

Implementasi Modem Akustik OFDM pada TMS320C6416

Yuandhika Adhi Widhyatmaka, Wirawan, dan Suwadi

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

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

e-mail: wirawan@ee.its.ac.id

Abstrak— Desain sistem komunikasi digital menggunakan sinyal akustik untuk aplikasi bawah air adalah bidang yang sangat menantang karena sifat yang sangat kompleks dari saluran bawah air. Teknologi yang dikenal dengan sebutan *underwater acoustic* merupakan jawaban atas tantangan terhadap keterbatasan kemampuan pengiriman sinyal informasi pada media air. Hal ini disebabkan karena gelombang elektromagnetik dan radio tidak dapat mencapai jarak yang jauh pada medium air karena akan menghasilkan redaman yang sangat besar, sementara sinyal akustik dapat mencapai jarak yang jauh walaupun dengan kecepatan dan bandwidth yang terbatas.

Tugas akhir ini bertujuan untuk merancang sistem tersebut, yang secara efektif dapat menahan efek samping saluran namun tetap memberikan laju data yang memadai. Untuk tujuan ini, sebuah studi mendalam tentang saluran komunikasi bawah air dilakukan dandianalisis. Seiring dengan kemajuan yang signifikan telah dibuat penggunaan modulasi multicarrier dalam bentuk orthogonal frekuensi division multiplexing (OFDM) dengan data rate tinggi untuk komunikasi akustik bawah air. Dalam tugas akhir ini, implementasi modem akustik OFDM pada sistem *single-input single-output* menggunakan modul *fixed-point* DSP TMS320C6416 di mana inti DSP berjalan pada 1 GHz.

Terdapat terdapat tiga kategori untuk mengetahui karakteristik modem akustik OFDM yang ditampilkan dalam grafik *Bit Error Rate* (BER) terhadap *Signal to Noise Ratio* (SNR). Pengujian dilakukan dengan mengirimkan citra 40x64 8bit. Kinerja terbaik terdapat pada implementasi sistem mfile dengan nilai BER mencapai 0,0067 pada 32 *subcarrier*. Sedangkan kinerja terburuk terdapat pada implementasi sistem pada TMS320C6416 dan sistem simulink rata-rata nilai BER 0,5 dikarenakan kondisi *sample rate* antar perangkat yang tidak sinkron.

Kata Kunci— Modem akustik, OFDM, DSK TMS320C6416, BER, SNR

I. PENDAHULUAN

Modulasi *multicarrier* dalam bentuk pembagian frekuensi *orthogonal multiplexing* (OFDM) telah cukup berhasil di komunikasi *broadband nirkabel* melalui saluran radio. Termotivasi oleh fakta ini, peneliti telah lama berusaha untuk menerapkan OFDM di bawah air saluran akustik. Kita telah melihat beberapa penyelidikan intensif modem OFDM di bawah air dengan menggunakan permodelan kanal bawah air

DSK TMS320C6416 yang merupakan suatu *board/hardware* yang digunakan untuk memproses sinyal digital. Pemrograman *DSP processor* dilakukan menggunakan bahasa C dan bahasa *assembly*, melalui *software Code Composer Studio* (CSS). Pemrograman DSP processor secara manual ini sangat rumit dan menyita waktu maka digunakan DSP Simulink *blockset* yang terdapat dalam *software* MATLAB. Dengan menggunakan *Link to C6000* DSP yang tersedia pada *library* Simulink, model

sistem yang telah dibuat dapat dibangkitkan kode programnya secara otomatis dan dimuat ke dalam C6000 *DSP processor*.

Untuk mengimplementasikan modem akustik OFDM dapat dilakukan dengan pemrograman pada DSK TMS320C6416. Pemodelan sistemnya di-*generate* dengan menggunakan *software* MATLAB melalui bantuan *software Code Composer Studio* yang merupakan *interface board* untuk DSK TMS320C6416.

DSP yang digunakan adalah *DSP Starter Kit* (DSK) TMS320C6416 yang merupakan keluaran dari Texas Instruments dengan kecepatan prosesor 1GHz. Perangkat ini sudah dilengkapi dengan *power supply*, koneksi USB ke PC, *switch*, dan modul ADC/DAC hingga 96 kHz. Sistem modem akustik OFDM diuji dengan *noise* yang bervariasi untuk mengetahui jumlah kesalahan bit yang diterima. Kinerja dari implementasi sistem ditampilkan dalam grafik *Bit Error Rate* (BER) terhadap *Signal to Noise Ratio* (SNR).

II. TEORI PENUNJANG

A. Phase Shift Keying (PSK)

Phase Shift Keying adalah modulasi sudut yang diterapkan pada sinyal informasi digital. Sinyal keluaran pada modulasi ini mempunyai karakteristik yaitu: fase berubah-ubah tetapi nilai amplitudanya tetap konstan. Modulasi digital ini dibedakan berdasarkan jumlah informasi bit yang akan memodulasi sinyal *carrier*. Jika setiap sinyal *carrier* terdapat satu bit (satu simbol terdapat satu bit) dinamakan BPSK, untuk dua bit dinamakan QPSK, tiga bit dinamakan 8-PSK, dan untuk selanjutnya dinamakan M-PSK (M merupakan M-ary). Dari penjelasan tersebut dapat diberikan suatu persamaan:

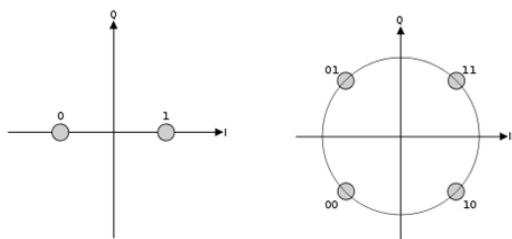
$$N = \log_2 M \quad (2.1)$$

Dimana :

N = jumlah informasi bit

M = M-ary atau jumlah total simbol yang mungkin diperoleh

Pada modulasi digital menghasilkan keluaran berupa bilangan kompleks (terdiri dari bilangan *real* dan *imaginer*). Dari bilangan tersebut dapat dibuat suatu diagram konstelasi. Berikut ini adalah beberapa contoh konstelasi *Phase Shift Keying*. Pada Gambar 2.1, sebelah kiri merupakan diagram konstelasi dari *Binary Phase Shift Keying* (BPSK), dan sebelah kanan adalah konstelasi dari *Quadrature Phase Shift Keying* (QPSK).

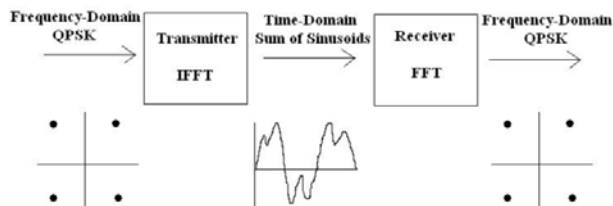


Gambar.1. Diagram Konstelasi PSK

B. Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)

OFDM (Orthogonal Frquency Division Multiplexing) merupakan teknik pentransmisian data berkecepatan tinggi dengan menggunakan beberapa sinyal carrier secara parallel dalam pemodulasiannya. Teknik seperti ini dapat menghemat bandwidth kanal pada sistem komunikasi.

Pada teknik transmisi OFDM setiap sub-carrier tidak ditempatkan berdasarkan bandwidth yang ada, tetapi sub-carrier tersebut disusun untuk saling overlapping. Jarak antara sub-carrier diatur sedemikian rupa, sehingga antar sub-carrier mempunyai sifat yang orthogonal. Keorthogonalitasan diantara sub-carrier inilah yang menyebabkan munculnya istilah Orthogonal Frquency Division Multiplexing. Dengan menggunakan teknik overlapping ini dapat menghemat bandwidth kanal sampai dengan 50% [2]. Untuk pembentukan dan peneraian simbol OFDM dapat digunakan Inverse Fast Fourier Transform (IFFT) dan Fast Fourier Transform (FFT).

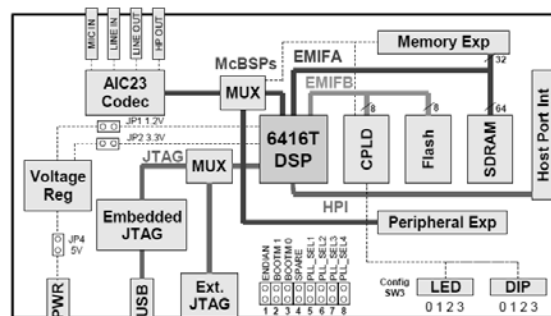


Gambar. 2. ilustrasi sederhana sistem OFDM

Data yang ditransmisikan berupa data serial biner berkecepatan tinggi yang telah di petakan dalam bentuk simbol, symbol tersebut yang mulanya serial kemudian dipecah atau dipisahkan menjadi bentuk parallel sehingga dihasilkan kecepatan data yang lebih rendah dibanding dengan data sebelumnya. Kemudian simbol tersebut dimodulasi oleh sejumlah sinyal carrier dalam beberapa subkanal. Dengan kata lain prinsip dasar dari OFDM menggunakan teknik transmisi multicarrier.

C. 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. 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).



Gambar. 3. DSK TMS320C6416T [9].

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.

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.

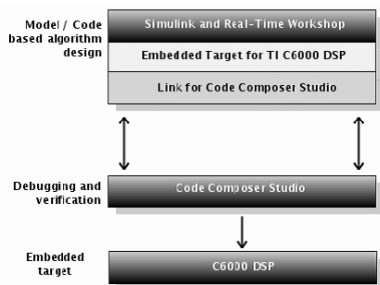
Dip switch dalam DSK dapat difungsikan sesuai program dan menyediakan fungsi kontrol. Terdapat pengatur tegangan yang menyediakan 1,26 V untuk processor dan 3,3 V untuk sistem memori dan kelengkapan lain.

D. 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.

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.



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

III. PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI SISTEM

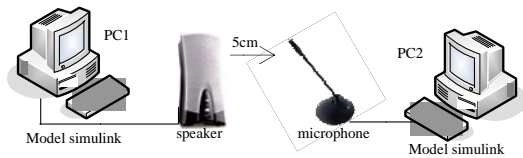
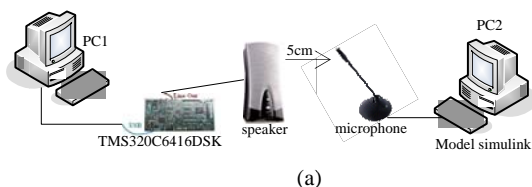
Implementasi model Simulink yang akan dilakukan untuk pengiriman citra melalui gelombang akustik yaitu menggunakan TMS320C6416 dan *Personal Computer* (PC), sinyal akustik yang dikirimkan akan direkam kemudian diolah pada bagian penerima, model diuji coba pada beberapa subcarrier yang bervariasi antara 16,32,64,128,256,512. data yang berupa gambar dengan ukuran 40x64 8bit dibagi menurut kapasitas *subcarrier*.



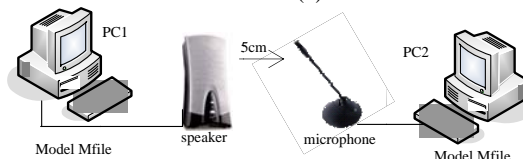
Gambar 5 Citra 40x64 8bit yang dikirimkan

Beberapa konfigurasi model sistem yang dapat dianalisis dari tugas akhir ini menggunakan beberapa *subcarrier* yang berbeda yang kemudian akan dilakukan perhitungan *bit error*, yaitu

- 1) Model Simulink yang telah di programkan pada TMS320C6416 DSK sebagai pengirim dan model Simulink pada PC2 sebagai penerima terlihat pada gambar 6(a) dilakukan pengujian untuk subcarrier 32,64,128,256,512. Perbedaan dalam mapping fft.
- 2) Model Simulink pada PC1 sebagai pengirim dan PC2 sebagai penerima terlihat pada gambar 6(b) dilakukan pengujian untuk subcarrier 32,64,128,256,512.
- 3) Model Mfile sebagai pengirim pada PC1 dan penerima pada PC2 terlihat pada gambar 6(c) dilakukan pengujian untuk *subcarrier* 32,64,128,256,512, telah dilakukan simulasi untuk model ini dan didapatkan besarnya rasio kesalahan untuk setiap *subcarrier*. Suara yang telah dimodulasi OFDM alkan dikirimkan kemudian direkam *microphone* pada PC2.



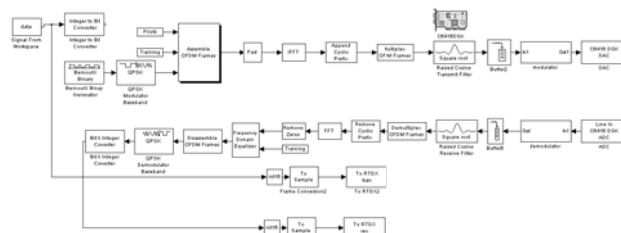
(b)



(c)

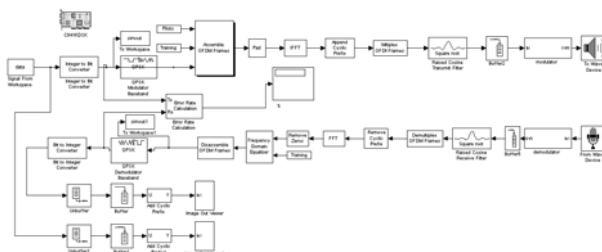
Gambar. 6. (a) Skema pengujian konfigurasi 1, (b) Skema pengujian konfigurasi 2, (c) Skema pengujian konfigurasi 3

Model Simulink diimplementasikan pada sistem dengan cara memprogram DSK TMS320C6416T sesuai dengan model yang dibuat. DSK dapat diprogram dengan menggunakan bahasa C, *assembly*, atau integrasi Matlab Simulink. Setelah menyiapkan *file* model simulink yang akan diimplementasikan, terdapat beberapa implementasi DSK yang dibuat dalam Tugas Akhir ini yaitu sistem modulasi dan demodulasi dengan, *signal from workspace*.



Gambar.7. Model pengujian konfigurasi 1

Model Simulink untuk konfigurasi 2 sama dengan model untuk konfigurasi 1 hanya saja block pada bagian pengirim diganti dengan *to wave device* dan penerima diganti dengan *from wave device*.



Gambar 8 Model pengujian konfigurasi 2

Selanjutnya sistem akan diuji di bawah berbeda parameter saluran. Parameter-parameter ini adalah noise, phase error and multipaths. Tabel berikut ini adalah parameter OFDM yang digunakan untuk konfigurasi 3.

Tabel 1. Parameter model OFDM mfile

Parameter	Nilai
<i>Bandwidth B</i>	2000
Jumlah <i>Carrier N</i>	16,32,64,128,256,512
Panjang symbol <i>Tu</i>	200ms
Frekuensi Sampling <i>Fs</i>	192kHz

Frekuensi <i>Carrier Fc</i>	1kHz
<i>Guard Interval</i>	50ms
Jumlah symbol <i>M</i>	20

Program ini akan mensimulasikan sistem komunikasi bawah air menggunakan OFDM dalam kondisi ideal. Ini berarti bahwa tidak akan ada kebisingan, fase kesalahan atau multipaths mempengaruhi transmisi. Nilai-nilai numerik untuk parameter OFDM digunakan dalam simulasi ini ditunjukkan dalam table 1. *Bandwidth* dan frekuensi pembawa diberikan oleh *transduser*, sedangkan frekuensi sampling diberikan oleh *hardware* digunakan untuk pemutaran sinyal gelombang-berkas. Data yang dikirim merupakan gambar yang telah diubah kedalam bit $[M*N*2x1]$. akan dikirim 40 OFDM simbol dengan 16,32,64,128,256,512 *sub-carrier*. Mengingat bahwa modulasi QPSK memungkinkan kita untuk mengirimkan 2 bit per sub-carrier, jumlah bit yang akan dikirim adalah 1280 untuk 16 *sub-carrier*. Total Waktu simbol termasuk guard time adalah 250 ms. bi dataIn sekarang dimodulasi QPSK. ini berarti bahwa dua bit dikelompokkan bersama-sama untuk membuat sebuah simbol QPSK kompleks.. Pertama simbol QPSK adalah dipetakan sebagai perbedaan fasa. Dengan mengalikan perbedaan fase ini dengan referensi yang dikenal guna mendapatkan satu set simbol QPSK. Ini adalah simbol QPSK dalam tahap variabel diff data yang akan ditransmisikan melalui saluran komunikasi. Citra yang telah dimodulasikan dengan beberapa *sub-carrier* akan menghasilkan file.wav yang kemudian dipancarkan dengan *speaker* dan di rekam menggunakan *microphone* pada program *cool edit pro*, alas an penggunaan program ini karena untuk menyesuaikan *sampling* frekuensi dengan suara yang dikirimkan.

IV. PENGUJIAN DAN ANALISA SISTEM

Besarnya rasio kesalahan akan dibandingkan untuk setiap Hasil pada setiap konfigurasi.

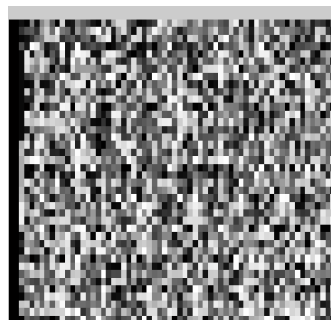
Tabel 2. Perbandingan BER pada setiap konfigurasi

<i>Sub-carrier</i>	BER		
	Konfigurasi 1	Konfigurasi 2	Konfigurasi 3
16	-	-	0.5231
32	-	-	0.0067
64	1	0.5041	0.4898
128	-	-	0.2398
256	-	-	0.0548
512	-	-	0.0576

Implementasi sinyal akustik yang dikirimkan melalui udara, data yang dikirimkan berupa citra 40x64 8bit pada gambar 9 merupakan hasil dari konfigurasi 1 diperoleh ber 1 hal ini dikarenakan belum terdapat literatur mengenai tms, sehingga diperlukan investigasi lebih lanjut guna mengetahui karakteristik dari tms.

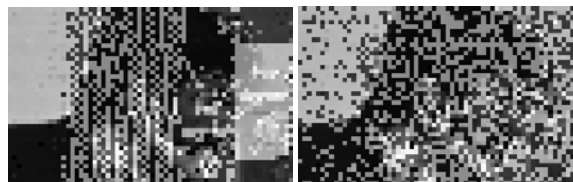


Gambar. 9. plot citra pada penerima pada konfigurasi 1



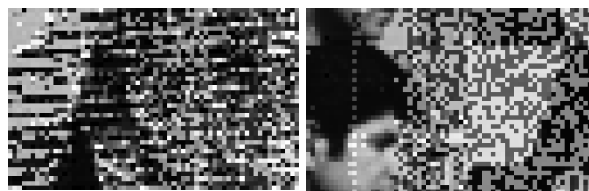
Gambar. 10. plot citra pada penerima pada konfigurasi 2

Pada gambar 10 merupakan implementasi menggunakan konfigurasi 2 diperoleh ber sebesar 0.5, hal ini dikarenakan filter pada soundcard pc serta frekuensi sampling blok *from wave device* maksimal 22Khz sedangkan sistem in berjalan pada frekuensi 36Khz-96khz. Hasil terbaik terdapat pada konfigurasi 3. Berikut ini hasil plot citra yang diterima untuk konfigurasi 3.



Gambar.11. plot citra pada penerima untuk jumlah *sub-carrier* 512 dan 256

Dengan 512 subcarrier 20 simbol lama waktu pengiriman sinyal akustik 5 detik dengan ber sebesar 0.0576, sedangkan untuk 256 *sub-carrier* total simbol yang dikirim sebanyak 40 simbol total waktu pengiriman sinyal akustik 9 detik dengan ber sebesar 0.0576.



Gambar 12 plot citra pada penerima untuk jumlah *sub-carrier* 128, 64

Dengan 128 subcarrier 80 simbol lama waktu pengiriman sinyal akustik 19 detik dengan ber sebesar 0.23, sedangkan untuk 64 *sub-carrier* total simbol yang dikirim sebanyak 160 simbol total waktu pengiriman sinyal akustik 38 detik dengan ber sebesar 0.048.



Gambar 13 plot citra pada penerima untuk jumlah *sub-carrier* 32,16

Dengan 32 *sub-carrier* 320 simbol lama waktu pengiriman sinyal akustik 1 menit 17 detik dengan ber sebesar 0.0676, sedangkan untuk 16 subcarrier total simbol yang dikirim sebanyak 640 simbol total waktu pengiriman sinyal akustik 2 menit 33detik dengan ber sebesar 0.53. hasil paling baik diperoleh dengan 32 *sub-carrier*.

V. KESIMPULAN/RINGKASAN

Dari segala yang dilakukan dalam tugas akhir ini, meliputi tahap perencanaan, simulasi, dan implementasinya, terdapat beberapa kesimpulan yang dapat diambil sebagai berikut.

1. Terdapat 3 konfigurasi untuk implementasi OFDM bawah air
2. Pada implementasi sistem Simulink citra yang dikirimkan belum bisa terbaca pada konfigurasi 1 memiliki error 100% untuk jumlah dan konfigurasi 2 memiliki error 0,541 untuk jumlah *sub-carrier* yang sama.
3. Pada implementasi sistem Mfile citra yang dikirimkan bisa terbaca pada konfigurasi 3 memiliki error 0,5231 untuk jumlah *sub-carrier* 16, 0,0067 untuk jumlah *sub-carrier* 32, 0,4898 untuk jumlah *sub-carrier* 64, 0,2398 untuk jumlah *sub-carrier* 128, 0,0548 untuk jumlah *subcarrier* 256, dan 0,0576 untuk jumlah *sub-carrier* 512, perbedaan error dipengaruhi oleh derau yang tercampur saat proses perekaman suara serta kualitas *microphone* yang digunakan bit.

VI. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ramjee Prasad, "OFDM for Wireless Communications Systems", Artech House, pp 11-12, 2004.
- [2] Chassaing, R., "*Digital Signal Processing and Application with the C6713 and C6416 DSK*", Wiley-Interscience, United State of America, Ch. 1, 2005.