

Estimasi Kanal Akustik Bawah Air Untuk Perairan Dangkal Menggunakan Metode Least Square (LS) dan Minimum Mean Square Error (MMSE)

Mardawia M. Parenreng¹, Wirawan², Tri Budi Santoso³
 Jurusan Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, ITS
 Jl. Arif Rahman Hakim, Surabaya 60111

¹mmparenreng@gmail.com, ²wirawan@ee.its.ac.id, ³tribudi@eepis-its.edu

Abstrak – Dalam beberapa tahun terakhir, sistem komunikasi akustik bawah air banyak dikembangkan oleh beberapa peneliti. Besarnya tantangan yang dihadapi membuat para peneliti semakin tertarik untuk mengembangkan penelitian dibidang ini. Kanal bawah air merupakan media komunikasi yang sulit karena adanya *attenuasi*, *absorption*, dan *multipath* yang disebabkan oleh gerakan gelombang air setiap saat. Untuk perairan dangkal, *multipath* disebabkan adanya pantulan dari permukaan dan dasar laut. Kebutuhan pengiriman data cepat dengan *bandwidth* terbatas menjadikan *Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)* sebagai solusi untuk komunikasi transmisi tinggi dengan modulasi menggunakan *Binary Phase-Shift Keying (BPSK)*. Estimasi kanal bertujuan untuk mengetahui karakteristik respon impuls kanal propagasi dengan mengirimkan pilot simbol. Pada estimasi kanal menggunakan metode *Least Square (LS)* nilai *Mean Square Error (MSE)* yang diperoleh cenderung lebih besar dari metode estimasi kanal menggunakan metode *Minimum Mean Square (MMSE)*. Hasil kinerja estimasi kanal berdasarkan perhitungan *Bit Error Rate (BER)* untuk estimasi kanal menggunakan metode *LS* dan metode *MMSE* tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan yaitu berselisih satu *SNR* untuk setiap metode estimasi kanal yang digunakan.

Kata Kunci : Akustik bawah air, BPSK, Estimasi kanal, OFDM

Abstrak – In recent years, underwater acoustic communication system has been developed by a few researchers. The amount of the challenges faced in underwater communication, make the researchers are increasingly interested to developing this research. Underwater channel is a medium communication that is difficult because of the *attenuation*, *absorption*, and *multipath* caused by the wave motion of water at all times. For shallow waters, due to *multipath* reflections from the surface and the seabed. The need fast transmission data with limited *bandwidth* make *Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)* as a solution for high transmission communication with modulation using a *Binary Phase-Shift Keying (BPSK)*. Channel estimation aims to find out the characteristics of the propagation channel impulse response by sending pilot symbols. On channel estimation using the method of *Least Square (LS)*, the value of the *Mean Square Error (MSE)* obtained by tend to be larger than channel estimation method using the *Minimum Mean Square (MMSE)*. The results of the performance from channel estimation based on the calculation of *Bit Error Rate (BER)* for channel estimation using *LS* and *MMSE* method showed no significant difference is disputing the *SNR* for each channel estimation methods are used.

Keywords: Underwater acoustics, BPSK, channel estimation, OFDM

I. PENDAHULUAN

Komunikasi akustik bawah air merupakan teknologi yang dimanfaatkan dalam berbagai aplikasi seperti penelitian bidang maritim, oseanografi, eksplorasi minyak di daerah lepas pantai dan sistem pertahanan. Fitur-fitur dan arsitektur jaringan sensor bawah air, desain jaringan, gambaran kanal akustik kondisi lingkungan dasar laut telah di sajikan dalam [1]. Komunikasi akustik bawah air menggunakan gelombang suara atau gelombang akustik yang dapat mencapai jarak lebih jauh dari gelombang komunikasi lain tetapi memiliki kecepatan dan *bandwidth* yang terbatas [2].

Sistem komunikasi akustik bawah air merupakan media komunikasi yang sulit, karena adanya *attenuation*, lintas jamak atau *multipath*, *absorption*, dan *delay spread*.

Propagasi akustik di dalam air bekerja dengan baik pada frekuensi rendah yaitu 10–15 KHz, dan dengan kecepatan 1500 m/s [3]. Untuk perairan dangkal dengan kondisi lingkungan yang sangat kompleks, *bandwidth* yang tersedia terbatas tergantung dari jarak dan frekuensi. Desain dan simulasi membutuhkan pemodelan kanal yang akurat, dengan menggunakan metode *ray teory* untuk memberikan gambaran deterministik propagasi *multipath* dengan menambahkan deskripsi statistik dan variasi kanal secara acak terhadap waktu [4]&[5]. Sifat kanal propagasi akustik bawah air dengan pendekatan statistik berdasarkan data hasil pengukuran dibahas pada paper [6]. Untuk kondisi kanal akustik bawah air dengan kedalaman beragam, mulai dari kondisi ekstrim sangat dangkal dan lingkungan berderau untuk daerah muara

sungai dan pelabuhan sampai kondisi relatif dalam telah dibahas pada paper [7].

Sistem *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM) adalah teknik transmisi yang memungkinkan pengiriman data kecepatan tinggi dengan membagi sinyal informasi kedalam sub-sub kanal yang berbeda, tidak saling interferensi atau bersifat *orthogonal* satu sama lain. Keunggulan sistem OFDM yaitu mampu mengatasi *delay spread* dengan menggunakan *guard interval*, mampu mengubah *frequency selective* menjadi *frequency non-selective* dan relative mudah diimplementasikan [8]. Kriteria desain dan prosedur analisis untuk sistem OFDM komunikasi bawah air dibahas pada paper [9]. Namun, OFDM memiliki tantangan untuk kanal bawah air, yaitu memiliki *frequency selective* tinggi dengan *delay spread* yang lebar sehingga dibutuhkan estimasi kanal untuk mendapatkan kembali simbol yang ditransmisikan, dengan mengirimkan *training* simbol berupa pilot simbol yang sebelumnya telah diketahui oleh pemancar dan penerima [10]. *Least Square* (LS) dan *Minimum Mean Square Error* (MMSE) adalah dua Metode yang umum digunakan untuk estimasi kanal dengan memanfaatkan simbol pilot. LS atau kuadrat terkecil dari perbedaan sinyal terkirim dengan sinyal terima. MMSE didasari pada meminimalisasian nilai *Mean Square Error* (MSE).

Pada paper ini akan disajikan hasil simulasi OFDM untuk estimasi kanal menggunakan metode LS dan metode MMSE untuk kanal *multipath* dengan pemodelan kanal menggunakan metode *ray tracing*. Analisa dilakukan dengan melihat nilai *Bit Error Rate* (BER) yang dihasilkan dan nilai *Mean Square Error* (MSE). Penjelasan mengenai pemodelan sistem akan dibahas pada bagian II. Pada bagian III berisi tentang hasil simulasi dan analisa. Kesimpulan dibahas pada bagian IV.

II. DESAIN, DAN IMPLEMENTASI

A. Rancangan Penelitian

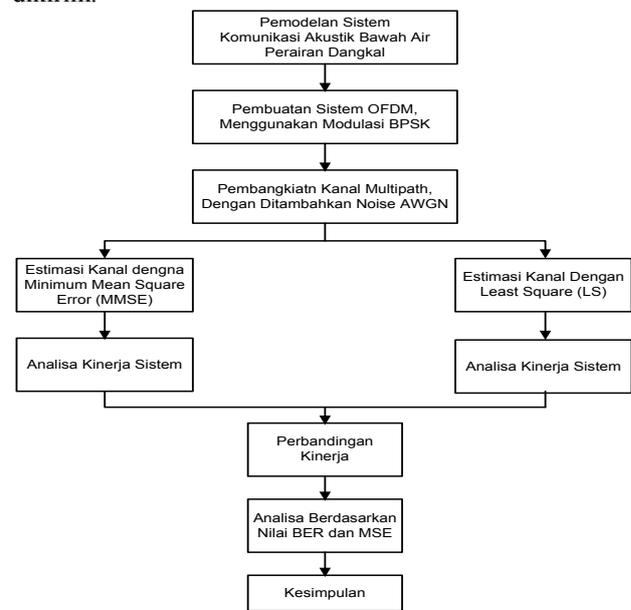
Pada paper ini, langkah yang dilakukan yaitu pemodelan sistem komunikasi akustik bawah air untuk perairan dangkal, sistem transmisi menggunakan *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM), dengan modulasi *Binary Phase-Shift Keying* (BPSK). Dilakukan estimasi kanal *Least Square* (LS), dan estimasi kanal *Minimum Mean Square Error* (MMSE). Gambar 1 menunjukkan blok diagram langkah-langkah pembuatan simulasi.

Dalam pembuatan sistem OFDM pada komunikasi akustik bawah air untuk perairan dangkal diperlukan beberapa parameter sehingga sistem dapat dijalankan. Tabel 1 merupakan parameter sistem OFDM akustik bawah air yang digunakan dalam pembuatan simulasi ini.

B. OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)

Pada bagian ini, membahas mengenai kinerja sistem OFDM pada komunikasi akustik bawah air untuk perairan dangkal dengan menggunakan modulasi BPSK. Kinerja tersebut ditunjukkan dengan nilai probabilitas kesalahan *Bit Error Rate* (BER) dan *Mean Square Error* (MSE). Gambar 2 adalah blok diagram sistem OFDM pada komunikasi akustik bawah air untuk perairan dangkal.

Sistem kerja OFDM dapat dijelaskan sebagai berikut, data input modulasi sebanyak 240 data subcarrier, dari data 240 diberikan pilot sebanyak 16 sehingga total data menjadi 256 sudah termasuk simbol pilot. Kemudian data tersebut diaplikasikan kedalam IFFT yang berukuran 256 untuk pembuatan simbol OFDM. Penggunaan IFFT ini memungkinkan pengalokasian frekuensi yang saling tegak lurus (*orthogonal*) dan mengubah domain frekuensi menjadi domain waktu. Selanjutnya data ditambahkan *cyclic prefix*. Setelah penambahan *cyclic prefix* berikutnya dikonversi menjadi serial oleh blok *parallel to serial* dan dikirim.



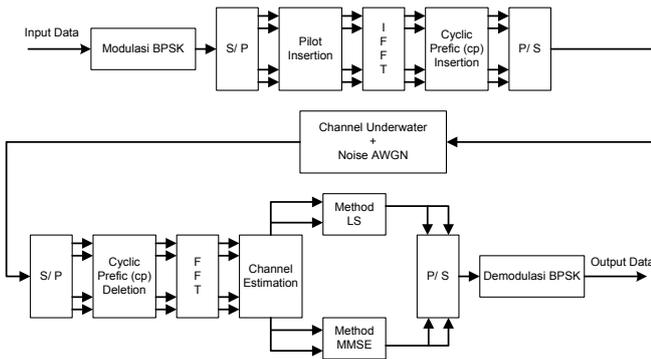
Gambar 1. Blok diagram langkah-langkah pembuatan simulasi

Tabel 1. Parameter sistem OFDM akustik bawah air

Bandwidth	5 KHz
Modulasi	BPSK
Jumlah subcarrier	256
Jumlah IFFT/FFT	256
Jumlah Bit	10000
Jumlah pilot	16
Guard Interval T_g	16, 1, 0

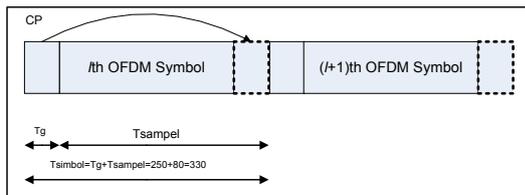
Pada proses pengiriman, disimulasikan menggunakan kanal *multipath* dengan pemodelan kanal menggunakan metode *ray tracing* dengan kondisi kanal dipengaruhi oleh *noise* AWGN.

Di sisi penerima dilakukan proses berkebalikan dengan proses di pengirim yaitu sinyal yang diterima diubah lagi kedalam bentuk *serial to parallel*, menghapus *cyclic prefix*, proses FFT dan selanjutnya estimasi kanal dengan estimasi kanal ideal, estimasi kanal dengan metode LS dan estimasi kanal dengan metode MMSE, menghapus pilot simbol, *parallel to serial* dan terakhir sinyal didemodulasi untuk memperoleh kembali bit informasi yang telah dikirimkan sebelumnya.



Gambar 2. Blok diagram sistem OFDM

Untuk mengatasi masalah *delay multipath* pada OFDM digunakan suatu *guard interval* yaitu *cyclic prefix*. Penggunaan *cyclic prefix* adalah sebagai syarat agar tidak terjadi ISI. Untuk simulasi estimasi kanal akustik perairan dangkal digunakan *cyclic prefix* sebanyak 16ms yang sama dengan 80 simbol OFDM. Proses penambahan *cyclic prefix* dilakukan dengan mengopikan sebanyak 80 simbol terakhir dari simbol OFDM dan dipindahkan keawal dari simbol OFDM sehingga total simbol dalam satu blok OFDM menjadi 336 simbol.

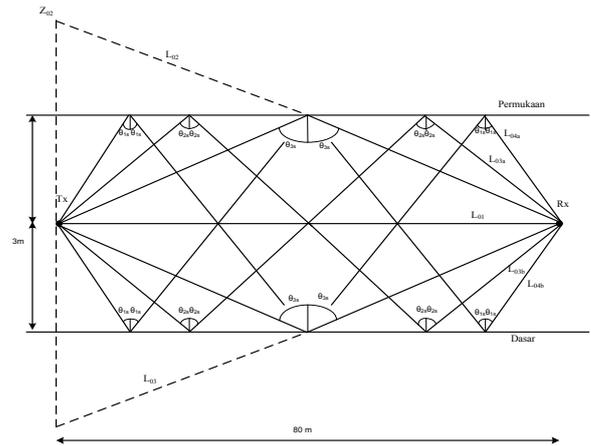


Gambar 3. Penggambaran Cyclic Prefix (CP)

C. Pembangkitan Kanal Multipath

Dalam mensimulasikan kanal akustik bawah air untuk perairan dangkal dengan kondisi kanal *multipath*, pemodelan kanal menggunakan metode *ray tracing* seperti yang ditunjukkan Gambar 4. Maka dapat dilakukan perhitungan untuk menentukan delay masing-masing lintasan pada kanal akustik bawah air untuk perairan dangkal, yang direpresentasikan pada kolam pengukuran, kondisi air tawar dengan kedalaman 3m (sangat dangkal), pada jarak pemancar dan penerima 80m.

Umumnya jumlah bayangan atau sumber pada pemancar virtual memiliki nilai tidak berhingga, dan setiap bayangan memiliki perulangan. Dari lokasi pemancar bayangan, dihasilkan suatu lintasan dengan panjang beragam. Lintasan langsung dari pemancar (sumber suara) ke penerima (hidrophone), LOS ditandai sebagai L_{01} dan berjarak 80m. Posisi sumber bayangan yang dihasilkan melalui image method (metode bayangan) adalah Z_{02}, Z_{03}, Z_{04} .



Gambar 4. Model lintas jamak ray tracing untuk perairan dangkal

$$\begin{aligned}
 Z_{02} &= 2(2 - 1)3 = 6m \\
 Z_{03} &= 2(3 - 1)3 = 12m \\
 Z_{04} &= 2(4 - 1)3 = 18m \\
 Z_{05} &= 2(5 - 1)3 = 24m
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

Pada bagian atas memberikan berkas perambatan sinyal L_{02}, L_{03}, L_{04} . Dengan persamaan yang sama pada kasus *ray tracing* akan memberikan nilai-nilai:

$$\begin{aligned}
 L_{02} &= \sqrt{Z_{02}^2 + D^2} = \sqrt{6^2 + 80^2} = 80.22m \\
 L_{03} &= \sqrt{Z_{03}^2 + D^2} = \sqrt{12^2 + 80^2} = 80.89m \\
 L_{04} &= \sqrt{Z_{04}^2 + D^2} = \sqrt{18^2 + 80^2} = 82.00m \\
 L_{05} &= \sqrt{Z_{05}^2 + D^2} = \sqrt{24^2 + 80^2} = 83.52m
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

Sinyal yang sampai pada penerima telah mengalami pelemahan sesuai dengan jarak propagasi yang ditempuh. Jika jarak tempuh dinyatakan dengan L , dan kecepatan perambatan sinyal akustik dalam air adalah c ($c = 1495$ m/s untuk air tawar), maka besarnya waktu tempuh dapat dihitung dengan persamaan $t_L = L/c$. Tabel 3 menunjukkan jarak lintasan yang terbentuk dengan metode *ray tracing*.

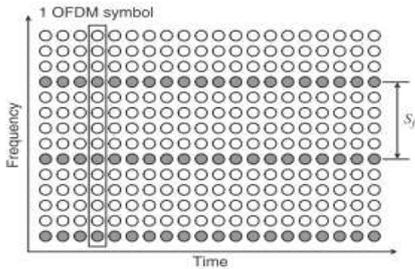
Tabel 3. Jarak lintasan terbentuk dengan ray tracing pada Tx-Rx = 80m

Lintasan ke n	L_{80} (M)	T (ms)	Power norm (dB)
1	80	53.33	-18.57
2	80.22	53.48	-13.99
3	80.89	53.93	-7.23
4	82.00	54.67	-2.43
5	83.53	55.68	0.00

D. Estimasi Kanal

Estimasi kanal merupakan suatu teknik yang digunakan untuk mengetahui respon impuls dari suatu

kanal terhadap sinyal terkirim dengan mengirimkan training simbol berupa pilot simbol yang sebelumnya telah diketahui oleh *transmitter* dan *receiver*, yang selanjutnya dikirim bersamaan dengan sinyal informasi. Menggunakan pola pengaturan pilot tipe comb yaitu dengan memasukkan simbol pilot secara periodik pada setiap lokasi *subcarrier*. penyisipan dilakukan dalam domain frekuensi, dan pengiriman dilakukan dengan menentukan *subcarrier* mana yang akan digunakan untuk mengirimkan pilot. Penyusunan pilot tipe comb ditampilkan pada gambar berikut [11]:



Gambar 5. Pola penyusunan pilot tipe comb

1. Estimasi Kanalk dengan Metode Least Square (LS)

Metode estimasi kanal yang digunakan dengan memanfaatkan simbol pilot yaitu dengan estimasi kanal menggunakan metode LS dan metode MMSE, diawali dengan mendapatkan nilai estimasi kanal, \hat{H} dengan cara meminimalkan nilai *cost function* seperti berikut:

$$J(\hat{H}) = \|Y - X\hat{H}\|^2 = (Y - X\hat{H})^H (Y - X\hat{H}) \tag{3}$$

$$= Y^H Y - Y^H X\hat{H} - \hat{H}^H X^H Y + \hat{H}^H X^H X\hat{H}$$

Penurunan persamaan untuk mendapatkan \hat{H} menjadi nol:

$$\frac{\partial J(\hat{H})}{\partial \hat{H}} = -2(X^H Y)^* + 2(X^H X\hat{H})^* = 0 \tag{4}$$

Sehingga $X^H X\hat{H} = X^H Y$, akan memberikan penyelesaian persamaan pada estimasi kanal LS seperti berikut:

$$\hat{H}_{LS} = (X^H X)^{-1} X^H Y = X^{-1} Y \tag{5}$$

Selanjutnya kita tetapkan setiap \hat{H}_{LS} sebagai $\hat{H}[k]_{LS}$ dimana $k = 0, 1, 2, \dots, N-1$. Matrik X diasumsikan diagonal dalam hal ini tidak terjadi ICI. Maka estimasi kanal LS pada setiap subcarrier dapat ditulis:

$$\hat{H}_{LS}[k] = \frac{Y[k]}{X[k]}, \text{ dimana } k = 0, 1, 2, \dots, N-1 \tag{6}$$

Nilai mean square error (MSE) pada estimasi kanal LS diberikan sebagai berikut:

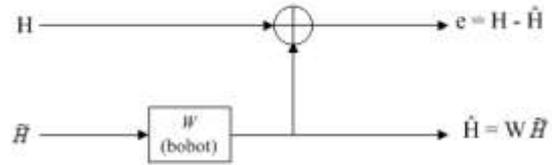
$$MSE_{LS} = E\{(H - \hat{H}_{LS})^H (H - \hat{H}_{LS})\} = E\{(H - X^{-1}Y)^H (H - X^{-1}Y)\} \tag{7}$$

$$= E\{(X^{-1}Z)^H (X^{-1}Z)\} = E\{Z^H (ZZ^H)^{-1} Z\}$$

$$= \frac{\sigma_z^2}{\sigma_z^2}$$

2. Estimasi Kanal dengan Metode Minimum Means Square Error (MMSE)

Secara sederhana metode estimasi kanal dengan MMSE bisa digambarkan dengan diagram blok sebagai berikut:



Gambar 6. Estimasi kanal dengan MMSE

Berdasarkan gambar tersebut, nilai mean square error (MSE) pada nilai estimasi kanal \hat{H} diberikan sebagai

$$J(\hat{H}) = E\{\|e\|^2\} = E\{\|H - \hat{H}\|^2\} \tag{8}$$

Tujuan estimasi MMSE adalah untuk mendapatkan nilai estimasi yang lebih baik, dalam hal ini adalah pemilihan bobot W yang tepat. Sehingga persamaan diatas perlu diminimisasi.

Dengan memanfaatkan sifat orthogonalisasi pada estimasi vektor error $e = H - \tilde{H}$ yang akan orthogonal terhadap \tilde{H} , sehingga:

$$E\{e\tilde{H}^H\} = E\{(H - \tilde{H})\tilde{H}^H\}$$

$$= E\{(H - W\tilde{H})\tilde{H}^H\}$$

$$= E\{H\tilde{H}^H\} - WE\{\tilde{H}\tilde{H}^H\} \tag{9}$$

$$= R_{H\tilde{H}} - WR_{\tilde{H}\tilde{H}} = 0$$

Dalam hal ini \tilde{H} adalah estimasi kanal dari *least square* (LS) yang diberikan sebagai $\tilde{H} = X^{-1}Y = H + X^{-1}Z$ nilai bobot W diperoleh dengan sebagai $W = R_{H\tilde{H}} R_{\tilde{H}\tilde{H}}^{-1}$ dengan $R_{\tilde{H}\tilde{H}}$ adalah matrik autokorelasi pada matrik \tilde{H} , dan diberikan sebagai:

$$R_{\tilde{H}\tilde{H}} = E\{\tilde{H}\tilde{H}^H\} = E\{X^{-1}Y(X^{-1}Y)^H\} = E\{(H + X^{-1}Z)(H + X^{-1}Z)^H\}$$

$$= E\{HH^H + X^{-1}ZH^H + HZ^H(X^{-1})^H + X^{-1}ZZ^H(X^{-1})^H\}$$

$$= E\{HH^H\} + E\{X^{-1}ZZ^H(X^{-1})^H\}$$

$$= E\{HH^H\} + \frac{\sigma_z^2}{\sigma_z^2} I \tag{10}$$

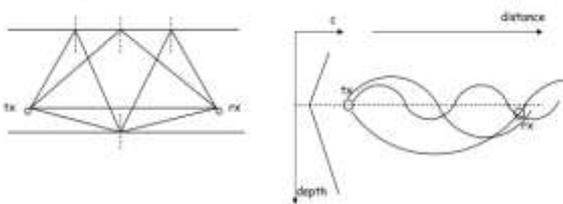
Sementara $R_{H\tilde{H}}$ merupakan matrik korelasi silang antara vektor kanal yang sebenarnya dengan vektor kanal temporer di dalam domain frekuensi. Selanjutnya estimasi kanal dengan MMSE dapat diberikan sebagai berikut:

$$\hat{H} = W\tilde{H} = R_{HH} R_{HH}^{-1} \tilde{H} = R_{HH} \begin{pmatrix} R_{HH} & \frac{\sigma_z^2}{2} I \end{pmatrix} \tilde{H} \quad (11)$$

E. Karakteristik Kanal Akustik Bawah Air

Komunikasi akustik bawah air memiliki karakteristik yang unik, gerakan air yang tidak pernah berhenti, kondisi yang cepat berubah secara drastis tergantung pada lokasi, waktu, dan cuaca. Oleh karena itu kinerja pada komunikasi underwater sulit diprediksi, dan memiliki batasan-batasan tertentu yang mempengaruhi kinerja kanal.

Pada kanal underwater sendiri dibedakan menjadi 2 jenis yaitu Deep water dan Shallow water. Pada Shallow water tingkat loss nya lebih sedikit daripada Deep Water. Pada Shallow water, multipath terjadi karena sinyal memantul kembali ketika mengenai permukaan air dan batas ke Deep water. Sedangkan pada Deep water karena adanya tekanan air pada deep water sangat tinggi sehingga menyebabkan transmisi sinyal akan terus dipantulkan seolah-olah sinyal akan kelihatan terus membengkok.



Gambar 7. Propagasi akustik bawah air (a) Shallow water, (b) Deep water

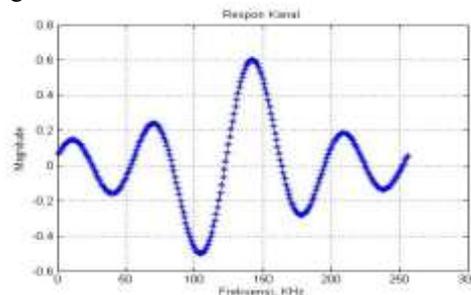
Dalam melakukan simulasi untuk kanal bawah air, multipath terjadi karena channel geometry, signal frequency, dan sound speed profile, sedangkan sound speed naik seiring bertambahnya tingkat salinitas, temperature, dan tekanan yang terjadi. Jadi sifat-sifat air yang terdiri dari salinitas dan temperatur akan menyebabkan pengaruh banyak tidaknya multipath yang terjadi. Untuk perairan dangkal tingkat salinity lebih tinggi dibanding pada deep water begitu juga pada tingkat temperatur untuk perairan dangkal lebih tinggi dari pada deep water, hal ini disebabkan karena pada perairan dangkal lebih banyak terkena sinar matahari dan lebih banyak pergerakan air. Pada penelitian ini, kondisi kanal multipath direpresentasikan dengan menggunakan kolam pengukuran berdimensi 80m x 3m x 3m.

Tabel 4. Tabel Perbedaan pada sinyal akustik, radio, dan optic untuk Underwater Sensor Network pada propagasi underwater [12].

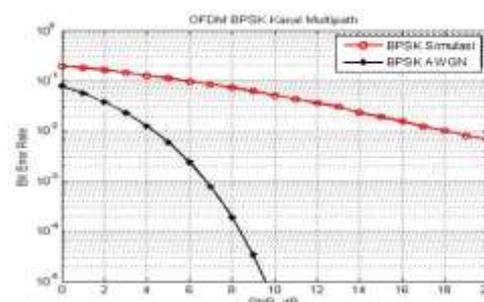
Carriers parameter	Akustik	Radio	Optik
Pelemahan	Rendah	Tinggi	Tinggi
Jarak efektif	~km	~10m	~10-100m
Delay	Tinggi	Rendah	Rendah
Bandwidth	~kHz	~MHz	~10-150MHz
Data rate	Up to 100kbps	Up to 10Mbps	Up to 1Gbps
Keterbatasan	- Bandwidth terbatas	Power terbatas	Lingkungan terbatas
	- interferensi terbatas		

III. HASIL SIMULASI

Simulasi sistem OFDM kanal akustik bawah air untuk perairan dangkal, dengan dipengaruhi delay berdasarkan perhitungan menggunakan metode ray tracing, kondisi kanal multipath dan ditambahkan noise AWGN. Grafik respon kanal akustik bawah air untuk perairan dangkal ditunjukkan pada Gambar 8. Untuk grafik perbandingan BER berdasarkan hasil simulasi dan untuk kondisi kanal AWGN ditunjukkan Gambar 9. Jumlah lintasan sebanyak 5tap yang terdiri dari lintasan langsung atau Line of Sight (LOS) dan lintasan tidak langsung atau indirect.

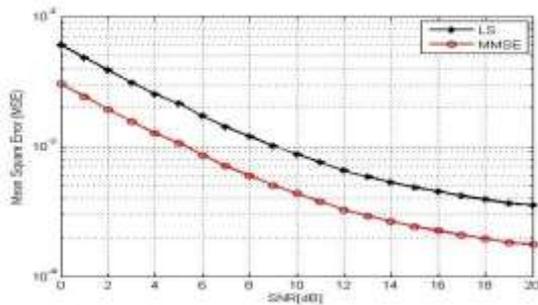


Gambar 8. Grafik respon impulse



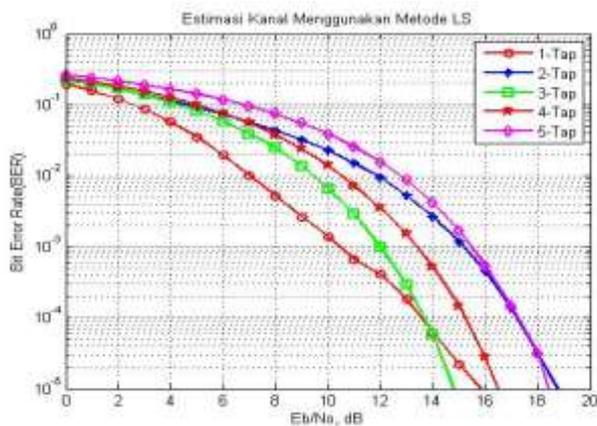
Gambar 9. Kinerja sistem OFDM untuk kanal multipath

Proses estimasi kanal dilakukan dengan memanfaatkan training symbol berupa pilot tones yang ditransmisikan bersamaan dengan symbol- symbol data. Jumlah pilot yang digunakan sebanyak 16, dengan pola penyisipan menggunakan tipe comb. Penilaian keakuratan estimasi kanal dilakukan dengan perhitungan rata-rata kuadrat error, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 10. Dengan jumlah lintasan sebanyak 5 tap.

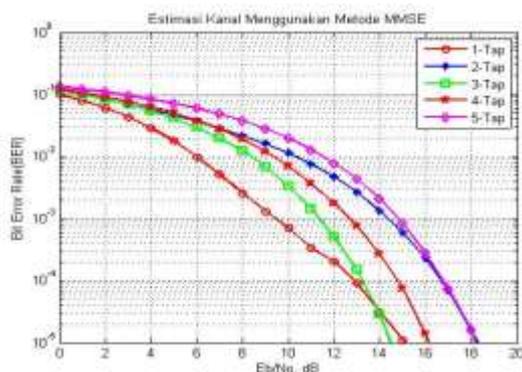


Gambar 10. Hasil simulasi kinerja OFDM kanal akustik bawah air berdasarkan perhitungan MSE

Analisa perhitungan BER berdasarkan hasil estimasi kanal ditunjukkan pada Gambar 10 dan Gambar 11. Estimasi kanal dilakukan dengan membandingkan estimasi LS dan estimasi MMSE. Nilai BER dibandingkan untuk setiap Tap dengan jumlah Tap sebanyak 5Tap.



Gambar 11. Perbandingan BER masing-masing Tap untuk estimasi kanal LS



Gambar 12. Perbandingan BER masing-masing Tap untuk estimasi kanal MMSE

IV. KESIMPULAN

1. Sistem komunikasi akustik bawah air merupakan sistem komunikasi yang sulit karena adanya *attenuasi*, *multipath*, *absorbsi*, dan *delay spread*. *Bandwidth* yang tersedia kecil yaitu 5KHz dan bekerja dengan baik pada frekuensi rendah yaitu 10-15KHz.

2. Kondisi kanal *multipath* merupakan kondisi yang merepresentasikan kondisi real dari kanal akustik bawah air, karena adanya gerakan gelombang air setiap saat yang menyebabkan terjadinya banyak pantulan sehingga akan selalu terjadi error karena banyaknya lintasan yang dilalui oleh informasi sebelum sampai ke penerima
3. Estimasi kanal pada sistem OFDM dilakukan dengan memanfaatkan training simbol berupa pilot tone, yang diharapkan mampu memberikan kinerja yang bagus pada penerima dalam memprediksi kanal propagasi dengan mengetahui kuadrat error dari estimasi kanal menggunakan perhitungan MSE. Dimana nilai MSE yang muncul berbanding terbalik dengan kenaikan SNR Hasil proses estimasi kanal berdasarkan perhitungan BER. Dimana Penambahan jumlah Tap akan menurunkan kinerja sistem. Semakin kecil jumlah Tap yang digunakan maka semakin kecil nilai BER yang diperoleh.

Daftar Pustaka

- [1] I.F.Alkydiz, D. Pompili, dan T. Melodia, "Underwater Acoustic Sensor Network: Research Challenges", *Elsevier, Ad Hoc Network*, 2005.
- [2] S. Ismail, dan D. P. Kurniadi, "Sistem Komunikasi Menggunakan Gelombang Akustik dengan Memanfaatkan Bawah Air sebagai Medium Propagasi", *Jurnal Elektronika*, No.1, Vol.9, juni 2009.
- [3] M. Stojanovic, "Underwater Acoustic Communications: Design Considerations on the Physical Layer", *Proc. of Wireless on Demand System and Service 2008*, Wons 2008.
- [4] F. D. Rango, F. Veltri, dan P. Fazio, "A Multipath Fading Channel Model for Underwater Shallow Acoustic Communications", *Proc. of Communication (ICC), 2012 IEEE International Conference On*, 10-15 June 2012.
- [5] A. Radosevic, J. G. Proakis, M. Stojanovic, "Statistical Characterization and Capacity of Shallow Water Acoustic Channel", *Proc. of IEEE Oceans '09 Conference*, Bremen, Germany, May 2009.
- [6] P. Qarabaqi, dan M. Stojanovic, "Statistical Modeling of a Shallow Water Acoustic Communication Channel", *Proc. of Underwater Acoustic Measurements Conference*, Nafplion, Greece, June 2009.
- [7] B. Borowski, "Characterization of a Very Shallow Water Acoustic Communication Channels", *Proc. of Oceans 2009*, MTS/ IEEE Biloxi-Marine Technology for Our Future: Global and Local Challenges.
- [8] K. Tu, D. Fertoni, T. M. Duman, dan P. Hursky, "Mitigation of Intercarrier Interference for OFDM Over Time Varying Underwater Acoustic Channel", *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, Vol 36, No. 2, April 2011.
- [9] B. C. Kim, dan I. T. Lu, "Parameter Study of OFDM Underwater Communications System", *Proc. of Oceans 2000 MTS/ IEEE Conference and Exhibition*, Vol 2, Sept 2000.

- [10] W. Yonggang, “ Underwater Acoustic Channel Estimation for Pilot Based OFDM”, *Proc. of Signal Processing, Communications and Computing (ICSPCC), 2011 IEEE International Conference On*, 14-16 Sept 2011.
- [11] Y.S. Cho, J. Kim, W. Y. Yang dan C. G. Kang, “MIMO-OFDM Wireless Communication with Matlab”, John Wiley & Sons (Asia) Pte Ltd, *IEEE Press*, 2010.
- [19] M. Stojanovic, "Underwater Acoustic Communications," in *Encyclopedia of Electrical and Electronics Engineering*, John G. Webster, Ed., John Wiley & Sons, 1999, Vol.22, pp.688-698.

Biodata Penulis

Mardawia M. Parenreng menyelesaikan studi D4 di Politeknik Elektronika Negeri Surabaya (PENS) tahun 2011, setelah lulus melanjutkan studi S2 di Fakultas Teknologi Industri, Jurusan Teknik Elektro, Program Studi Telekomunikasi Multimedia, Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya.