukkan pola dari *cyclic prefix* dimana bagian belakang *frame* dengan panjang tertentu diduplikasikan dan diletakkan ke depan pada awal *frame* data tersebut, sehingga laju simbol T_{total} akan lebih panjang. Dari gambar diatas dapat dibuat suatu persamaan tentang panjang keseluruhan dari simbol OFDM yaitu:

$$T_{total} = T_{cp} + T_s \quad (4)$$

2.2 DSK TMS320C6713

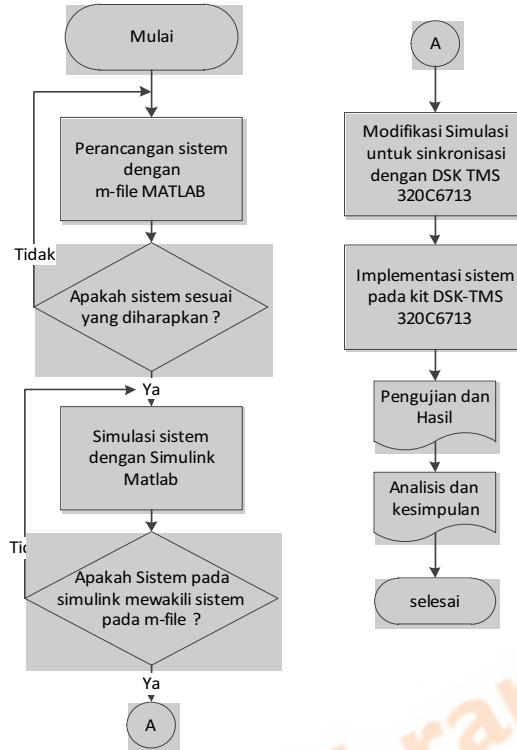
Digital Signal Processing (DSP) processor, seperti keluarga *processor* TMS320C6x adalah *mikroprocessor* berkecepatan tinggi dengan tipe arsitektur dan set instruksi khusus untuk pemrosesan sinyal. Sistem dasar *DSP processor* terdiri dari *analog-to-digital converter (ADC)* untuk menangkap sinyal masukan analog. Hasil representasi digital dari sinyal kemudian diproses oleh *DSP processor*, misal C6x, kemudian hasil keluarannya diubah kembali menjadi sinyal analog melalui *digital-to-analog converter (DAC)*.

2.3 Perancangan Sistem OFDM

Rancangan penelitian yang disusun oleh penulis awalnya dari membuat *source code* pada matlab dengan *m-file* yang nantinya menjadi acuan oleh penulis untuk melanjutkan pemodelan ketahap selanjutnya yaitu dengan Matlab simulink. Adapun parameter parameter yang akan dibuat pada sistem OFDM ini ditunjukkan pada Tabel 1 dan tahapan untuk perancangan system dapat dilihat pada *flowchart* Gambar 2.

Tabel 1 Parameter Sistem OFDM

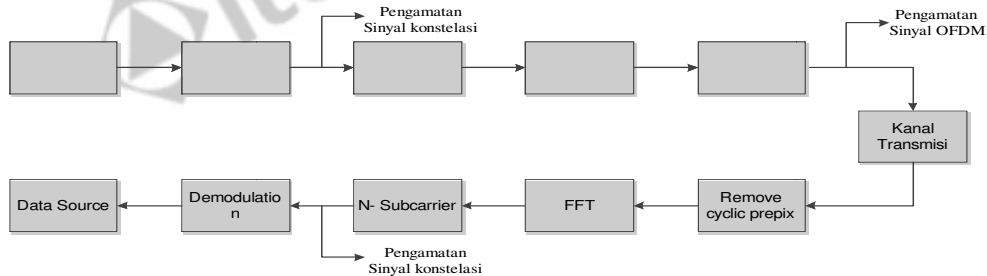
| | |
|---------------------|--------------------|
| Jumlah Subcarrier | 192 |
| Jumlah Pilot Simbol | 8 |
| IFFT Size | 256 |
| Teknik Modulasi | QPSK, 16QAM, 64QAM |
| Variasi Eb/No | 0-50 dB |



Gambar 2 . Flowchart Perancangan Sistem Transmisi OFDM

2.4 Simulasi Sistem OFDM

Simulasi sistem OFDM yang dirancang yaitu dengan menggunakan Matlab m-file dan Matlab *simulink*. Dari kedua model yang akan dibangun dengan menggunakan langkah alur sistem yang sama. Adapun pemodelannya dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Simulasi Sistem OFDM

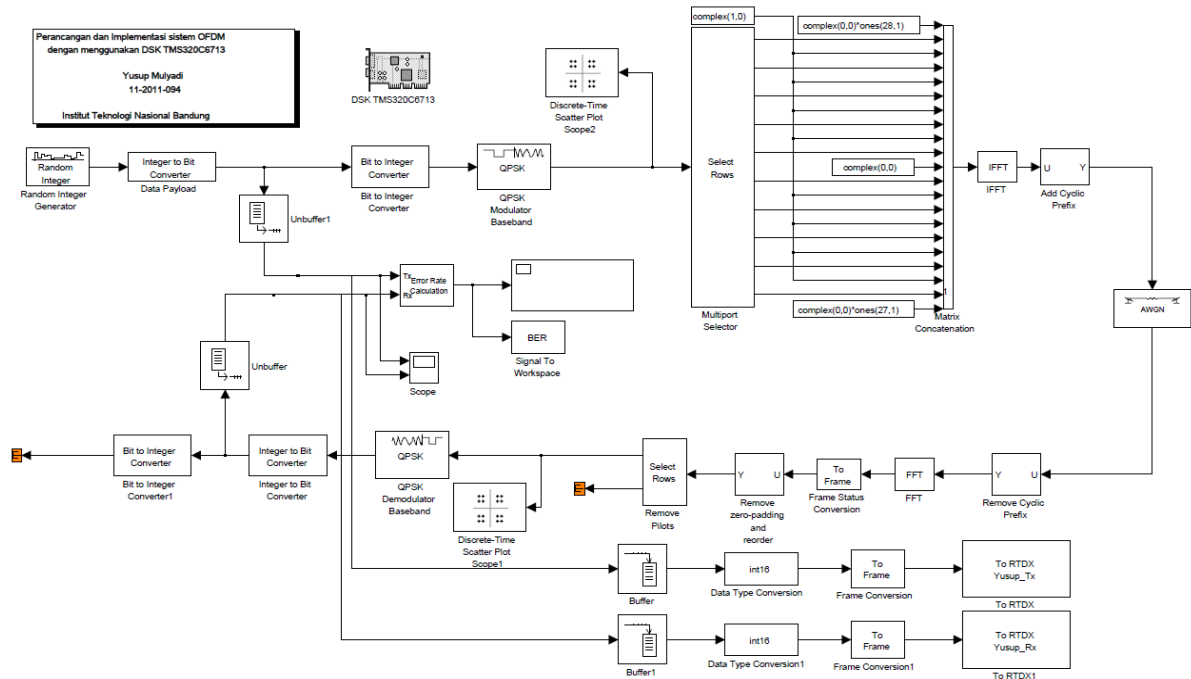
2.4.1 Simulasi dengan mfile

Source code yang ada pada *m-file* ini akan menjadi dasar bagi penulis dalam menginputkan parameter parameter yang nantinya dibutuhkan dalam simulasi *simulink*. Bagian yang akan diuji pada perancangan *m-file* antara lain diagram konstelasi, *Symbol OFDM*, *Data Rate* sistem secara Teori, dan Bit Error Rate (BER).

2.4.2 Simulasi menggunakan simulink

Pada tahap ini simulasi sistem dilakukan dengan membuat tiap blok sistem berdasarkan rancangan dari code *m-file* yang sebelumnya telah dibuat menggunakan *Matlab Simulink*. Ada beberapa tahapan pembuatan blok, yaitu Pembangkit Sinyal Informasi, OFDM Transmitter (Tx),

Kanal AWGN, OFDM Receiver (Rx), *Signal Conditioning*, dan *output BER*. Gambar 4 merupakan blok-blok bagian yang diperlukan pada simulasi simulink.



Gambar 4 . Blok Simulasi sistem OFDM

3. PEMBAHASAN

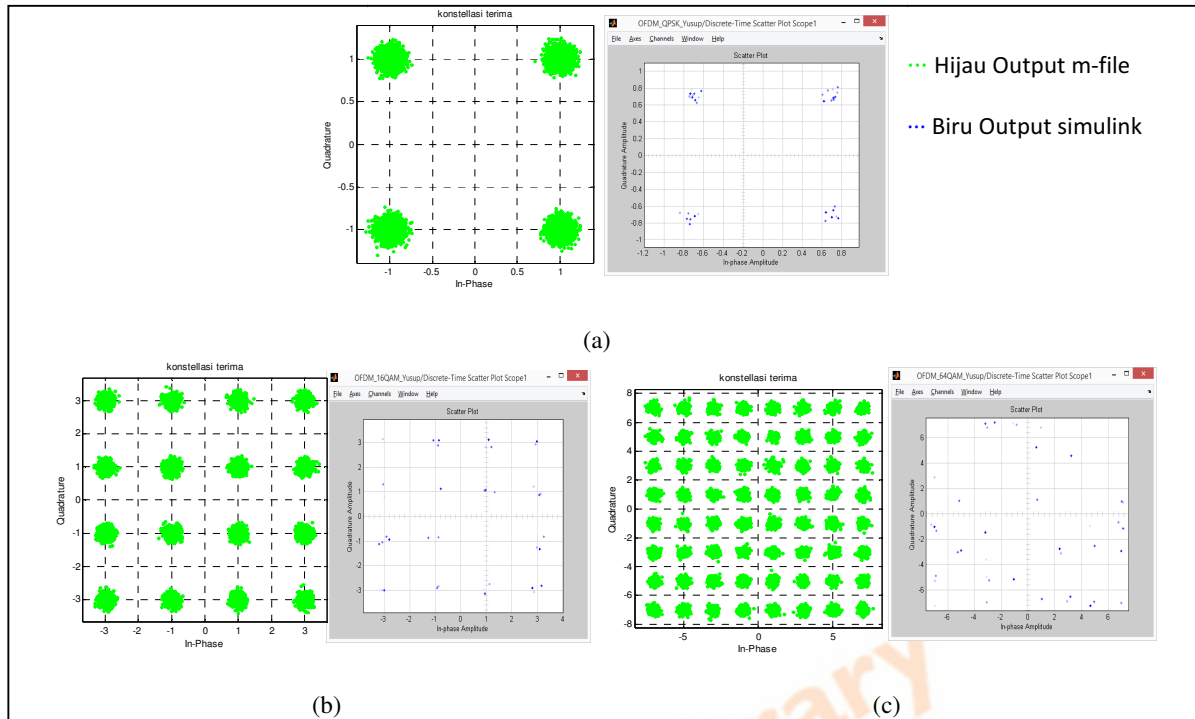
Sistem yang akan dilakukan pengujian menggunakan 3 jenis modulasi, yaitu modulasi QPSK, 16-QAM, dan 64-QAM. Dalam pengujian sistem ini akan dilakukan pengamatan pada bagian Diagram konstelasi, Sinyal OFDM, dan *Bit Error Rate* (BER) yang keluar dari sistem.

3.1 Diagram Konstelasi

Pengamatan sinyal konstelasi dilakukan pada sisi pengirim di bagian setelah modulator dan pada sisi penerima dibagian sebelum demodulator. Pengamatan ini dilakukan pada perancangan *m-file* dan simulasi *Simulink*. Gambar 5 merupakan hasil dari diagram konstelasi penerima pada nilai E_b/N_0 30dB.

Dari hasil diagram konstelasi yang telah melewati kanal AWGN, dapat dianalisis bahwa setiap diagram konstelasi menjadi terdistribusi menyimpang dan tidak beraturan pada semua jenis modulasi, hal ini karena karakteristik dari kanal AWGN yang terdapat *noise*. Sehingga menyebabkan sinyal yang dikirim, tidak sama dengan sinyal yang diterima jika tidak mencapai level E_b/N_0 minimum yang dibutuhkan pada masing masing modulasi.

Nilai *amplitude* dan *phase* pada bagian pengirim dan penerima sinyal sudah sesuai dengan mapping yang diharapkan jika memiliki nilai E_b/N_0 20dB untuk modulasi QPSK, 30dB untuk modulasi 16-QAM dan 40dB modulasi 64-QAM. Pengaruh peningkatan E_b/N_0 yang semakin besar ini karena jumlah *bit/symbol* yang lebih tinggi memerlukan energi pengiriman yang lebih tinggi untuk mencapai *mapping* yang diharapkan.



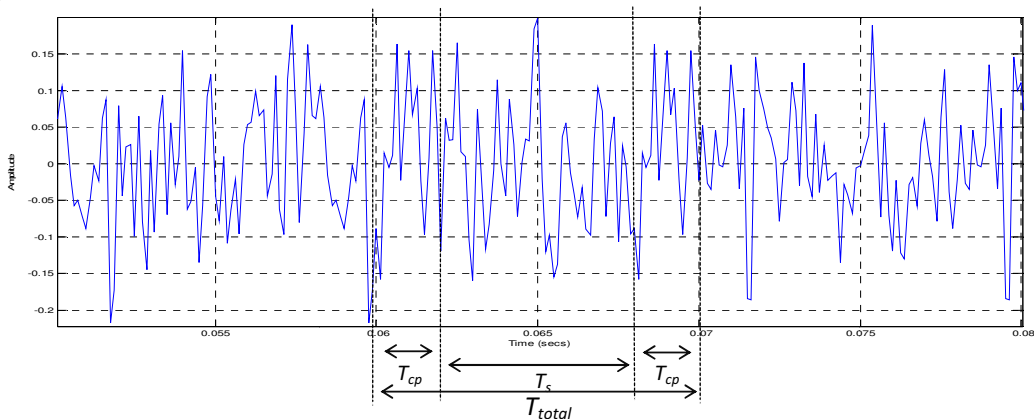
Gambar 5. Diagram sinyal konstelasi pada sisi penerima 30dB, (a) Modulasi QPSK, (b) Modulasi 16-QAM, (c) Modulasi 64-QAM

3.2 Sinyal OFDM

Bagian yang akan diamati pada proses pengujian kali ini yaitu sinyal OFDM keluaran dari sistem. Pengamatan pertama dilakukan pada saat sistem dijalankan pada simulink, dan yang kedua adalah pada saat sistem berada pada DSK TMS320C6713.

3.2.1 Sinyal OFDM pada Simulink

Pada bagian ini akan dilihat sinyal OFDM hasil keluaran dari sistem yang dijalankan pada simulink. Sinyal OFDM yang dihasilkan oleh sistem sebelum melewati kanal AWGN dapat dilihat pada Gambar 6

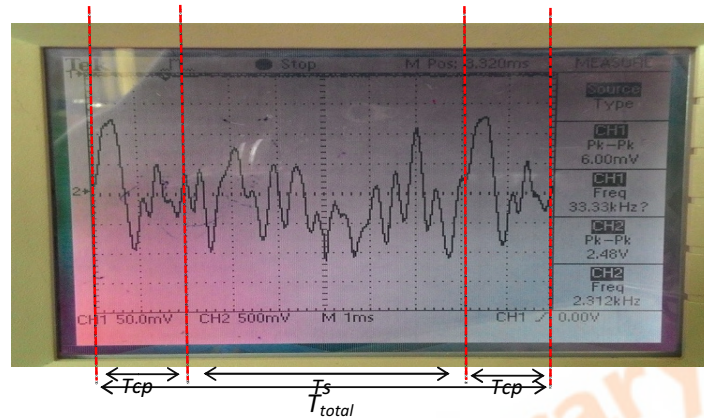


Gambar 6. Simbol OFDM simulink

Gambar 6 merupakan sinyal OFDM keluaran dari simulink, pada gambar tersebut terlihat bahwa perioda simbol OFDM yaitu $T_{total} = 0,01$ s, dimana pada bagian itu terdiri dari $T_s = 0,006$ s dan $T_{cp} = 0,002$ s x 2 .

3.2.2 Sinyal OFDM DSK TMS320C6713

Sebelum melihat Simbol OFDM pada DSK TMS320C6713, pada sistem dilakukan penambahan blok berupa *Digital to Analog Converter* (DAC) sebelum melewati kanal AWGN, ini dilakukan untuk melihat simbol OFDM menggunakan *oscilloscope*.



Gambar 7. Simbol OFDM kit DSK TMS-320C6713

Pada Gambar 7, *oscilloscope* menunjukkan Time/div sebesar 1ms maka didapatkan nilai $T_{total} = 0,01$ s, dimana dalam 0,01 s tersebut terdapat $T_s = 0,006$ s dan $T_{cp} = 0,002$ s x 2. Hasil Sinyal OFDM keluaran simulink dan kit DSK terlihat ada *cyclic prefix* yang sama di akhir dan awal simbol. Kemudian pada data *oscilloscope* level amplitude sebesar 2,48 p-p sedangkan pada simulink *level amplitude* sebesar 0,4 p-p. Perbedaan *amplitude* dikarenakan komponen DAC yang ditambahkan pada proses pengambilan sinyal pada *oscilloscope*, pada blok DAC terdapat pengaturan level minimum *sampling rate* sebesar 8KHz. Selanjutnya proses perubahan sinyal Digital menjadi Sinyal Analog juga berpengaruh pada besaran tegangan keluaran sistem pada kit DSK

3.2.3 Perhitungan Bit Rate

Setelah dilakukan pengamatan pada keluaran simulink dan DSK TMS320C6713, didapat perioda sinyal OFDM T_{total} sebesar 0,01 s. Dari data tersebut kita dapat melakukan perhitungan *Bit rate* yang keluar pada sistem dengan menggunakan persamaan :

$$N_{subcarrier} \cdot (n)_{modulation} \cdot coding\ rate \cdot (R_s) = R_b \quad (5)$$

Nilai durasi simbol atau $R_s = 1/T_{total} = 100$ symbol/s. Dari persamaan (5) dengan jumlah subcarrier sebanyak 192, pada modulasi QPSK didapatkan Bit rate sebesar 38,4 Kb/s , pada modulasi 16-QAM sebesar 76,8 Kb/s, dan pada modulasi 64-QAM sebesar 115,2 Kb/s.

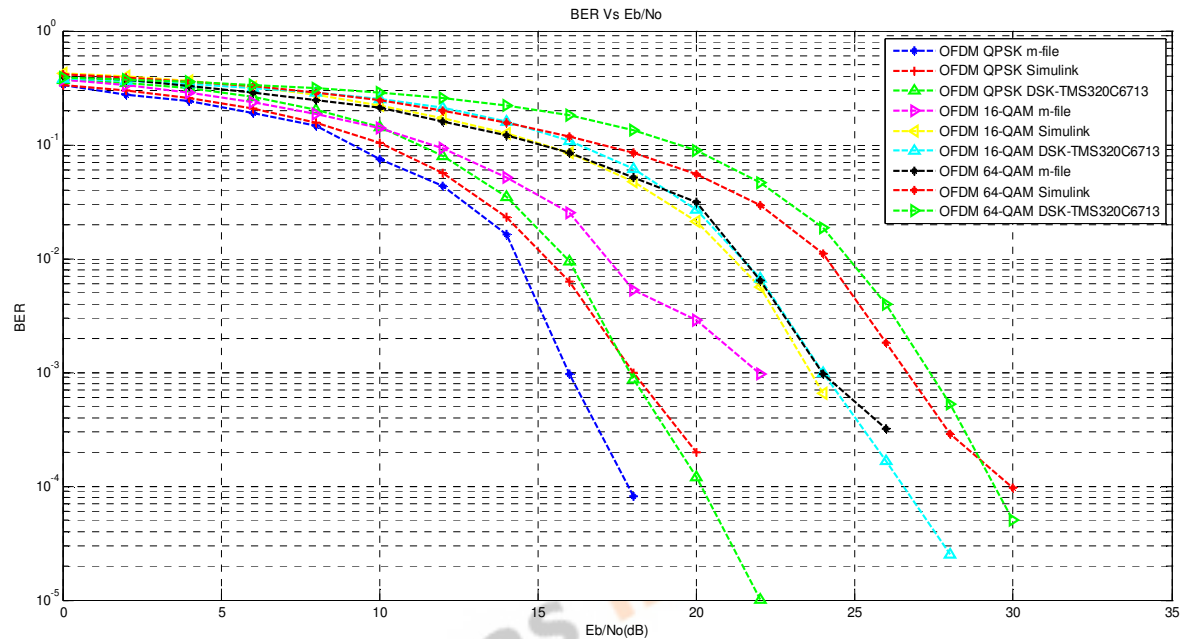
3.3 Bit Error Rate (BER)

Pada Bagian ini akan dijelaskan mengenai perubahan BER berdasarkan kenaikan E_b/N_0 terhadap berbagai teknik modulasi. Pengujian dilakukan pada kanal AWGN dengan E_b/N_0 0 dB sampai 50 dB dengan *step* sebesar 2dB. Jumlah data yang dikirimkan sebanyak 10.000 bit, BER

yang akan diuji yaitu BER pada tahap perancangan dengan *m-file*, simulasi *simulink*, dan BER yang keluar pada *kit* DSK.

3.3.1 Modulasi QPSK, 16-QAM, dan 64-QAM

Pada bagian ini akan dilihat BER keluaran sistem dari *m-file*, simulink, dan implementasi pada DSK TMS320C6713. Nilai BER yang keluar pada sistem dapat dilihat pada Gambar 8.



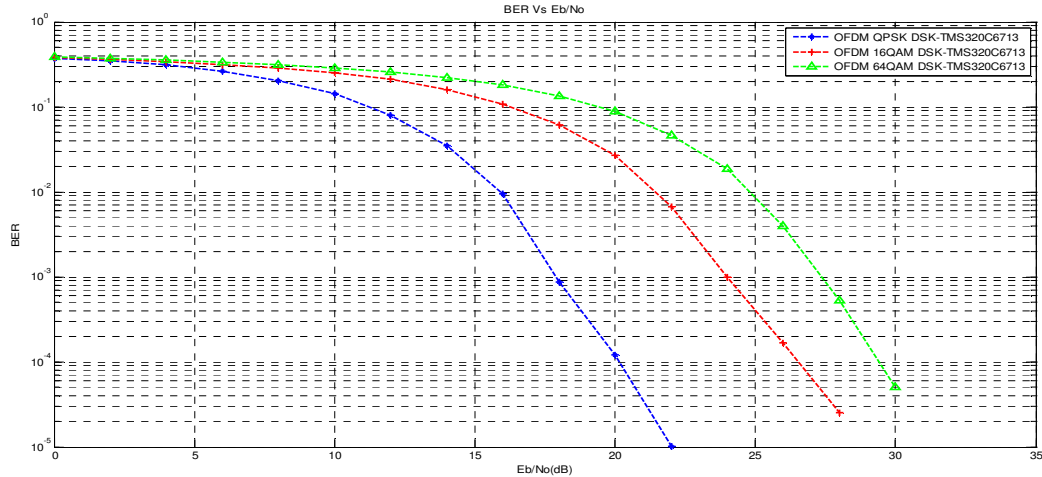
Gambar 8. BER sistem OFDM Modulasi QPSK, 16QAM, dan 64-QAM

Dari grafik Gambar 8 hasil dari nilai BER sistem yang dibuat pada *m-file*, mengalami perbedaan dengan nilai BER hasil keluaran simulink ataupun kit DSK. Hasil keluaran *m-file* selalu lebih baik dari keluaran simulink dan keluaran kit DSK, sementara keluaran simulink dan kit DSK nilainya selalu berdekatan. Perbedaan ini dimungkinkan karena terjadinya penambahan blok yang diperlukan pada saat pembuatan simulasi simulink seperti *rate transition*, *buffer* yang menyebabkan model tidak sama persis dengan hasil BER *m-file*. Kemudian terdapat noise konektor keluaran BER pada kit DSK yang menggunakan USB.

3.2.4 Perbandingan Hasil Implementasi

Pada bagian ini akan dilihat perbandingan hasil implementasi pada kit DSK TMS320C6713 dengan berbagai teknik modulasi yaitu QPSK, 16QAM, dan 64QAM. Hasil perbandingan tersebut dapat dilihat pada Gambar 9.

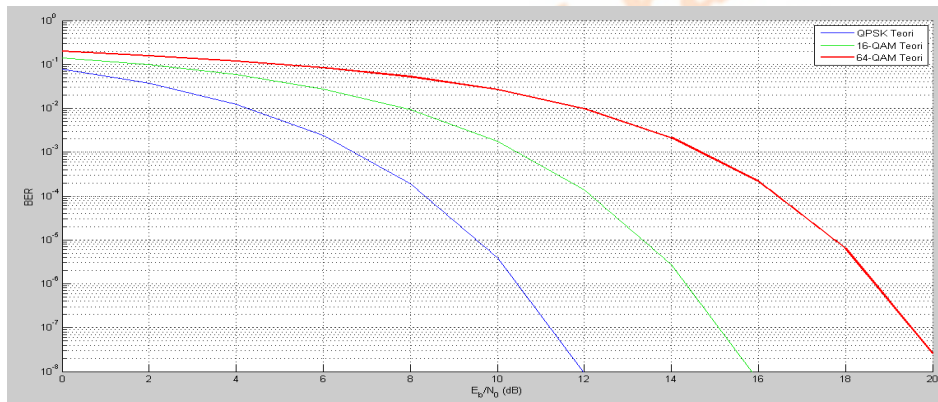
Dari grafik Gambar 9 dapat dilihat bahwa sistem dengan modulasi QPSK akan lebih baik nilai BER yang dihasilkan dari pada sistem yang menggunakan modulasi 16QAM dan 64QAM. Keadaan kestabilan sistem ini berbeda karena jumlah *bit/symbol* yang dibutuhkan modulasi QPSK, lebih sedikit dari pada sistem yang menggunakan modulasi 16QAM dan 64QAM. Hasil ini menunjukkan bahwa BER keluaran sistem sudah sesuai teori bahwa level yang lebih tinggi memiliki BER yang lebih besar.



Gambar 9. BER sistem OFDM DSK TMS320C6713

3.2.5 Analisis hasil BER sistem OFDM dengan Teori

Sebelum melakukan analisis terhadap hasil BER dari pengujian sebelumnya, Gambar 10 merupakan hasil keluaran BER secara Teori, dengan pembatasan nilai BER pada angka 10^{-8} agar memudahkan dalam hal perbandingannya dengan keluaran dari *m-file*, *simulink*, dan DSK-TMS320C6713.



Gambar 10. Grafik BER secara Teori

Hasil BER secara teori lebih baik dari hasil BER yang keluar dari sistem, baik secara *m-file*, *simulink*, maupun DSK-TMS320C6713. Pada nilai E_b/N_0 8dB, hasil BER keluaran sistem pada DSK TMS320C6713 dengan modulasi QPSK yaitu 0,203700, dengan modulasi 16-QAM sebesar 0,286400, dan dengan modulasi 64-QAM sebesar 0,316200. Sedangkan BER secara Teori dengan E_b/N_0 8dB yaitu 0,0001909 untuk modulasi QPSK, 0,0092472 untuk modulasi 16-QAM, dan 0,0523338 untuk modulasi 64-QAM. Terdapat selisih sebesar 0,203509, 0,306953, 0,234066 masing masing untuk modulasi QPSK, 16AM, dan 64QAM. Hal Itu dikarenakan pada sistem secara teori, BER yang dihasilkan tidak menggunakan sistem OFDM, hasil BER teori hanya menggunakan satu buah *subcarrier*, sedangkan perancangan sistem menggunakan 192 *subcarrier*. Untuk itu BER yang dihasilkan secara teori bukan menjadi patokan nilai mutlak, tetapi yang menjadi patokannya adalah bahwa nilai BER dari modulasi QPSK selalu lebih baik dari 16QAM, kemudian nilai BER 16QAM lebih baik dari 64QAM

Kemudian dari hasil keluaran sistem selalu terdapat perbedaan antara nilai BER yang dibuat pada *m-file* dengan *simulink*. Hal ini dimungkinkan terjadi dikarenakan pada model *simulink*, terdapat bagian blok blok yang perlu ditambahkan pada sistem agar model sistem nantinya dapat berjalan pada Kit DSK TMS320C6713. Blok blok ini yang kemungkinan penyebab dari bertambahnya jumlah data *error* yang dihasilkan oleh model *simulink*, dibandingkan dengan data yang dihasilkan oleh *m-file*. Adapun beberapa blok blok tersebut misalnya blok *rate transition*, *buffer*, *target preference*, dll.

3.2.6 Sistem dengan variasi jumlah data input

Setelah dilakukan pengujian BER pada sistem dengan jumlah pengiriman data sebanyak 10.000 *bit*, kemudian dilakukan pengujian BER dengan jumlah data sebanyak 100.000 *bit*. Ini dilakukan untuk melihat apakah variasi jumlah data berpengaruh pada sistem atau tidak.

Dari hasil yang didapat, jumlah data yang dikirim sedikit memengaruhi kinerja sistem. Kadang kala dengan modulasi yang sama misalnya QPSK dengan nilai Eb/No yang sama, nilai BER pada pengiriman data 10.000 *bit* akan berbeda dengan pada saat pengiriman data 100.000 *bit* begitupun sebaliknya. Kemudian dilakukan rata rata dari hasil selisih tersebut untuk melihat modulasi manakah yang paling stabil terhadap pemberian variasi data yang dilakukan. Dan hasilnya dapat ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Rata-rata selisih nilai BER antara 100.000 *bit* dan 10.000 *bit*

| 16QAM | | | 64QAM | | | QPSK | | |
|-------------|-------------|-------------|----------|-------------|-------------|-----------|-------------|-------------|
| m-file | Simulink | DSK | m-file | Simulink | DSK | m-file | Simulink | DSK |
| 0,001138481 | 0,001354317 | 0,001222488 | 0,001606 | 0,004308349 | 0,001434304 | 0,0020004 | 0,001771545 | 0,003363984 |

Terlihat bahwa kinerja sistem dengan modulasi 16QAM memiliki nilai rata rata yang paling kecil dari ketiga jenis modulasi, yang dapat diartikan bahwa modulasi 16QAM adalah modulasi yang paling stabil terhadap variasi data yang dilakukan pada sistem ini.

3.2.7 Pengamatan Kapasitas Penyimpanan Sistem pada DSK TMS320C6713

Perangkat DSK TMS320C6713 memiliki kapasitas penyimpanan data sebesar 264 kbytes, Untuk itu total *memory* yang sudah di-*transfer* pada DSK menjadi salah satu bagian penting dalam tahapan implementasi pada perangkat tersebut. Pengamatan kapasitas penyimpanan dilakukan dengan cara mengambil data nilai *memory* dari setiap sistem yang telah diimplementasikan. Kemudian dilakukan perhitungan pada persamaan 6 untuk pengambilan nilai perbandingan *memory* yang terpakai terhadap kapasitas *memory* total dari DSK (*y*) dalam satuan persen (%).

$$y = \frac{\text{memory yang terpakai}}{\text{memory total DSK}} \cdot 100\% \tag{6}$$

Tabel 3. *Memory* yang terpakai pada DSK untuk setiap modulasi

| Modulasi | Memori (<i>bytes</i>) | <i>y</i> (%) |
|----------|-------------------------|--------------|
| QPSK | 2780 | 1,0530303 |
| 16-QAM | 2804 | 1,0621212 |
| 64-QAM | 2804 | 1,0621212 |

Hasilnya dari ketiga modulasi yang diimplementasikan, sistem yang paling efisien adalah sistem komunikasi dengan menggunakan modulasi QPSK dengan nilai 1,0530303 %. Sedangkan sistem dengan modulasi 16-QAM dan 64-QAM memiliki nilai efisiensi yang sama sebesar 1,0621212 %.

4. KESIMPULAN

Dari hasil pengujian dan analisis yang dilakukan, didapat beberapa kesimpulan yang berhubungan dengan performansi sistem OFDM yang dibuat :

1. Simbol OFDM yang dihasilkan memiliki Periode Total simbol $T_{total} = 0,01s$, dimana periode simbol $T_s = 0,006s$ dan $T_{cp} = 0,004s$ baik secara simulasi ataupun DSK.
2. Perhitungan data *rate* yang paling besar yang bekerja pada sistem adalah data *rate* dengan modulasi 64QAM dengan nilai 115,2 Kb/s, sedangkan modulasi 16QAM yaitu sebesar 76,8 Kb/s dan QPSK 38,4 Kb/s.
3. Hasil *bit error rate* (BER) yang ditunjukkan pada saat implementasi, Modulasi QPSK memiliki nilai BER yang paling baik dari pada modulasi 16QAM dan 64QAM. Pada nilai E_b/N_0 10dB, modulasi QPSK memiliki nilai BER sebesar 0,14400, modulasi 16-QAM memiliki nilai BER sebesar 0,253600, dan modulasi 64-QAM memiliki nilai BER sebesar 0,288700.
4. Sistem OFDM yang dibuat memiliki tingkat kestabilan yang paling baik dengan beberapa variasi data yang dikirim pada modulasi 16QAM, dengan nilai rata rata selisih BER pada hasil simulasi m-file sebesar 0,0011388481, simulink sebesar 0,001354317 dan DSK sebesar 0,001222488.
5. Sistem OFDM dengan modulasi QPSK memiliki efisiensi yang paling baik sebesar 1,0530303 % setelah diimplementasikan pada DSK TMS320C6713.
6. Sistem OFDM dengan beberapa modulasi ini telah berhasil diimplementasikan pada kit DSK-TMS320C6713 dengan baik

Daftar Pustaka:

- [1] Aryanta, Dwi. 2014. *Bahan kuliah sistem komunikasi 2*. Bandung : Institut Teknologi Nasional
- [2] Bodhe Rohit, et al. (2012). *Design of simulink model for OFDM and Comparison of FFT-OFDM and DWT-OFDM*. *Proceeding*, International Journal of Engineering Science and Technology (IJEST)
- [3] Djafar, Novan Ferdian. (2009). *Rancang bangun rangkaian pengirim OFDM dengan Huffman code pada DSK-TMS320C6713 menggunakan simulink*. Depok : Universitas Indonesia.
- [4] Islam Shariful, Mahmud Asek Raihan, Hossain Alamgir, Ali Sadek. (2010). *Performance Analysis of OFDM for Different Digital Modulation Schemes using Matlab Simulation*. *J. Bangladesh Electron. 10 (7-2); 7-11, 2010*
- [5] Purnomo, Heri. (2004). *Sistem Komunikasi 2*. Pekanbaru : politeknik caltex riau.
- [6] Schulze, Henrik and Luders Christian. (2005). *Theory and Application of OFDM and CDMA*. England : John Wiley & Sons Inc.
- [7] Situmorang, Pontas P. (2009). *Rancang bangun rangkaian penerima OFDM dengan menggunakan DSK-TMS320C6713 berbasis simulink*. Depok : Universitas Indonesia.
- [8] Wahyudi, Rundu Adi. (2008). *Rancang bangun modulator 16-QAM pada DSK-TMS320C6713 dengan menggunakan simulink*. Depok : Universitas Indonesia.
- [9] Haykin, Simon. 1989. *Analog And Digital Communication*. Canada : John Wiley & Sons Inc.