

# Aplikasi Metode Passive Time Reversal Mirror Untuk Mengurangi Pengaruh Multipath Pada Komunikasi Akustik Bawah Air

I Putu Andhi Indira Kusuma<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Jurusan Teknik Perkapalan, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya  
Email: [indira7030@gmail.com](mailto:indira7030@gmail.com)

## Abstrak

Proses transmisi sinyal komunikasi akustik bawah air terkadang mengalami gangguan yang dikarenakan oleh karakteristik fisik kanal. Pada perairan dangkal keadaan fisik kanal yang paling berpengaruh adalah berupa pantulan sinyal dari permukaan air dan dasar perairan, dimana kejadian ini secara umum dinamakan sebagai *multipath effect*. Makalah ini menganalisa pengaruh *multipath effect* terhadap kualitas sinyal komunikasi akustik bawah air serta mengaplikasikan metode *passive time reversal mirror* (PTRM) sebagai metode pemrosesan sinyal untuk meminimalisir pengaruh *multipath effect*. Dalam pemodelan, tanki uji tarik kapal digunakan sebagai kanal atau media transmisi sinyal komunikasi akustik. Dimana, jarak antara sumber dan penerima sinyal pada pemodelan divariasikan kedalam tiga jarak komunikasi yaitu 2 m, 4 m, 6 m. Frekuensi sinyal akustik yang ditransmisikan adalah *Binary Phase Shift Keying* (BPSK) sinyal dengan frekuensi sebesar 10 kHz dan membawa 100 bits simbol transmisi. Sedangkan frekuensi sampel yang digunakan adalah 200 kHz dengan waktu transmisi selama 0.02 s. Dari hasil pemodelan didapatkan bahwa karakteristik kanal dapat dideskripsikan oleh respon impulse kanal pada masing-masing jarak komunikasi. Sedangkan hasil komunikasi mengalami gangguan oleh adanya fenomena *multipath effect* sehingga didapatkan *bit error* yang tinggi. Dengan mengaplikasikan metode *passive time reversal mirror* (PTRM), fenomena *multipath effect* dan *bit error* dapat diminimalisir bahkan dihilangkan sehingga kualitas komunikasi akustik bawah air dapat ditingkatkan.

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

## Abstract

The process of transmitting underwater acoustic communications signals is sometimes impaired due to the physical characteristics of the channel. In shallow water, the most influential effect is the reflection of the signal from the water surface and the bottom, where it is commonly referred to as a multipath effect. This paper analyzes the effect of multipath on the quality of underwater acoustic communication signal and apply passive time reversal mirror (PTRM) method as signal processing to minimize multipath effect. In the simulation, mini towing tank is used as a channel for acoustic communication process. Where, the distance between the source and the signal receiver in the modeling is varied into three communication distances i.e 2 m, 4 m, 6 m. The frequency of the transmitted acoustic signal is a Binary Phase Shift Keying (BPSK) signal with a frequency of 10 kHz and carrying 100 bits of transmission symbol. While the sample frequency used is 200 kHz with transmission time for 0.02 s. From the modeling results it is found that the channel characteristics can be described by the channel impulse response at each communication distance. While the communication result is disturbed by the phenomenon of multipath effect and provided high bit error. By applying the passive time reversal mirror (PTRM) method, multipath effect phenomena and bit error can be minimized and eliminated so that the quality of underwater acoustic communication can be improved.

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

## 1. PENDAHULUAN

Komunikasi akustik bawah air merupakan suatu bidang penelitian yang sedang naik daun dalam beberapa tahun belakangan ini. Hal ini dikarenakan aplikasinya serta perkembangannya yang sangat luas baik dalam bidang ilmu pengetahuan, eksplorasi, militer serta pencegahan bahaya di laut [1]. Sinyal akustik yang digunakan sebagai media komunikasi memiliki kelebihan dibandingkan dengan fiber optik dalam hal jarak komunikasi yang dilakukan, dimana fiber optik terbatas dengan panjangnya kabel yang harus digunakan untuk melakukan komunikasi di bawah air. Dalam proses komunikasi, sinyal akustik ditransmisikan oleh *transducer* (*Hydrophone*) melalui kanal. Dimana *transmitter* sebagai

pengirim/sumber sinyal serta *receiver* sebagai penerima sinyal.

Kanal komunikasi akustik bawah air dapat dibagi menjadi tiga tipe yaitu kanal perairan dalam (*Deep Sea*), perairan sedang (*Medium*) serta perairan dangkal (*Shallow Water*). Dimana masing-masing kanal memiliki karakteristik masing-masing baik itu dari hal kondisi *boundary* dalam hal ini pantulan sinyal dengan dasar dan permukaan perairan, keterbatasan *bandwidth*, salinitas, arus, gelombang permukaan air, efek *Doppler* dll [2,3,4]. Sehingga karakteristik kanal diatas secara langsung memberikan beberapa kendala serta gangguan yang diakibatkan oleh karakteristik kanal tersebut. Gangguan yang diakibatkan oleh pantulan sinyal dengan *boundary* (dasar perairan dan permukaan laut) lazim dikatakan sebagai multipath effect dan

merupakan penyumbang gangguan terbesar kepada sinyal komunikasi akustik bawah laut untuk tipe kanal perairan dangkal. Dimana sinyal yang ditransmisikan oleh *transmitter* akan memantul ke permukaan serta ke dasar dari perairan sehingga menimbulkan *multipath delay* pada *receiver* [5,6]. Sehingga menyebabkan kualitas komunikasi yang diterima kurang baik.

Banyak metode yang dikembangkan oleh para ilmuwan untuk menghadapi masalah ini seperti metode *passive phased conjugation (PPC)* serta *time reversal mirror (TRM)*, *Cross correlation (CC)*, *Ambiguity Function* dll. [7-12]. Metode di atas sukses mengeliminasi gangguan yang diakibatkan oleh *multipath effect*, sehingga dapat meningkatkan kualitas komunikasi akustik bawah air. Berdasarkan penjelasan diatas maka pada penelitian akan membahas mengenai pengaruh *multipath effect* terhadap kualitas sinyal komunikasi akustik bawah air pada kanal yang dikategorikan sebagai perairan dangkal serta pengaplikasian metode *passive time reversal mirror (PTRM)* sebagai metode pemrosesan sinyal untuk menghilangkan *multipath effect* serta meningkatkan kualitas sinyal komunikasi akustik bawah air. Pemodelan komunikasi akustik bawah air dimodelkan secara matematis menggunakan metode *image* dengan tipe kanal yang digunakan dalam pemodelan adalah *towing tank* (Tangki Uji Tarik Kapal) yang terdapat di Jurusan Teknik Perkapalan-ITATS. Dimana tank ini memiliki karakter yang sesuai dengan keadaan pantulan dari perairan dangkal.

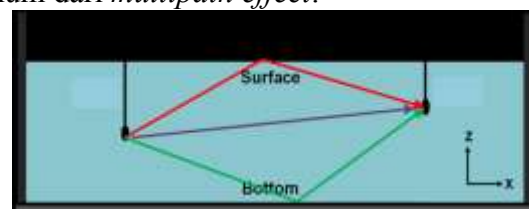
## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Sistem Akustik Bawah Air

*Underwater acoustic* atau akustik bawah air merupakan suatu bidang ilmu yang mempelajari mengenai pemanfaatan gelombang akustik sebagai media propagasi di bawah air. Pemanfaatan teknologi ini meliputi aplikasi penggunaan sonar di kapal selam sebagai alat untuk mendeteksi obyek di bawah laut, eksplorasi ataupun sebagai alat pertahanan di bidang militer dan alat pendeteksi bahaya (*early*

*warning system*). Pada sistem akustik bawah air, umumnya terdapat transducer yang berfungsi sebagai transmitter atau pemancar sinyal akustik serta *receiver* atau penerima sinyal akustik. Sistem komunikasi akustik bawah air merupakan media komunikasi yang sangat kompleks. Hal ini dikarenakan media bawah air memiliki atenuasi, pantulan sinyal dari dasar serta dari permukaan air (*multipath*), absorpsi dengan segala masalah yang ditimbulkan oleh kondisi fisik dari kanal. Propagasi akustik bawah air dapat bekerja dengan baik pada frekuensi rendah yaitu 10-15 KHz dengan kecepatan suara di air sebesar 1500 m/s. 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 komunikasi akustik bawah air, *transducer* digunakan sebagai alat pemancar sinyal dan penerima sinyal yang biasanya menggunakan kabel agar dapat memposisikan *transducer* ke kedalaman tertentu sesuai dengan target operasional saat pengukuran. Penempatan transducer dapat dilakukan dengan media kapal dipermukaan, diikat di *bouy* ataupun di jangkar pada dasar lautan. *Multipath effect* merupakan suatu fenomena pantulan sinyal akustik terhadap *boundary* dari kanal dimana dalam hal ini pantulan dari permukaan air dengan dasar perairan kanal. Efek dari fenomena ini akan menimbulkan delay dari sinyal akustik yang ditransmisikan di kanal atau secara umum disebut dengan *multipath delay*. Gambar 2.2 di bawah ini merupakan penggambaran secara umum dari *multipath effect*.



Gambar 1. Penggambaran *multipath effect* pada kondisi kanal stationer.

**2.2 Teori Image**

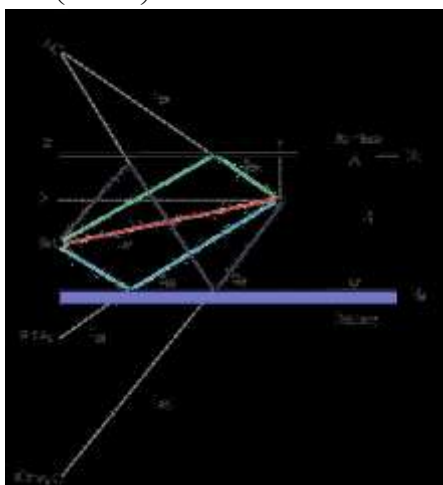
*Image method* merupakan suatu teori matematis yang digunakan untuk menggambarkan interaksi sinyal dengan kanal yang berdasarkan asas pantulan cermin. Dalam hal ini teori ini dapat digunakan apabila boundary atas dalam kategori lembut dan boundary bawah dengan kondisi keras. Sehingga, permukaan dan dasar 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. [13,14].

Berikut ini gambaran dari image method. Gambar 2 dibawah menunjukkan 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

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

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

$$\hat{R}_i(\varphi, \omega) = \hat{R}_i\left(\frac{\pi}{2} - \varphi, \omega\right) = \hat{R}_i(\theta, \omega) \quad (2)$$



**Gambar 2.** Interaksi lengan rays metode image menggambarkan keadaan multipath

Panjang dari empat lengan *rays* dapat dideskripsikan sebagai berikut

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

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

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

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

**2.3 Teori Passive Time Reversal Mirror**

Metode *time reversal* atau dalam domain frekuensi disebut *passive phase conjugation (PPC)* 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* serta *passive time reversal* [15].

Sedangkan *active time reversal* harus mengimplementasikan prosesnya secara langsung pada kondisi lingkungan yang nyata. Sedangkan *passive time reversal* dalam prosedur transmisi sinyal ke kanal diimplementasikan melalui simulasi komputer. Sebut saja sumber sinyal pada domain waktu  $s(t)$ , sinyal yang diterima pada domain waktu  $p(t)$ ,  $h(t)$  merupakan *impulse respon* dari kanal (CIR) antara sumber sinyal dan penerima sinyal. Kemudian  $p(t)$  pada domain waktu dapat diekspresikan melalui rumus berikut :

$$p(t) = h(t) \otimes s(t) \quad (7)$$

Dimana  $\otimes$  merupakan suatu proses integrasi *convolution*. Berdasarkan proses *time reversal*, maka representasi sinyal setelah melalui proses *time reversal* akan dideskripsikan menjadi

$$z(t) = h(t) \otimes p(-t) \quad (8)$$

$$TRM(t) = z(-t) = h(-t) \otimes h(t) \otimes s(t) \quad (9)$$

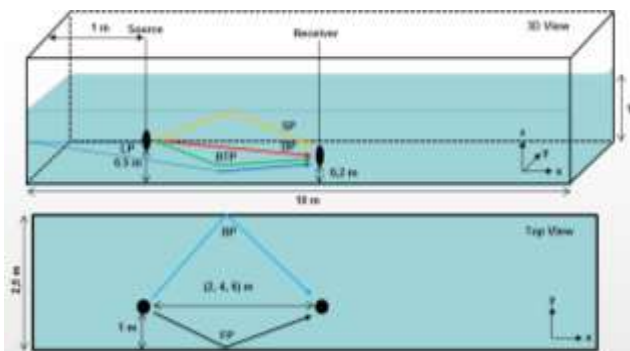
Dimana keluaran sinyal setelah melalui proses *time reversal* adalah akan menjadi sama dengan sumber sinyal yang asli.

### 3. METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Pemodelan Kanal Komunikasi

Interaksi antara sinyal dengan kanal dimodelkan secara matematis menggunakan teori image method dengan tipe kanal yang digunakan dalam pemodelan adalah *mini towing tank* (Tangki Uji Tarik Kapal). Penggunaan kanal ini didasarkan atas karakter *boundary* yang dimilikinya, dimana terdapat empat dinding solid, satu dinding dasar dan satu permukaan air yang diharapkan mampu menimbulkan efek pantulan sinyal dan memberikan pengaruh efek *multipath*. Gambaran kanal ini secara keseluruhan dapat dilihat pada gambar 3. Pada gambar tersebut dapat diterangkan bahwa kanal yang digunakan diharapkan dapat menyerupai keadaan kanal perairan dangkal.

Untuk mendukung pemodelan interaksi antara sinyal 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.



**Gambar 3.** Skema simulasi akustik bawah air pada *mini towing tank*

Pemodelan interaksi antara sinyal dengan kanal ini bertujuan untuk *mengetahui Channel Impulse Response (CIR)* atau *respon impulse* dari kanal. Dimana dari CIR ini kita dapat melihat karakteristik fisik dari kanal yaitu berupa *Delay Spread* yang mengakibatkan *multipath* atau *Doppler Spread* yang mengakibatkan adanya gangguan frekuensi yang berasal dari efek *Doppler*. Pengetahuan informasi mengenai karakteristik kanal ini memiliki fungsi yang sangat vital terhadap komunikasi akustik bawah air, sehingga dapat memastikan sinyal akustik yang dikirim melalui sumber (*Source*) dapat diterima dengan baik oleh penerima (*Receiver*).

Jarak antara sumber dan penerima sinyal pada simulasi divariasikan kedalam tiga jarak komunikasi yaitu 2 m, 4 m, 6 m. Sedangkan ketinggian sumber dari dasar kanal adalah 0,5 m dan penerima 0,2 m. Frekuensi sinyal yang ditransmisikan didalam kanal adalah *Binary Phase Shift Keying (BPSK)* sinyal dengan frekuensi sebesar 10 kHz dan membawa 100 bits simbol transmisi. Sedangkan 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* dapat dilihat pada gambar 3 diatas.

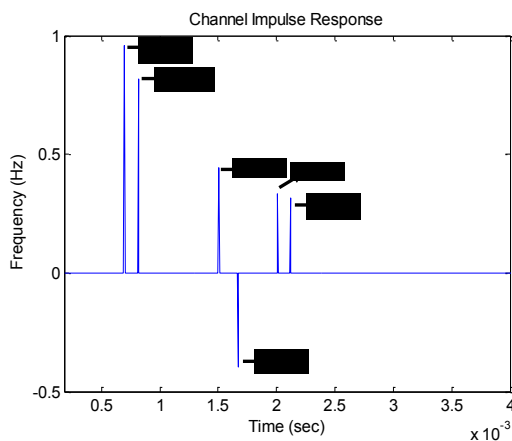
### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Analisa Respon Impulse Dari Kanal Komunikasi

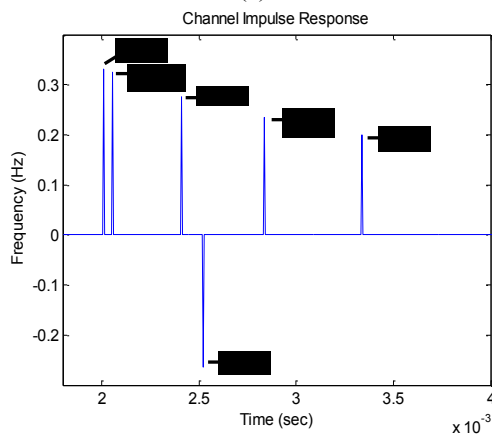
Setelah menginput parameter dari simulasi, maka tahapan selanjutnya adalah menganalisa respon impuls kanal komunikasi dari masing-masing jarak komunikasi yang telah diberikan yaitu 2 m, 4 m, 6 m. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui interaksi antara sinyal komunikasi dengan *boundary* yaitu lapisan dinding dari kanal. Dimana interaksi sinyal dengan *boundary* pada domain waktu akan mengakibatkan terjadinya *time delay*, atau keterlambatan datangnya sinyal berdasarkan



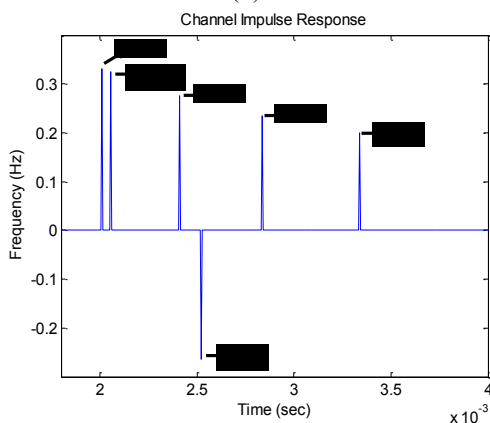
fungsi waktu. Jika masing-masing *ray* elemen mengalami kejadian ini maka kondisi kanal dikategorikan kedalam tipe *Delay Spreading* yang didalamnya terdapat fenomena efek *multipath*. Dengan menggunakan teori *image method* serta mempertimbangkan 6 (enam) elemen *ray* maka interaksi sinyal komunikasi dengan *boundary* dari masing-masing jarak komunikasi dapat ditunjukkan pada gambar berikut :



(a)



(b)



(c)

**Gambar 4. (a,b,c)** Respon Impulse dari kanal komunikasi dengan jarak komunikasi 2 m, 4 m dan 6 m

Gambar 4 (a),(b), (c) merupakan hasil simulasi *impulse* respon kanal dari masing-masing jarak komunikasi 2 m, 4 m , 6 m. Dimana melalui grafik tersebut dapat kita lihat bahwa 6 (enam) elemen *ray* yang berinteraksi dengan lapisan dinding dari kanal memiliki frekuensi dan waktu kedatangan yang berbeda sesuai dengan karakteristik dari kanal dan pemodelan matematis menggunakan *metode image*. Secara keseluruhan kedatangan sinyal 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*), sedangkan *bottom path* (BTP) termasuk kedalam *boundary* bawah dengan kategori keras (*hard*).

Selain itu kesimpulan yang dapat diambil dari hasil pengujian diatas adalah kedatangan sinyal *direct path* (DP) dan *bottom path* (BTP) adalah lebih awal dibandingkan dengan elemen *ray* yang lainnya, hal ini dikarenakan konfigurasi dari pengaturan simulasi yang menempatkan jarak *transducer* sumber ke *transducer* penerima sangat dekat serta ketinggiannya dari dasar kanal juga sangat rendah. Jika diruntut dengan waktu kedatangan maka pada masing-masing jarak komunikasi sejauh 2 m, 4 m, 6 m maka kedatangan elemen *ray* secara berurutan adalah dapat dilihat pada tabel 1 berikut.

**Tabel 1.** Waktu kedatangan elemen ray pada respon impulse kanal dari masing-masing jarak komunikasi

Waktu Kedatangan Elemen Ray (s)	Jarak Komunikasi		
	2 m	4 m	6 m
<b>Direct Path (DP)</b>	$0.6 \times 10^{-3}$	$2 \times 10^{-3}$	$2.1 \times 10^{-3}$
<b>Bottom Path (BTP)</b>	$0.7 \times 10^{-3}$	$2.1 \times 10^{-3}$	$2.2 \times 10^{-3}$

<b>Front Path (FP)</b>	$1.5 \times 10^{-3}$	$2.4 \times 10^{-3}$	$2.5 \times 10^{-3}$
<b>Surface Path (SP)</b>	$1.6 \times 10^{-3}$	$2.5 \times 10^{-3}$	$2.6 \times 10^{-3}$
<b>Left Path (LP)</b>	$2 \times 10^{-3}$	$2.8 \times 10^{-3}$	$2.9 \times 10^{-3}$
<b>Back Path (BP)</b>	$2.2 \times 10^{-3}$	$3.4 \times 10^{-3}$	$3.5 \times 10^{-3}$

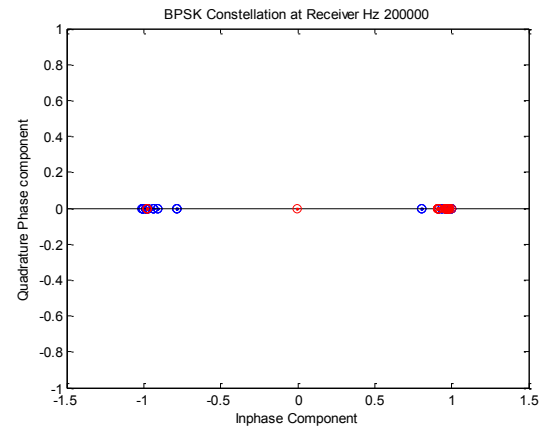
Berdasarkan tabel 1 diatas dapat disimpulkan bahwa semakin dekat jarak komunikasi maka semakin cepat kedatangan sinyal. Demikian juga sebaliknya jika semakin jauh jarak komunikasi maka semakin lambat kedatangan sinyal.

**4.2 Analisa Komunikasi Akustik**

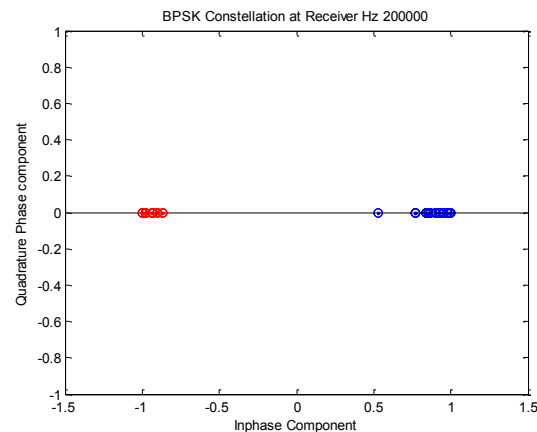
Setelah mengetahui karakteristik kanal pada masing-masing jarak komunikasi maka langkah selanjutnya adalah melakukan analisa komunikasi akustik. Dalam analisa ini akan dilihat seberapa besar error dari simbol sinyal yang ditransmisikan oleh transducer sumber ke transducer penerima pada masing-masing jarak komunikasi kedalam kanal. Seperti yang dijabarkan diatas *bit error* disebabkan oleh interaksi antara simbol yang terdapat didalam sinyal akustik yang ditransmisikan dengan *boundary* dari kanal sehingga mengakibatkan fenomena efek *multipath*. Setelah itu teori *passive time reversal mirror* digunakan untuk menghilangkan efek *multipath* atau *bit error* yang dihasilkan, sehingga kualitas sinyal komunikasi akustik bawah air dapat ditingkatkan.

Pada gambar gambar 5 (a,b) menunjukkan diagram konstelasi *Binary Phase Shift Keying (BPSK)* tanpa dan dengan menggunakan teori *passive time reversal mirror* pada jarak komunikasi 2 m. Dimana pada diagram tersebut pada jarak komunikasi 2 m jika tidak menggunakan teori *passive time reversal mirror* maka terdapat bit error sebesar 37 (terlihat dari simbol yang saling tumpang tindih pada diagram konstelasi), sedangkan jika menggunakan teori *passive time reversal mirror* maka *bit error* dapat diminimalisir sehingga

menjadi 0 (simbol yang terpisah dengan baik pada nilai -1 dan 1).

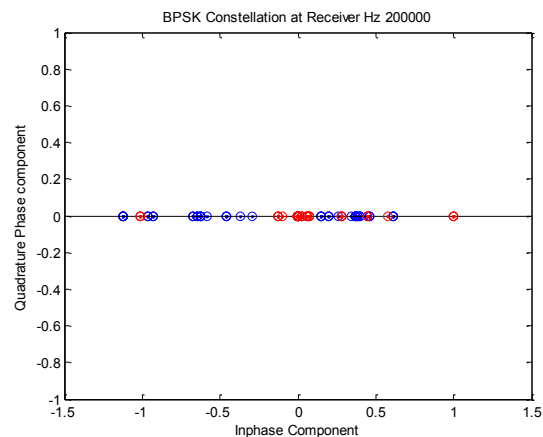


(a)

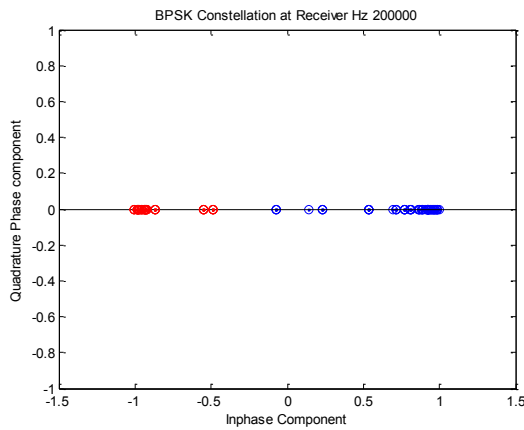


(b)

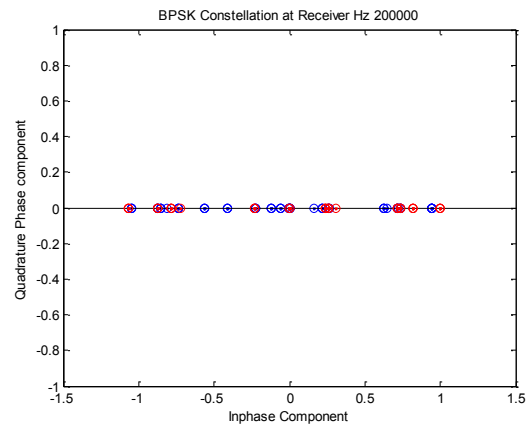
**Gambar 5.** (a) Diagram konstelasi *Binary Phase Shift Keying (BPSK)* tanpa menggunakan teori *passive time reversal mirror* pada jarak komunikasi 2 m memiliki bit error sebesar 37, (b) Diagram konstelasi *Binary Phase Shift Keying (BPSK)* dengan menggunakan teori *passive time reversal mirror* pada jarak komunikasi 2 m memiliki bit error sebesar 0



(a)



(b)

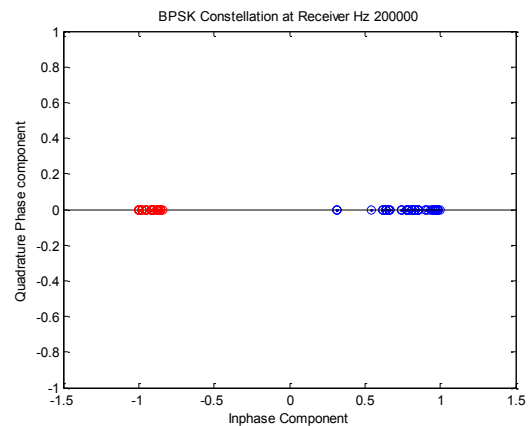


(a)

**Gambar 6.** (a) Diagram konstelasi *Binary Phase Shift Keying* (BPSK) tanpa menggunakan teori *passive time reversal mirror* pada jarak komunikasi 4 m memiliki *bit error* sebesar 52, (b) Diagram konstelasi *Binary Phase Shift Keying* (BPSK) dengan menggunakan teori *passive time reversal mirror* pada jarak komunikasi 4 m memiliki *bit error* sebesar 2

Untuk jarak komunikasi 4 m, hasil komunikasi dapat dilihat pada gambar gambar 6 (a,b). Dimana pada diagram tersebut pada jarak komunikasi 4 m jika tidak menggunakan teori *passive time reversal mirror* maka terdapat *bit error* sebesar 52, sedangkan jika menggunakan teori *passive time reversal mirror* maka *bit error* dapat diminimalisir sehingga menjadi 2. Sedangkan hasil komunikasi pada jarak 6 m yang ditunjukkan oleh gambar 6 (a,b) mendeskripsikan bahwa jika tidak menggunakan teori *passive time reversal mirror* maka terdapat *bit error* sebesar 54, sedangkan jika menggunakan teori *passive time reversal mirror* maka *bit error* dapat diminimalisir sehingga menjadi 0.

Dari penjelasan tersebut dapat disimpulkan bahwa jika tidak menggunakan teori *passive time reversal mirror* maka hasil komunikasi akustik bawah air akan mengalami gangguan oleh adanya efek *multipath* yang diakibatkan oleh karakter kanal sehingga menyebabkan adanya *bit error* disetiap hasil transmisi sinyal. Oleh karena itu penggunaan teori *passive time reversal mirror* mampu meminimalisir terjadinya *bit error* atau efek *multipath* pada hasil komunikasi, sehingga kualitas sinyal akustik yang diterima oleh penerima sinyal dapat ditingkatkan.



(b)

**Gambar 7.** (a) Diagram konstelasi *Binary Phase Shift Keying* (BPSK) tanpa menggunakan teori *passive time reversal mirror* pada jarak komunikasi 4 m memiliki *bit error* sebesar 54, (b) Diagram konstelasi *Binary Phase Shift Keying* (BPSK) dengan menggunakan teori *passive time reversal mirror* pada jarak komunikasi 4 m memiliki *bit error* sebesar 0

## 5. KESIMPULAN

Kualitas hasil komunikasi akustik bawah air sangat tergantung dengan karakteristik kanal. Sehingga, untuk mendapatkan hasil komunikasi akustik yang baik maka harus melakukan analisa karakteristik kanal terlebih dahulu. Karakteristik kanal dapat dianalisa dengan mengetahui respon *impulse* dari kanal atau *channels impulse response (CIR)* pada setiap jarak komunikasi dilakukan. Tentunya sebelum mengaplikasikan akustik bawah air secara langsung di kanal, maka pemodelan secara matematis dapat dilakukan untuk mempelajari terlebih dahulu karakter dari kanal. Berdasarkan hal tersebut makalah ini

menyajikan pemodelan komunikasi akustik bawah air dengan mengaplikasikan metode *image* untuk mengetahui respon *impulse* dari kanal dan *passive time reversal mirror* sebagai metode pemrosesan sinyal untuk meminimalisir efek *multipath* pada hasil komunikasi.

Dari hasil pemodelan metode *image* didapatkan bahwa karakteristik kanal yang dimodelkan berdasarkan skema simulasi yang telah ditetapkan, didapatkan karakter kanal yang termasuk kedalam kategori *Delay Spreading* yaitu adanya fenomena efek *multipath* yang diakibatkan oleh interaksi antara simbol yang terdapat pada sinyal akustik dengan *boundary* dari kanal. Hal ini secara tidak langsung akan mengakibatkan terganggunya transmisi simbol pada sinyal akustik yang ditransmisikan oleh *transducer* sumber ke *transducer* penerima sinyal. Pada analisa hasil komunikasi akustik pada masing-masing jarak komunikasi diatas dapat disimpulkan bahwa hasil transmisi sinyal mengalami gangguan oleh adanya fenomena efek *multipath* tersebut, sehingga didapatkan *bit error* yang tinggi. Dengan mengaplikasikan metode *passive time reversal mirror*, fenomena efek *multipath* dan *bit error* dapat diminimalisir bahkan dihilangkan sehingga kualitas komunikasi akustik bawah air dapat ditingkatkan.

Untuk mendapatkan hasil simulasi yang lebih valid, maka hal yang dapat dipertimbangkan sebagai penelitian kedepannya adalah seberapa besar *Delay Spreading* yang terjadi pada kanal. Tentunya dengan mempertimbangkan berbagai faktor dalam skema simulasi yaitu variasi besarnya frekuensi sinyal, tipe sinyal akustik yang berbeda serta variasi jarak antara *transducer* sumber dan *transducer* penerima serta jaraknya terhadap dinding kanal. Selain itu, pertimbangan multi pantulan pada metode *image* mungkin dapat memberikan kondisi kanal yang sesuai dengan kondisi aslinya.

## 6. UCAPAN TERIMA KASIH

Dengan terselesainya penelitian ini sebagai penulis saya mengucapkan banyak terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu penelitian ini terutama Jurusan Teknik Perkapalan Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya yang telah memberikan dukungan baik materiil dan non materiil.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Trujillo, R. P., (2010). Interference cancellation and network coding for underwater communication systems, Project Report, Department of Telecommunication Technology, West Aalborg University, Denmark.
- [2] Duke, P. S.,(2002). Direct-sequence spread-spectrum modulation for utility packet transmission in underwater acoustic communication networks, Master Thesis, Naval Post Graduate School, Monterey-California.
- [3] Stojanovic, M., and Preisig, J., (2002). Underwater acoustic communication channels: propagation models and statistical characterization, Proceeding of IEEE Communication Magazine, pp. 84-89.
- [4] Aik, T. B., Sen, Q. S., and Nan, Z., (2007). Characterization of Multipath Acoustic Channels in very shallow waters for communications, Proceeding of Oceans 2006-Asia Pasific, Singapore, pp. 1-8.
- [5] Eggen, T. H., (1997) Underwater acoustic communication over Doppler spread channels, Ph.D Dissertation, Department of electrical Engineering and Ocean Engineering, Massachusetts Institute of Technology-Woods Hole Oceanographic Institution, Massachusetts -USA.
- [6] Citree, M., (2007). A high frequency warm shallow water acoustic communications channel model and measurements, Journal of Acoustical Society of America, Vol. 122, pp. 25-80.
- [7] Jackson, D. R and Dowling, D. R., (1991). Phase conjugation in underwater acoustic, Journal of Acoustical Society of America, Vol. 89, pp. 171-181.
- [8] Kim, J. S, Song, H.C and Kupperman, W. A., (1991). Adaptive Time Reversal Mirror, Journal of Acoustical Society of America, Vol. 109, pp. 1817-1825.



- [9] Song, H. C., Roux, P., Hodgkiss, W. S., Kupperman, W. A, Akal, T, and Stevenson, M., (2006). Multiple-input-multiple output coherent time reversal communications in a shallow water acoustic channel, *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, Vol. 31, pp. 170-178.
- [10] Yang, T. C., (2002). Temporal Resolutions of Time-reversed and Passive-phase Conjugation for Underwater Acoustic Communications-II: The effect of source motion, *Journal of Acoustical Society of America*, Vol. 112, pp. 2363-2363.
- [11] Yang, T. C., (2003). Temporal Resolutions of Time-reversed and Passive-phase Conjugation for Underwater Acoustic Communications, *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, Vol. 28, pp. 229-245.
- [12] Yang, T. C., (2003). Correlation based decision feedback equalizer for underwater acoustic communications, *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, Vol. 30, pp. 865-880.
- [13] Simulation of an Underwater Acoustic Communication Channel, Master Thesis, University of Applied Sciences, Bremen-Germany.
- [14] Frisk, G. V., , (1994). *Ocean and Seabed Acoustics: A theory of wave propagation*, Prentice Hall, New Jersey, USA.
- [15] Wu, B. H., 2010. Research of microphone array signal processing to audio signal separation and sound field reconstruction, Dept. of. System and Naval Mechatronic Engineering, National Cheng Kung University.