

# Pemisahan Suara Tercampur (*source separation*) Bawah Air Dengan Metode *Time-Frequency Independent Component Analysis* pada *Semi-Anechoic Water Tank*

Ridhwan Juniarga Pribadi, Ir. Wiratno Argo Asmoro M. Sc, Dr. Ir. Wirawan DEA  
Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)  
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111  
E-mail: ridhwan09@mhs.ep.its.ac.id, wiratno@ep.its.ac.id, wirawan@ee.its.ac.id

**Abstrak**— Salah satu permasalahan yang dihadapi dalam dunia komunikasi bawah air adalah, terbatasnya *bandwidth* serta tingkat kebisingan pada lingkungan perairan. Salah satu solusi untuk mengatasi permasalahan ini dengan melakukan *source separation* untuk mengekstrak sinyal sumber yang diinginkan. *Independent Component Analysis* merupakan salah satu teknik dalam memodelkan proses ekstraksi sinyal sumber secara buta (*blind*). Pengujian pemisahan suara dilakukan di tangki air *semi-anechoic* di Laboratorium Rekayasa Akustik dan Fisika Bangunan dengan jumlah sumber sama dengan sensor. Proses pemisahan suara dilakukan dengan tiga jenis metode yang berbeda yaitu TDICA, FDICA, dan TFICA(MSICA). Hasil pemisahan rekaman suara tercampur menunjukkan performa yang terbaik pada penggunaan metode FDICA dan MSICA dengan nilai MSE yang sama yaitu  $6 \times 10^{-2}$ . Hasil tersebut tergolong buruk apabila dibandingkan dengan uji simulasi yang menunjukkan performa tertinggi pada penggunaan metode TDICA karena memiliki nilai MSE  $3 \times 10^{-8}$ .

**Kata kunci** - Akustik Bawah Air, Blind Source Separation, Independent Component Analysis

## I. PENDAHULUAN

Sinyal akustik merupakan suatu hal yang penting pada komunikasi bawah laut. Hal tersebut dikarenakan kemampuan sinyal akustik dalam hal perambatan dan atenuasi dalam air, lebih baik dibandingkan gelombang elektromagnetik. Hal ini menjadi alasan pemilihan sinyal akustik dalam aplikasi SONAR untuk komunikasi bawah laut, seperti observasi dan pemetaan bawah laut. Namun pada kenyataannya, penggunaan sinyal akustik terutama sonar pasif menemui banyak permasalahan. Keterbatasan *bandwidth*, pergerakan *vessel*, tingkat kompleksitas lingkungan akustik pada perairan, seperti bising dari kapal, *offshore oil rig*, kehidupan biologis laut, gelombang laut, serta *seismic noise* menyebabkan sinyal yang diterima *hydrophone (receiver)*, memerlukan pemrosesan lebih lanjut untuk mengekstraksi sinyal informasi yang dibutuhkan. Selain itu pemodelan propagasi gelombang pada medium air, memiliki kompleksitas yang tinggi, dan ketergantungan terhadap banyak variabel. Melihat tingkat kompleksitas tersebut, diperlukan suatu teknik yang mampu menyederhanakan proses pemodelan propagasi, serta rekonstruksi dari suara yang merambat dan tercampur dalam medium air.

*Blind Source Separation* (BSS) merupakan suatu teknik *source separation* tanpa adanya informasi awal terhadap sinyal tersebut. Salah satu teknik BSS yang populer adalah *Independent Component Analysis* (ICA). ICA melakukan separasi sinyal tercampur berdasarkan perbedaan karakteristik

statistik antara sinyal tercampur dengan sinyal yang tidak tercampur. ICA telah diterapkan pada banyak bidang, misalnya akustik, spektroskopi, dan EEG. Salah satu penelitian pada bidang akustik bawah air dengan menggunakan BSS-ICA dilakukan melalui simulasi pemisahan suara akustik bawah air dengan berbagai sumber suara dan algoritma pemisahan ICA [11]. Hasil simulasi menunjukkan, suara tercampur dapat terpisahkan dengan baik dengan nilai *cross correlation* mencapai 0.988 oleh. Namun pada penelitian tersebut proses pemisahan pada penerapan sinyal yang tercampur secara alami menemukan hasil yang tidak memuaskan.

Sebelumnya, [9] melalui penelitiannya, berhasil memisahkan suara dari beberapa mesin pompa dengan kerusakan yang berbeda menggunakan teknik BSS *Time Frequency Independent Component analysis* (TFICA) yang dilakukan secara bertahap (*multistage*) dan mendapat skor *Mean Square Error* (MSE) hingga  $1.7 \times 10^{-5}$ .

Permasalahan lain yang timbul pada penelitian dalam bidang akustik bawah air adalah dari segi pengaturan variabel fisis percobaan. Sebagian besar penelitian akustik bawah air dilakukan pada perairan laut terbuka yang notabene memiliki tingkat variasi variabel yang tinggi. Rujukan [1] mengajukan salah satu metode dalam menyelesaikan permasalahan ini dengan cara membangun sebuah miniatur laut dalam suatu tangki air *anechoic*.

Mengacu pada metode tersebut [15] melakukan analisis terhadap karakter perambatan suara pada akuarium *semi-anechoic* di Laboratorium Rekayasa Akustik dan Fisika Bangunan Teknik Fisika ITS. Pada penelitian [8] tentang penentuan waktu dengung pada akuarium yang sama, diketahui bahwa akuarium yang dirancang tergolong *semi-anechoic*, diindikasikan dengan rendahnya nilai waktu dengung yang didapatkan.

Berdasarkan uraian diatas diajukan metode pemisahan sumber suara tercampur bawah air dengan teknik *Time-Frequency ICA*. Pengambilan data suara dilakukan dalam akuarium *semi-anechoic*. Beberapa asumsi pada penelitian ini terkait media percobaan, serta alat diambil berdasarkan hasil dari penelitian sebelumnya.

## II. METODE PENELITIAN

Beberapa tahap yang dilakukan pada penelitian ini antara lain, penentuan sinyal uji yang akan digunakan. Kedua yaitu perekaman *single source* sinyal uji sebagai *baseline*, perekaman dilakukan di dalam akuarium *semi-anechoic*. Ketiga melakukan perekaman sumber bunyi multikanal. Tahap

pengolahan dilakukan dengan 2 cara, yaitu dengan pemisahan suara secara simulasi dan pemisahan suara dari perekaman sinyal tercampur. Proses pemisahan dilakukan dengan menggunakan 3 jenis metode yang berbeda *Time Domain ICA*, *Frequency Domain ICA*, dan *MultistageICA* (MSICA).

#### A. Penentuan sinyal Uji

Salah satu syarat dalam yang harus dipenuhi adalah sinyal sumber harus bersifat independen satu sama lain. Selain itu distribusi statistik dari sinyal yang akan diujikan tidak diperkenankan berupa distribusi gaussian. Distribusi gaussian diperkenankan hanya ada pada salah satu sinyal uji.

Tahap pengujian dilakukan dalam dua tahap pertama perekaman dalam media rambat udara, kedua dalam media rambat air. Tujuan dari pengambilan kedua data ini, selain untuk menguji distribusi statistik dan independensi sinyal uji, adalah untuk mengetahui perbedaan karakteristik perambatan di air dan di udara.

*Gaussianity* dari suatu variabel acak dapat diketahui dengan menguji nilai *kurtosis*. Nilai kurtosis dari suatu distribusi probabilitas ditunjukkan oleh persamaan berikut

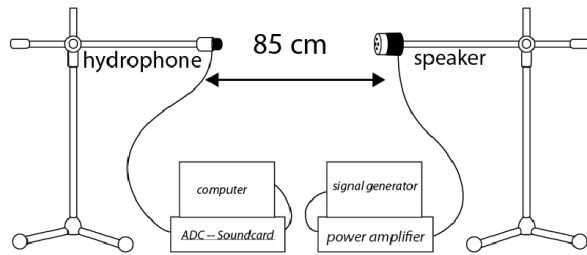
$$kurt(s) = E\{s^4\} - 3[E\{s^2\}]^2 \quad (1)$$

Dimana  $E\{s^4\}$  merupakan momen ke-4 dan  $E\{s^2\}$  merupakan momen kedua dari variabel acak ( $s$ ) [3].

Syarat Berikutnya adalah sinyal uji harus memiliki karakter independen yang kuat satu dengan yang lainnya. Pendekatan dari uji independensi dari dua buah variabel acak adalah berdasarkan nilai korelasi antar keduanya[6].

$$C(s_1, s_2) = E\{s_1 s_2\} - E\{s_1\}E\{s_2\} = 0 \quad (2)$$

Perekaman data di udara dilakukan di ruang semi-anechoic Laboratorium Rekayasa Akustik dan Fisika Bangunan Teknik Fisika ITS. Konfigurasi percobaan pada saat pengambilan data dapat dilihat pada gambar 1. Sinyal Uji yang digunakan dapat dilihat pada tabel 1. Perekaman data dilakukan dengan frekuensi sampling 44100Hz, 32bit per sample.

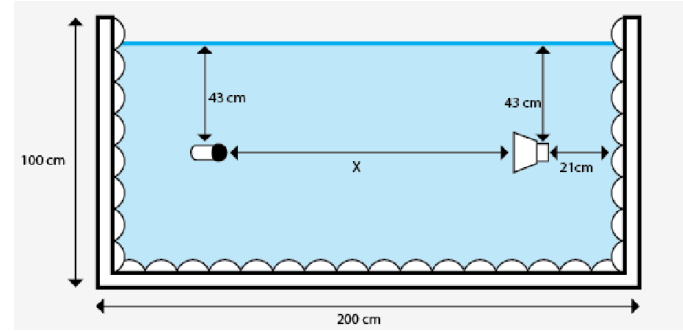


Gambar 1. konfigurasi pengambilan data di udara

Perekaman kedua dilakukan pada tangki air *semi-anechoic* di Laboratorium Rekayasa Akustik dan Fisika Bangunan Teknik Fisika ITS, berukuran panjang x lebar x tinggi berturut-turut 2m x 1m x 1m seperti terlihat pada Gambar 1. Kandungan garam, serta temperatur air pada saat percobaan berturut-turut adalah 3.5% dan 25°C. Spesifikasi lebih jelas dari tangki air dapat ditemukan pada [9].

Konfigurasi percobaan dilakukan seperti terlihat pada Gambar 2. Penentuan jarak antara sensor dan sumber mengacu pada medan bebas pada akuarium. Hal lain terkait jarak antara

*speaker* dan *hydrophone*, spesifikasi alat sinyal yang diuji dan prosedur perekaman data, disamakan dengan pengambilan data di udara.



Gambar 2. Konfigurasi Percobaan pengambilan data 1 sumber

Tabel 1.  
Sinyal Uji Independensi

No	Jenis Sinyal
1	Puretone 500hz
2	Puretone 600hz
3	Puretone 700hz
4	Puretone 800hz
5	Puretone 900hz
6	Puretone 1 khz
7	Ship noise
8	Sonar Ping

#### B. Simulasi Pencampuran Suara

Penentuan Independensi dari sinyal pada langkah sebelumnya menjadi penentu dari sinyal uji yang akan digunakan pada langkah ini. Simulasi pencampuran suara dilakukan dengan cara memodelkan *mixing matrix* yang merepresentasikan fungsi transfer dari sinyal yang dibangkitkan dua buah speaker dan yang diterima dua buah hydrofon. Simulasi disusun berdasarkan konfigurasi seperti pada Gambar 3 pada jarak 85 cm. Pada proses simulasi pencampuran dipergunakan asumsi *Instantaneous Mixture*, dan *mixing matrix* berupa *matrix square*. Pemodelan matematis dari *instantaneous mixture* ditunjukkan pada persamaan 3.

$$X(t) = AS(t) \quad (3)$$

dimana  $X(t) = [x_1(t), \dots, x_m(t)]^T$  adalah vektor dengan ukuran  $m$  dari sinyal hasil pengambilan data.  $S(t) = [s_1(t), \dots, s_n(t)]^T$ , dan  $A$  merupakan *mixing matrix*. Konstanta pada *mixing matrix* ditentukan berdasarkan gain dari hydrophone hasil kalibrasi (niken), terhadap fungsi jarak dan sudut terima. *Mixing matrix* yang digunakan adalah  $\begin{pmatrix} 0.15 & 0.1 \\ 0.15 & 0.22 \end{pmatrix}$ . Sinyal uji yang dicampurkan adalah sebagaimana ditunjukkan pada tabel 2.

Tabel 2  
Sinyal Uji Multi Input Multi Output

No	Sinyal Uji 1	Sinyal Uji 2
1	Ship noise	Sonar Ping
2	Sonar Ping	Puretone 900 hz
3	Ship Noise	Puretone 900 hz
4	Puretone 900hz	Puretone 1000 hz
5	Puretone 600 hz	Puretone 900 hz
6	Puretone 500 hz	Puretone 1000 hz

### C. Perekaman Data Percobaan

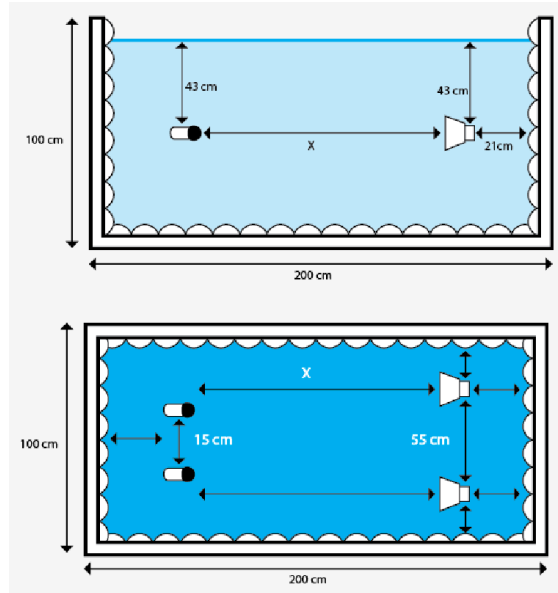
Pengambilan data sinyal tercampur dilakukan dengan menggunakan dua buah *speaker* dan 2 buah *hydrophone* yang disusun sedemikian rupa seperti pada Gambar 3. Terdapat tiga variasi dari jarak antara *hydrophone-speaker* yaitu 85 cm, 1 m, dan 1.5 m. Prosedur perekaman, serta peralatan yang digunakan pada percobaan pencampuran alami disamakan dengan pengambilan data sebelumnya.

Hal yang perlu diperhatikan pada tahap pengambilan data dengan *sensor array* (jumlah sensor lebih dari satu) adalah fenomena *spatial aliasing*. Pada Teknik perekaman suara dengan *microphone array*, Penentuan jarak antar mic harus memperhatikan ketentuan sebagai berikut:

$$d < \frac{\lambda}{2} \quad (4)$$

dimana  $d$  merupakan jarak antar mic/sensor, dan  $\lambda$  merupakan panjang gelombang maksimum pada sinyal uji. Perhitungan  $\lambda$  tentunya harus memperhatikan cepat rambat suara dalam medium, pada kasus ini medium berupa air garam dengan salinitas 3.5% dan temperatur 25° C, dan cepat rambat suara dalam medium 1468.37 m/s[15].

Asumsi yang digunakan pada proses pencampuran sinyal pada percobaan pengambilan data sama seperti pada saat simulasi yaitu *instantaneous mixture*. Asumsi tersebut diambil berdasarkan tingkat waktu dengung yang redah pada tangki air berdasarkan perhitungan waktu dengung [8].



Gambar 3. Konfigurasi Percobaan pengambilan rekaman Sinyal tercampur. Tampak samping (atas), tampak atas (bawah)

Dalam pemrosesan sinyal digital, besar *frequency sampling* ( $F_s$ ) juga hal yang patut diperhitungkan. Rendahnya frekuensi sampling dapat menyebabkan fenomena frekuensi aliasing, sehingga *tone* yang tinggi dapat ter-aliasing menjadi *tone* dengan frekuensi yang rendah lebih rendah. Pada pengambilan data ini *frequency sampling* diatur pada 44100 Hz, yang merupakan *frequency sampling* standar pada sinyal *audible* (20-20.000Hz). Keseluruhan sinyal uji yang digunakan merupakan sinyal *audible*, sehingga  $F_s$  yang digunakan telah melalui teorema sampling Nyquist.

### D. Pemisahan Suara

Pengolahan data dilakukan dengan menggunakan teknik Time-Domain ICA, Frequency-Domain ICA, dan Multistage-ICA. Apabila kita melihat tinjau persamaan 3, variabel yang kita ketahui hanya berupa sinyal rekaman tercampur ( $X$ ), sehingga persamaan tersebut dapat kita tulis kembali sebagai berikut:

$$\begin{aligned} S(t) &= A^{-1} \cdot X(t) \\ S(t) &= W \cdot X(t) \end{aligned} \quad (5)$$

Tujuan dari penerapan algoritma TFICA adalah untuk mendapatkan matrix  $W$ , demixing matrix, yang merupakan *inverse* dari matrix  $A$  sehingga sinyal sumber  $S$  dapat diestimasi berdasarkan sinyal hasil observasi.

#### Preprocessing

Tahap awal dibagi menjadi dua, yaitu *centering* dan *whitening*. *Centering* dilakukan dengan cara mengurangi sinyal dengan nilai rata-ratanya.

$$x = x' - E\{x'\} \quad (6)$$

Tahap selanjutnya adalah *whitening*, atau sering pula disebut dengan *sphering*. Metode yang digunakan pada tahap ini adalah *eigenvalue decomposition of covariace matrix*.

$$E\{xx^T\}^{-1/2} = ED^{-1/2}E^T \quad (7)$$

dimana  $E$  merupakan matrix ortogonal dari eigenvektor  $E\{xx^T\}$  dan  $D$  merupakan matrix diagonal dari eigenvaluenya. pada dasarnya  $E\{xx^T\}$  merupakan matrix kovarian sehingga penyelesaian whitening matrix ( $V$ ) cukup dengan mencari negatif akar kudarat dari nilai matrix kovariannya saja.

$$V = E\{xx^T\}^{-1/2} \quad (8)$$

#### Short-Time Fourier Transform (STFT)<sup>[10]</sup>

Analisis dan iterasi pada FDICA dilakukan dalam domain frekuensi. Transformasi ke domain frekuensi dilakukan dengan menggunakan STFT.

STFT didapatkan dengan cara melakukan FFT pada setiap sinyal ter-window.

$$x(m, \omega) = FFT\{x(n) \cdot w\left(n - m \cdot \frac{N}{2}\right)\} \quad (9)$$

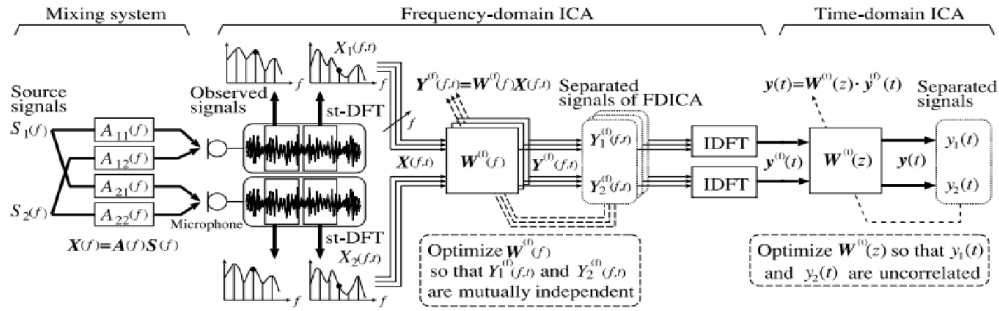
$x$  merupakan sinyal diskrit, dan  $w$  merupakan window, perkalian antara  $x$  dan  $w$  menghasilkan sinyal yang terkuantisasi. Selanjutnya untuk merekonstruksi kembali sinyal ke dalam domain waktu digunakan persamaan berikut

$$x(n) = \sum_m \left[ x(m, n) \cdot w\left(n - m \cdot \frac{N}{2}\right) \right] \quad (10)$$

dimana  $y$  merupakan sinyal hasil rekonstruksi dengan *Inverse Short-Time Fourier Transform*. Tahapan STFT dan ISTFT hanya dilakukan pada penerapan metode FDICA dan MSICA.

#### TDICA, FDICA, dan MSICA

Tahap terpenting adalah proses pemisahan suara, pada penelitian ini digunakan 3 metode, yaitu TDICA, FDICA, dan MSICA, keseluruhan prosedur dari ketiga metode



Gambar 4. Diagram Proses Penentuan Sinyal Estimasi dengan Multistage ICA<sup>[7]</sup>

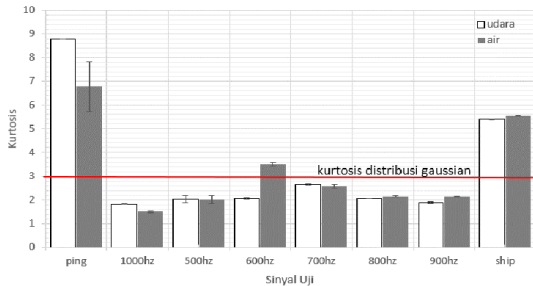
direpresentasikan pada Gambar 4. Algoritma pemisahan dilakukan dengan menggunakan teknik seperti yang diajukan oleh [2],[5], dan [7].

### III. ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

#### A. Hasil Pengolahan Data

##### Uji Independensi

Penentuan independensi antara sinyal satu dan sinyal yang lain. Berdasarkan nilai kurtosis pada masing-masing sinyal uji, sinyal 700 Hz memiliki nilai kurtosis mendekati nilai 3 yang merupakan identitas dari distribusi normal, sehingga pada pengolahan selanjutnya sinyal ini tidak akan dipergunakan.



Gambar 5. Nilai kurtosis dari Beberapa Sinyal yang Diuji. Garis Merah mengindikasikan nilai kurtosis dari distribusi normal (Gaussian).

Karakteristik independen didekati dengan mencari nilai kovarian berdasarkan kemungkinan permutasi antara sinyal uji yang akan digunakan. Hasil uji independensi berdasarkan Persamaan 2 ditunjukkan pada Tabel 3. Berdasarkan Tabel 3 nilai kovarian tertinggi ada pada sinyal 900Hz dan 600Hz serta 500Hz dan 1000Hz. Hal ini disebabkan sinyal 1000Hz merupakan harmonik dari 500 Hz, sehingga karakteristik independen tidak sekuat kombinasi sinyal yang lain. Namun, asumsi sinyal independen tetap diambil dikarenakan nilai kovarian yang masih tergolong kecil

Tabel 3  
Nilai Kovarian Antar Sinyal Uji

sinyal	1KHz	500Hz	600Hz	700Hz	800Hz	900Hz	ping	ship
1KHz		-0.011	0.0007	-4E-05	6E-05	-6E-05	-7E-04	3E-05
500Hz	-0.011		0.0027	0.001	5E-05	0.0003	0.0003	-1E-04
600Hz	0.0007	0.003		-0.003	1E-05	0.0174	-6E-05	3E-05
700Hz	-4E-05	0.001	-0.003		-2E-05	-5E-05	7E-05	-5E-06
800Hz	6E-05	5E-05	1E-05	-2E-05		-2E-04	1E-05	0.0002
900Hz	-6E-05	3E-04	0.0174	-5E-05	-0.0002		-1E-04	-5E-05
ping	-7E-04	3E-04	-6E-05	7E-05	1E-05	-1E-04		-6E-05
ship	3E-05	-1E-04	3E-05	-5E-06	0.0002	-5E-05	-6E-05	

#### Simulasi Pencampuran dan Pemisahan Sinyal

Proses pencampuran sinyal pada tahap simulasi dilakukan dengan cara perkalian sinyal sumber dengan *mixing matrix*, sehingga didapatkan dua buah sinyal tercampur, yang merepresentasikan sinyal yang tertangkap oleh dua buah sensor *hydrophone*. Tabel 4 menunjukkan performa pemisahan dari sinyal simulasi yang diindikasikan dengan skor MSE sinyal tersebut.

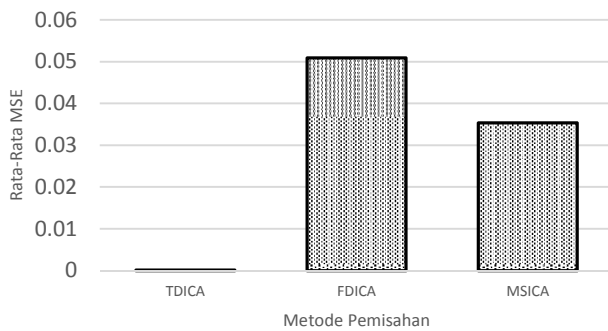
Tabel 4  
Nilai MSE Sinyal Hasil Pemisahan TDICA dari Simulasi Pencampuran Sinyal

Sinyal 1	Sinyal 2	TDICA		FDICA		MSICA	
		MSE 1	MSE 2	MSE 1	MSE 2	MSE 1	MSE 2
ship	ping	1.36E-07	2.09E-07	0.051	0.015	0.011	0.006
ping	900Hz	3.84E-07	4.91E-08	0.063	0.015	0.011	0.048
ship	900Hz	8.64E-05	4.58E-06	0.050	0.065	0.048	0.006
900Hz	1000Hz	5.19E-08	3.73E-07	0.079	0.065	0.048	0.062
600Hz	900Hz	1.36E-06	2.2E-07	0.064	0.020	0.022	0.061
500Hz	1000Hz	3.22E-08	0.001115	0.077	0.042	0.035	0.062

Nilai MSE dari keseluruhan sinyal uji simulasi pemisahan sinyal tercampur dengan menggunakan metode TDICA menunjukkan performa separasi yang tinggi. Kecuali pada pencampuran frekuensi 500 Hz dan 1000 Hz. Sinyal *tone* 500 Hz memiliki frekuensi harmonik pada kelipatan bilangan bulatnya, contohnya 1000 Hz, dan 1500 Hz. Sinyal *Tone* 1000 Hz yang merupakan sinyal pencampur, berada pada nilai harmonik dari *tone* 500 Hz, sehingga proses pemisahan pada kombinasi pencampuran ini mengalami performa tidak sebaik kombinasi sinyal lain.

Nilai MSE dari keseluruhan sinyal uji simulasi pemisahan suara tercampur dengan menggunakan metode FDICA dan MSICA tidak memperoleh skor sebaik metode FDICA. Proses STFT pada bagian FDICA, menyebabkan sinyal tidak dapat terekonstruksi dengan sempurna pada saat transformasi balik ISTFT. MSE mengukur sinyal berdasarkan bentuk gelombang (*waveform*). Meskipun frekuensi fundamental dari tiap sinyal tercampur telah terpisah, namun dikarenakan sinyal tidak dapat terekonstruksi secara baik ke dalam domain waktu, sinyal tersebut cenderung mendapatkan skor MSE tinggi yang menunjukkan performa pemisahan yang rendah.

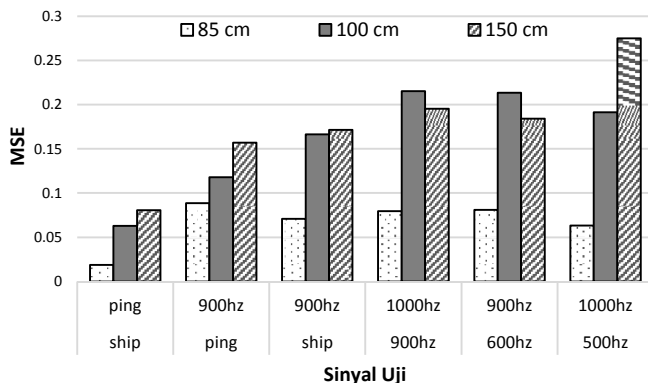
Perbandingan unjuk kerja pada masing-masing metode pemisahan yang dilakukan, dapat dilihat pada Gambar 6. Nilai MSE pada tiap metode yang ditampilkan merupakan nilai rata-rata dari keseluruhan nilai MSE dari sinyal estimasi yang didapat pada penggunaan masing-masing metode.



Gambar 6. Performa Pemisahan Ketiga Jenis Metode Pemisahan Berdasarkan Nilai Rata-Rata MSE. Gambar tersebut menunjukkan TDICA memiliki unjuk kerja tertinggi pada simulasi pemisahan, dibandingkan 2 metode lain.

### Pemisahan Rekaman Suara Tercampur

Perlakuan yang diberikan pada tahap pengolahan antar sinyal simulasi dan saat pengolahan data campuran alami, tidak jauh berbeda. Perbedaan yang paling mendasar adalah, mengeliminasi faktor mixing matrix, karena pada data ini telah didapatkan sinyal tercampur secara alami, yang merupakan data perekaman pada dua buah *hydrophone*. Skor MSE sinyal hasil pemisahan dengan menggunakan metode TDICA menunjukkan penurunan performa yang sangat jauh apabila dibandingkan dengan saat uji simulasi. Skor MSE terendah hanya mencapai nilai 0.014533 sangat jauh apabila dibandingkan saat uji simulasi yang mencapai  $4.91 \times 10^{-8}$ .

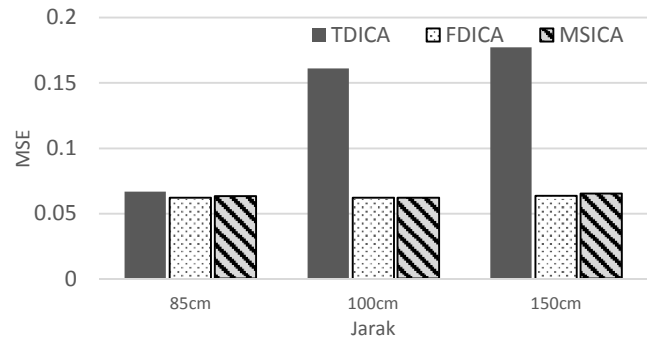


Gambar 7. Grafik MSE Pada Tiap Sinyal Estimasi dengan Menggunakan TDICA

Berdasarkan Gambar 7, penggunaan sinyal uji dengan distribusi *super-gaussian* (memiliki nilai kurtosis diatas distribusi Gaussian), diketahui menunjukkan performa tertinggi apabila dibandingkan dengan sinyal uji lain (lihat Gambar 5 untuk nilai kurtosis sinyal). Karakteristik independen juga menunjukkan bahwa sinyal uji dengan nilai kovarian terkecil pada uji independensi, seperti sinyal 1000 Hz dan 500 Hz akan memperoleh unjuk kerja yang lebih buruk dibandingkan sinyal lain.

Evaluasi dari keseluruhan metode yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 8. Gambar 8 Menunjukkan bahwa metode FDICA dan MSICA memiliki performa lebih baik dibandingkan dengan TDICA. Hal ini berkebalikan dengan hasil uji simulasi, yang menunjukkan bahwa metode TDICA memiliki unjuk kerja yang tertinggi dibandingkan dua metode

lain. Selain itu Metode FDICA dan MSICA juga menunjukkan performa yang relatif stabil pada penambahan jarak antara *hydrophone* dengan sumber.

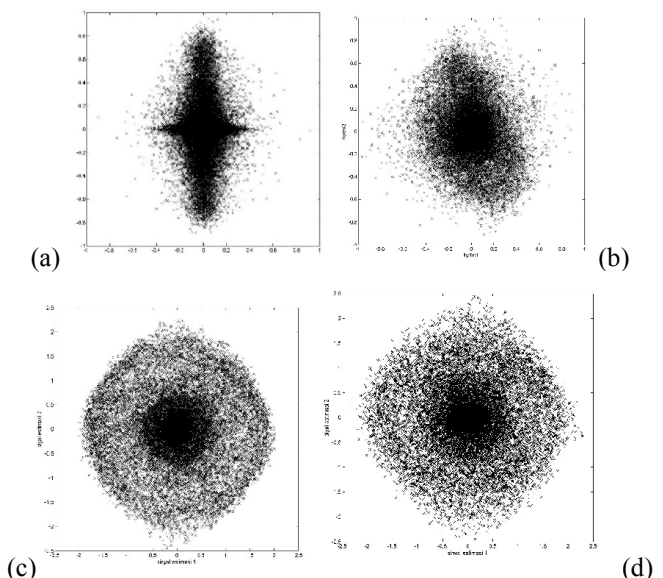


Gambar 8. Perbandingan rata-rata Nilai MSE dari Masing-Masing Metode Pemisahan. Metode FDICA dan MSICA memiliki skor MSE yang stabil terhadap pertambahan jarak rekaman sinyal. Sebaliknya, performa metode TDICA berkurang seiring pertambahan jarak rekaman.

### B. Pembahasan

Pada kasus pemisahan suara tercampur dalam tangki dimana sinyal tercampur secara alami, diterapkan proses yang sama dengan pada saat simulasi. Hasil penerapan pada ketiga teknik menunjukkan performa di bawah simulasi. Pada beberapa uji sinyal tidak mampu terpisahkan, namun ada beberapa yang mampu mereduksi komponen pencampur khususnya pada penggunaan teknik MSICA.

Performa metode TDICA menurun jauh pada pemisahan sinyal tercampur secara alami dibandingkan pada saat uji simulasi. Faktor yang dicurigai menjadi penyebab dari kejadian ini adalah adanya fenomena *scattering* pada perambatan suara dalam tangki air. Hal ini diperkuat dengan berubahnya distribusi data dari sinyal terekam seperti yang diperlihatkan pada Gambar 9. Fenomena tersebut terjadi akibat pemantulan suara dari lapisan permukaan air di tangki.



Gambar 9. Distribusi Data Sinyal Uji Ship dan Ping ; (a) Perekaman Tunggal; (b) Perekaman Campuran Jarak 85 cm; (c) Perekaman Campuran Jarak 100 cm; (d) Perekaman Campuran jarak (150cm)



Pada gambar tersebut terlihat semakin jauh jarak pengukuran sinyal tercampur, distribusi data kedua sinyal semakin mendekati gaussian, sehingga asumsi sinyal independen tidak lagi berlaku.

#### IV. KESIMPULAN

##### A. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat ditarik kesimpulan:

1. Hasil simulasi dengan mencampurkan suara rekaman tunggal dalam tangki dengan menggunakan suatu *mixing matrix* telah berhasil dilakukan, dan menghasilkan kerja tinggi ditunjukkan dengan nilai MSE yang mencapai  $3.8 \times 10^{-8}$ . Unjuk kerja tertinggi ditunjukkan pada penggunaan metode TDICA.
2. Pada pemisahan suara dari sinyal tercampur dalam akuarium menunjukkan performa yang jauh lebih rendah dari simulasi, MSE terkecil hanya mencapai nilai 0.01. Metode FDICA dan MSICA memberikan hasil yang hampir sama, jauh lebih baik dibandingkan dengan metode TDICA.

##### B. Saran

Dari kesimpulan yang diperoleh ada beberapa hal yang perlu diperhatikan dan dianjurkan terhadap penelitian serupa:

1. Penggunaan filter pada tahap data akusisi, untuk menghilangkan efek sinyal terdistorsi.
2. Pengujian dilakukan dengan sudut yang berbeda antar speaker *hydrophone* 1 dan speaker *hydrophone* 2.
3. Pada pengujian dengan menggunakan puretone sebaiknya digunakan sinyal dengan frekuensi yang tidak harmonik, misalnya 433 Hz dan 877 Hz.
4. Perlu dilakukan pemodelan pencampuran konvolutif (*convolutive mixture*), dalam pengujian pemisahan bunyi tercampur dalam akuarium *semi-anechoic*.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Cochard, N., Lacoume, J. L. 2000 "Underwater Acoustic Noise Measurement in Test Tank". IEEE Journal of Oceanic Engineering, 25(1)
- [2] Hirata, Noburo., Ikeda, Shiro. 1998, "An Online Algorithm for Blind Source Separation on Speech Signal", Proc. 1998 International Symposium On Nonlinear Theory and Its Application .NOLTA'98.
- [3] Hyvarinen, A., Karhunen, J., dan Oja, E. 2001. "Independent Component Analysis: Kurtosis And Classification of Densities". New York: John Wiley & Sons.
- [4] Hyvarinen, A., Karhunen, J., dan Oja, E. 2001, "Independent Component Analysis: Basic Independent Component Analysis". New York: John Wiley & Sons.
- [5] Kawamoto, M., Matsuoka, K., dan Ohnishi, N. 1998. "A method of blind separation for convolved non-stationary signals". Elsevier Neurocomputing 22 :157-171
- [6] Naik, G.R., Kumar, D.K. 2011 "An Overview of Independent Component Analysis and Its Application", Informatica 35.
- [7] Nishikawa, T., Saruwatari, H., dan Shikano, K. 2003. "Blind Source Separation of Acoustic Signals Based on Multistage ICA Combining Frequency-Domain ICA and Time-Domain ICA". IEICE Trans. Fundamentals, E86-A (4)
- [8] Pratiwi, I. 2013 . "Pengujian Sifat Anechoic Untuk Kelayakan Pengukuran Perambatan Bunyi Bawah Air Pada Akuarium". Tugas Akhir, Jurusan Teknik Fisika Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

- [9] Ridasari, F. 2012. "Penerapan Time Frequency Independent Component Analysis (TFICA) Untuk Mendeteksi Multi Kerusakan Pada Mesin Berputar", Tugas Akhir, Jurusan Teknik Fisika Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- [10] Selesnick, Van.W. Dec. 2009. "Short Time Fourier Transform and Its Inverse". <URL:[http://eeweb.poly.edu/iselesni/EL713/STFT/stft\\_invers\\_e.pdf](http://eeweb.poly.edu/iselesni/EL713/STFT/stft_invers_e.pdf)>
- [11] Sari, W.I.P., 2011. "Pemisahan Sinyal Akustik Bawah Air Menggunakan Metode Blind Separation of Source (BSS)", Tugas Akhir, Jurusan Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- [12] Saruwatari, H., Kawamura, T., dan Shikano, K. 2006, "Blind Source Separation for Speech Based on a Fast-Convergence Algorithm with ICA and Beamforming", IEEE Transactions on Audio, Speech & Language Signal Processing 14(2): 666-678.
- [13] Smith, S W, 2002. "Digital Signal Processing: Statistics, Probability and Noise". Oxford: Newness.
- [14] Urlick, R.J. 1983. Principle of Underwater Sound 3<sup>rd</sup> Edition. McGraw-Hill
- [15] Yuwono, N. 2012. "Analisa Perambatan Suara Bawah Air Sebagai Fugsi Kadar Garam dan Suhu Pada Akuarium Anechoic". Tugas Akhir, Jurusan Teknik Fisika Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.