

PENGARUH GERAKAN TRANSDUCER TERHADAP KUALITAS SINYAL AKUSTIK BAWAH AIR DENGAN PENDEKATAN SIMULASI

I Putu Andhi Indira Kusuma¹, Maria Margareta Z.B²

^{1,2}Jurusan Teknik Perkapalan, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya

Email: indira7030@gmail.com

Abstrak

Pada proses transmisi sinyal akustik bawah air di perairan dangkal yang bergelombang akan mengakibatkan pergerakan transducer yang secara tidak langsung akan meningkatkan gangguan pada proses transmisi sinyal. Makalah ini menganalisa pengaruh pergerakan transducer terhadap kualitas sinyal komunikasi akustik bawah air dengan pendekatan simulasi serta menerapkan metode passive time reversal mirror (PTRM) sebagai metode pemrosesan sinyal untuk meminimalisir pengaruh multipath effect dan meningkatkan kualitas sinyal. Pemodelan metode image digunakan untuk memodelkan kanal beserta interaksi sinyal yang terjadi saat proses transmisi. Dimana, tanki uji tarik kapal digunakan sebagai kanal atau media transmisi sinyal komunikasi akustik. Tiga jarak komunikasi antara sumber dan penerima sinyal disimulasikan kedalam pemodelan dengan mentransmisikan sinyal akustik Binary Phase Shift Keying (BPSK) sebesar 10 kHz dan membawa 100 bits simbol transmisi dengan waktu transmisi selama 0.02 s. Kemudian tiga variasi nilai sigma (σ) 2.5 cm, 5 cm dan 10 cm diberikan sebagai representasi gerakan osilasi dari transducer dengan sebaran Gaussian. Dari hasil pemodelan didapatkan bahwa semakin jauh jarak komunikasi maka nilai bit error akan meningkat. Kemudian semakin besar pergerakan transducer atau nilai sigma (σ) maka semakin acak waktu kedatangan pada setiap elemen ray di masing-masing respon impulse dari kanal sehingga nilai bit error akan meningkat pula. Dengan menerapkan serta mengaplikasikan metode passive time reversal maka bit error dapat diminimalisir sehingga dapat meningkatkan kualitas sinyal akustik yang diterima. Dalam hal ini metode passive time reversal efektif untuk mengurangi pengaruh yang ditimbulkan oleh pergerakan transducer.

Kata Kunci: Komunikasi akustik bawah air, Multipath effect, Passive time reversal

Abstract

In the process of transmitting underwater acoustic signals in shallow wavy waters will result in movement of the transducer which will increase the interference on the signal transmission process. This paper analyzes the effect of transducer movement on the quality of underwater acoustic communications signal and apply passive time reversal mirror (PTRM) method as signal processing method to minimize multipath effect and improve signal quality. Image method is used to simulate the channel along with the signal interaction that occurs during the transmission process. Mini towing tank is used as a channel or transmission medium of an acoustic communication signal. Three communication distance between the source and the receiver signal is simulated into the model by transmitting a 10 kHz Binary Phase Shift Keying (BPSK) acoustic signal and carrying 100 bits of transmission symbol with transmission time of 0.02 s. Furthermore, three variation of sigma (σ) value was given to represented the oscillation movement of transducer based on Gaussian deviation. The modeling results shows that, increasing the communication distance the bit error value will increase. Then, when the movement of the transducer increased (σ) the more random the arrival time on each ray element in each channel impulse response. Furthermore, the bit error value will increase as well. By applying the passive time reversal method, the bit error can be minimized so as improved the quality of the acoustic signal. In other word, passive time reversal method is effective to reduce the effect caused by the transducer movement.

Keywords: Underwater Acoustic Communication, Multipath Effect, Passive Time Reversal

1. PENDAHULUAN

Komunikasi akustik bawah air merupakan suatu proses komunikasi yang dilakukan di kanal berupa perairan dengan mentransmisikan sinyal akustik melalui transmitter sebagai pengirim atau sumber sinyal serta receiver sebagai penerima sinyal. Sinyal akustik yang dibawa dapat berupa suara, data maupun gambar. Hal ini mengakibatkan komunikasi akustik bawah air telah banyak dikembangkan serta diaplikasikan ke berbagai bidang seperti

ilmu pengetahuan, eksplorasi, militer serta pencegahan bahaya di laut [1]. Dibalik perkembangannya yang begitu pesat, komunikasi akustik bawah air menyimpan berbagai gangguan yang timbul saat proses komunikasi dilakukan. Beberapa permasalahan tersebut meliputi mekanisme transmisi sinyal, jenis sinyal yang digunakan beserta kapasitas tenaga yang dibutuhkan saat proses transmisi. Selain itu, karakteristik dari kanal juga dapat menimbulkan permasalahan seperti kondisi *boundary* dalam hal ini pantulan sinyal dengan

dasar dan permukaan perairan (*multipath*), keterbatasan *bandwidth*, salinitas, arus, gelombang permukaan air, efek *Doppler* akibat gelombang laut serta pergerakan transducer dll [2,3,4,5]. Kanal akustik bawah air terbagi kedalam tiga bagian yaitu laut dalam (Deep Water), kedalaman sedang (Medium) serta laut dangkal (Shallow Water). Masing-masing kanal memiliki karakteristik yang berbeda sehingga permasalahan yang ditimbulkan akan berbeda pula. Pada kondisi kanal perairan dangkal masalah utama yang timbul adalah berupa pantulan sinyal akustik dengan dasar serta permukaan perairan atau biasa disebut dengan *multipath effect*.

Untuk perairan dangkal dengan kondisi perairan tenang (*Pakeris*) maka pantulan sinyal akustik ke dasar serta permukaan akan menimbulkan *multipath delay* pada *receiver* [5,6]. Dimana hal ini berarti simbol maupun pesan yang kita transmisikan melalui kanal akan terganggu dan mengalami keterlambatan dibagian penerima (*receiver*). Kemudian apabila kondisi perairan disertai dengan gelombang di permukaan serta pergerakan dari *transducer* maka *multipath effect* akan semakin bertambah besar dan *Doppler effect* akan timbul akibat dari pantulan sinyal akustik terhadap gelombang permukaan beserta pergerakan transducer tersebut.

Dengan kompleksnya karakteristik dari kanal perairan dangkal ini maka beberapa penelitian membahas secara khusus masalah tersebut dengan menggunakan simulasi komunikasi akustik serta pemodelan kanal. Pemodelan kanal perairan dangkal beserta simulasi komunikasi akustik telah dilakukan pada penelitian terdahulu dimana hasil dari pemodelan menyimpulkan bahwa kanal yang dimodelkan memiliki tingkat *multipath effect* yang tinggi [6]. Sedangkan untuk kasus pergerakan *transducer* akibat dari pergerakan buoy pengikat transducer yang bergerak vertikal juga akan menghasilkan pertambahan tingkat *multipath effect* [7].

Pemodelan kanal dengan adanya gelombang di permukaan perairan dangkal telah dilakukan oleh cho et al [8]. Dimana

hasil pemodelan menyimpulkan bahwa pantulan sinyal akustik pada permukaan perairan akan menambah buruk kondisi *multipath effect* dan akan tercipta penambahan frekuensi sinyal yang mengakibatkan timbulnya *effect Doppler*. Berdasarkan hal tersebut maka pada makalah ini akan membahas mengenai pemodelan kondisi kanal perairan dangkal dengan memodelkan interaksi sinyal akustik dengan batas permukaan kanal dengan menggunakan metode *image*. Kemudian pada pemodelan dilakukan penambahan analisa terkait pergerakan transducer sehingga diharapkan dapat mengetahui perilaku pantulan sinyal akustik dengan pergerakan *transducer* pada arah *horisontal*. Selain itu pada pemodelan ini juga akan mengaplikasikan metode pemrosesan sinyal yaitu *Passive Time Reversal Mirror (PTRM)* dalam simulasi komunikasi akustik untuk menghilangkan pengaruh *multipath effect* serta meningkatkan kualitas sinyal akustik yang diterima.

2. METODE

A. Teori *Image*

Image method merupakan suatu teori matematis yang digunakan untuk menggambarkan interaksi sinyal dengan kanal yang berdasarkan asas pantulan cermin. Dalam hal ini teori ini dapat digunakan apabila *boundary* atas dalam kategori lembut dan *boundary* bawah dengan kondisi keras. Sehingga, permukaan dan dasar kanal dipertimbangkan sebagai dua cermin. Ketika elemen ray dari sinyal menyentuh permukaan dan dasar kanal, kemudian secara tidak langsung akan membentuk bayangan pantulan yang berlawanan dengan sinyal awal. Dengan logika ini keseluruhan pantulan atau metode bayangan dari sinyal dapat dibuat dan dengan metode ini pula dapat menghasilkan teori matematis dari *multipath effect* dengan sangat mudah. [9,10].

Representasi skema dari kontribusi *physical source* pada kedalaman *source z_s* dan

pantulan pertama dari tiga *image source*, sehingga dapat diekspresikan secara matematis seperti rumus berikut

$$P(r, z_s, z_r) \cong A \left(\frac{e^{-jkL_{01}}}{L_{01}} + \hat{R}_1 \left(\frac{e^{-jkL_{02}}}{L_{02}} + \hat{R}_2 \left(\frac{e^{-jkL_{03}}}{L_{03}} + \hat{R}_1 \left(\frac{e^{-jkL_{04}}}{L_{04}} \right) \right) \right) \right) \quad (1)$$

Dimana $A(\cdot)$ adalah amplitudo sinyal dan $i = 1, 2$. Sehingga \hat{R}_i adalah

$$\hat{R}_i(\cdot, \cdot) = \hat{R}_i \left(\frac{z_s - z_r}{2}, \cdot \right) = \hat{R}_i(\cdot, \cdot) \quad (2)$$

Panjang dari empat lengan rays dapat dideskripsikan sebagai berikut

$$L_{01} = \sqrt{r^2 + (z_s - z_r)^2} \quad (3)$$

$$L_{02} = \sqrt{r^2 + (z_s + z_r)^2} \quad (4)$$

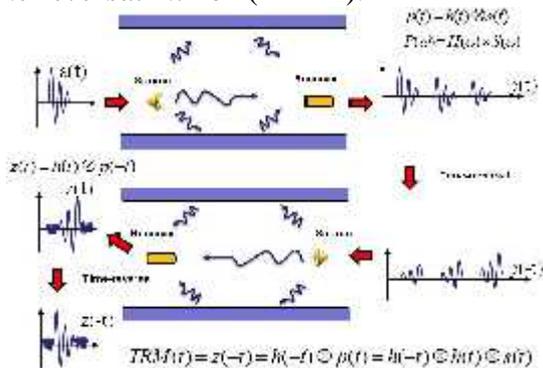
$$L_{03} = \sqrt{r^2 + (2D - z_s - z_r)^2} \quad (5)$$

$$L_{04} = \sqrt{r^2 + (2D + z_s - z_r)^2} \quad (6)$$

B. Teori Passive Time Reversal Mirror

Metode *time reversal (TR)* atau dalam domain frekuensi disebut *phase conjugation (PC)* merupakan suatu metode pengolahan sinyal yang digunakan untuk memfokuskan energi pada batasan yang diinginkan yang juga dapat digunakan sebagai mitigasi dari dispersi multipath dan gangguan antar symbol (*Inter symbol interference-ISI*). Metode ini dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis yaitu *active time reversal (ATR)* serta *passive time reversal (PTR)* [11].

Berikut ini merupakan skema pemrosesan sinyal dengan menggunakan metode *passive time reversal mirror (PTRM)*.



Gambar 1. Skema pemrosesan sinyal dengan menggunakan metode *passive time reversal mirror (PTRM)*

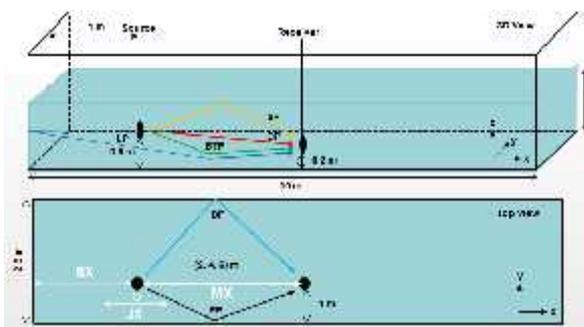
C. Pemodelan Kanal Komunikasi Dengan Pergerakan Transducer

Untuk memodelkan interaksi sinyal yang ditransmisikan dengan kanal, maka pada analisa *image method* dipertimbangkan menggunakan 6 (enam) elemen ray yaitu *Direct path (DP)* untuk sinyal yang menuju langsung ke penerima (*receiver*), *Surface path (SP)* untuk sinyal yang memantul ke permukaan air, *Bottom path (BTP)* untuk sinyal yang memantul ke dasar kanal, *Front Path (FP)* untuk sinyal yang memantul ke bagian depan dinding, *Back Path (BP)* untuk sinyal yang memantul ke bagian belakang dinding, dan yang terakhir adalah *Left path (LP)* untuk sinyal yang memantul ke bagian sebelah kiri dinding. Sedangkan pantulan sinyal ke bagian sebelah kanan dinding tidak dipertimbangkan karena asumsi sinyal telah melewati *receiver* sehingga kedatangan sinyalnya tidak diperhitungkan. Sedangkan untuk memodelkan pergerakan *transducer* terdapat beberapa kondisi yang dipertimbangkan yaitu :

1. Pergerakan transducer berosilasi ke arah sumbu x (*horisontal*) dengan mengasumsikan memiliki nilai random dengan sebaran *Gaussian*.
2. Perpindahan *transducer* dari gerakan osilasi di representasikan oleh nilai sigma (σ). Pada simulasi akan di analisa 3 variasi dari besar nilai sigma yaitu 2.5 cm, 5 cm dan 10 cm.
3. Deviasi gerakan osilasi transducer di tunjukkan dengan nilai j_x melalui rumus $j_x = 0 + * rand(1,1)$ (7)
4. Jarak relatif transducer sumber setelah mengalami gerakan osilasi di tunjukkan dengan nilai r_x melalui rumus $r_x = mx - sx + j_x$ (8)
5. Untuk melihat variasi kedatangan dari sinyal setelah terkena pengaruh gerakan osilasi dari transducer maka sinyal di transmisikan sebanyak 10 kali pada pemodelan sehingga akan menghasilkan

- 10 respon impulse yang berbeda dalam satu nilai sigma (σ).
6. Jarak antara transducer sumber dan penerima sinyal pada simulasi divariasikan kedalam tiga jarak komunikasi yaitu 2 m, 4 m, 6 m.
 7. Ketinggian sumber dari dasar kanal adalah 0,5 m dan penerima 0,2 m.
 8. Sinyal yang ditransmisikan didalam kanal adalah *Binary Phase Shift Keying (BPSK)* sinyal dengan frekuensi sebesar 10 kHz dan membawa 100 bits simbol transmisi.
 9. Sampel frekuensi yang digunakan adalah 200 kHz dengan waktu transmisi selama 0.02 s. Kecepatan suara didalam kanal diasumsikan sebesar 1500 m/s.

Untuk mendapatkan gambaran mengenai skema dan parameter simulasi akustik pada kanal mini towing tank milik Jurusan Teknik Perkapalan-ITATS, dapat dilihat pada gambar 3 di bawah. Pada gambar tersebut dapat di jelaskan bahwa *transducer* pengirim sinyal diasumsikan bergerak osilasi ke arah sumbu x (horisontal). Gerakan ini merupakan representasi dari keadaan sebenarnya saat meletakkan transducer menggunakan bouy atau alat apung lainnya sehingga jika terdapat gerakan pada alat apung maka akan mengakibatkan terjadinya gerakan random pada transducer baik gerakan ke arah vertikal maupun horizontal (sumbu x dan sumbu y). Pada makalah ini hanya membahas pengaruh gerakan transducer ke arah horisontal.



Gambar 2. Skema dan parameter simulasi akustik bawah air dengan transducer adanya pengaruh pergerakan transducer pada pengirim sinyal

Tujuan dari pemodelan ini adalah untuk menganalisa kualitas sinyal yang di transmisikan ke dalam kanal terhadap pengaruh gerakan dari transducer tersebut. Secara garis besar pada makalah ini hanya melihat pengaruh gerakan transducer terhadap kualitas sinyal pada domain waktu atau waktu kedatangan (*Arrival time*) pada masing-masing path yang dimodelkan dengan metode image.

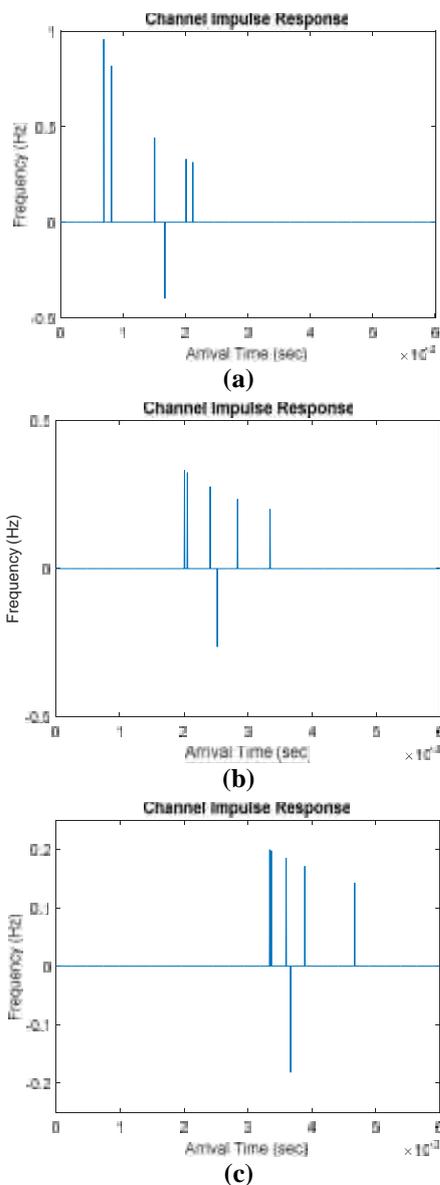
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Analisa Respon Impulse Akibat Pengaruh Gerakan Transducer

Analisa respon impulse dilakukan untuk melihat interaksi antara sinyal komunikasi dengan *boundary* yaitu lapisan dinding dari kanal. Dimana interaksi sinyal dengan *boundary* pada domain waktu akan mengakibatkan terjadinya *time delay*, atau keterlambatan datangnya sinyal berdasarkan fungsi waktu. Dengan adanya pergerakan dari transducer maka keterlambatan datang sinyal kemungkinan mengalami variasi kedatangan secara random. Hal ini di karenakan masing-masing elemen ray mendapatkan pengaruh gerakan osilasi dengan besar deviasi yang direpresentasikan oleh besar nilai sigma (σ) sehingga akan mengakibatkan terjadinya variasi keterlambatan pada waktu kedatangan dari masing-masing elemen ray. Berikut ini merupakan *respon impulse* dari masing-masing jarak komunikasi dalam kondisi normal tanpa adanya pergerakan transducer.

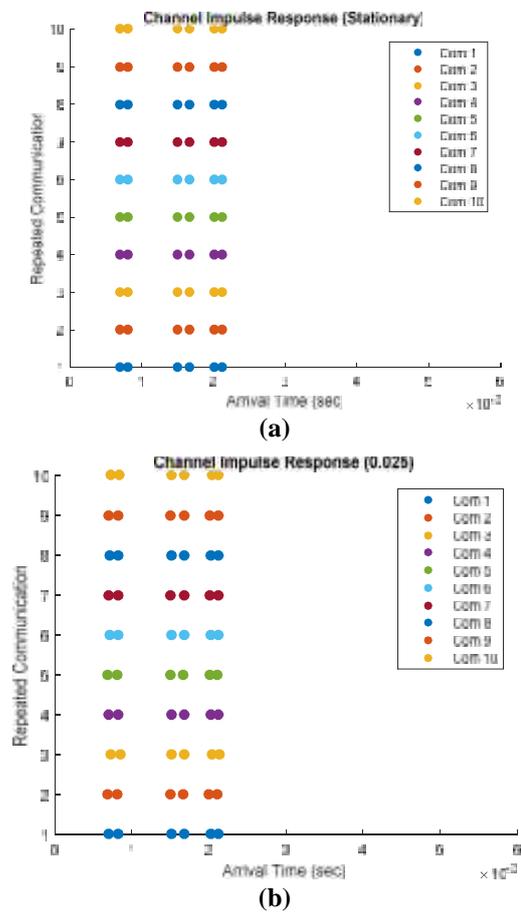
Pada gambar 3 (a,b,c) dapat dideskripsikan bahwa 6 elemen ray yang di modelkan dengan metode *image* merepresentasikan interaksi atau pantulan antara sinyal yang di transmisikan ke dalam kanal dengan *boundary* dari kanal. Di karenakan adanya variasi jarak maka terjadi keterlambatan kedatangan pada ke-enam elemen ray tersebut pada *respon impulse*. Semakin jauh jarak komunikasi maka semakin lama waktu kedatangan dari elemen ray. Secara keseluruhan kedatangan elemen ray setelah berinteraksi dengan dinding kanal

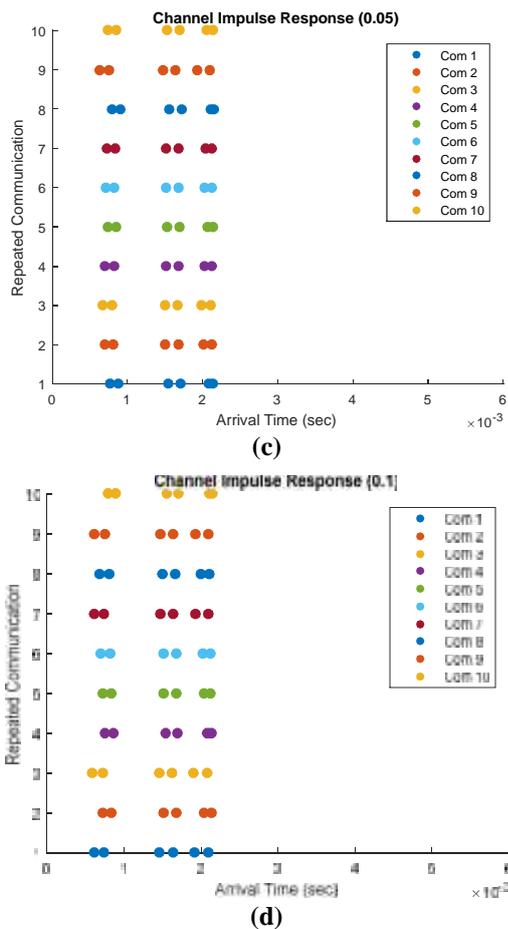
adalah dimulai dengan kedatangan elemen ray dari *direct path (DP)*, *bottom path (BTP)*, *front path (FP)*, *surface path (SP)*, *left path (LP)* dan *back path (BP)*. Dalam hal ini hasil dari pemodelan sesuai dengan teori dari metode image dimana *surface path (SP)* termasuk kedalam boundary atas dengan kategori lembut (*soft*) ditunjukkan dengan nilai frekuensi (-), sedangkan *bottom path (BTP)* termasuk kedalam boundary bawah dengan kategori keras (*hard*) ditunjukkan dengan nilai frekuensi (+).



Gambar 3. (a,b,c) Respon Impulse dari kanal komunikasi dalam kondisi normal tanpa pengaruh pergerakan transducer dengan jarak komunikasi 2 m, 4 m dan 6 m

Untuk mengetahui seberapa besar pengaruh dari pergerakan *transducer* dengan 3 variasi besar nilai σ (2.5 cm, 5 cm dan 10 cm) maka dalam proses simulasi, sinyal akan di transmikan sebanyak 10 kali (sampel) ke dalam kanal. Hasil dari transmisi sinyal tersebut akan di tunjukkan ke dalam grafik *respon impulse* yang disusun sebanyak 10 buah *respon impulse* seperti yang ditunjukkan pada gambar 4 (a,b,c,d). Pada gambar 4 (a) menunjukkan kondisi respon impulse tanpa adanya pergerakan *transducer* atau nilai sigma (σ) adalah nol. Hal ini bertujuan untuk dapat membandingkan waktu kedatangan dari masing-masing elemen ray saat kondisi normal serta setelah mengalami pergerakan.



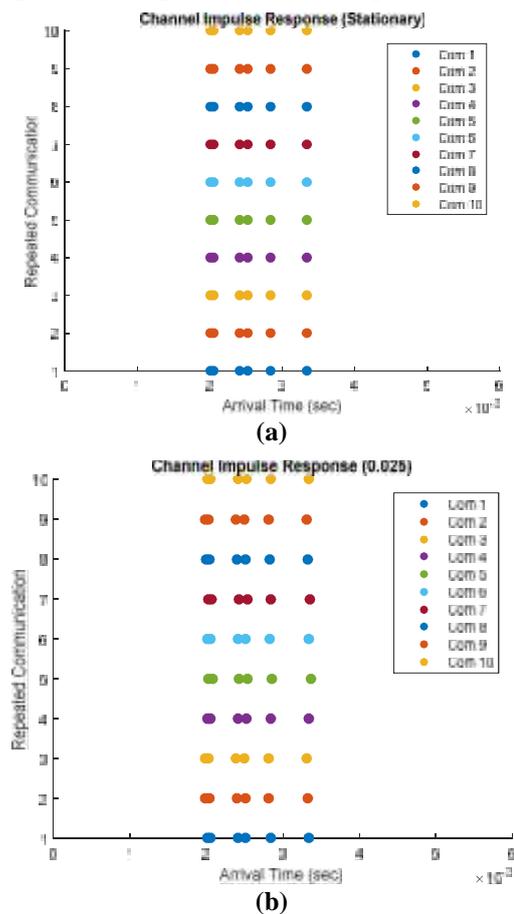


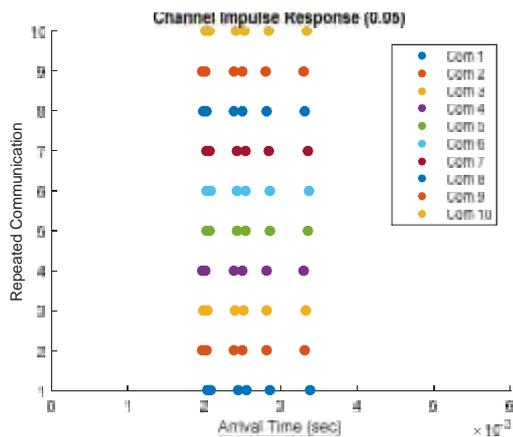
Gambar 4. (a,b,c,d) *Respon Impulse* dari kanal komunikasi dengan jarak komunikasi 2 m dengan kondisi normal (a), $\sigma = 2.5$ cm (b), $\sigma = 5$ cm (c), dan $\sigma = 10$ cm).

Gambar 4 diatas menunjukkan bahwa pada kondisi normal atau stationer (4a) *respon impulse* dari 10 kali transmisi sinyal tidak mengalami perubahan waktu kedatangan pada masing-masing *elemen ray*. Namun pada saat terkena pengaruh gerakan transducer (4b, 4c, dan 4d) *elemen ray* pada *impulse respon* mengalami variasi kedatangan di setiap transmisi sinyal akustik. Semakin besar nilai sigma (σ) maka semakin meningkat pula variasi waktu kedatangan dari masing-masing *elemen ray* pada *respon impulse*.

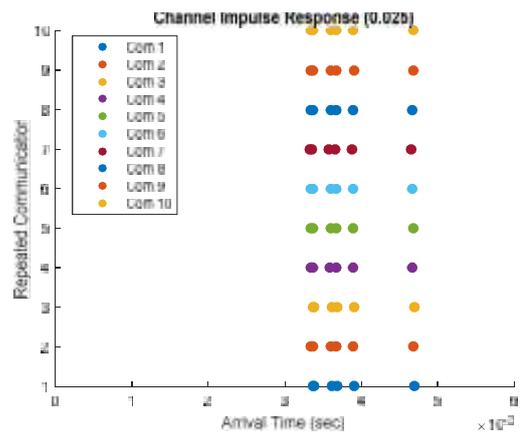
Dengan langkah yang hampir sama maka pada jarak komunikasi 4 dan 6 m juga akan di analisa terkait variasi waktu kedatangannya. Hasil dari simulasi tersebut di tunjukkan pada gambar 5 (a,b,c,d) dan 6 (a,b,c,d). Hasil simulasi dapat di simpulkan bahwa pada jarak

komunikasi 4 dan 6 m memiliki perilaku yang hampir sama dengan analisa *respon impulse* pada jarak 2 m yaitu di mana pada kondisi normal atau stationer tidak mengalami variasi waktu kedatangan pada elemen ray di masing-masing *respon impulse* dari kanal. Selain itu semakin besar nilai dari pergerakan *transducer* atau nilai sigma (σ) dengan jarak komunikasi maka semakin meningkat pula variasi waktu kedatangan dari masing-masing *elemen ray* pada *respon impulse*. Sehingga waktu kedatangan semakin acak jika nilai sigma (σ) yang diberikan meningkat. Dengan adanya fenomena ini maka perlu dilakukan analisa *Bit Error Rate (BER)* untuk melihat seberapa besar pengaruh waktu kedatangan yang acak pada masing-masing elemen ray disetiap respon impulse kanal dengan sinyal akustik yang di terima pada transducer penerima.

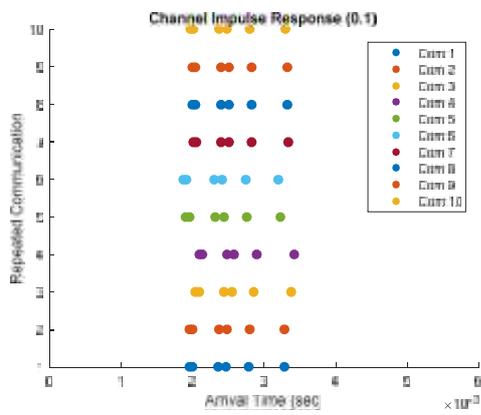




(c)

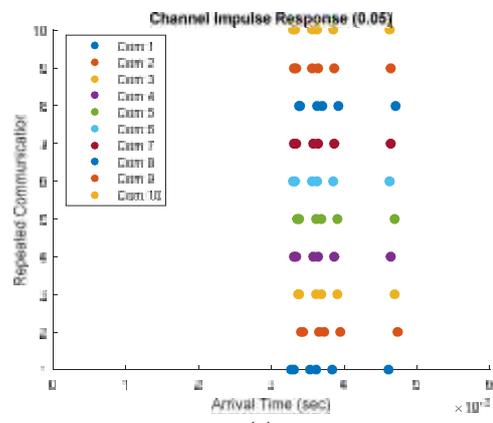


(b)

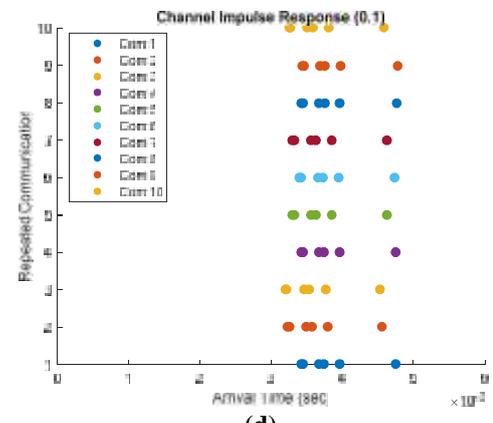


(d)

Gambar 5. (a,b,c,d) Respon Impulse dari kanal komunikasi dengan jarak komunikasi 4 m dengan kondisi normal (a), $\sigma = 2.5$ cm (b), $\sigma = 5$ cm (c), dan $\sigma = 10$ cm).

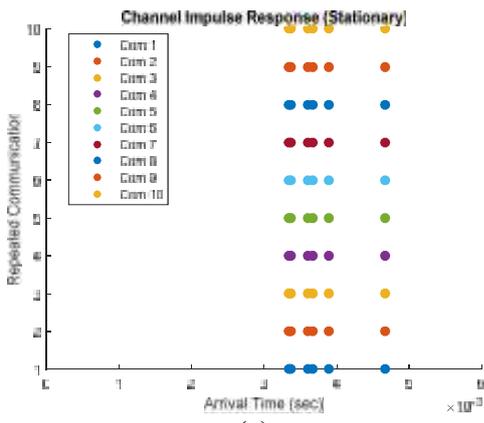


(c)



(d)

Gambar 6. (a,b,c,d) Respon Impulse dari kanal komunikasi dengan jarak komunikasi 6 m dengan kondisi normal (a), $\sigma = 2.5$ cm (b), $\sigma = 5$ cm (c), dan $\sigma = 10$ cm).



(a)

B. Analisa Komunikasi Akustik

Setelah mengetahui fenomena yang terjadi akibat gerakan *transducer* pada respon *impulse* maka perlu dianalisa juga seberapa besar fenomena tersebut mempengaruhi

kualitas sinyal akustik yang ditransmisikan kedalam kanal. Dengan jumlah symbol/bits sebanyak 100 bits yang di transmiksikan pada masing-masing waktu transmisi maka akan di analisa seberapa besar jumlah *bit error* yang terjadi. Dalam analisa ini akan di tinjau *bit error* yang terjadi pada masing-masing jarak komunikasi beserta masing-masing nilai sigma σ (2.5 cm, 5 cm dan 10 cm). Setelah itu akan dibandingkan pula jumlah *bit error* antara tidak menggunakan metode *time reversal* serta menggunakan *time reversal*. Hasil simulasi yang didapat kemudian dirangkum kedalam tabel perbandingan bit error rate berikut ini.

Tabel 1. Perbandingan nilai *bit error* yang terjadi pada masing-masing jarak komunikasi dan nilai sigma antara menggunakan metode *passive time reversal* dengan tidak menggunakan metode *passive time reversal*

Range (m)	Bit Error Rate (BER) %					
	Sigma $\uparrow=2.5$ cm		Sigma $\uparrow=5$ cm		Sigma $\uparrow=10$ cm	
	No TR	TR	No TR	TR	No TR	TR
2	58.9	0.1	61	2.6	62	15.5
4	61.4	4.9	62.2	10.8	63.2	20
6	62.6	5.6	63.9	14.7	64	24.6

Tabel 1 menunjukkan perbandingan nilai *bit error* yang terjadi pada masing-masing jarak komunikasi dan nilai sigma antara menggunakan metode *passive time reversal* dengan tidak menggunakan metode *passive time reversal*. Terdapat beberapa poin yang dapat dijabarkan melihat rekapitulasi hasil dari simulasi di atas yaitu pertama, semakin jauh jarak komunikasi maka semakin besar bit error yang dihasilkan. Hal ini terjadi disetiap nilai sigma serta dikondisi menggunakan metode *passive time reversal* serta tidak menggunakan metode tersebut. Kedua, *bit error* akan semakin meningkat jika nilai sigma meningkat dan terjadi pada masing-masing jarak komunikasi. Ketiga, nilai *bit error* yang didapat jika menerapkan metode *passive time reversal* lebih kecil jika dibandingkan dengan hasil tanpa menggunakan metode *passive time reversal*.

Secara garis besar dapat disimpulkan bahwa metode *passive time reversal* dapat meminimalisir nilai dari *bit error* yang terjadi sehingga kualitas sinyal akustik yang diterima dapat ditingkatkan apabila menerapkan metode tersebut. Namun perlu dilakukan analisa lebih lanjut apakah metode tersebut dapat meminimalisir terjadinya *bit error* saat kondisi pergerakan *transducer* atau nilai sigma semakin meningkat.

4. KESIMPULAN

Respon impulse dari kanal merupakan gambaran kondisi dari kanal komunikasi. Semakin baik kita memahami kondisi kanal atau dengan kata lain semakin baik kita mendapatkan respon impulse kanal (*Channel impulse response*) maka hasil komunikasi yang diharapkan akan semakin baik pula. Dengan adanya pergerakan *transducer* saat proses transmisi sinyal komunikasi di lakukan tentunya akan menambah kompleks masalah yang terjadi pada kanal baik itu dalam domain waktu maupun domain frekuensi. Berdasarkan hal tersebut makalah ini menyajikan analisa simulasi dari pengaruh pergerakan *transducer* terhadap hasil komunikasi dengan pendekatan model matematis ditinjau dari domain waktu. Beberapa analisa telah dilakukan yaitu tinjauan waktu kedatangan dari elemen ray pada respon impulse kanal dalam pengaruh gerakan osilasi dari *transducer*, variasi besar nilai gerakan osilasi yang direpresentasikan oleh nilai sigma (σ), serta pengaplikasian metode pemoresesan sinyal yaitu *pasive time reversal* untuk meningkatkan kualitas komunikasi sinyal akustik.

Hasil dari simulasi didapatkan bahwa semakin jauh jarak komunikasi maka nilai bit error akan meningkat. Kemudian semakin besar pergerakan *transducer* atau nilai sigma maka semakin acak waktu kedatangan pada setiap elemen ray di masing-masing respon impulse dari kanal. Hal ini secara tidak langsung akan meningkatkan nilai bit error pada sinyal akustik yang diterima di *transducer* penerima. Dengan menerapkan serta

mengaplikasikan metode *passive time reversal* maka *bit error* dapat diminimalisir sehingga dapat meningkatkan kualitas sinyal akustik yang diterima. Jika hasil *bit error* dibandingkan dengan tanpa menerapkan metode *passive time reversal* maka bit errornya akan semakin besar. Dalam hal ini metode *passive time reversal* efektif untuk mengurangi pengaruh dari efek yang ditimbulkan oleh pergerakan *transducer*.

Namun perlu dilakukan analisa lebih lanjut untuk mengetahui sejauh mana metode ini dapat mengatasi besarnya pengaruh dari pergerakan *transducer*. Kemudian dapatkah metode ini meminimalisir pengaruh yang diberikan oleh pergerakan *transducer* pada domain frekuensi. Tentunya dengan mengetahui perilaku dari pendekatan model matematis dalam kondisi kanal yang dipengaruhi oleh gangguan pada domain waktu ini dapat disimpulkan bahwa sebelum mentransmisikan sinyal akustik maka perlu dilakukan analisa *respon impulse* dari kanal untuk mengetahui besar gangguan yang terjadi yang kemudian dapat menerapkan metode pemrosesan sinyal yang paling efektif untuk meningkatkan kualitas komunikasi akustik bawah air.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih kami ucapkan kepada Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat, Direktorat Jendral Penguatan Riset dan Pengembangan, Kementerian Riset Teknologi dan Pendidikan Tinggi beserta Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat (LPPM) ITATS atas pembiayaan yang telah diberikan untuk menyelesaikan makalah ini sesuai dengan Kontrak Penelitian Tahun Anggaran 2018 nomor 16/KP/LPPM/ITATS/2018 untuk Program Penelitian Dosen Pemula. Makalah ini dapat terselesaikan dengan baik atas bantuan yang telah diberikan tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Citree, M., Shahabudeen, S., Freitag, L., and Stojanovic, M., "Recent advances in underwater acoustic communication & networking," *Proceeding of IEEE-Oceans*, pp. 1-10, 2008.
- [2] Duke, P. S., "Direct-sequence spread-spectrum modulation for utility packet transmission in underwater acoustic communication networks", Master Thesis, Naval Post Graduate School, Monterey-California, 2002.
- [3] Stojanovic, M., and Preisig, J., "Underwater acoustic communication channels: propagation models and statistical characterization", *Proceeding of IEEE Communication Magazine*, pp. 84-89, 2002.
- [4] Aik, T. B., Sen, Q. S., and Nan, Z., "Characterization of Multipath Acoustic Channels in very shallow waters for communications", *Proceeding of Oceans 2006-Asia Pasific*, Singapore, pp. 1-8, 2007.
- [5] Eggen, T. H., "Underwater acoustic communication over Doppler spread channels", Ph.D Dissertation, Department of electrical Engineering and Ocean Engineering, Woods Hole Oceanographic Institution, Massachusetts –USA, 1997.
- [6] Kusuma, I.P.A.I., "Aplikasi Metode Passive Time Reversal Mirror Untuk Mengurangi Pengaruh Multipath Pada Komunikasi Akustik Bawah Air", *Jurnal Inovtek Polbeng*, Vol.07, No. 1, Juni, 2017.
- [7] Citree, M., "A high frequency warm shallow water acoustic communications channel model and measurements", *Journal of Acoustical Society of America*, Vol. 122, pp. 25-80, 2007.
- [8] Choo, y., and Seong, W., "Analysis of acoustic channels with a time evolving surface", *Applied Acoustic*, Vol. 78, pp. 28-32, 2014.
- [9] Frisk, G. V., (1994). *Ocean and Seabed Acoustics: A theory of wave propagation*, Prentice Hall, New Jersey, USA.
- [10] Zielinski, A., Yoon, Y. H., and Wu, L., "Performance analysis of digital acoustic communication in a shallow water channel," *Oceanic Engineering*, Vol. 20, No. 4, pp. 293-299, 1995.

- [11] Wu, B. H, Too, G. P, and Lee, S., “Audio signal separation via a combination procedure of time-reversal and deconvolution process,” *Mechanical Systems and Signal Processing*, Vol. 24, pp. 1431-1443, 2010.