

Kombinasi Metode *Independent Component Analysis*(ICA) dan *Beamforming* untuk Pemisahan Sinyal Akustik Bawah Air

Mandala Anugerahwan Firstanto, Wirawan, Endang Widjiati
Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111
e-mail: wirawan@ee.its.ac.id

Abstrak— Pada bidang perkapalan atau kelautan, sinyal akustik merupakan sebuah sinyal noise. Hal ini dikarenakan sinyal akustik yang ingin kita analisis tercampur dengan sinyal lain. Perlu adanya metode untuk memisahkan sinyal akustik dari suara yang terdapat dalam medium air dan mengetahui arah datang sumber suara. Dalam tugas akhir ini dilakukan pemisahan sinyal akustik dengan menggunakan kombinasi metode ICA dan *beamforming*. Pemisahan sinyal akustik dilakukan tiga kali. Pertama, simulasi pemisahan suara menggunakan pemodelan *shallowwater* dengan algoritma FastICA dan *delayandsum*(DS) *beamformer*. Kedua, dengan menggunakan *toolboxICALAB*. Ketiga, pemisahan sinyal akustik secara riil, hasil rekaman dengan menggunakan *hydrophone*.

Hasil simulasi menunjukkan bahwa, algoritma FastICA dapat memisahkan sinyal akustik dengan baik. Hal ini ditunjukkan dengan nilai MSE sebesar 3.6399×10^{-5} dan nilai SIR sebesar 45,72dB. Pada pemisahan suara secara riil, jarak antara *speaker* dengan *hydrophone* menentukan kualitas pemisahan suara. Semakin jauh jarak antara *speaker* dengan *hydrophone*, semakin berkurang nilai MSE dan SIR pada proses pemisahan suara bawah air. Hal ini dapat dilihat pada jarak 1 meter nilai mean SIR bernilai 51,29dB, jarak 5 meter bernilai 48,55dB, jarak 10 meter bernilai 41,73dB. Algoritma DS *beamformer* dapat menentukan sumber suara dalam medium air dengan jarak minimal *speaker* dengan *hydrophone* 10 meter. Peletakan *speaker* dan *hydrophone* yang saling berhadapan akan mendapatkan hasil yang maksimal.

Kata Kunci— Pemisahan sinyal akustik, *Independent component analysis*, *Beamforming*.

I. PENDAHULUAN

KEHANDALAN suatu kapal selam antara lain ditentukan oleh kehandalan sistem sonar yang dimilikinya untuk dapat mendeteksi keberadaan kapal ataupun objek lain yang berada disekitarnya [1]. Proses pendeteksian pada sistem sonar dilakukan dengan menggunakan sinyal akustik. Jika suara manusia merupakan sinyal akustik yang merambat di udara, maka sinyal yang diterima oleh sebuah sistem sonar adalah sinyal akustik yang merambat di bawah air. Sinyal akustik bawah air bercampur dengan sinyal-sinyal lain, salah satunya bercampur dengan noise.

Dari permasalahan tersebut, maka diperlukan teknik untuk mendeteksi dan memisahkan sumber sinyal akustik dari sinyal campuran. Teknik pemisahan sumber sinyal ini berfungsi untuk mendapatkan pengenalan percakapan yang tahan terhadap noise dan mendapatkan sistem telekomunikasi yang

berkualitas baik [2]. Salah satu teknik yang dapat digunakan adalah *Blind Source Separation* (BSS). Teknik ini berfungsi untuk mengenali sumber sinyal. Ada beberapa algoritma dari BSS yang dapat digunakan untuk memisahkan sinyal akustik bawah laut, antara lain *Independent Component Analysis* (ICA), *Second Order Blind Identification* (SOBI), *Joint Approximate Diagonalization of Eigenmatrices* (JADE). Beberapa metode ini memiliki kelemahan, adanya noise (gaung dan gema) membuat keakuratan metode ini berkurang [3].

Independent Component Analysis (ICA) adalah salah satu algoritma dari teknik BSS yang dapat membedakan unsur atau komponen penyusun campuran sinyal secara independen. Penggunaan teknik BSS dengan menggunakan algoritma ICA sudah pernah diterapkan sebelumnya [4-7]. Algoritma ICA tidak dapat bekerja secara maksimal pada kondisi terdapat gaung dan gema [2]. Permasalahan yang timbul pada metode ini adalah perubahan urutan sumber suara dan acaknya setiap gain sumber.

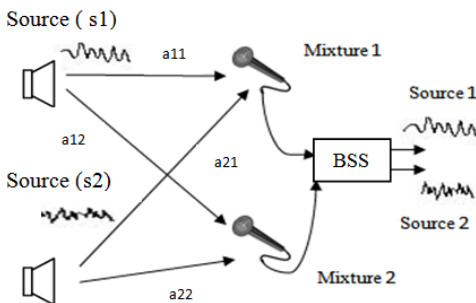
Beamforming merupakan metode dalam pendeteksian sinyal yang dapat mendeteksi arah datang sinyal. *Beamforming* dapat digunakan untuk mengetahui arah datang sinyal dan mengetahui sinyal yang terkena noise, gaung, dan gema [8]. Untuk mengetahui arah datang sinyal dibutuhkan sensor penerima sinyal akustik, yaitu *hydrophone*. Pendeteksian arah datang sinyal pada metode *beamforming* dapat dilakukan dengan menggunakan algoritma *Direction of Arrival* (DOA) dengan teknik *hydrophone array*. Hal ini dikarenakan, adanya *beam pattern* pada algoritma DOA yang berguna mengetahui arah datang sinyal yang dikehendaki untuk diamati.

Pada tugas akhir ini akan dibahas tentang penggunaan kombinasi metode *Independent Component Analysis* dan *Beamforming* untuk pemisahan dan pengenalan sinyal akustik bawah laut. Algoritma FastICA digunakan untuk proses pemisahan suara. Algoritma ini merupakan yang sederhana dari semua algoritma pada metode ICA. Algoritma *delayandsum*(DS) *beamformer* digunakan, karena cara kerja algoritma ini yang mempertimbangkan delay rambat suara cocok dengan sistem yang akan digunakan. Parameter nilai *meansquare error* atau melihat kesamaan antara hasil output dengan input dipilih untuk menguji hasil output suara. Selain itu, parameter *signal to interference ratio* (SIR) digunakan untuk mengetahui rasio interferensi output suara dibandingkan

dengan input. Pada pengenalan sinyal suara, proses mendengarkan secara lisan hasil output dibandingkan dengan input suara digunakan untuk mengukur parameter keberhasilan. Selain itu, dengan membandingkan sinyal input dengan output, dapat diketahui hasil dari proses pemisahan suara. Penggunaan kombinasi metode *Independent Component Analysis* dan *Beamforming*, proses pemisahan sinyal dapat berjalan lebih optimal, karena dengan menggunakan algoritma *beamforming* dapat diketahui arah datang sumber suara.

II. PEMISAHAN SINYAL AKUSTIK DENGAN METODE ICA DAN BEAMFORMING

BSS merupakan teknik pemisahan sinyal suara menjadi komponen individu pembentuk sinyal suara tersebut. Komponen penyusun dari BSS merupakan penjumlahan dari beberapa sumber yang memiliki perbedaan suara. Output dari teknik ini nantinya adalah mendapatkan komponen penyusun sumber suara [10]. Pemisahan sinyal *blind* bergantung pada asumsi bahwa sumber sinyal tidak berkorelasi satu dengan yang lainnya (*independent*). Gambar 1 menjelaskan tentang salah satu proses dalam BSS, yaitu penambahan sinyal suara.

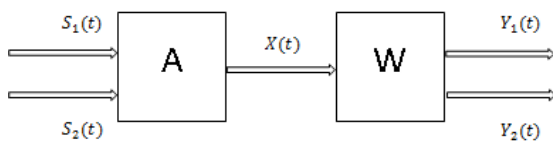


Gambar. 1. Skema penambahan sinyal suara, s1 dan s2 merupakan sumber suara. *Microphone* merekam kedua sumber suara, dan suara campuran ini mengalami proses BSS.

Proses penambahan sinyal suara ini disebut dengan *instantaneous mixture*. *Instantaneous mixture* adalah campuran yang dihasilkan dari perkalian *dot products* dari dua buah sinyal. Rumus dari *instantaneous mixture* adalah sebagai berikut :

$$X(t) = A.S(t) \tag{1}$$

Dimana A adalah nilai *mixing matriks*, S adalah sumber suara, dan X adalah nilai dari sinyal campuran. Untuk mengetahui lebih jelas proses dari BSS, pada Gambar 2 menjelaskan tentang bagan BSS.



Gambar. 2. Bagan BSS

Proses mendapatkan nilai *mixing matriks*, adalah dengan konfigurasi peletakan sumber suara terhadap *hydrophone*. Variabel pembentuk *mixing matriks* adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Suara Kapal} &\leftrightarrow \text{Hydrophone 1} = A_{11} \\ \text{Suara Kapal} &\leftrightarrow \text{Hydrophone 2} = A_{12} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Suara Lumba – lumba} &\leftrightarrow \text{Hydrophone 1} = A_{21} \\ \text{Suara Lumba – lumba} &\leftrightarrow \text{Hydrophone 2} = A_{22} \end{aligned} \tag{2}$$

$$\begin{bmatrix} A_{11} & A_{21} \\ A_{12} & A_{22} \end{bmatrix}$$

Dari Gambar 2, dapat kita rumuskan proses pencampuran suara adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} x_1(t) &= a_{11}s_1(t) + a_{12}s_2(t) \\ x_2(t) &= a_{21}s_1(t) + a_{22}s_2(t) \end{aligned} \tag{3}$$

Nilai W adalah nilai *unmixing matriks*, nilai *unmixing matriks* diperoleh dari inversi nilai *mixing matriks* atau dapat juga dengan menggunakan algoritma pada metode ICA. Sebelum menjalankan metode ICA, tahap *pre-processing* perlu dilakukan untuk mempermudah proses metode ICA.

A. *Pre-processing*

Tahap *pre-processing* pada proses BSS terdiri dari proses *centering* dan *whitening*. Proses *whitening* adalah proses pemusatan data yang membuat nilai sinyal campuran (X) menjadi sinyal campuran yang memiliki rerata nol atau *zero Mean* (Xn). Rumus untuk melakukan *centering* adalah sebagai berikut :

$$X_n = X - E[X] \tag{4}$$

Whitening adalah proses untuk memutihkan variabel yang diamati, dalam hal ini adalah sinyal campuran (Xn). Dari proses *whitening* didapatkan vektor sinyal campuran baru yang memiliki varian sama dengan satu (z). Berikut merupakan persamaan untuk melakukan proses *whitening*:

$$z = VX_n \tag{5}$$

$$V = D^{-1/2} \lambda^T X_n \tag{6}$$

Variabel λ merupakan nilai *eigenvektor* dari Xn, D merupakan nilai *eigenvaluedecomposition* (EVD) dari Xn.

B. *Independent Component Analysis (ICA)*

Independent Component Analysis (ICA) adalah metode pemrosesan sinyal untuk menemukan komponen pembentuk sinyal campuran. Ada beberapa algoritma untuk menjalankan metode ICA, salah satunya adalah algoritma FastICA. Algoritma FastICA merupakan algoritma dengan proses sederhana dalam pemisahan sinyal suara. Salah satu metode untuk menentukan komponen *Independent* pada algoritma ini adalah metode *symmetrical*. Pada proses ini, akan didapatkan nilai W atau *unmixing matriks*. Nilai W ini akan memisahkan sinyal campuran yang sudah mengalami proses *whitening* menjadi sinyal estimasi (Y). Proses pemisahan suara dapat dilakukandengan persamaan sebagai berikut :

$$Y(t) = W X_n(t) \tag{7}$$

Symmetrical

Langkah-langkah dalam metode *symmetrical* adalah sebagai berikut :

1. Menentukan jumlah *independent component* atau variabel m
2. Memilih nilai awal vektor kompleks w, dengan y adalah perkalian w dengan xn
3. Mencari nilai g (ketidaklinearitas) dan g' menggunakan Persamaan sebagai berikut :

$$g(y) = y \exp(-y^2/2) \tag{8}$$

$$g'(y) = (1-y^2)\exp(-y^2/2) \tag{9}$$
4. Menghitung nilai w baru dengan Persamaan

$$w \leftarrow E\{zg(w^T z)\} - E\{g'(w^T z)\}w \quad (10)$$

5. Melakukan proses iterasi seperti pada Persamaan berikut

$$W \leftarrow \frac{W}{\|W\|} \quad (11)$$

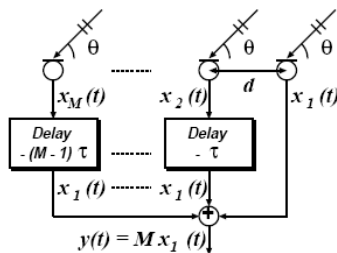
$$W \leftarrow \frac{3}{2}W - \frac{1}{2}WW^T W \quad (12)$$

6. Didapatkan nilai W atau *unmixing matrix*

C. Beamforming

Beamforming merupakan suatu teknik pemrosesan sinyal yang digunakan dalam sensor *array* untuk mentransmisikan atau menerima sinyal dari suatu arah tertentu. Tujuan digunakannya algoritma ini antara lain untuk mendeteksi sinyal yang datang, memberikan estimasi arah atau *direction of arrival* (DOA), serta meningkatkan level sinyal yang berkurang akibat *noise* dan *reverberation*. Pada tugas akhir ini penggunaan metode *beamforming* dengan teknik *hydrophone array* berfungsi untuk membantu mencari sudut terluar pada metode ICA, sehingga didapatkan arah kedatangan sumber sinyal suara.

Salah satu metode yang digunakan dalam *beamforming* adalah *delay and sum beamformer* atau yang biasa disebut dengan *DS beamformer*. Langkah yang harus ditempuh pada *DS beamformer* ini adalah menentukan pergeseran waktu (*time delay*) pada masing-masing *hydrophone* dengan metode *cross correlation*.



Gambar. 3. *Delay and sum beamformer* [8]

Berdasarkan pada Gambar 3, d merupakan jarak antar *hydrophone*, i merupakan indeks jumlah *hydrophone*, masing-masing sensor *hydrophone* $x_M(t)$ menghasilkan output sebagai berikut :

$$x_i(t) = x_i \left(t - (i - 1) \frac{d \cos \theta i}{c} \right) \quad (13)$$

Hasil perhitungan *delay and sum beamformer* dapat ditulis sebagai berikut :

$$y(t) = \sum_{i=1}^M x_i \left(t + (i - 1) \frac{d \cos \theta i}{c} \right) \quad (14)$$

$$\sum_{i=1}^M x_i(t) \exp \left\{ j2\pi f (i - 1) \frac{d \cos \theta}{c} \right\} \quad (15)$$

D. MSE dan SIR

MSE (*Mean Square Error*) adalah nilai rata-rata dari error hasil estimasi. Rumus dari MSE adalah sebagai berikut:

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (se - s)^2 \quad (16)$$

Dimana : n = jumlah sampel data
 s = sinyal asli
 se = sinyal estimasi

Ukuran yang digunakan untuk menilai kualitas sinyal terhadap gangguan interferensi dinyatakan dalam SIR. SIR (*Signal to Interference Ratio*) adalah Perbandingan daya sinyal terhadap daya interferensi. Interferensi adalah gangguan selain *noise* yang dapat menyebabkan kualitas sebuah sinyal menurun. Semakin tinggi nilai SIR, maka kualitas sinyal semakin baik, begitu juga sebaliknya. Rumus untuk mencari nilai SIR pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut [7]:

$$SIR = -10 \log_{10}(MSE) \quad (17)$$

E. NoiseReductionError (NRR)

Noise reduction rate (NRR) merupakan salah satu parameter untuk mengetahui seberapa besar *noise* yang dikurangi pada suatu pemisahan sinyal suara. Dua sinyal suara diasumsikan tidak memiliki *noise* saat belum dicampur. Saat proses pencampuran kedua sinyal suara akan terjadi penambahan *noise*. Dengan mengetahui *signal to noise ratio* input dengan output akan diketahui besarnya nilai NRR. Untuk mendapatkan nilai SNR *output* (SNR^o) dan SNR *input* (SNR^I) adalah dengan persamaan dibawah ini :

$$SNR^o = 10 \log_{10} \frac{\sum f |H_{LL}(f)S_L(f)|^2}{\sum f |H_{LK}(f)S_K(f)|^2} \quad (18)$$

$$SNR^I = 10 \log_{10} \frac{\sum f |A_{LL}(f)S_L(f)|^2}{\sum f |A_{LK}(f)S_K(f)|^2} \quad (19)$$

Dimana $H = W.A$. Nilai L dan K tidak boleh sama. Nilai L merupakan banyaknya jumlah sumber suara, K merupakan banyaknya jumlah sumber *hydrophone*. Nilai NRR dapat didapatkan dengan persamaan berikut :

$$NRR = \sum_{L=1}^2 (SNR^o - SNR^I) \quad (20)$$

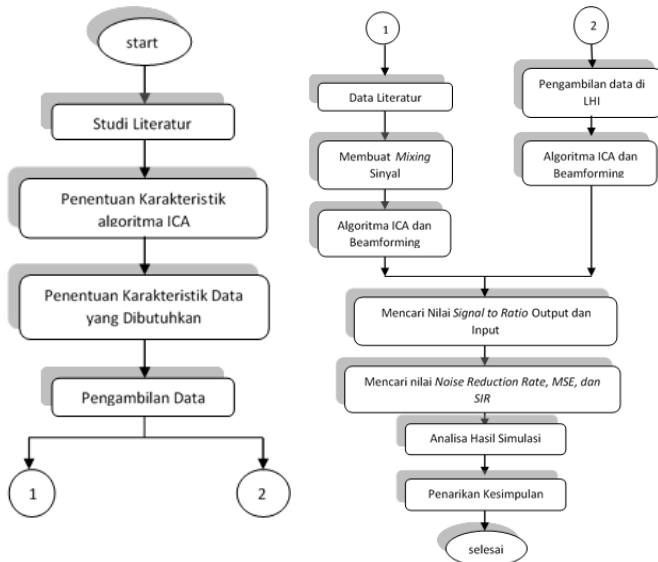
III. PEMODELAN DAN SIMULASI

A. Metodologi Penelitian

Proses pengolahan data pada tugas akhir ini menggunakan dua cara. Pertama adalah dengan melakukan pengukuran dan pengambilan data di Laboratorium Hidrodinamika Indonesia (riil). Kedua dengan menggunakan data literatur, data ini berupa konfigurasi kanal untuk mendapatkan nilai dari *mixing signal* (simulasi).

Pada proses pengambilan data di LHI, jarak antara speaker dengan *hydrophone* dibuat berbeda. Jarak yang diberikan antara lain 1, 5, 10 meter. Tujuannya adalah untuk mengetahui pengaruh jarak terhadap proses pemisahan suara.

Algoritma *FastICA* dan *DS beamformer* dibangkitkan dengan *software* Matlab2011a. Untuk mengetahui kualitas dari proses pemisahan suara digunakan parameter MSE dan SIR serta parameter NRR pada tahap simulasi.



Gambar. 4. Diagram alir pemodelan sistem

B. Data Sinyal Input

Pada tugas akhir ini, data input yang digunakan dalam teknik BSS dengan metode ICA antara lain, suara yang digunakan dan *mixing matriks*. Pemisahan sinyal suara yang dilakukan menggunakan dua sinyal input suara. Kedua input suara ini adalah suara kapal laut dan suara ikan. Selain itu, juga digunakan suara ping pada saat pemisahan suara secara riil. File sinyal input yang digunakan dapat dilihat pada Tabel berikut :

Tabel 1. Sinyal input yang digunakan

Voice	
$S_1(t)$	Kapal.wav
$S_2(t)$	Ikan.wav
$S_3(t)$	Ping.wav

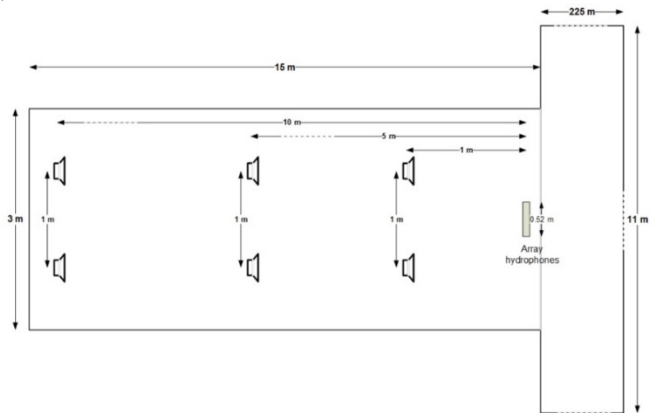
Mixing matriks merupakan komponen utama dalam proses pencampuran suara. Pada tugas akhir ini didapatkan 3 nilai *mixing matriks*. Pertama sesuai dengan konfigurasi pada literatur [9]. Sisanya, didapatkan dari konfigurasi saat pengambilan data secara riil pada jarak antara speaker dengan *hydrophone* 5 dan 10 meter.

Tabel 2. Nilai *mixingmatrix*

	Simulasi	Jarak 5 m	Jarak 10 m
2x2	$\begin{bmatrix} 0.4975 & 0.1858 \\ 0.3194 & 0.4163 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0.1998 & 0.1977 \\ 0.1977 & 0.1998 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0.1 & 0.0997 \\ 0.0997 & 0.1 \end{bmatrix}$

Nilai dari *mixing matriks* sangat bergantung pada letak speaker dan *hydrophone*. Jarak dari permukaan, kedalaman, dan jarak transmisi merupakan variabel yang mempengaruhi nilai *mixing matriks*. Pada Tabel 2, nilai *mixing matriks* pada jarak 5 dan 10 meter tidak dapat di-inversi. Hal ini dikarenakan jarak kedua speaker dan *hydrophone* diletakkan pada kedalaman yang sama. Berbeda dengan nilai *mixing matriks* dengan simulasi yang mendapatkan nilai *mixing matriks* yang dapat di-inversi. Gambar 5 merupakan konfigurasi saat pengambilan data di LHI. Konfigurasi ini yang juga digunakan untuk menentukan arah datang suara dengan algoritma DS *beamformer*. Kedalaman tempat yang

digunakan dalam peletakan speaker dengan *hydrophone* adalah 2,5 meter. Pada proses perekaman suara secara riil digunakan 4 *hydrophone*. Dua buah horisontal dan dua buah vertikal. Hasil perekaman menggunakan dua buah *hydrophone* yang horisontal, dengan jarak antara kedua *hydrophone* adalah 0,5 meter.

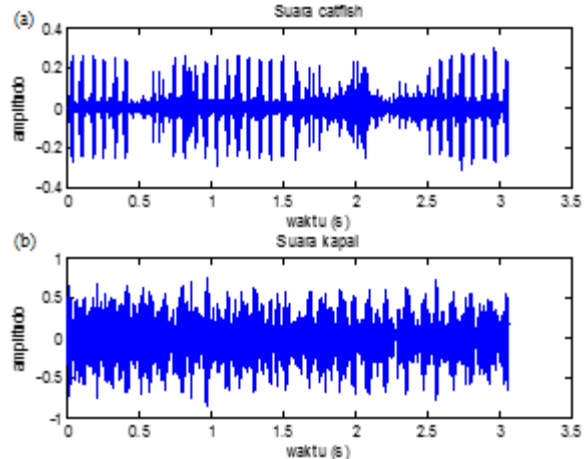


Gambar. 5. Skema pengukuran di LHI

IV. PENGUJIAN SISTEM DAN ANALISIS DATA

A. Pemisahan Suara dengan Simulasi

Sebelum melakukan pemisahan suara, perlu diketahui dulu bentuk sinyal suara sebelum mengalami proses BSS dengan metode ICA. Gambar 6 menunjukkan bentuk sinyal suara ikan dan kapal sebelum mengalami proses BSS. Gambar 6.a menunjukkan sinyal suara ikan, dan Gambar 6.b menunjukkan sinyal suara kapal. Kedua sinyal suara ini sudah mengalami proses *resample* untuk menyamakan durasi kedua suara.

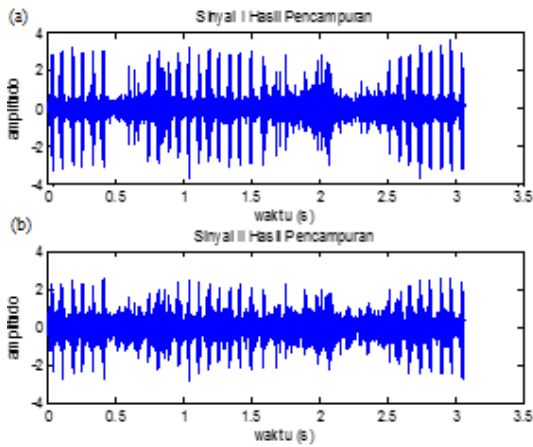


Gambar. 6. Sinyal kedua sumber suara sesudah proses *resample*

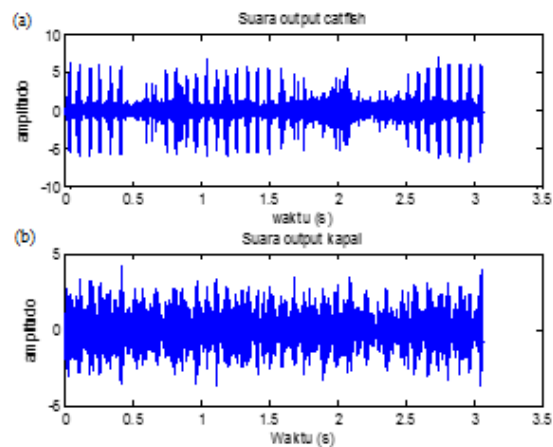
Kedua sinyal suara ini mengalami proses BSS, yaitu dengan dikalikan dengan nilai *mixing matriks* pada Tabel 2. Hasil pencampuran suara ini dapat dilihat pada Gambar 7. Hasil pemisahan suara dengan algoritma *FastICA* dapat dilihat pada Gambar 8. Gambar 8.a menunjukkan sinyal estimasi suara ikan, dan Gambar 8.b merupakan sinyal estimasi suara kapal. Untuk mengetahui kualitas dari pemisahan suara, pada Tabel 3 ditunjukkan nilai MSE dan SIR sebagai parameter kualitas pemisahan suara.

Tabel 3.
Hasil nilai MSE dan SIR saat simulasi

Suara	MSE	SIR
Ikan	3.6399×10^{-5}	44.3891
Kapal	1.9670×10^{-5}	47.0620



Gambar. 7. Sinyal kedua sumber suara sesudah dicampur dengan *mixingmatriks*. Gambar 7.a merupakan suara ikan yang tercampur *mixing matriks*, dan Gambar 7.b merupakan suara kapal yang tercampur *mixing matriks*.



Gambar. 8. Hasil output pemisahan suara (simulasi)

Hasil estimasi arah kedatangan suara juga dilakukan dengan algoritma *DS beamformer*. Pada Tabel 4 ditunjukkan hasil estimasi arah kedatangan suara dibandingkan dengan penghitungan arah datang suara secara matematis.

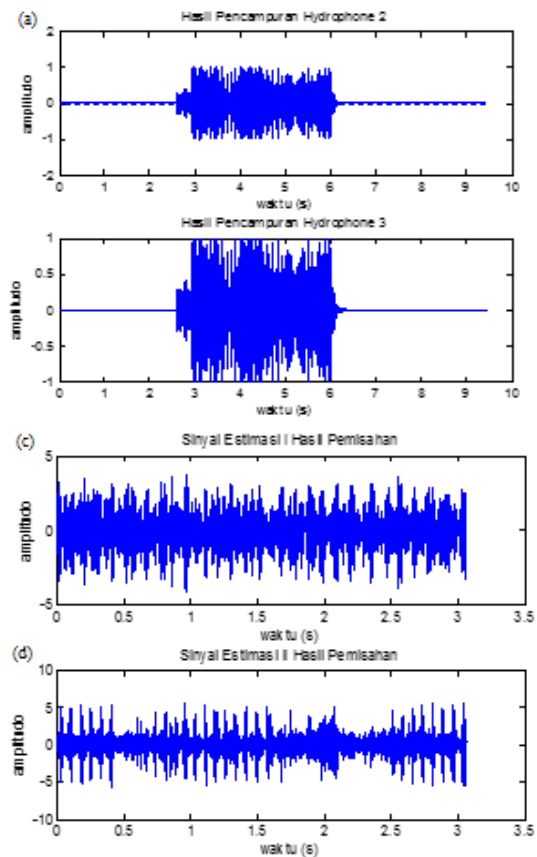
Tabel 4.
Estimasi arah datang suara simulasi

<i>Speaker-Hydrophone</i>	Algoritma DS <i>beamformer</i>	Penghitungan Matematis
<i>Speaker1-Hydrophone1</i>	90°	90°
<i>Speaker1-Hydrophone2</i>	113,4°	129,8°
<i>Speaker2-Hydrophone1</i>	63,9834°	45°
<i>Speaker2-Hydrophone2</i>	90°	90°

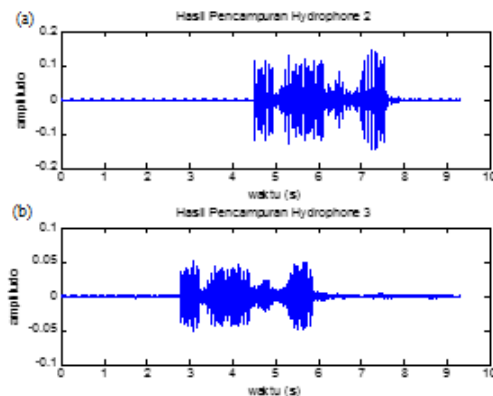
B. Pemisahan Suara secara Riil

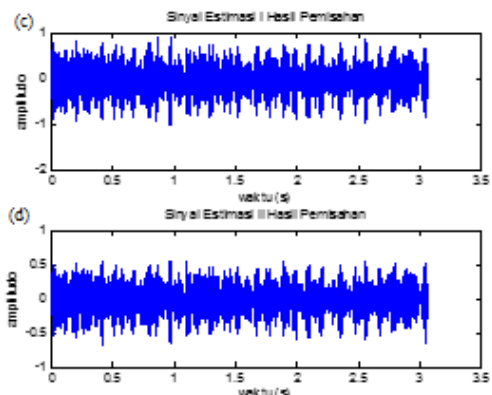
Hasil perekaman suara dengan menggunakan *hydrophone* dan hasil pemisahan suara pada jarak speaker dengan

hydrophone 1 meter menggunakan algoritma *FastICA* yang dimodifikasi dapat dilihat pada Gambar 9. Pada Gambar 9.a dan Gambar 9.b dapat dilihat hasil perekaman suara pada *hydrophone* dengan jarak speaker dan *hydrophone* 1 meter. Gambar 9.c merupakan hasil estimasi pemisahan sinyal suara. Pada gambar tersebut dapat dilihat jika bentuk sinyal suara hampir sama dengan suara ikan. Gambar 9.d menunjukkan hasil estimasi suara kapal. Jika dibandingkan dengan input suara yang digunakan, bentuk sinyal suara estimasi hampir sama dengan bentuk sinyal suara sebelum mengalami proses BSS.



Gambar. 9. Hasil perekaman *hydrophone* dengan jarak antara speaker dan *hydrophone* 1 meter. Hasil pemisahan suara pada jarak 1 meter.





Gambar. 10. Hasil perekaman *hydrophone* dengan jarak antara speaker dan *hydrophone* 10 meter. Hasil pemisahan suara pada jarak 10 meter.

Gambar 10.a dan 10.b merupakan hasil rekaman *hydrophone* pada jarak speaker dan *hydrophone* 10 meter. Pada Gambar 10.c dan 10.d menunjukkan sinyal estimasi pemisahan suara pada jarak 10 meter. Namun pada jarak 10 meter suara tidak terpisah dengan baik, masih terdengar campuran kedua suara meski terdengar pelan.

Nilai MSE dan SIR pada pemisahan suara secara riil dapat dilihat pada Tabel 5. Hasil estimasi arah datang suara ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 5.
Perbandingan nilai MSE dan SIR saat simulasi dengan riil

Suara	Simulasi <i>FastICA</i>		Hasil Pengukuran	
	MSE	SIR	MSE	SIR
Ikan	3.6×10^{-5}	44.3	8×10^{-5}	40.7
Kapal	1.9×10^{-5}	47.0	5.3×10^{-5}	42.6

Tabel 6.
Hasil estimasi arah kedatangan suara

Jarak <i>Speaker-Hydrophone</i>	<i>Hydrophone-Speaker</i>	Arah Estimasi Kedatangan Sumber
10 meter	<i>Hydrophone1-Speaker1</i>	88.9340°
	<i>Hydrophone1-Speaker2</i>	92.4831°
	<i>Hydrophone2-Speaker1</i>	87.5169°
	<i>Hydrophone2-Speaker2</i>	91.066°
1 meter	<i>Hydrophone1-Speaker1</i>	79.7305°
	<i>Hydrophone1-Speaker2</i>	110.853°
	<i>Hydrophone2-Speaker1</i>	69.1470°
	<i>Hydrophone2-Speaker2</i>	100.2695°

V. KESIMPULAN/RINGKASAN

Kesimpulan dari tugas akhir ini adalah :

1. Pada pengujian metode ICA dengan algoritma *FastICA* dibandingkan dengan *toolbox* ICALAB untuk pemisahan

suara, didapatkan hasil nilai MSE dengan *FastICA* sebesar 3.6399×10^{-5} sedangkan dengan ICALAB 5.1185×10^{-7} . Nilai rata-rata SIR dengan *FastICA* sebesar 45,72dB dan nilai rata-rata SIR dengan ICALAB 53dB. Hal ini menunjukkan jika algoritma *FastICA* dapat memisahkan suara sama baiknya dengan *toolbox* ICALAB.

2. Semakin jauh jarak antara *speaker* dengan *hydrophone*, semakin berkurang nilai MSE dan SIR pada proses pemisahan suara bawah air. Hal ini dapat dilihat pada jarak 1 meter nilai *mean* SIR bernilai 51,29dB, jarak 5 meter bernilai 48.55dB, jarak 10 meter bernilai 41,73dB.
3. Pada pengujian metode *beamforming* dengan algoritma *DS Beamformer*, peletakan jarak *speaker* dengan *hydrophone* minimal diletakan pada jarak 10 meter agar mendapatkan nilai delay untuk mengestimasi arah datang suara. Peletakan *speaker* dan *hydrophone* yang saling berhadapan akan mendapatkan hasil yang maksimal. Metode *beamforming* dalam pemisahan suara berfungsi untuk mengetahui arah datang sumber suara dan tidak mempengaruhi hasil pemisahan suara.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] E. Widjati, Yuniati, E. Suwarni, "Pengujian Sinyal Akustik Noise yang Disebabkan oleh Kavitas Propeller di Terowongan Kavitas" 3RD APTECS 2011
- [2] H. Saruwatari, "Blind Source Separation Combining Independent Component Analysis and Beamforming" in EURASIP Journal on Applied Signal Processing, 1135-1146, 2003:11
- [3] W.I.P Sari, "Pemisahan Sinyal Akustik Bawah Air Menggunakan Blind Separation of Source (BSS)". Tugas Akhir, Jurusan Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (2011).
- [4] V. Capdevielle, C. Serviere, and J. Lacoume, "Blind separation of wide-band sources in the frequency domain," in Proc. IEEE Int. Conf. Acoustics, Speech, Signal Processing, pp. 2080-2083, Detroit, Mich, USA, May 1995.
- [5] N. Murata and S. Ikeda, "An on-line algorithm for blind source separation on speech signals," in Proc. International Symposium on Nonlinear Theory and Its Application, vol. 3, pp. 923-926, Le Regent, Crans-Montana, Switzerland, September 1998.
- [6] P. Smaragdhis, "Blind separation of convolved mixtures in the frequency domain," Neurocomputing, vol. 22, no. 1-3, pp. 21- 34, 1998.
- [7] L. Parra and C. Spence, "Convolutive blind separation of non-stationary sources," IEEE Trans. Speech, and Audio Processing, vol. 8, no. 3, pp. 320-327, 2000.
- [8] J. Benesty, J. Chen, Y. Huang, "Microphone Array Signal Processing" Conventional Beamforming Techniques pp. 39-46, 2008
- [9] N. Murata, S. Ikeda, and A. Ziehe. "An approach to Blind Source Separation Based on Temporal Structure of Speech Signals"
- [10] A. Hyvärinen, E. Oja . "Independent Component Analysis: Algorithms and Application". Neural Networks, (2-8):15-219, 2001.