

# ANALISIS MODEM AKUSTIK OFDM MENGGUNAKAN TMS320C6416 PADA LINGKUNGAN KANAL BAWAH AIR

Johanna Aprilia, Wirawan, dan Titiek Suryani

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

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

*E-mail:* wirawan@ee.its.ac.id, johanna11@mhs.ee.its.ac.id, titiks@ee.its.ac.id

**Abstrak**—Saat ini banyak penelitian untuk membangun sebuah jaringan sensor nirkabel bawah air yang menggunakan sinyal akustik yang bersifat realtime serta kapabilitas untuk *self-configuration* dan membawa keuntungan yang signifikan untuk aplikasi seperti eksplorasi komersial, perlindungan wilayah dan deteksi ancaman militer. Perbedaan karakteristik dari komunikasi bawah air menuai banyak paradigma yang sebaiknya ditinjau kembali. Diantaranya adalah bandwidth yang tersedia terbatas, delay propagasi pada bawah air amplitudonya lima kali lebih besar dibandingkan kanal HF. Serta Bit Error Rate (BER) yang tinggi dan kehilangan koneksi yang sementara bisa dialami karena karakteristik dari kanal bawah air tersebut. Analisis kinerja modem OFDM dilakukan pada penelitian ini. Dengan berhasilnya sistem pada kanal ideal, selanjutnya disimulasikan pada kanal AWGN serta kanal Rayleigh dimana kanal ini dapat merepresentasikan kanal bawah air. Kinerja sistem yang dibuat belum memiliki kinerja yang baik dimana BER mencapai 0,5115 pada kanal bawah air yang direpresentasikan melalui speaker dan microphone. Hal ini disebabkan belum adanya sinkronisasi fasa dan carrier serta estimasi kanal.

**Kata kunci**—OFDM, Sistem Komunikasi Bawah Air

## I. PENDAHULUAN

Analisa sistem OFDM pada kanal bawah air akan dibahas pada tugas akhir ini. Sebelumnya terdapat beberapa penelitian tentang sistem komunikasi bawah air menggunakan teknik modulasi yang lain, namun penelitian tersebut belum cukup memenuhi kriteria yang baik untuk mengatasi kanal bawah air yang kompleks. Selain itu sudah banyak penelitian modem OFDM bawah air menggunakan TMS320C6416 [1]. Oleh karena itu, pada tugas akhir ini dibuat implementasi modem OFDM pada DSK TMS320C6416. Pada jurnal ini akan dijelaskan teori penunjang yang akan mendukung konsep dari pembuatan sistem, lalu perancangan sistem menggunakan Simulink MATLAB serta hasil pengujian dan analisa sistem tersebut, dan yang terakhir membahas kesimpulan dari penelitian ini. Diharapkan penelitian ini bisa membantu penelitian komunikasi bawah air selanjutnya.

## II. TEORI PENUNJANG

### A. Sistem Komunikasi Bawah Air

Ada beberapa hal yang mempengaruhi sistem komunikasi bawah air ini, diantaranya adalah air laut itu

sendiri. Air laut merupakan cairan biner yang mengandung kandungan garam yang bervariasi. Keberadaan garam tersebut mempengaruhi jumlah dari parameter yang ingin diukur, yaitu tekanan, kecepatan suara, index refraktif, titik beku, dan *density* maksimum dari temperatur.

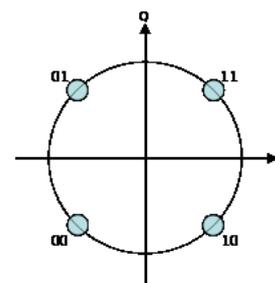
Adapun beberapa karakteristik dari kanal bawah air yang selama 10 tahun ini telah diteliti untuk mendukung modulasi tertentu. Karakteristik kanal bawah air yang menantang membuat pembangunan modem bawah air berdasarkan non koheren *frequency shift keying* (FSK). Selama ini dibutuhkan modulasi yang bisa menekan efek multipath dengan menyisipkan waktu guard diantara pulse untuk memastikan gema yang disebabkan oleh kerasnya permukaan dan dasar laut, hilang sebelum pulsa diterima. Guard frekuensi dinamik bisa digunakan diantara frekuensi untuk adaptasi komunikasi untuk *Doppler spread* kanal.

Sebagai contoh non koheren FSK bergantung pada deteksi energy dan tidak membutuhkan *phase tracking*, yang sangat sulit karena Doppler spread pada kanal bawah air. Walaupun modulasi non koheren karakteristiknya adalah efisiensi daya yang tinggi, efisiensi bandwidth yang rendah membuat hal tersebut tidak cocok untuk jaringan banyak user dengan kecepatan data yang tinggi. Maka dari itu, teknik modulasi koheren dibuat untuk jarak yang jauh, sistem *high-throughput*.

Adapun solusi yang selama ini sedang diteliti untuk komunikasi bawah air yaitu teknik *spread-spectrum* Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM), yang mana setidaknya efisien ketika noise tersebar luas ke banyak bandwidth yang tersedia. Sistem OFDM ini dengan kuat menunjukkan pencapaian efisiensi spectra yang tinggi serta lingkungan yang terkena multipath.

### B. Quadrature Phase Shift Keying (QPSK)

Modulasi QPSK merupakan salah satu jenis modulasi M - quadrature Amplitude Modulation (QAM) dengan M=4. Pada gambar 1 bisa dilihat konstelasi dari QPSK.

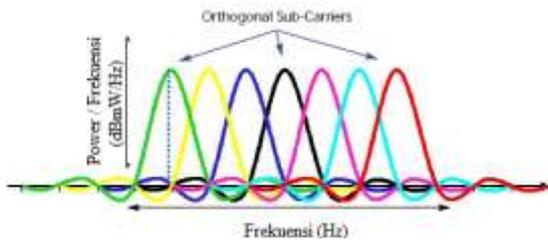


Gambar 1. Konstelasi sinyal QPSK

Modulasi *Quadrature Phase Shift Keying* (QPSK) memiliki empat simbol yang mempunyai amplitude sama dengan fase yang berlainan. Keempat simbol tersebut dibentuk dari grup dua bit input, sehingga diperoleh empat kondisi yang mungkin, yaitu 00, 01, 10 dan 11. Setiap bit menghasilkan satu dari empat fase yang mungkin, sehingga rate keluarannya adalah setengah dari rate input.

C. *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM)

OFDM merupakan teknik transmisi data kecepatan tinggi menggunakan beberapa sub carrier, sehingga kecepatan data yang ditransmisikan menjadi lebih rendah. Pada teknik transmisi OFDM setiap sub carrier tidak dialokasikan berdasarkan bandwidth yang ada, melainkan sub carrier tersebut disusun saling overlapping dan orthogonal. Sifat orthogonal diantara sub carrier inilah yang menyebabkan munculnya istilah *Orthogonal Frequency Division Multiplexing*. Dengan menggunakan teknik overlapping ini dapat menghemat bandwidth kanal sampai dengan 50%. Spektrum sinyal OFDM bisa dilihat pada gambar 2



Gambar 2. Spektrum Frekuensi OFDM

Prinsip utama dari OFDM adalah pembagian kecepatan tinggi aliran data ke dalam sejumlah aliran data kecepatan rendah kemudian dikirimkan secara simultan melalui suatu subcarrier. Deretan data informasi yang akan dikirim dikonversikan kedalam bentuk parallel, sehingga jika bit rate semula adalah R, maka bit rate pada tiap-tiap jalur parallel adalah R/N dimana N adalah jumlah jalur parallel (sama dengan jumlah *sub carrier*). Setelah itu modulasi dilakukan pada tiap-tiap *sub carrier*.

D. *Fast Fourier Transform* (FFT) dan *Inverse Fast Fourier Transform* (IFFT)

*Fast Fourier Transform* (FFT) adalah algoritma efisien yang biasa digunakan untuk mengubah sinyal domain waktu menjadi sinyal domain frekuensi, berdasarkan *Discrete Fourier Transform* (DFT). DFT mengkonversi *sequence* dalam domain waktu menjadi *sequence* domain frekuensi. FFT merupakan algoritma yang sangat efisien berdasar pada DFT, tapi dengan komputasi yang lebih sedikit.

FFT merupakan satu dari banyak yang biasa dipakai untuk proses sinyal digital untuk analisis spektrum frekuensi. Dua prosedur yang berbeda untuk menghitung FFT : *decimation-in-frequency* dan *decimation-in-time*. FFT mengurangi perkiraan perhitungan yang dibutuhkan untuk DFT. DFT sinyal *discrete-time*  $x(nT)$  adalah :

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n)W^{nk} \quad k = 0,1, \dots, N - 1 \quad (2)$$

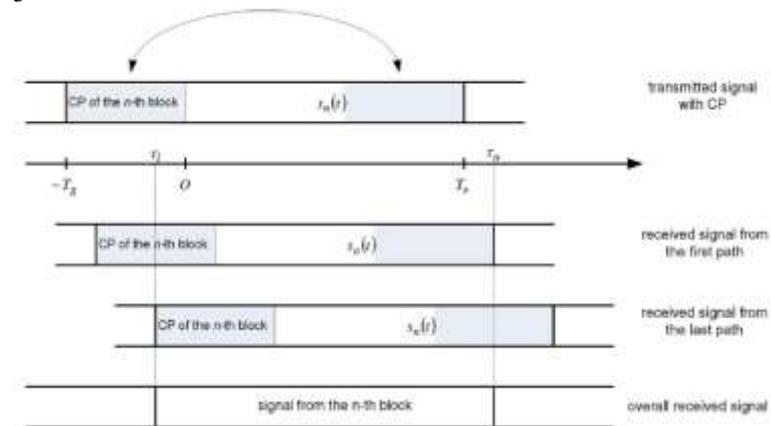
mengubah *sequence* domain frekuensi  $X(k)$  ke *sequence*  $x(n)$  pada domain waktu. Hal tersebut didefinisikan sebagai :

$$x(n) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} X(k)W^{-nk} \quad n = 0,1, \dots, N - 1 \quad (3)$$

Dengan membandingkan persamaan (2) dan (3), bisa dilihat bahwa algoritma FFT bisa digunakan untuk menemukan Inverse FFT dengan mengubah dua cara : menambahkan faktor skala untuk 1/N dan mengganti  $W^{nk}$  dengan konjugasi kompleks  $W^{-nk}$ .

E. *Cyclic Prefix*

*Cyclic prefix* merupakan salinan bagian akhir dari suatu symbol OFDM dan menempatkannya pada bagian depan blok symbol tersebut. Tujuan dari adanya *cyclic prefix* yaitu untuk mengurangi kemungkinan terjadinya ISI bukan berarti menghilangkan. Panjang dari *cyclic prefix* harus lebih panjang daripada kanal respons impuls kanal. Untuk lebih jelasnya fungsi dari *cyclic prefix* diperlihatkan pada Gambar 3



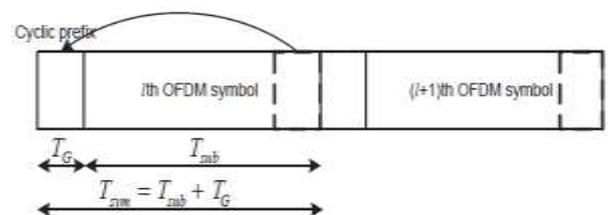
Gambar 3 Fungsi dari Cyclic Prefix

Dari gambar diatas dibuat suatu persamaan tentang panjang keseluruhan dari symbol OFDM yaitu:

$$T_{sym} = T_{sub} + T_G \quad (4)$$

Dimana:

- Tsub = Panjang symbol OFDM tanpa *cyclic prefix*
- TG = Panjang *cyclic prefix*
- Tsym = Total panjang symbol OFDM



Gambar 4 Cyclic Prefix pada OFDM

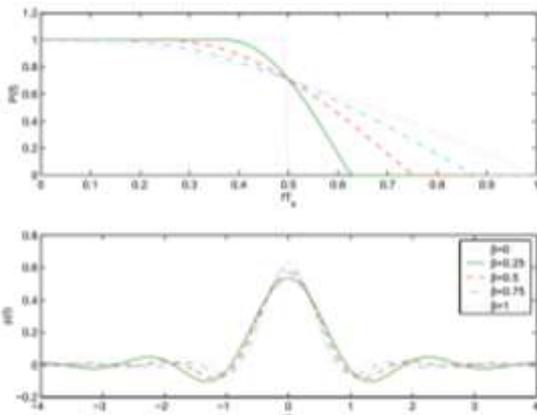
F. *Spektrum Square Root Raised Cosine*

Bentuk sinyal pulsa pada komunikasi digital memiliki spektrum yang lebar pada domain frekuensi. Untuk mengatasi hal tersebut pada kanal yang Band-Limited, diperlukan desain dari sinyal Band-Limited tanpa Intersymbol Interference, dengan berdasarkan teorema

Nyquist. Bentuk spektrum pulsa khusus, yang memiliki properti spektral yang sesuai, dan telah umum digunakan pada prakteknya, adalah spektrum raised cosine dan dalam hal ini dibutuhkan root raised cosine. Persamaan *raised cosine* dalam domain waktu adalah:

$$z(t) = \text{sinc} \left( \frac{\pi t}{T_s} \right) \frac{\cos(\pi \beta t / T_s)}{1 - \frac{4\beta^2 t^2}{T_s^2}} \quad (5)$$

dimana  $\beta$  disebut dengan *roll-off factor*, dimana pengertiannya adalah besarnya bandwidth yang ditempati oleh sinyal melebihi frekuensi Nyquist  $1/2T$ . Nilai  $\beta$  yang semakin besar akan menghasilkan sidelobe yang makin kecil pada domain waktu seperti yang ditunjukkan pada gambar 5



Gambar 5 (atas) Bentuk Pulsa Square Root Raised Cosine pada Domain Waktu, (bawah) Bentuk Pulsa Square Root Raised Cosine pada Frekuensi

Sedangkan spektrum *square root raised cosine* memiliki hubungan dengan spektrum raised cosine pada domain frekuensi sebagai berikut:

$$P(f) = |Z(f)|^2 \quad (6)$$

Sehingga menghasilkan bentuk pulsa yang dalam fungsi waktu dapat didefinisikan melalui persamaan berikut :

$$p(t) = \frac{2\beta}{\pi\sqrt{T_s}} \frac{\cos \left[ (1+\beta)\pi\frac{t}{T_s} \right] \sin \left[ (1-\beta)\pi\frac{t}{T_s} \right]}{\left[ 1 - \left( 4\beta\frac{t}{T_s} \right)^2 \right]} \quad (7)$$

Sama seperti bentuk pulsa raised cosine, SQRRC ini juga dipengaruhi oleh *roll-off factor* untuk menentukan bentuk *sidelobe*.

G. *Digital Signal Processor Starter Kit (DSK) TMS320C6416DSK*

*Digital Signal Processor TMS320C6416* merupakan mikroprosesor berkecepatan tinggi dengan tipe arsitektur yang cocok digunakan untuk mengolah sinyal. Notasi C6x merupakan kode dari produk DSP keluaran Texas

Instruments TMS320C6000. Dengan menggunakan arsitektur *very long instruction word (VLIW)*, DSP C6x menjadi prosesor tercepat keluaran Texas Instruments. Arsitektur VLIW pada DSP C6x sangat cocok untuk proses perhitungan yang intensif.

H. *Code Composer Studio*

Code Composer Studio (CCS) merupakan sebuah Integrated Development Environment (IDE) untuk Texas Instruments (TI) embedded processor yang merupakan gabungan dari C compiler, assembler, linker, dan debugger. CCS merupakan software easy to-use untuk build dan debug program pada DSP processor, dan mampu melakukan analisis secara real time.

I. *Simulink*

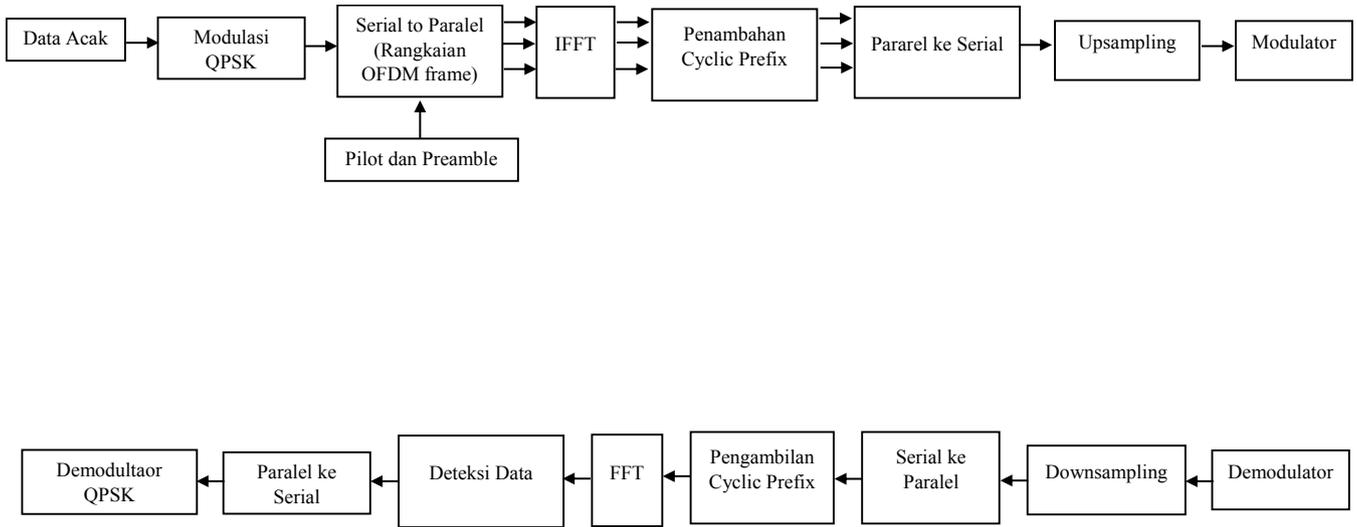
Simulink terintegrasi dengan MATLAB dan data dapat ditransfer dengan mudah antar kedua program tersebut. Dengan adanya *templates/building blocks* menjadi salah satu keuntungan utama dari simulink sehingga tidak perlu menulis kode program untuk proses matematisnya. Blok ini termasuk blokset pengolahan sinyal digital, blokset komunikasi dan blokset *fixed-point*.

III. PERANCANGAN, SIMULASI DAN IMPLEMENTASI SISTEM

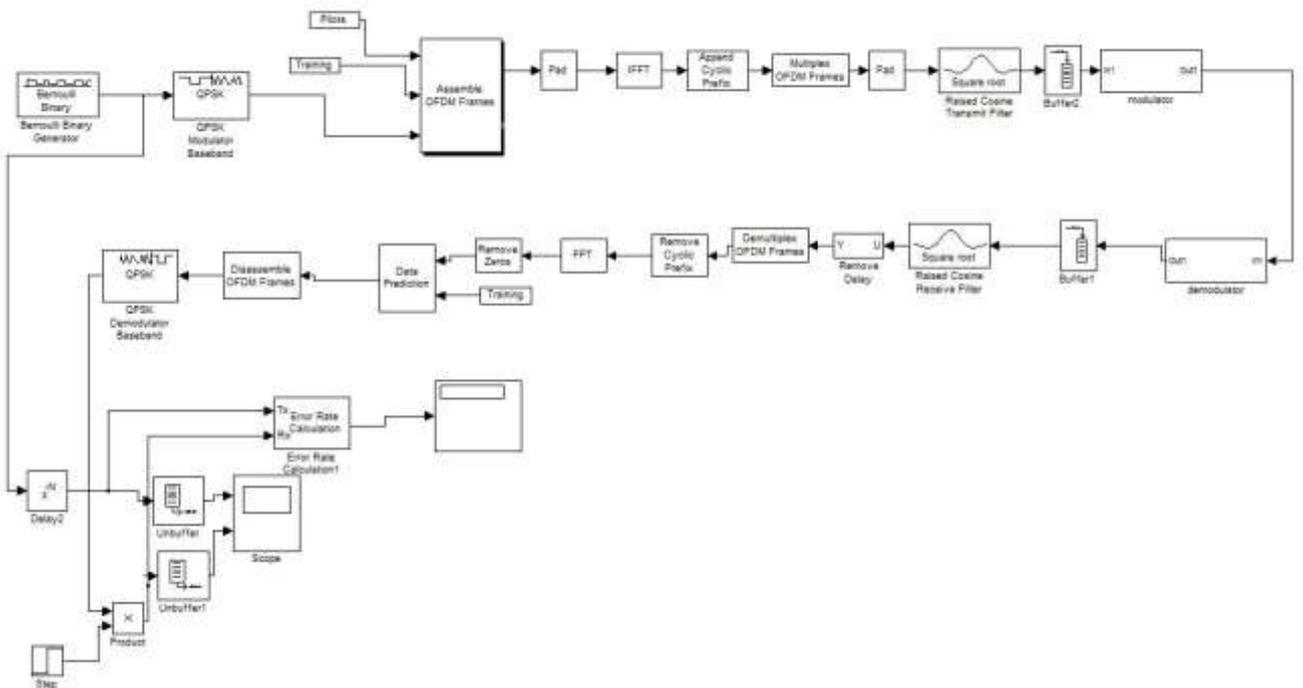
Pada bab ini akan dijelaskan sistem komunikasi OFDM pada kanal bawah air yang masih duji di udara dengan menggunakan MATLAB Simulink yang diimplementasikan pada TMS320C6416. Pembahasan bab ini termasuk desain sistem OFDM pada Simulink dengan Subcarrier bervariasi : 16, 32, 64, 128, 256 sesuai dengan referensi yang telah dipelajari sebelumnya, serta pembahasan tentang metode pengukuran yang juga bervariasi.

Perancangan sistem ini sebelumnya didasari pada [2] yang telah dimodifikasi untuk mendapatkan hasil sistem yang lebih baik. Sistem yang dimodifikasi ini akan dijelaskan pada subbab ini. Pada gambar 6 merupakan bagan konsep dari sistem OFDM yang akan didesain [2], konsep tersebut akan diaplikasikan pada semua subcarrier.

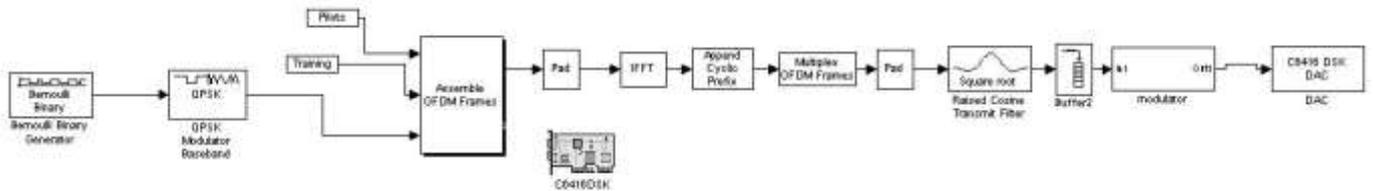
Secara garis besar, sistem ini terdiri dari pemancar dan penerima yang saling berhubungan dengan adanya beberapa kesamaan dalam komponen dan fungsinya. Pertama data acak dibangkitkan sesuai dengan subcarriernya. Pada subcarrier 16 dan 32 digunakan data acak bernouli sebanyak 20, subcarrier 64, 128, 256 sebanyak 96. Subcarrier 16 dan 32 berbeda dari yang lain karena penyusunan frame yang lebih kecil daripada yang lain. Untuk desain sistem dengan subcarrier 16, 32, 128, 25 tidak mengikuti standar manapun, sedangkan untuk subcarrier 64 mengikuti standar [3].



Gambar 6 Diagram Blok Sistem OFDM pada Simulink



Gambar 7. Blok Simulasi Sistem OFDM pada Simulink



Gambar 8. Blok Implementasi Sistem OFDM pada TMS320C6416

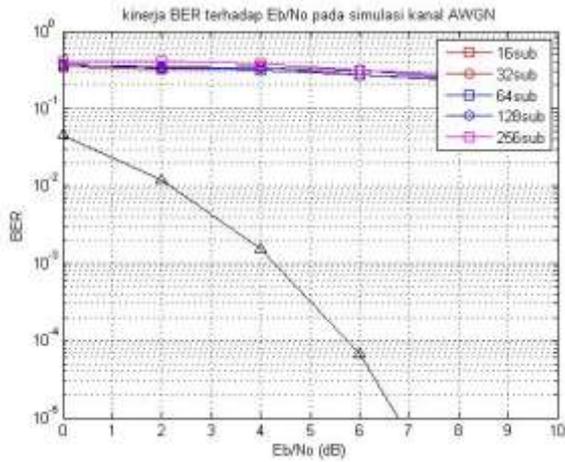
Dalam hal ini setelah modulator yang terdapat pada gambar 7, data akan diubah menjadi suara yang nantinya dipancarkan oleh speaker, serta data ini akan disimpan dalam suatu audio *file*. Lalu akan direkam menggunakan *microphone* yang hasilnya akan direkam dalam suatu *file* audio juga. Implementasi pada TMS320C6416 bisa dilihat pada gambar 8. Perbedaan antara simulasi dan implementasi adalah pada saat implementasi program yang digunakan untuk merekam data merupakan program yang terpisah.

#### IV. PENGUJIAN DAN ANALISA SISTEM

Pada bab ini akan dijelaskan tentang analisa sistem pada berbagai kondisi : Simulasi dan Implementasi. Namun, data yang bisa dianalisa hanya di pengirim. Hal ini disebabkan karena BER yang terlalu tinggi serta normalisasi yang tidak berjalan lancar sehingga sistem penerima tidak bisa dianalisa.

##### A. Analisa Sistem OFDM pada Simulasi Kanal

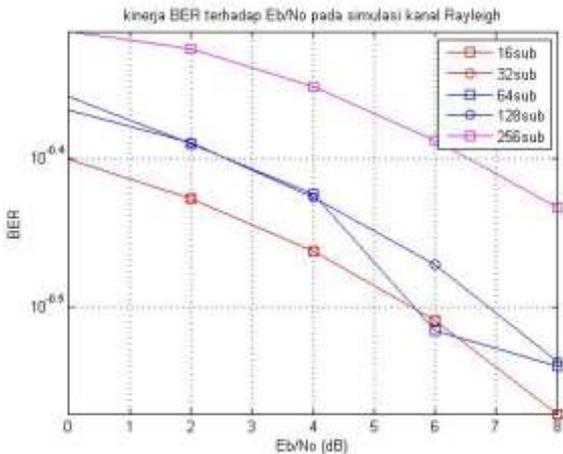
Analisa terlebih dahulu menggunakan Simulasi dengan kanal AWGN dan Rayleigh untuk melihat performansi sistem yang dibuat. Parameter yang dilihat pada simulasi ini adalah nilai BER terhadap Eb/No dengan subcarrier yang berbeda.



Gambar 9. Kinerja BER terhadap Eb/No pada kanal AWGN di subcarrier yang berbeda

Bisa dilihat pada gambar 4.1 bahwa hasil sistem yang dibuat mempunyai nilai BER lebih besar daripada teori dimana teori digambarkan pada kurva berwarna hitam. Hal ini disebabkan karena belum adanya teknik deteksi data yang lebih baik seperti estimasi kanal dan sinkronisasi fasa dan carrier agar data yang diterima menyerupai data yang dikirim.

Kanal bawah air bisa dimodelkan dengan kanal Rayleigh karena karakteristik multipath yang hampir sama. Pada gambar 10 bisa dilihat nilai BER pada subcarrier tertentu di kanal Rayleigh.



Gambar 10. Kinerja BER terhadap Eb/No pada kanal Rayleigh di subcarrier yang berbeda

Bisa dilihat pada gambar 4.2 bahwa BER pada kanal Rayleigh lebih besar dibandingkan pada kanal AWGN. Hal ini membuat kinerja sistem yang dibuat belum baik sehingga belum bisa mengatasi fading. Kinerja pada masing – masing subcarrier juga belum baik, hal ini dibuktikan dengan makin banyaknya subcarrier maka tidak makin banyak BER yang tercatat.

B. Analisa Sistem OFDM pada MATLAB Simulink

Analisa sistem dilakukan dengan melihat spektrum dari sinyal Baseband dan Bandpass, serta melihat konstelasinya dan BER nya meskipun BER sangat tinggi.

Tabel 1. Nilai BER pada saat Simulasi di jarak tertentu

Subcarrier	0,5 cm	4 cm
16	0,511	0,511
32	0,5057	0,5057
64	0,5004	0,5004
128	0,5007	0,5005
256	0,5028	0,5115

C. Analisa Sistem OFDM pada TMS320C6416

Analisa sistem dilakukan dengan melihat spektrum dari sinyal Baseband dan Bandpass pengirim. Nilai BER juga dilihat walaupun nilainya sangat tinggi.

Tabel 2. Nilai BER pada saat implementasi di jarak tertentu

Subcarrier	0,5 cm	4 cm
16	0,5078	0,5148
32	0,5065	0,5065
64	0,4988	0,5005
128	0,5105	0,5008
256	0,5028	0,5048

V. KESIMPULAN

Pada bab ini berisi kesimpulan dan saran atas penelitian yang telah dilakukan. Kesimpulan tentang proses, hasil pengujian dan cara pengukuran telah dibuat. Saran pada bab ini juga diperlukan demi kelancaran penelitian sistem komunikasi bawah air selanjutnya.

Dari hasil penelitian ini dapat ditarik beberapa kesimpulan, diantaranya : Pertama, proses penghitungan dan penentuan frekuensi pada Modulator dan Demodulator sangat penting dalam perancangan sistem hal ini berpengaruh pada nilai data yang masuk dengan yang keluar tidak sama karena tidak satu gelombang. Kedua, sistem yang dibuat belum memiliki kinerja yang baik karena belum adanya sinkronisasi antar frame serta estimasi kanal.

Saran untuk penelitian berikutnya agar mendapatkan hasil yang lebih baik adalah : Pertama, Proses normalisasi harus dilakukan lebih dalam lagi untuk mendapatkan BER yang rendah sehingga sistem yang dibuat memiliki kinerja yang baik. Kedua, Menggunakan perangkat lunak terbaru untuk mengidentifikasi karakter dari TMS320C6416 supaya library yang baru bisa teridentifikasi dan mempermudah penelitian.

Adanya standar yang lebih tepat untuk komunikasi bawah air agar hasilnya pun lebih tepat.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Yuandhika, Adhi, "Implementasi Modem Akustik OFDM pada TMS320C6416", Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2011, pp 57-75  
 [2] Hai, Yan, "DSP based receiver implementation for OFDM acoustic modems", Elsevier Journal of Physical Communication, 2011  
 [3] Cook, Jarrod, "Ultra-Wideband Research and Implementation", Senior Capstone Project, 2007