



**TUGAS AKHIR-TF 091381**

**EVALUASI UNJUK KERJA *MICROPHONE ARRAY*  
MENGUNAKAN METODE *TIME-FREQUENCY*  
*INDEPENDENT COMPONENT ANALYSIS***

**RIZKA WAHYU NOVITASARI**  
NRP 2412 105 025

Dosen Pembimbing  
Dr.Dhany Arifianto, S.T., M.Eng.

**JURUSAN TEKNIK FISIKA**  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2014



**FINAL PROJECT-TF 091381**

# **EVALUATION OF MICROPHONE ARRAY PERFORMANCE USING TIME-FREQUENCY INDEPENDENT COMPONENT ANALYSIS**

**RIZKA WAHYU NOVITASARI**  
**NRP 2412 105 025**

Supervisor  
**Dr.Dhany Arifianto, S.T., M.Eng.**

**DEPARTEMENT OF ENGINEERING PHYSICS**  
**Faculty of Industrial Technology**  
**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**  
**Surabaya 2014**

**EVALUASI UNJUK KERJA *MICROPHONE ARRAY*  
MENGUNAKAN METODE *TIME-FREQUENCY*  
*INDEPENDENT COMPONENT ANALYSIS***

**TUGAS AKHIR**

Oleh :

**RIZKA WAHYU NOVITASARI**

**NRP. 2412 105 025**

**Surabaya, 4 Agustus 2014  
Mengetahui/Menyetujui**

**Pembimbing,**



**Dr. Dhanv Arifianto, S.T.,M.Eng**

**NIP. 19731007199802 1 001**

**Ketua Jurusan  
Teknik Fisika FTI-ITS**



**Dr. Ir. Totok Soehartanto, DEA**

**NIP.196503091990021001**

**EVALUASI UNJUK KERJA MICROPHONE ARRAY  
MENGUNAKAN METODE TIME-FREQUENCY  
INDEPENDENT COMPONENT ANALYSIS**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Bidang Studi Rekayasa Akustik dan Fisika Bangunan  
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Fisika  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**RIZKA WAHYU NOVITASARI**  
**NRP. 2412 105 025**

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Dr. Dhany Arifianto, S.T., M.Eng  (Pembimbing)
2. Ir. Wiratno Argo Asmoro, M.Sc  (Ketua Penguji I)
3. Dr. rer. nat. Ir. Aulia M.T.  (Penguji II)  
Nasution, M.Sc
4. Andi Rahmadiansah, S.T.,M.T.  (Penguji III)
5. Irwansyah, S.T., M.T.  (Penguji IV)

**SURABAYA**  
**Agustus, 2014**

# EVALUASI UNJUK KERJA *MICROPHONE ARRAY* MENGUNAKAN METODE *TIME-FREQUENCY* *INDEPENDENT COMPONENT ANALYSIS*

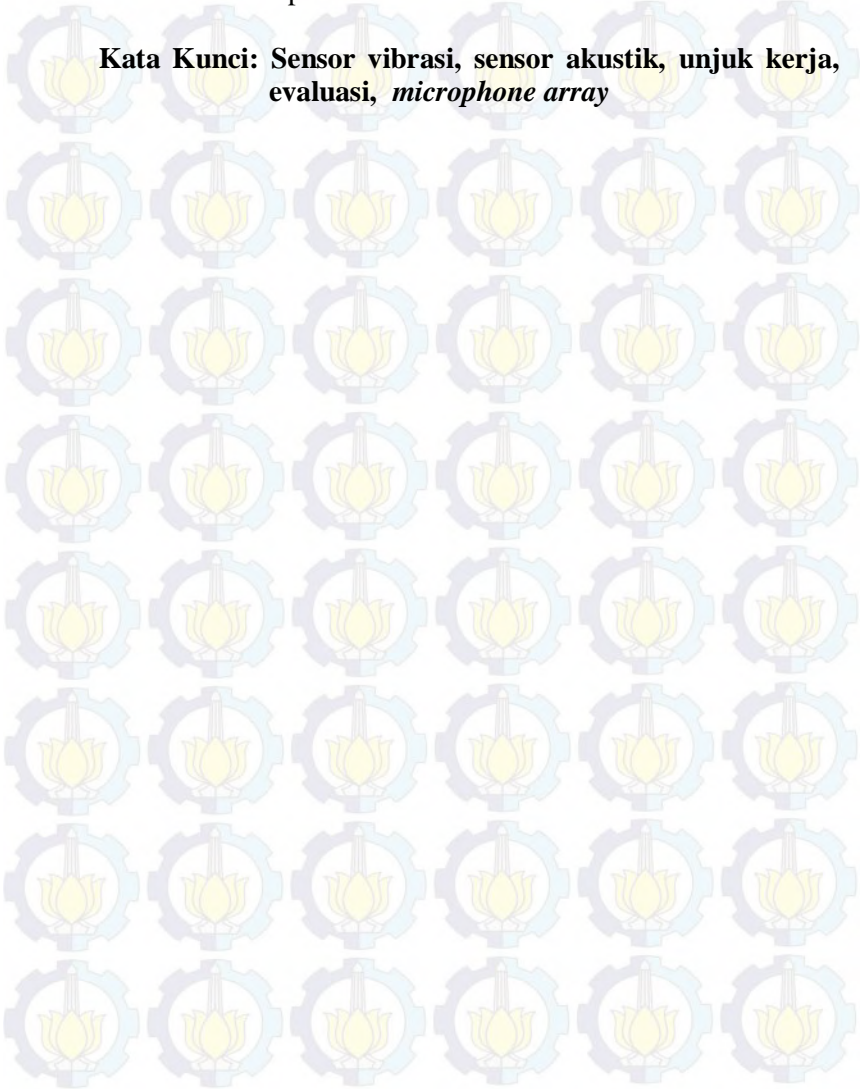
Nama Mahasiswa : Rizka Wahyu Novitasari  
NRP : 2412 105 025  
Jurusan : Teknik Fisika  
Dosen Pembimbing : Dr. Dhany Arifianto, S.T, M.Eng.

## Abstrak

Penggunaan sensor kontak dalam melakukan *Monitoring* vibrasi telah dikenal luas untuk mengetahui kondisi suatu mesin berputar, sehingga dapat diambil langkah korektif dan antisipatif yang tepat. Dibalik hasil reliabel dari penggunaan sensor kontak dalam merepresentasikan kondisi mesin berputar, tingkat keamanan bagi pengguna merupakan suatu aspek yang banyak disorot. Salah satu jawaban dari fenomena ini adalah dengan menggunakan sensor non-kontak dengan memanfaatkan fitur emisi suara yang dibangkitkan oleh getaran dari mesin berputar tersebut. Penelitian ini membahas sensor akustik yang digunakan untuk mendeteksi kerusakan suatu mesin dengan dua jenis *microphone* dengan karakter respon yang berbeda serta sensor vibrasi. Hasil data *baseline*, dengan menggunakan tiga variasi sensor diperoleh ciri yang sama dengan teori. Pemisahan sinyal suara pompa yang memiliki multi kerusakan dilakukan dengan metode ICA (TDICA, FDICA dan MSICA) dengan variasi jarak *microphone array* 10 cm; 20 cm; 30 cm dan variasi jarak sensor – sumber 15 cm; 30 cm; 45 cm. Hasil dari ketiga teknik ICA yang memiliki nilai MSE yang paling rendah adalah 0.043 dengan jarak *microphone array* 10 cm dan jarak sensor – sumber 30 cm. Evaluasi nilai MSE menunjukkan tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara performa ketiga metode yang digunakan. Ditinjau dari perbedaan spektrum sinyal estimasi dan sinyal *baseline* terdapat peningkatan

amplitudo, sehingga unjuk kerja *microphone array* terhadap data *baseline* dapat dikatakan baik.

**Kata Kunci:** Sensor vibrasi, sensor akustik, unjuk kerja, evaluasi, *microphone array*



# ***EVALUATION OF MICROPHONE ARRAY PERFORMANCE USING TIME-FREQUENCY INDEPENDENT COMPONENT ANALYSIS***

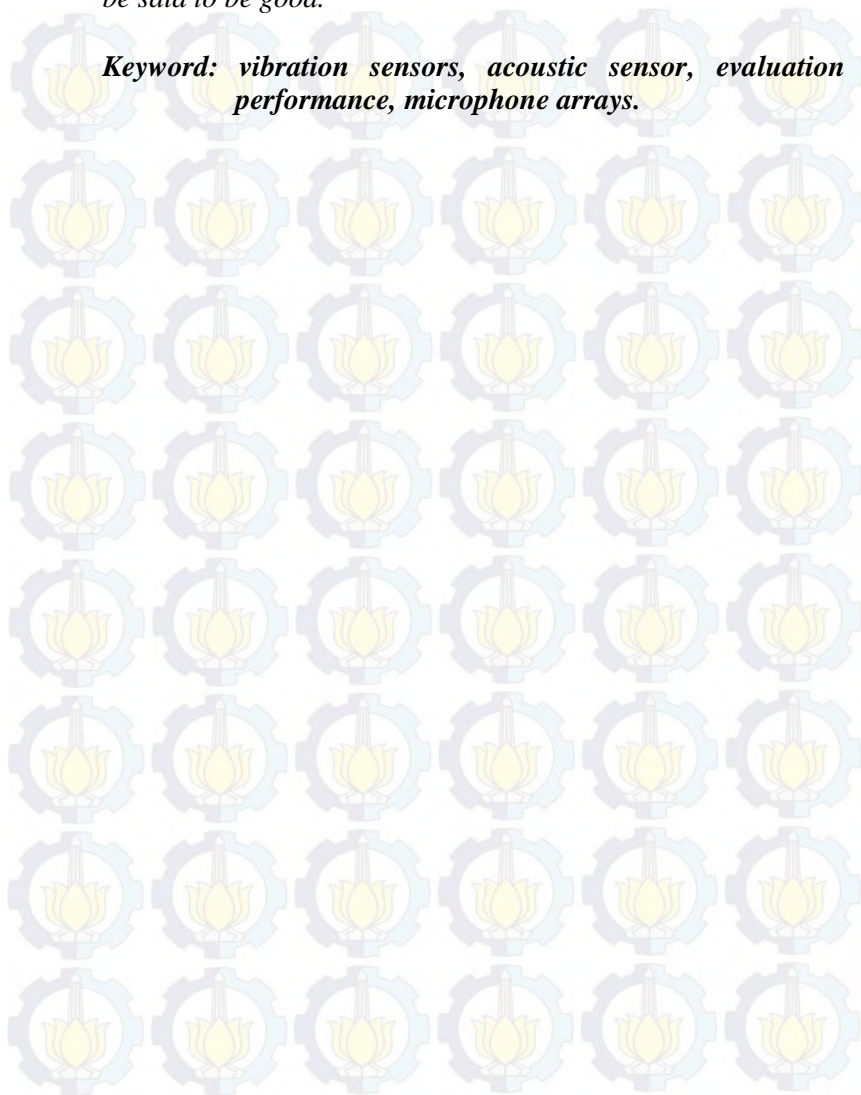
***Name*** : Rizka Wahyu Novitasari  
***NRP*** : 2412 105 025  
***Department*** : *Engineering Physics*  
***Supervisor*** : **Dr. Dhany Arifianto, S.T, M.Eng.**

## ***Abstract***

*The use of contact sensors in performing vibration monitoring has been widely known to determine the condition of an engine rotating, so that corrective measures can be taken and appropriate anticipatory. Behind reliable results from the use of contact sensors to represent the condition of rotating machines, the user's security level is an aspect that many highlighted. One answer to this phenomenon is to use a non-contact sensors by utilizing the features emisiss sound generated by the vibration of the spinning machine. This study discusses the acoustic sensors are used to detect damage to a machine with two types of microphones with different response characters and vibration sensors. The results of the baseline data, using three variations of the same sensor characteristics obtained with the theory. The separation of the speech signal which has a multi-pump damage done by the method of ICA (TDICA, FDICA and MSICA) with variation of microphone array distance of 10 cm; 20 cm; 30 cm and the variation of the distance sensor - the source of 15 cm; 30 cm; 45 cm. The results of these three ICA technique that has the lowest MSE value is 0.043 with an array microphone distance of 10 cm and a distance sensor - the source of 30 cm. Evaluation of the MSE showed no significant difference between the performance of the three methods used. Judging from the difference spectrum of the estimated signal and the baseline signal there is an increase in the amplitude, so that the*

*performance of the microphone array to the baseline data can be said to be good.*

***Keyword: vibration sensors, acoustic sensor, evaluation performance, microphone arrays.***





## KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas rahmat dan kebesaran-Nya sehingga laporan tugas akhir yang berjudul **“Evaluasi Unjuk Kerja Microphone Array Menggunakan Metode *Time-Frequency Independent Component Analysis*”** dapat terselesaikan. Pada kesempatan ini, penulis menyampaikan terimakasih banyak kepada semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini. Ucapan terimakasih secara khusus saya berikan kepada :

1. Keluarga tercinta Ibu Nurul, Bapak Mardjito, Maya, Mas Dian, Mbak Desti, Mbak Vita, Mas Hamid, dan krucil-krucil AfaAzka yang selalu memberi dukungan, do'a dan motivasi kepada penulis.
2. Bapak Dr. Dhany Arifianto S.T., M.Eng selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang telah memberikan bimbingan selama pengerjaan Tugas Akhir.
3. Ridhwan Juniarga Pribadi dan Baim yang telah membantu pengerjaan Tugas Akhir dan yang penulis repotkan.
4. Dr. Ir. Totok Soehartanto, DEA. selaku Ketua Jurusan Teknik Fisika Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
5. Bapak Hendra Cordova, S.T.,M.T selaku dosen wali.
6. Segenap Bapak/Ibu dosen pengajar yang telah memberikan ilmu selama kuliah di Jurusan Teknik Fisika FTI-ITS.
7. Anisatull, Senatull, Mbak Nikentull, Syamsul, Handoko, Uji, Mbak Cin, Mifta, Paklek, selaku teman seperjuangan yang telah memberikan motivasi dan semangat dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.

8. Semua teman – teman Lab. Rek. Akustik dan Fisika Bangunan, teman – teman Lintas Jalur, dan teman – teman kos yang tidak dapat disebutkan namanya satu persatu.

Ucapan terima kasih juga saya ucapkan atas segala masukan, kritik dan saran yang membangun dari pembaca agar laporan ini menjadi lebih baik dari sebelumnya. Semoga laporan ini dapat memberikan masukan informasi serta wacana yang bermanfaat.

Surabaya, 4 Agustus 2014

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b>	i
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b>	iii
<b>ABSTRAK</b>	v
<b>ABSTRACT</b>	vii
<b>KATA PENGANTAR</b>	ix
<b>DAFTAR ISI</b>	xi
<b>DAFTAR GAMBAR</b>	xiii
<b>DAFTAR TABEL</b>	xvii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	5
2.1 Pompa	5
2.2 Kerusakan Pompa	5
2.2.1 <i>Unbalance</i>	6
2.2.2 <i>Misalignment</i>	7
2.2.3 <i>Bearing Fault</i>	8
2.3 Sensor	9
2.3.1 <i>Shure Shotgun Microphone SM89</i>	9
2.3.2 <i>Microphone Array</i>	10
2.4 <i>Independent Component Analysis</i>	12
2.4.1 <i>Time – Frequency ICA</i>	14
2.5 <i>Mean Square Error</i>	16
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b>	17
3.1 Obyek Penelitian	17
3.2 Perekaman Data Penelitian	19
3.2.1 Perekaman Data <i>Baseline</i>	19
3.2.2 Perekaman Data Suara Tercampur	20

3.4 Pengolahan Data	23
<b>BAB IV PEMBAHASAN</b>	25
4.1 Perekaman Sinyal <i>Baseline</i>	25
4.1.1 <i>Baseline</i>	25
4.1.2 Perbandingan Sinyal <i>Baseline</i> Akustik dan Vibrasi	29
4.1.3 Pembahasan <i>Baseline</i>	36
4.2 Perekaman Sinyal Suara Tercampur	37
4.2.1 Evaluasi Unjuk Kerja ICA Sebagai Fungsi Perubahan Jarak Sensor - Sensor	37
4.2.2 Evaluasi Unjuk Kerja ICA Sebagai Fungsi Perubahan Jarak Sensor Array Pada 1 Pompa dengan 2 kerusakan	43
4.2.3 Evaluasi Unjuk Kerja ICA Sebagai Fungsi Perubahan Jarak Sensor Array Pada 2 Pompa dengan 4 kerusakan	57
4.2.4 Pembahasan Pemisahan Sinyal Suara	61
4.3 Performansi <i>Microphone Array</i>	62
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b>	65
5.1 Kesimpulan	65
5.2 Saran	65
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	
<b>LAMPIRAN A</b>	
<b>LAMPIRAN B</b>	

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b>	Skema Bagian Pompa yang Mengalami Kerusakan	5
<b>Gambar 2.2</b>	Spektrum frekuensi <i>analysis</i> <i>unbalance defect</i>	6
<b>Gambar 2.3</b>	Tipe <i>misalignment</i>	
<b>Gambar 2.4</b>	Spektrum frekuensi pada <i>angular misalignment</i>	8
<b>Gambar 2.5</b>	Spektrum frekuensi pada paralel <i>misalignment</i>	8
<b>Gambar 2.6</b>	Spektrum frekuensi pada kerusakan <i>bearing</i>	9
<b>Gambar 2.7</b>	Dimensi <i>Shure Shotgun SM89</i>	10
<b>Gambar 2.8</b>	<i>Typical Polar Patterns</i> Peredam	10
<b>Gambar 2.9</b>	Polar plot <i>linear array</i> menggunakan dua <i>microphone</i>	11
<b>Gambar 2.10</b>	Polar plot <i>linear array</i> menggunakan empat <i>microphone</i>	11
<b>Gambar 2.11</b>	Skema ICA	13
<b>Gambar 2.12</b>	Proses Pemisahan Sinyal MSICA	14
<b>Gambar 3.1</b>	<i>Mini plant</i>	17
<b>Gambar 3.2</b>	Konfigurasi pengambilan data <i>baseline</i>	19
<b>Gambar 3.3</b>	Konfigurasi pengambilan data rekaman 1 pompa 2 kerusakan dengan 2 sensor <i>array</i>	21
<b>Gambar 3.4</b>	Konfigurasi pengambilan data rekaman dua pompa dengan empat <i>microphone array</i>	22
<b>Gambar 4.1</b>	<i>Baseline</i> pompa normal dan <i>unbalance</i> 27 gram.cm ( <i>shotgun mic.</i> )	26
<b>Gambar 4.2</b>	<i>Baseline</i> pompa normal dan <i>unbalance</i> 27 gram.cm ( <i>mic. behringer</i> ) Pada Jari-Jari Kelima	27
<b>Gambar 4.3</b>	<i>Baseline</i> pompa normal dan <i>unbalance</i>	28

	27 gram.cm ( <i>accelerometer</i> )	
<b>Gambar 4.4</b>	Perbandingan spektrum frekuensi pada pompa normal	30
<b>Gambar 4.5</b>	Perbandingan spektrum frekuensi dengan 3 sensor pada pompa <i>unbalance</i> 6 gram.cm	31
<b>Gambar 4.6</b>	Perbandingan spektrum frekuensi dengan 3 sensor pada pompa <i>unbalance</i> 27 gram.cm	32
<b>Gambar 4.7</b>	Perbandingan spektrum frekuensi dengan 3 sensor pada pompa <i>misalignment</i> (1 mm)	33
<b>Gambar 4.8</b>	Perbandingan spektrum frekuensi dengan 3 sensor pada pompa <i>misalignment</i> (2 mm)	33
<b>Gambar 4.9</b>	Perbandingan spektrum frekuensi dengan 3 sensor pada pompa <i>misalignment</i> (3 mm)	34
<b>Gambar 4.10</b>	Perbandingan spektrum frekuensi pada <i>bearing fault</i>	35
<b>Gambar 4.11</b>	MSE terhadap perubahan jarak pada TDICA	38
<b>Gambar 4.12</b>	MSE terhadap perubahan jarak pada FDICA	39
<b>Gambar 4.13</b>	MSE terhadap perubahan jarak pada MSICA	39
<b>Gambar 4.14</b>	MSE terhadap metode yang berbeda pada jarak sumber – sensor 15 cm	41
<b>Gambar 4.15</b>	MSE terhadap metode yang berbeda dengan jarak sensor – pompa 30 cm	41
<b>Gambar 4.16</b>	MSE terhadap metode yang berbeda dengan jarak sensor – pompa 45 cm	42
<b>Gambar 4.17</b>	<i>Time Waveform</i> TDICA; (a) <i>Baseline behringer mic.</i> (b) <i>Baseline shotgun mic.</i> (c) <i>Baseline accelerometer</i> (d)	44

Sinyal tercampur dan (e) Sinyal estimasi

**Gambar 4.18** Spektrum Frekuensi TDICA; (a) 44  
*Baseline behringer mic.* (b) *Baseline shotgun mic.* (c) *Baseline accelerometer* (d) Sinyal tercampur dan (e) Sinyal estimasi

**Gambar 4.19** MSE satu pompa dua kerusakan 46 dengan TDICA

**Gambar 4.20** *Time Waveform* FDICA; (a) *Baseline behringer mic.* (b) *Baseline shotgun mic.* (c) *Baseline accelerometer* (d) Sinyal tercampur dan (e) Sinyal estimasi

**Gambar 4.21** Spektrum Frekuensi FDICA; (a) 49  
*Baseline behringer mic.* (b) *Baseline shotgun mic.* (c) *Baseline accelerometer* (d) Sinyal tercampur dan (e) Sinyal estimasi

**Gambar 4.22** MSE satu pompa dua kerusakan 50 dengan FDICA

**Gambar 4.23** MSE satu pompa dua kerusakan 51 dengan MSICA

**Gambar 4.24** *Time Waveform* MSICA; (a) *Baseline behringer mic.* (b) *Baseline shotgun mic.* (c) *Baseline accelerometer* (d) Sinyal tercampur dan (e) Sinyal estimasi

**Gambar 4.25** Spektrum Frekuensi MSICA; (a) 53  
*Baseline behringer mic.* (b) *Baseline shotgun mic.* (c) *Baseline accelerometer* (d) Sinyal tercampur dan (e) Sinyal estimasi

**Gambar 4.26** Nilai MSE pada kerusakan pompa 55  
*unbalance* 27 gram.cm dan

	<i>misalignment</i> 1 mm	
<b>Gambar 4.27</b>	Nilai MSE pada kerusakan pompa <i>bearing</i> dan <i>unbalance</i> 6 gram.cm	55
<b>Gambar 4.28</b>	Nilai MSE pada kerusakan pompa <i>bearing</i> dan <i>misalignment</i> 3 mm	56
<b>Gambar 4.29</b>	Nilai MSE pada kerusakan pompa <i>unbalance</i> 6 gram.cm dan <i>misalignment</i> 2 mm	56
<b>Gambar 4.30</b>	Evaluasi unjuk kerja sensor <i>array</i> dua sensor empat kerusakan pompa dengan TDICA	58
<b>Gambar 4.31</b>	Evaluasi unjuk kerja sensor <i>array</i> dua sensor empat kerusakan pompa dengan FDICA	59
<b>Gambar 4.32</b>	Evaluasi unjuk kerja sensor <i>array</i> dua sensor empat kerusakan pompa dengan MSICA	60
<b>Gambar 4.33</b>	<i>Baseline unbalance</i> sensor akustik	63
<b>Gambar 4.34</b>	<i>Baseline unbalance</i> sensor vibrasi	63
<b>Gambar 4.35</b>	Sinyal estimasi ( <i>unbalance</i> )	63



## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 3.1</b>	Konfigurasi Pompa <i>Baseline</i>	20
<b>Tabel 3.2</b>	Konfigurasi satu pompa dua kerusakan	21
<b>Tabel 3.3</b>	Konfigurasi dua pompa empat kerusakan	22
<b>Tabel 4.1</b>	Data amplitudo masing – masing frekuensi pada <i>unbalance</i>	31
<b>Tabel 4.1</b>	Data amplitudo masing – masing frekuensi pada <i>misalignment</i>	34

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

*Maintenance* merupakan hal yang sangat penting bagi suatu mesin dengan tujuan utama untuk membuat mesin tersebut memiliki *availability* atau ketersediaan yang tinggi untuk dapat melaksanakan fungsinya dalam proses produksi. Salah satu metode *maintenance* yang digunakan adalah *predictive maintenance* yang digunakan untuk menentukan kondisi peralatan untuk memprediksi kapan *maintenance* harus dilakukan. *Predictive maintenance* yang biasanya digunakan pada mesin – mesin berputar di industri dilakukan dengan *monitoring* secara *online*. Selama ini sensor vibrasi yang digunakan adalah sensor *contact* dengan *accelerometer*.

Gao Lixin, dkk (2011) melakukan penelitian dan menyatakan sebagian energi dari suatu getaran diteruskan melalui emisi suaranya. Penelitian ini mengusulkan menggunakan sensor akustik dengan menggunakan *microphone* sebagai pengganti sensor vibrasi sebagai prediksi kerusakan suatu mesin. Namun, suara mesin pada industri tidak hanya berasal dari satu sumber. Terdapat banyak mesin yang bekerja sehingga untuk memperoleh suara salah satu dari mesin diperlukan suatu metode untuk memecahkan suara tercampur tersebut untuk memperoleh suara mesin yang dipantau/*monitoring*.

Hyvarinen A, dkk (2000) sebelumnya pernah melakukan pemisahan sinyal tercampur yang dilakukan dengan menggunakan *Independent Component Analysis* (ICA) dan pada dengan metode ini dapat digunakan pada *image processing*, *audio processing*, *biomedical signal processing*, telekomunikasi dan ekonometrik. Rida (2012) telah melakukan penelitian pemisahan sinyal suara tercampur dengan menerapkan metode *Independent Component Analysis* (ICA) untuk mendeteksi *multi* kerusakan pada pompa dengan

menggunakan sensor *microphone array cardioid* pada *mini plant* pompa di Ruang Kedap Suara Laboratorium Rekayasa Akustik dan Fisika Bangunan Teknik Fisika ITS.

Zuhdi (2013) melakukan penelitian tentang deteksi sumber bising pada *plant* pompa menggunakan *linear microphone array* dan *nonlinear microphone array*. Penggunaan *microphone array* sebagai sensor pada penelitian memperkuat propagasi sumber dari berbagai arah dan memaksimalkan seleksi spasial. Penggunaan *microphone array* hampir sama dengan *microphone shotgun* yang bisa menangkap sumber suara. *Microphone shotgun* memiliki keistimewaan mempertajam suara, jadi suara lemah dan jauh dapat ditangkap oleh *microphone shotgun* karena *microphone shotgun SM89* memiliki karakteristik satu arah.

Beberapa penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, penulis akan melakukan penelitian tentang pemisahan sinyal suara tercampur pada multi kerusakan pompa dengan menerapkan metode *Time Frequency Independent Component Analysis* (TFICA) dengan menggunakan *Time Domain ICA* dan *Frequency Domain ICA* untuk mendeteksi *multi* kerusakan yang terjadi pada mesin berputar dengan menggunakan sensor *microphone array* behringer XM 1800S dengan evaluasi data *baseline* menggunakan sensor *shure shotgun microphone SM89*.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan uraian pada latar belakang dapat di rumuskan apakah *microphone array behringer* bisa mendeteksi multi kerusakan dan apakah frekuensi akustik setara dengan frekuensi vibrasi.

## **1.3 Batasan Masalah**

Agar pembahasan tidak meluas dan menyimpang dari tujuan dan rumusan masalah, akan diberikan beberapa batasan permasalahan dari penelitian ini, yaitu sebagai berikut:

1. Mesin yang digunakan adalah mesin berputar berupa pompa air merk Panasonic GP – 129JXX
2. Kerusakan pompa yang dideteksi adalah kerusakan *unbalance*, *bearing fault* dan *misalignment*
3. Sensor yang digunakan adalah *shure shotgun microphone SM89* dan *microphone array (Microphone Behringer XM 1800S)* untuk merekam sinyal akustik dari mesin pompa merk Panasonic GP – 129JXX
4. Metode yang dipakai untuk memisahkan sinyal suara mesin adalah FDICA, TDICA dan MSICA.
5. Variabel yang dianalisis adalah spektrum suara mesin.

#### **1.4 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini yakni untuk mengetahui performansi sensor *array* sebagai fungsi jarak sensor – sensor dan jarak sensor – sumber dengan menggunakan FDICA, TDICA dan MSICA terhadap data *baseline* menggunakan satu sensor *microphone shotgun* dan *accelerometer* untuk deteksi multi kerusakan *unbalance*, *bearing fault* dan *misalignment* pada pompa.

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

Penelitian tugas akhir ini diharapkan mampu memberikan manfaat bagi penelitian selanjutnya dalam kalangan mahasiswa dan mampu membawa manfaat bagi industri untuk mendeteksi kerusakan pada mesin berputar dengan menggunakan solusi pemisahan sinyal dari satu sumber yang memiliki dua jenis kerusakan pada satu mesin dengan menggunakan dua sensor yang berbeda. Penelitian ini diharapkan mampu menguji kualitas performansi dari sensor *microphone array* dan *microphone shotgun*. Sehingga dapat memberikan solusi ekonomis untuk mendeteksi multi kerusakan pada pompa.



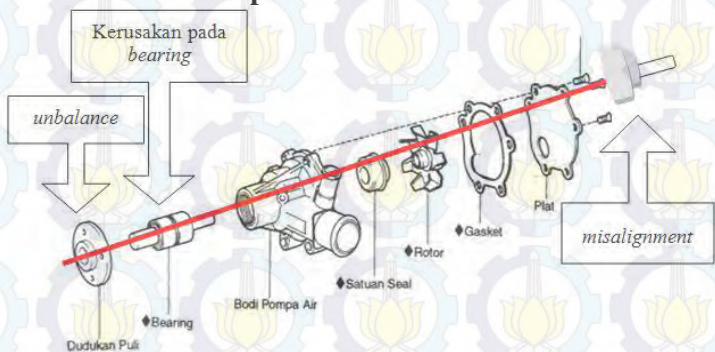
**Halaman ini sengaja dikosongkan**

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Pompa

Pompa merupakan salah satu aplikasi mesin berputar. Peralatan mekanik yang digunakan untuk memindahkan suatu fluida dari suatu tempat ke tempat yang lain dengan cara menaikkan tekanan fluida. Tekanan fluida tersebut dinaikkan untuk mengatasi hambatan fluida seperti perbedaan tekanan, perbedaan ketinggian atau hambatan gesek supaya pada pengaliran supaya fluida dapat berpindah tempat. Pompa diklasifikasikan menjadi dua bagian yaitu pompa kerja positif (*positive displacement pump*) dan pompa kerja dinamis (*non positive displacement pump*). Pompa merk Panasonic GP – 129JXK yang digunakan untuk penelitian ini merupakan pompa air, yaitu salah satu jenis pompa dinamis yang memiliki prinsip kerja mengubah energi kecepatan (kinetis) dari fluida menjadi energi potensial (dinamis) melalui *impeller* yang berputar yaitu dengan meningkatkan kecepatan fluida dengan gaya sentrifugal yang bekerja pada *impeller* untuk digunakan mendorong fluida ke sisi luar.

### 2.2 Kerusakan Pompa

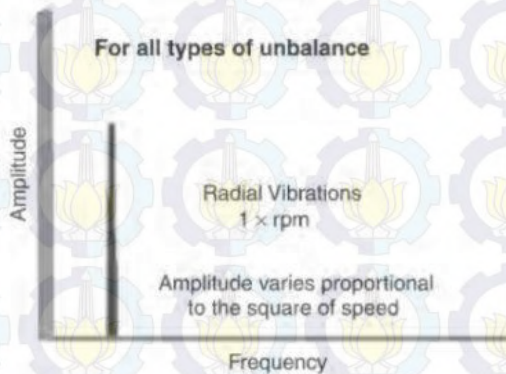


**Gambar 2.1** Skema Bagian Pompa yang Mengalami Kerusakan (Karwono,dkk 2008)

Getaran/vibrasi merupakan salah satu faktor penyebab utama yang dapat mengakibatkan kerusakan pada pompa. Kerusakan pompa akibat getaran diantaranya adalah *unbalance*, *bearing fault* dan *misalignment*. Berikut ini merupakan skema bagian - bagian pompa yang mengalami kerusakan *unbalance*, *bearing fault* dan *misalignment* pada pompa.

### 2.2.1 Unbalance

*Unbalance* merupakan kerusakan motor karena ketidak seimbangan *impeller* yang disebabkan pusat massa berputar tidak berhimpit dengan titik pusat perputarannya. Hal ini terjadi karena beberapa sebab misalnya bahan *impeller* yang digunakan tidak homogen dan perubahan posisi yang mengakibatkan ketidak seimbangan terjadi pada suatu bidang (*static unbalance*) atau pada beberapa bidang (*couple unbalance*) dan gabungan dari keduanya yang disebut dengan *dynamic unbalance*. Untuk semua jenis *unbalance*, Spektrum frekuensi yang ditunjukkan dominan  $1\times$  frekuensi rpm getaran. Amplitudo getaran pada frekuensi  $1\times$  rpm akan bervariasi sebanding dengan kuadrat dari kecepatan rotasi (Scheffer,dkk 2004) seperti pada gambar berikut :



**Gambar 2.2** Spektrum frekuensi *analysis* – *unbalance defect* (Scheffer, dkk 2004)

## 2.2.2 Misalignment

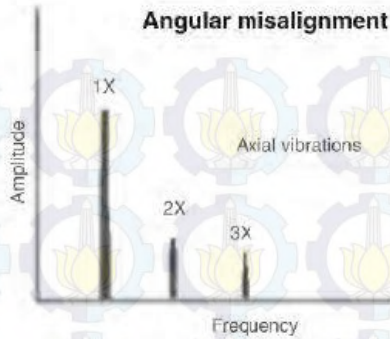
*Misalignment* dan *unbalance* merupakan penyebab utama dari getaran pada mesin. *Misalignment* adalah kerusakan pompa yang disebabkan adanya pergeseran/penyimpangan garis poros (*centerlines*) dengan salah satu bagian dari komponen pompa (*coupling*). Terdapat dua tipe dasar *misalignment* yaitu *misalignment* paralel dan *misalignment* angular/sudut. *Misalignment* paralel terjadi jika *centerlines* sejajar namun tidak bertepatan sedangkan *misalignment* dikatakan *misalignment* sudut apabila *centerlines* bertemu pada suatu titik tetapi tidak paralel. Hampir semua kondisi pompa dengan kerusakan *misalignment* merupakan kombinasi dari dua tipe dasar tersebut.



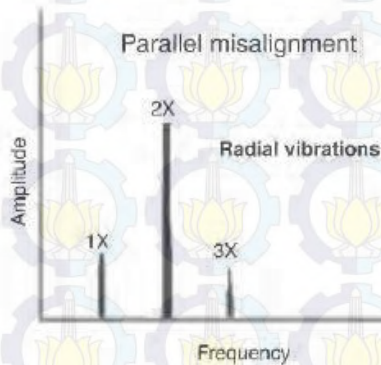
**Gambar 2.3** Tipe *misalignment* (*Machinerylubrication*, 2002)

Ciri-ciri *misalignment* angular pada spektrum frekuensi jarang terlihat 1 x rpm puncak. Biasanya muncul pada getaran aksial dengan 1 x rpm dan 2 x rpm, tetapi tidak jarang akan muncul pada frekuensi 1 x, 2 x dan 3 x rpm. Sedangkan untuk misalignment paralel frekuensi 2 x rpm dominan lebih tinggi daripada frekuensi 1 x rpm. Namun, baik misalignment angular maupun paralel yang sangat parah dapat menghasilkan amplitude yang lebih tinggi pada frekuensi 3 x rpm sampai dengan 8 x rpm atau bahkan keseluruhan seri frekuensi tinggi harmonisnya.





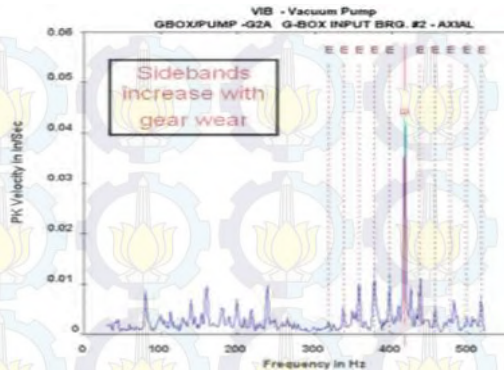
**Gambar 2.4** Spektrum frekuensi pada *angular misalignment* (Scheffer, dkk 2004)



**Gambar 2.5** Spektrum frekuensi pada *paralel misalignment* (Scheffer, dkk 2004)

### 2.2.3 *Bearing fault*

*Bearing fault* merupakan kerusakan pompa yang berupa gangguan perputaran motor yang disebabkan karena kerusakan pada bagian *bearing*. Kerusakan *bearing* ini terjadi biasanya akibat dari kerusakan lain yaitu *unbalance* dan *misalignment*. Berikut ini adalah spektrum vibrasi dan spektrum hasil rekaman suara mesin simulator pada keadaan *bearing fault* atau rusak.



**Gambar 2.6** Spektrum frekuensi pada kerusakan *bearing*

## 2.3 Sensor

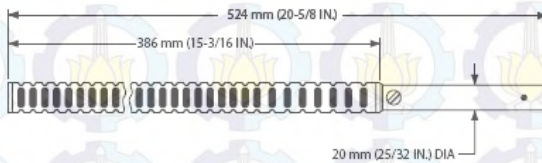
Sensor merupakan piranti yang digunakan untuk mengindra/mendeteksi suatu besaran fisis. Besaran fisis yang dideteksi pada sensor ini ada suara, sensor yang digunakan yaitu dengan *Shure Shotgun Microphone SM89* dan *Microphone Array*.

### 2.3.1 *Shure Shotgun Microphone SM89*

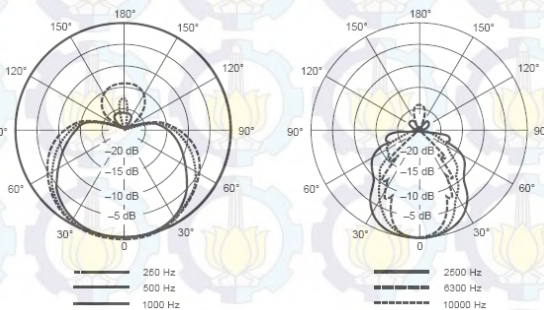
*Microphone* adalah perangkat elektronik yang menggunakan suara sebagai masukannya (*input*). *Microphone* merupakan komponen audio yang digunakan untuk merekam sinyal audio, baik berupa vocal maupun akustik instrumen. Menurut cara kerjanya terdapat banyak tipe dari *microphone*, diantaranya seperti: *microphone dynamic*, *microphone condenser*, *microphone ribbon*, *microphone crystal*, *microphone carbon*, dsb. Namun, dua tipe *microphone* yang paling umum digunakan adalah *microphone dynamic* dan *microphone condenser*. *Microphone* juga memiliki beberapa jenis, salah satunya adalah *microphone shotgun*. *Microphone shotgun* memiliki bentuk yang ramping dan memanjang. *Microphone shotgun* termasuk tipe *microphone condenser*

yang memiliki keunggulan lebih sensitif dan responsif dibandingkan dengan *microphone dynamic*.

*Microphone shotgun* sifatnya mempertajam suara, jadi suara yang lemah dan jauh dapat ditangkap oleh *microphone* ini oleh karena itu menggunakan *microphone shotgun* tidak perlu mendekat pada sasaran obyek karena daya tangkapnya satu dan sangat terarah. *Microphone shotgun* yang digunakan pada penelitian ini adalah *Shure Shotgun SM89* dengan sensitivitas lobus kecil ke kiri, kanan, dan belakang tetapi secara signifikan kurang sensitif ke samping dan belakang daripada lainnya. Hasil ini menempatkan elemen pada akhir sebuah tabung dengan *slot* dipotong sepanjang sisi; gelombang pembatalan menghilangkan sebagian besar off-axis suara.



**Gambar 2.7** Dimensi *Shure Shotgun SM89* (*User Guide*)



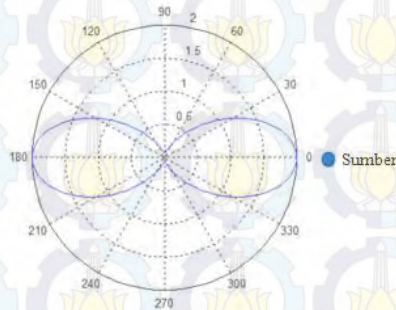
**Gambar 2.8** *Typical Polar Patterns* (*User Guide*)

### 2.3.2 *Microphone Array*

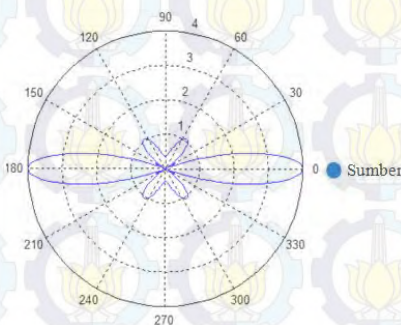
*Microphone array* merupakan beberapa *microphone* yang memiliki susunan tertentu dengan fungsi sebagai sensor

penangkap sinyal suara dari berbagai sumber. Hal terpenting untuk menggunakan *microphone array* adalah keterarahan yaitu kemampuan *microphone array* untuk menangkap sinyal dari sumber suara. Faktor yang harus diperhatikan untuk mendapatkan keterarahan dari *microphone array* adalah jarak antar *microphone* dan sudut datang yang dibentuk dari sumber sinyal terhadap sensor *microphone array*.

Polar plot hasil penelitian sebelumnya dilakukan dengan menggunakan susunan *microphone array* (*microphone* Behringer XM1800) yang berbeda dengan menggunakan 2 dan 4 *microphone array* (Zuhdi, 2013).



**Gambar 2.9** Polar plot *linear array* menggunakan dua *microphone* (Zuhdi, 2013)



**Gambar 2.10** Polar plot *linear array* menggunakan empat *microphone* (Zuhdi, 2013)

Dua hal yang perlu diperhatikan dalam menggunakan *microphone array* adalah fenomena *spatial aliasing* dan *frekuensi sampling*. *Spatial aliasing* mengakibatkan akan mengakibatkan kerja sensor yang tidak dapat membedakan sudut datang frekuensi yang diinginkan dengan arah yang tidak diinginkan untuk ditangkap, oleh karena itu perlu menggunakan persamaan berikut untuk menghindari adanya *spatial aliasing*,

$$d < \frac{\lambda_{min}}{2} \quad (2.1)$$

Dimana,

$d$  = jarak antar *microphone*

$\lambda_{min}$  = panjang gelombang minimal dari sumber sinyal suara

*Frekuensi sampling* merupakan jumlah data *sample* yang diambil per detik pada suatu rekaman. Perlu diperhatikan frekuensi sampling maksimum yang digunakan untuk menghindari *spatial aliasing*. Menghindarkan dari *spatial aliasing* dilakukan dengan mengubah frekuensi sinyal suara lebih rendah dari sinyal suara aslinya dengan persamaan berikut,

$$fs > 2f_{max} \quad (2.2)$$

Dimana,

$fs$  = *frequency sampling*

$f_{max}$  = frekuensi maksimum dari sumber sinyal suara.

#### 2.4 Independent Component Analysis (ICA)

BSS (*Blind Sources Separation*) merupakan teknik pemisahan sinyal suara yang sangat baik untuk sumber sinyal campuran dan bisa mendapatkan sumber sinyal individu ketika memenuhi asumsi memisahkan yang diperoleh Zouli Li, dkk (2011). ICA merupakan salah satu algoritma yang mengacu pada konsep BSS. Sinyal suara tercampur pada suatu mesin

dapat dipisahkan dengan ICA menggunakan asumsi bahwa setiap mesin statistik independen dengan yang lain.

Apabila terdapat percampuran suara dari beberapa sumber yang saling bebas satu sama lain, maka komponen terukur dari domain waktu dapat dimodelkan sebagai,

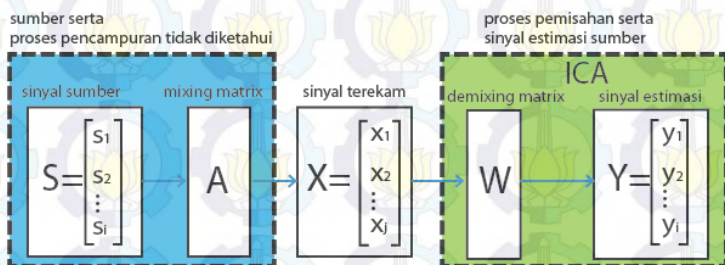
$$x_j(t) = a_{j1}s_1(t) + a_{j2}s_2(t) + \dots + a_{jn}s_n(t) \quad (2.3)$$

Dapat disederhanakan menjadi vektor matrik model ICA yang general sebagai,

$$\mathbf{x} = \sum_{i=1}^n \mathbf{a}_i s_i \quad (2.4)$$

$$\mathbf{x} = \mathbf{A}\mathbf{s} \quad (2.5)$$

Persamaan (2.4) dan (2.5), sinyal yang diketahui hanya sinyal terukur ( $\mathbf{x}$ ) yang merupakan vektor sinyal observasi, selanjutnya komponen independen ( $\mathbf{s}$ ) yang merupakan vektor dari sinyal sumber dan *mixing matrix* ( $\mathbf{A}$ ) tidak diketahui. Penyelesaian pada persamaan ini adalah mengestimasi sinyal  $\mathbf{s}$  dan  $\mathbf{A}$  dari sinyal terukur  $\mathbf{x}$ . Tujuan ICA adalah mencari nilai estimasi  $\mathbf{y}$ , yang ditunjukkan pada skema pada gambar 2.11,



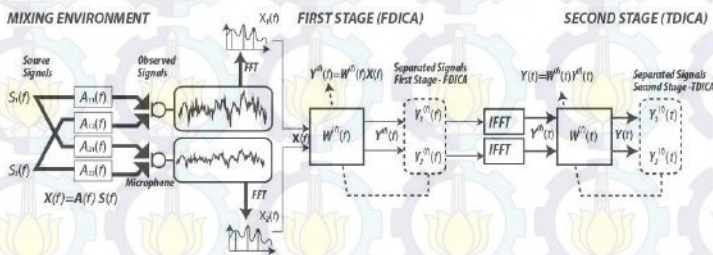
**Gambar 2.11** Skema ICA (Pribadi, 2014)

Skema pada gambar 2.11 menunjukkan bahwa hanya komponen  $\mathbf{x}$  yang diketahui sedangkan komponen  $\mathbf{s}$  dan  $\mathbf{A}$

yang merupakan sumber dan proses pencampuran tidak diketahui. Sinyal estimasi ( $\mathbf{y}$ ) dapat diperoleh dengan mengalikan  $\mathbf{x}$  dengan demixing matrik ( $\mathbf{W}$ ), dimana  $\mathbf{W}$  adalah invers dari matriks pencampuran ( $\mathbf{A}$ ) atau  $\mathbf{A}^{-1}$  yang merupakan filter linear. Ketepatan memilih filter ini akan mempengaruhi kualitas dari pemisahan sinyal.

#### 2.4.1 Time - Frequency Domain ICA

Suatu sinyal dapat dianalisa dengan menggunakan domain frekuensi dan domain waktu. Analisa pada proses pemisahan sinyal tercampur dengan ICA, dapat dilakukan dengan *time domain ICA* (TDICA) dan *frequency domain ICA* (FDICA). (Saruwatari, dkk 2002) mengusulkan analisis pemisahan sinyal dilakukan secara bertahap (*multistage*), yaitu dengan menganalisis domain frekuensi yang kemudian dilanjutkan *output* dari FDICA dijadikan *input* untuk domain waktu (TDICA). Metode ini dikenal dengan *multistageICA* (MSICA) dengan tujuan untuk memaksimalkan FDICA dan TDICA. Kelebihan TDICA dapat menyederhanakan permasalahan convolutive mixture menjadi linear mixture dan mudah mencapai konvergensi dalam iterasinya. FDICA memiliki kelebihan sinyal yang diambil adalah keseluruhan, sehingga karakteristik *independent* tidak berkurang dan Adanya kemungkinan terjadi *konvergensi* yang tinggi.



**Gambar 2.12** Proses Pemisahan Sinyal MSICA (Saruwatari, dkk 2002)

Tahap pertama pada MSICA adalah FDICA yang diawali mengubah domain waktu (*waveform*) menjadi domain frekuensi dengan mentransformasikan sinyal *waveform* dengan transformasi *fourier*,

$$G(j\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) e^{-j\omega t} dt \quad (2.6)$$

Selain itu dapat dipecahkan dengan komputasi dengan FFT (*fast fourier transform*) yang merupakan DFT (*Discrete Fourier Transform*) dari vektor  $x$  dimana  $N$  merupakan panjang vektor FFT dan  $\omega_N = e^{(-2\pi i)/N}$  dengan persamaan,

$$X(k) = \sum_{j=1}^N x(j) \omega_N^{(j-1)(k-1)} \quad (a) \quad (2.7)$$

$$x(j) = (1/N) \sum_{k=1}^N X(k) \omega_N^{-(j-1)(k-1)} \quad (b)$$

Setelah menjadi domain frekuensi proses pemisahan sinyal tercampur dengan *Frequency Domain ICA* (FDICA) dilakukan dengan mencari nilai  $W$  yang konvergen. Tahap kedua, *output* dari FDICA dijadikan *input* dari TDICA. Mengubah domain frekuensi ke domain waktu dilakukan transformasi balik dengan menggunakan invers DFT dengan persamaan,

$$x(n) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} X(k) W_N^{-nk} \quad (2.8)$$

dimana  $X(k)$  merupakan frekuensi bin ke- $k$ , dengan  $k=0,1,2,\dots,N/2$ , dan  $x(n)$  merupakan sinyal diskrit dalam domain waktu.

## 2.5 Mean Square Error

MSE merupakan suatu metode untuk mengukur perbedaan antara estimator (sinyal rekonstruksi) dan nilai



sebenarnya (sinyal *baseline*) dari kuatitas yang diperkirakan. Secara garis besar dengan menghitung nilai MSE, maka akan diperoleh selisih pergeseran yang diperoleh antara sinyal asli dan sinyal rekonstruksi., yang dapat ditunjukkan pada persamaan di bawah ini,

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (S - S_c)^2 \quad (2.9)$$

dimana,

MSE = Mean Square Error

n = jumlah sample

S = sinyal asli (*baseline*)

S<sub>c</sub> = sinyal hasil estimasi

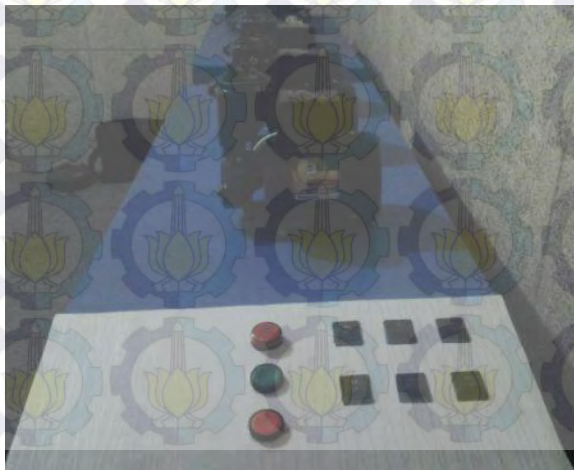
## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

Metode penelitian yang dilakukan dalam pengerjaan tugas akhir ini terdiri dari beberapa tahapan. Tahapan – tahapan yang dilakukan yang pertama menentukan objek penelitian, kedua perekaman data penelitian yang meliputi perekaman data sinyal suara *baseline* dan perekaman data data sinyal suara tercampur, ketiga pengolahan data.

#### **3.1 Obyek Penelitian**

Obyek yang akan diteliti pada penelitian ini adalah mesin pompa air yang terdapat pada *mini plant* di ruang kedap Laboratorium Rekayasa Akustik dan Fisika Bangunan Teknik Fisika ITS. Pada penelitian ini akan digunakan 6 buah pompa dengan desain *mini plant* yang yang digunakan terdiri dari 2 meja, masing – masing meja terdiri dari 3 mesin pompa dengan merk sama yaitu Panasonic GP – 129 dan salah satu meja dilengkapi operator listrik untuk keduanya. Berikut ini adalah gambar *mini plant* dan skema posisi tiap kerusakan.



**Gambar 3.1** *Mini plant* (Ridasari, 2012)

Kerusakan yang digunakan pada penelitian ini adalah kerusakan *unbalance*, *bearing fault* dan *misalignment*. Desain kerusakan masing – masing kondisi pompa adalah sebagai berikut :

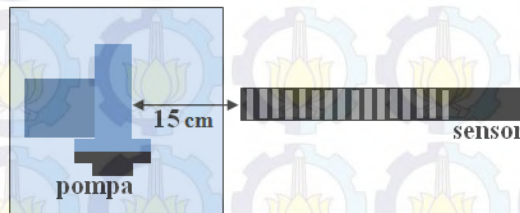
- Pada pompa 1  
Kondisi mesin normal
- Pada pompa 2  
Pompa kedua didesain dengan kerusakan *unbalance* dan *bearing fault*. Kerusakan *unbalance* 6 gram.cm dengan *impeller* pompa ditambahkan beban menggunakan mur bahan besi campuran seberat 4 gram ( $d = 1$  cm) dengan jarak pusat 1.5 cm. Sedangkan *bearing fault* pada *outer bearing* diberikan pukulan sampai terdapat cekungan.
- Pada pompa 3  
Pompa ketiga didesain dengan kerusakan *unbalance* dan *misalignment*. Kerusakan *unbalance* 27 gram.cm dengan *impeller* pompa ditambahkan beban menggunakan mur bahan besi campuran 18 gram ( $d = 1$  cm) dengan jarak pusat 1.5 cm. Sedangkan untuk kerusakan *misalignment* 1 mm dengan posisi *coupling* dan *shaft* yang dipasang tidak lurus dengan poros.
- Pada pompa 4  
Pompa keempat didesain dengan kerusakan *bearing fault* dan *misalignment* 3 mm.
- Pada pompa 5  
Pompa kelima didesain dengan kerusakan *unbalance* dengan tambahan beban pada *impeller* 4 gram dan *misalignment* dibuat dengan pergeseran *shaft* 2 mm.
- Pada pompa 6  
Pompa keenam didesain dengan keadaan pompa berbeda dengan pompa lain karena pada pompa ini terhubung dengan *coupling*. Kerusakan yang dibuat yaitu *coupling* yang disambung dengan poros pompa dan dibuat selisih pergeseran *shaft* dengan jarak 1 ; 2 ; 3 mm.

### 3.2 Perekaman Data Penelitian

Teknik pengambilan data dilakukan di ruang kedap suara Laboratorium Rekayasa Akustik Dan Fisika Bangunan di Jurusan Teknik Fisika ITS Surabaya. Pengambilan data yang dilakukan adalah pengambilan data rekaman sinyal suara *baseline* dan data rekaman sinyal suara tercampur dengan menggunakan perangkat skala laboratorium. Perangkat tersebut berupa sensor akustik dan sensor vibrasi. Sensor akustik dengan *shure shotgun microphone SM89*, *microphone behringer XM1800S* dan *microphone array (behringer)*, *M-audio* dan laptop. Pengambilan data dilakukan dengan *frekuensi sampling 44100 Hz*, *32 bit per second* dan dengan durasi pengambilan data rekaman selama 5 detik. Sedangkan sensor vibrasi dengan menggunakan *accelerometer* (Fauziyah, 2014).

#### 3.3.1 Perekaman Data *Baseline*

Perekaman data *baseline* dilakukan dengan menggunakan *Shure Shotgun Microphone SM89* dan *Microphone Behringer XM 1800S*. Pengambilan data rekaman *baseline* yang harus diambil adalah seperti berikut:



**Gambar 3.2** Konfigurasi pengambilan data *baseline*

Pengambilan data *baseline* pertama dilakukan dengan menggunakan sensor *microphone shotgun* yang diberikan jarak antar sumber suara dengan sensor sejauh 15 cm, seperti pada Gambar 3.3. Pengambilan data rekaman dilakukan secara

bergantian dengan kondisi masing – masing pompa yang berbeda seperti pada tabel 3.1.

**Tabel 3.1** Konfigurasi Pompa *Baseline*

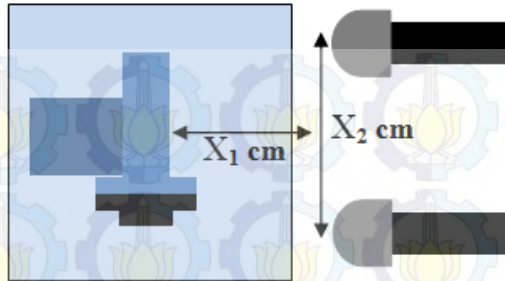
Percobaan ke -	Pompa
1	<i>Normal</i>
2	<i>Unbalance 6 gram.cm</i>
3	<i>Unbalance 27 gram.cm</i>
4	<i>Misalignment (1 mm)</i>
5	<i>Misalignment (2 mm)</i>
6	<i>Misalignment (3 mm)</i>
7	<i>Bearing Fault</i>

Pengambilan data *baseline* ini merupakan pengulangan pengambilan data rekaman oleh Ridasari (2012) menggunakan sensor *microphone behringer*. Selanjutnya dengan cara pengambilan data yang sama seperti yang dijabarkan diatas dilakukan pengambilan rekaman data sinyal suara dengan sensor *microphone shotgun* seperti yang dapat dilihat pada Gambar 3.3.

### 3.3.2 Perekaman Data Suara Tercampur

Pengambilan data rekaman penelitian yang dilakukan dengan sensor *array* menggunakan *microphone behringer XM 1800S*. Data yang diambil adalah data rekaman satu pompa dengan dua kerusakan dan data rekaman dua pompa dengan masing – masing pompa memiliki dua kerusakan.

- (a) Pengambilan data rekaman satu pompa dengan dua kerusakan menggunakan dua *microphone array* dengan jarak pompa dengan sensor  $x_1$  15 cm dan jarak antar sensor  $x_2$  10 cm; 20 cm; dan 30 cm untuk semua kerusakan pompa pada tabel 3.2.

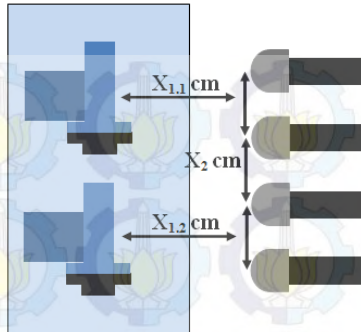


**Gambar 3.3** Konfigurasi pengambilan data rekaman 1 pompa 2 kerusakan dengan 2 sensor *array*

**Tabel 3.2** Konfigurasi satu pompa dua kerusakan

Percobaan ke -	Kode	Kerusakan Pompa
1	2	<i>Unbalance 6 gram.cm</i> <i>Bearing Fault</i>
2	3	<i>Unbalance 27 gram.cm</i> <i>Misalignment (1 mm)</i>
3	4	<i>Bearing Fault</i> <i>Misalignment (3 mm)</i>
4	5	<i>Unbalance 6 gram.cm</i> <i>Misalignment (2 mm)</i>

- (b) Pengambilan data rekaman satu pompa dengan dua kerusakan menggunakan dua *microphone array* dengan variasi jarak pompa dengan sensor sejauh  $x_1$  seperti pada gambar 3.4 dan jarak antar sensor  $x_2$ . Jarak  $x_1$  15 cm; 30 cm; dan 45 cm sedangkan untuk  $x_2$  10 cm; 20 cm; dan 30 cm untuk kerusakan pompa *bearing fault* dan *misalignment* (3 mm).
- (c) Pengambilan data rekaman dua pompa dengan empat kerusakan. Pengambilan data ini dilakukan dengan menggunakan susunan *linear* empat *microphone array* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.4 dan konfigurasi kersakan pompa seperti pada tabel 3.2.



**Gambar 3.4** Konfigurasi pengambilan data rekaman 2 pompa dengan 4 *microphone array*

**Tabel 3.3** Konfigurasi dua pompa empat kerusakan

Percobaan ke-	Kode	Kerusakan Pompa
1	2	<i>unbalance 6 gram.cm bearing fault</i>
	3	<i>unbalance 27 gram.cm misalignment (1 mm)</i>
2	2	<i>unbalance 6 gram.cm bearing fault</i>
	4	<i>Bearing fault misalignment (3 mm)</i>
3	2	<i>unbalance 6 gram.cm bearing fault</i>
	5	<i>unbalance 6 gram.cm misalignment (2 mm)</i>
4	3	<i>unbalance 27 gram.cm misalignment (1 mm)</i>
	4	<i>Bearing fault misalignment (3 mm)</i>
5	3	<i>unbalance 27 gram.cm misalignment (1 mm)</i>
	5	<i>unbalance 6 gram.cm misalignment (2 mm)</i>
6	4	<i>Bearing fault misalignment (3 mm)</i>
	5	<i>unbalance 6 gram.cm misalignment (2 mm)</i>

### 3.3 Pengolahan Data

Hasil pengambilan data tujuh rekaman *baseline* dari sensor *Shure Shotgun Microphone SM89*, *Microphone array Behringer XM 1800S* dan sensor getaran *accelerometer* (Fauziyah, 2014) yang diperoleh kemudian diolah dalam bentuk spektrum frekuensi dan kemudian hasilnya dibandingkan dengan tiga variasi sensor yang berbeda. Selanjutnya pengambilan data suara tercampur dengan menggunakan dua *microphone behringer array* dan empat *microphone array* yang kemudian diolah menggunakan metode TDICA (*Time Domain Independent Component Analysis*), FDICA (*Frequency Domain Independent Component Analysis*) dan MSICA (*Multi – Stage Independent Component Analysis*).

Pengolahan data rekaman menggunakan metode FDICA dilakukan merubah domain waktu menjadi domain frekuensi. Proses merubah domain waktu menjadi domain frekuensi menggunakan FFT (*Fast Fourier Transform*) kemudian hasil pemisahan sinyal suara diperoleh dari nilai iterasi yang telah konvergen. Sedangkan metode TDICA data rekaman dapat langsung diolah dengan menggunakan tanpa harus merubahnya dalam domain frekuensi, kemudian diiterasi sampai memperoleh nilai yang konvergen. Setelah memperoleh hasil penelitian dengan metode TDICA, FDICA dan MSICA, kemudian menentukan nilai dari MSE (*Mean Square Error*).

Data sektrum frekuensi dari hasil pemisahan tersebut selanjutnya dibandingkan dengan data spektrum frekuensi *baseline* pada tiga variasi sensor untuk mengetahui hasil unjuk kerja *microphone array*.





**Halaman ini sengaja dikosongkan**

## **BAB IV PEMBAHASAN**

Pada bab ini membahas hasil dari data penelitian yang dilakukan sesuai prosedur pada bab III Metodologi Penelitian, meliputi perekaman data *baseline* dengan tiga sensor yang berbeda. Perekaman suara tercampur satu pompa dengan dua kerusakan menggunakan dua sensor *array*, perekaman suara tercampur satu pompa dengan dua kerusakan menggunakan sensor *array* dengan variasi jarak antar sensor dan sumber suara, dan perekaman dua pompa dengan empat kerusakan dengan empat sensor *array*.

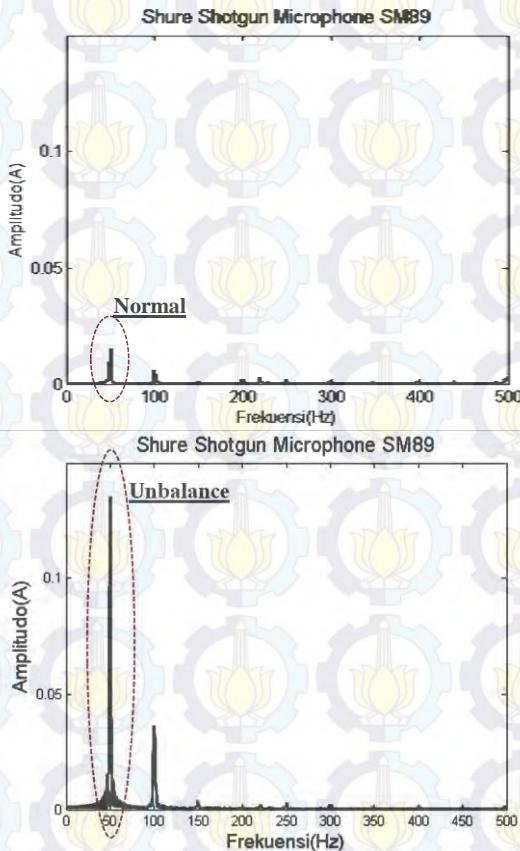
### **4.1 Perekaman Sinyal *Baseline***

Pengambilan data rekaman suara *baseline* dilakukan dengan menggunakan sensor akustik (*microphone behringer XM1800S* dan *shure shotgun microphone SM89*) dan menggunakan sensor getaran *accelerometer* (Fauziyah, 2014).

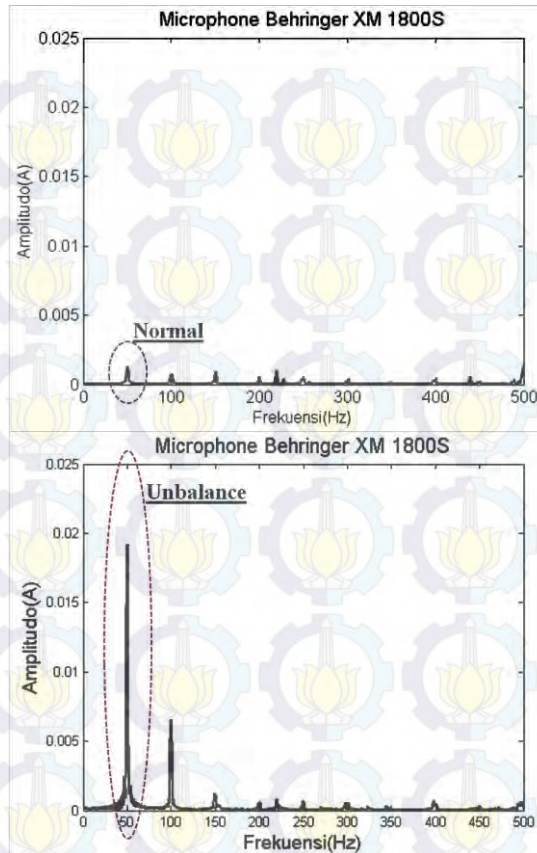
#### **4.1.1 *Baseline***

Terdapat tujuh data rekaman *baseline* yang diambil pada setiap sensor akustik. Data sensor *accelerometer* dilakukan pengambilan data dengan tiga sumbu yaitu pada sumbu axial, sumbu vertikal dan sumbu horizontal (Fauziyah, 2014). Data *baseline* pompa mulai pompa normal dan enam data selanjutnya adalah data kerusakan sebagai berikut; *unbalance* 6 gram.cm, *unbalance* 27 gram.cm, *misalignment* (1mm), *misalignment* (2mm), *misalignment* (3mm) dan *bearing fault*. Selanjutnya data rekaman *baseline* diolah dengan FFT (*Fast Fourier Transform*) untuk mendapatkan spektrum frekuensi yang kemudian dibandingkan dengan teori oleh Scheffer, dkk (2004), untuk spektrum frekuensi hasil FFT data *accelerometer* diambil salah satu sumbu yang memiliki nilai amplitudo yang paling tinggi. Misalnya untuk pompa normal dan kerusakan pompa *unbalance*. Pompa normal tidak

memiliki ciri – ciri khusus pada spektrum frekuensi, namun untuk pompa normal memiliki amplitudo yang sangat kecil untuk semua frekuensi. Sedangkan untuk pompa dengan kerusakan *unbalance* berciri memiliki amplitudo tinggi pada 1 x frekuensi seperti pada gambar 2.2. Pompa yang digunakan merupakan pompa 3000 rpm, sehingga untuk 1 x frekuensi pada pompa ini bernilai 50 Hz.



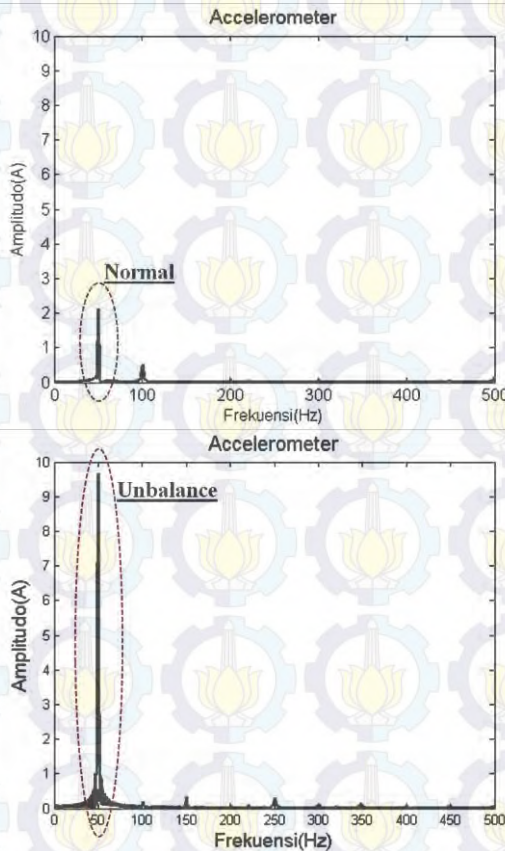
Gambar 4.1 Baseline pompa normal dan *unbalance* 27 gram.cm (*shotgun mic.*)



**Gambar 4.2** *Baseline* pompa normal dan *unbalance* 27 gram.cm (*mic. behringer*)

*Baseline* pada pompa normal dan pompa rusak hasil dari data rekaman dengan menggunakan sensor akustik *microphone behringer* dan *shure shotgun microphone* menunjukkan hasil spektrum frekuensi yang sesuai dengan teori oleh Scheffer, dkk (2004). Pada pompa normal memiliki amplitudo yang rendah untuk semua frekuensi nya dan pada pompa dengan kerusakan *unbalance* memiliki nilai amplitudo

tinggi pada 1 x frekuensi (50 Hz). Pengamatan dari kedua sensor akustik yang digunakan, sensor *shotgun* memiliki amplitudo yang lebih tinggi daripada sensor *microphone behringer* baik pada spektrum frekuensi pompa normal maupun pompa dengan kerusakan *unbalance*. Sedangkan untuk sensor getaran *accelerometer* dapat diperhatikan pada spektrum frekuensi pada gambar 4.3.



**Gambar 4.3** Baseline pompa normal dan *unbalance* 27 gram.cm (*accelerometer*)

Hasil plot prektrum frekuensi sensor *accelerometer* pada gambar 4.3 menunjukkan hasil yang sama dengan sensor akustik, walaupun pada 2x frekuensi tidak muncul amplitudo yang menonjol seperti pada sensor akustik. Dari hasil FFT dari data *baseline* yang diperoleh dengan menggunakan tiga variasi sensor yang berbeda menunjukkan kesesuaian teori dengan data uji yang ada yaitu dengan adanya amplitudo tinggi pada frekuensi pertama (50 Hz) pada 1 x rpm. Hasil plot tersebut terdapat dua perbedaan dari tiga variasi sensor yang digunakan. Pertama, pada sensor akustik terlihat amplitudo yang muncul untuk diatas frekuensi 50 Hz, sedangkan pada sensor *accelerometer* hanya memiliki satu amplitudo yang tinggi pada spektrum frekuensi. Mungkin karena pada sensor *accelerometer* mendeteksi getaran secara kontak langsung dengan mesin pompa, jadi memiliki hasil yang lebih unggul daripada sensor akustik. Kedua, pada amplitudo tinggi yang muncul, untuk sensor *microphone behringer* menunjukkan *amplitudo* yang lebih rendah daripada sensor *shotgun* dengan nilai amplitudo 0.1352 mV untuk sensor *shotgun* dan 0.0192 mV untuk *microphone behringer*, karena sensor *shotgun* memiliki sifat mempertajam suara. Sedangkan untuk sensor getaran memiliki nilai sebesar  $9.87 \text{ mm/s}^2$ .

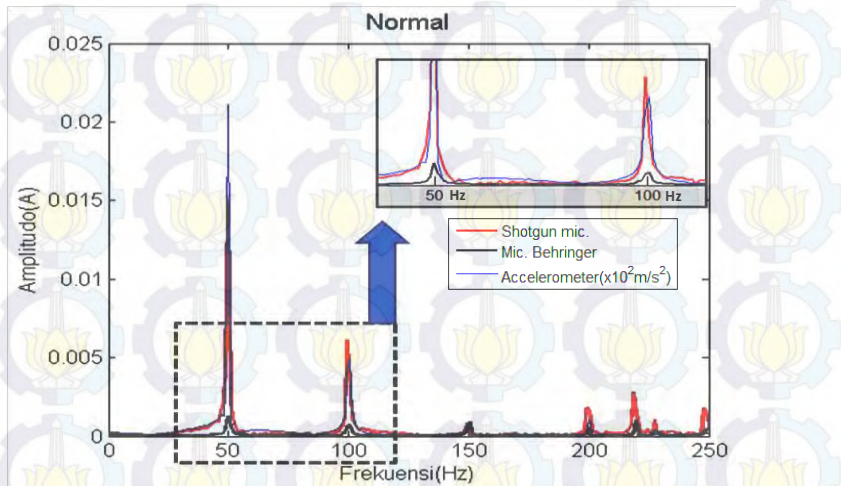
#### 4.1.2 Perbandingan Sinyal *Baseline* Akustik dan Vibrasi

Data hasil spektrum frekuensi dari sinyal *baseline* dengan menggunakan variasi tiga sensor dilakukan perbandingan dengan hasil spektrum frekuensi terhadap enam sinyal *baseline* dengan masing – masing ciri kerusakan pompa dan perbandingan data spektrum frekuensi untuk pompa normal.

##### 4.1.2.1 Pompa normal

Perekaman suara pada pompa normal dilakukan dengan mengambil data rekaman pada pompa baru. Tidak ada ciri yang spesifik untuk pompa normal, kecuali pada pompa normal memiliki nilai amplitudo frekuensi 1x frekuensi yang

rendah pada spektrum frekuensi seperti pada gambar 4.4.



**Gambar 4.4** Perbandingan spektrum frekuensi pada pompa normal

Spektrum frekuensi hasil pengolahan data yang ditunjukkan dari sinyal uji variasi tiga sensor dengan garis merah merupakan hasil FFT perekaman sinyal uji *baseline* dengan sensor *shure shotgun microphone* memiliki nilai amplitudo 0.015 (frekuensi 50 Hz); amplitudo 0.005 (frekuensi 100 Hz), pada garis hitam hasil FFT perekaman sinyal uji sensor *microphone behringer* memiliki nilai amplitudo 0.0013 (frekuensi 50 Hz); amplitudo 0.0007 (frekuensi 100 Hz), dan untuk garis biru adalah hasil FFT dari perekaman sinyal uji sensor getaran *accelerometer*.

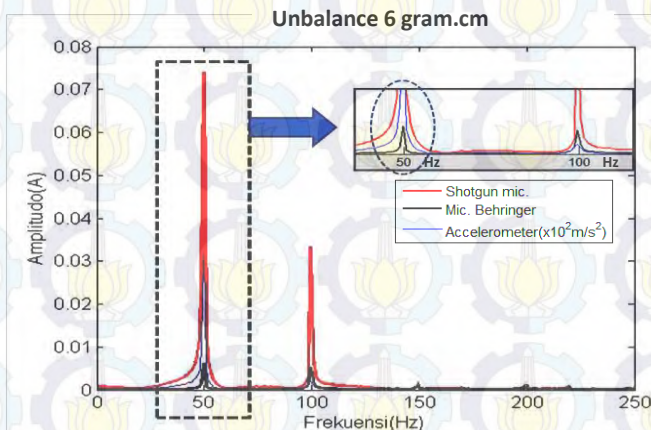
#### 4.1.2.2 Pompa dengan kerusakan *unbalance*

Kerusakan *unbalance* dibedakan dua buah variasi, *unbalance* dengan beban 4 gram dan 18 gram dengan jarak pusat dengan beban 1.5 cm. Teori Scheffer, dkk (2004) menyebutkan bahwa mesin dengan kerusakan *unbalance*

memiliki ciri amplitudo pada frekuensi pertama 50 Hz yang tinggi. Pengambilan data dilakukan dengan menggunakan tiga variasi sensor yang berbeda sama seperti pengambilan data sebelumnya. Hasil pengolahan data FFT diperoleh pola yang sesuai dengan teori tersebut. Seperti yang terlihat pada gambar 4.5 dan gambar 4.6. Perbedaan nilai amplitudo dapat dilihat pada tabel 4.2 dari tabel tersebut terlihat jelas bahwa amplitudo pada *unbalance* 27 gram.cm jauh lebih tinggi daripada *unbalance* 6 gram.cm yang dikarenakan ketidakseimbangan yang terlalu besar sehingga gaya sentrifugal dari beban lebih besar dan mengakibatkan amplitudo yang diperoleh tinggi.

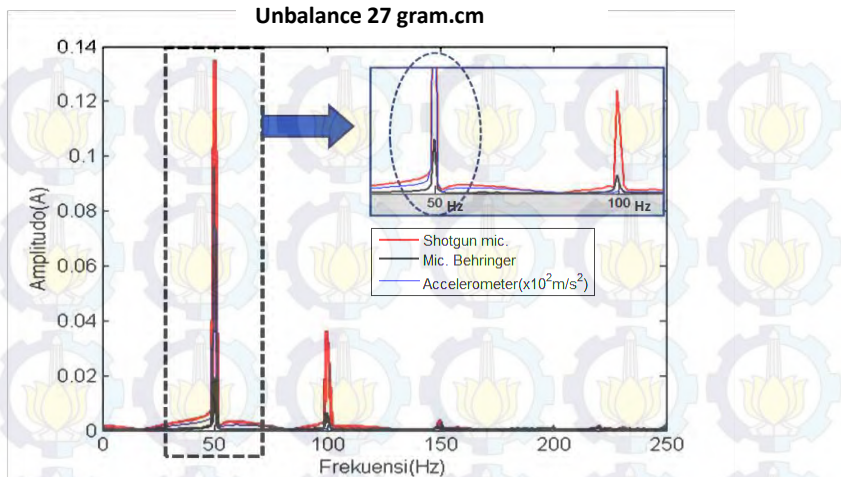
**Tabel 4.1** Data amplitudo masing – masing frekuensi pada *unbalance*

Amplitudo	Sensor			
	Mic. Shotgun		Mic. Behringer	
	50 Hz	100 Hz	50 Hz	100 Hz
<i>Unbalance</i> 6 gram.cm	0.0746	0.033	0.0063	0.0052
<i>Unbalance</i> 27 gram.cm	0.1352	0.0362	0.0192	0.0065



**Gambar 4.5** Perbandingan spektrum frekuensi dengan 3 sensor pada pompa *unbalance* 6 gram.cm

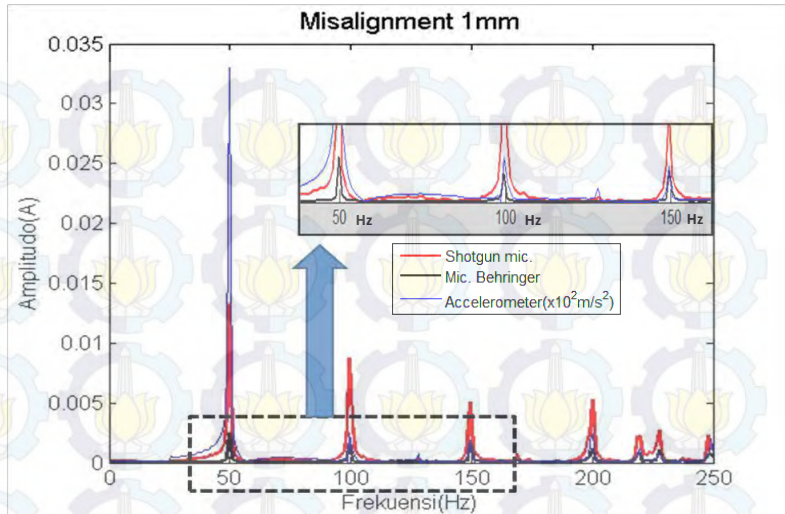




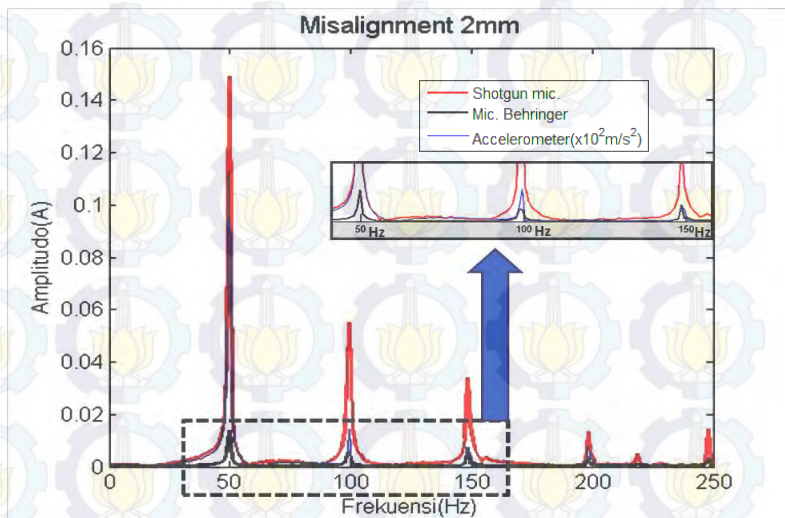
**Gambar 4.6** Perbandingan spektrum frekuensi dengan 3 sensor pada pompa *unbalance* 27 gram.cm

#### 4.1.2.3 Pompa dengan kerusakan *misalignment*

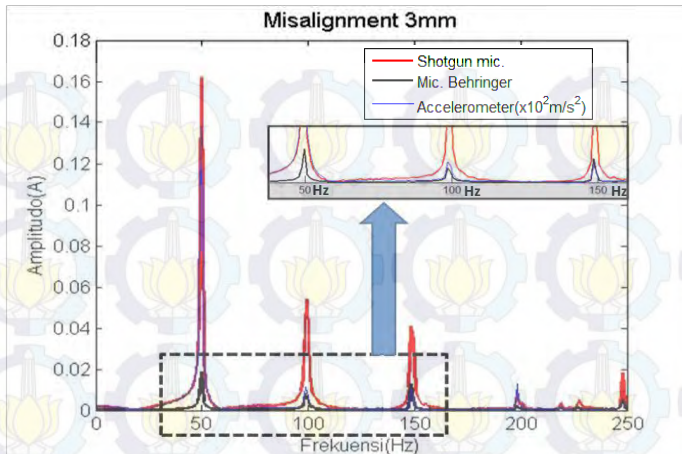
Kerusakan *misalignment* menggunakan variasi tiga *misalignment* dengan memberikan jarak pergeseran poros yang berbeda yaitu *misalignment* 1 mm, 2 mm dan 3 mm. Ketiga variasi kerusakan tersebut sengaja dibuat dengan menambahkan beban dengan jarak persimpangan poros bagian belakang pompa 1 mm; 2 mm dan 3 mm. Data getaran dari pompa dengan ketiga variasi kerusakan *misalignment* tersebut diambil dengan satu sensor vibrasi *accelerometer* oleh (Fauziyah, 2014) dan dengan dua sensor akustik (*microphone shotgun* dan *microphone behringer*). Teori menjelaskan bahwa kerusakan *misalignment* memiliki ciri – ciri 1x, 2x, dan 3x frekuensi atau 50 Hz, 100 Hz dan 150 Hz memiliki nilai amplitudo yang tinggi. Namun, untuk *misalignment* yang cukup parah amplitudo tinggi dapat muncul pada 3x sampai 8x frekuensi. Gambar 4.7 sampai dengan 4.9 menunjukkan perbandingan spektrum frekuensi pada kerusakan *misalignment* dengan variasi 3 sensor.



**Gambar 4.7** Perbandingan spektrum frekuensi dengan 3 sensor pada pompa *misalignment* (1 mm)



**Gambar 4.8** Perbandingan spektrum frekuensi dengan 3 sensor pada pompa *misalignment* (2 mm)



**Gambar 4.9** Perbandingan spektrum frekuensi dengan 3 sensor pada pompa *misalignment* (3 mm)

Gambar 4.7; Gambar 4.8; Gambar 4.9 menunjukkan spektrum frekuensi pompa *misalignment* 1 mm, 2 mm dan 3 mm dengan menggunakan tiga sensor. Dari spektrum frekuensi pada gambar diatas terlihat bahwa hasil FFT perekaman suara *baseline* kerusakan *misalignment* telah sesuai dengan teori yang ada untuk sensor akustik. Sedangkan untuk sensor akustik ciri yang ditunjukkan mirip dengan ciri kerusakan *unbalance*.

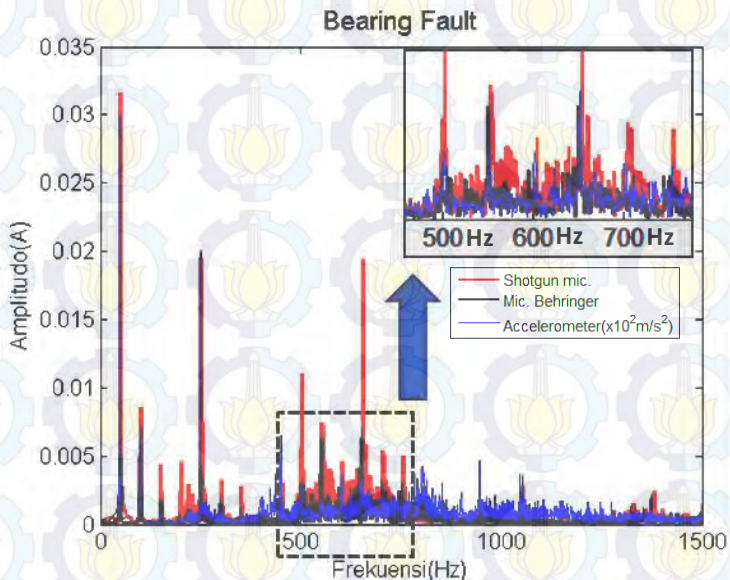
Perbedaan nilai amplitudo dari *misalignment* 1 mm, 2 mm dan 3 mm untuk sensor akustik dapat dilihat pada tabel 4.1. Pada tabel terlihat perbedaan amplitudo terhadap perubahan jarak *misalignment*.

**Tabel 4.2** Data amplitudo masing – masing frekuensi pada *misalignment*

Amplitudo	Sensor					
	Mic. Shotgun			Mic. Behringer		
	50 Hz	100 Hz	150 Hz	50 Hz	100 Hz	150 Hz
Mis.(1mm)	0.0132	0.0024	0.0019	0.0024	0.0015	0.0016
Mis.(2mm)	0.1489	0.0551	0.0338	0.014	0.0052	0.0073
Mis.(3mm)	0.162	0.0538	0.0409	0.0185	0.0081	0.013

#### 4.1.2.4 Pompa dengan kerusakan *bearing*

Pengambilan data rekaman untuk kerusakan *bearing* dilakukan sama dengan pengambilan data rekaman sebelumnya yaitu dengan menggunakan dua sensor akustik dan satu sensor getaran. Hasil dari pengolahan data dengan FFT (*Fast Faourier Transform*) pada ketiga sensor diperoleh spectrum yang sama dengan teori yang ada, yaitu pada kerusakan *bearing* terdapat banyak amplitudo tinggi serta *ripple* pada frekuensi yang tinggi seperti pada Gambar 4.10. Hal ini dikarenakan bahwa bantalan/ *bearing* yang rusak (dipukul sebelumnya) mengakibatkan *shaft* yang bertumpu pada *bearing* tidak berada pada posisi semestinya sehingga apabila *shaft* berputar dengan penyangga yang tidak pada posisi dengan benar/aslinya akan mengakibatkan banyak getaran pada pompa di daerah tersebut.



**Gambar 4.10** Perbandingan spektrum frekuensi pada *bearing fault*

#### 4.1.3 Pembahasan *baseline*

Hasil FFT dari sinyal *baseline* dengan tiga variasi sensor pada spektrum frekuensi menunjukkan bahwa ciri – ciri dari kerusakan terbukti dengan kesesuaian pada teori. Semua sensor menunjukkan adanya amplitudo tinggi di frekuensi pertama pada satu rpm (50 Hz) untuk kerusakan *unbalance*. Amplitudo tinggi di frekuensi 1x , 2x dan 3x pertama untuk kerusakan *misalignment* dan amplitudo tinggi pada frekuensi tinggi di kerusakan *bearing*.

Perbandingan spektrum frekuensi pada tiga variasi sensor, dengan dua sensor akustik (*microphone shotgun*, *microphone behringer*) dan satu sensor vibrasi (*accelerometer*) menunjukkan bahwa ketiga sensor mampu memberikan hasil spektrum frekuensi terhadap *baseline* pompa normal, pompa satu kerusakan *unbalance* 6 gram.cm; *unbalance* 27 gram.cm dan kerusakan *bearing* yang menunjukkan telah sesuai dengan teori yang ada. Perbedaan dari ketiganya hanya pada hasil amplitudo, untuk sensor *microphone shotgun* di spektrum frekuensi memiliki amplitudo yang lebih tinggi daripada dengan *microphone behringer*. Sedangkan untuk sensor getaran *accelerometer* jauh lebih tinggi dari keduanya. Sehingga dapat dikatakan untuk memperoleh data getaran suatu mesin selain dengan sensor getaran dapat digantikan menggunakan sensor akustik sebagai pengganti sensor *accelerometer*.

Namun, data spektrum frekuensi hasil perekaman dengan kedua sensor akustik dan data getaran dengan sensor *accelerometer* yang terlihat dari kerusakan *misalignment* 1 mm; 2 mm; 3 mm diperoleh hasil yang berbeda. Kedua sensor akustik memiliki ciri yang sama dan sesuai dengan teori Scheffer, dkk (2004), namun pada kerusakan *misalignment* menggunakan sensor *contact* terdeteksi kerusakan *unbalance*, karena memiliki amplitudo yang lebih tinggi pada 1x frekuensi (50 Hz). Walaupun ada amplitudo yang sangat rendah muncul pada frekuensi 100 Hz dan 150 Hz.

## 4.2 Perekaman Sinyal Suara Tercampur

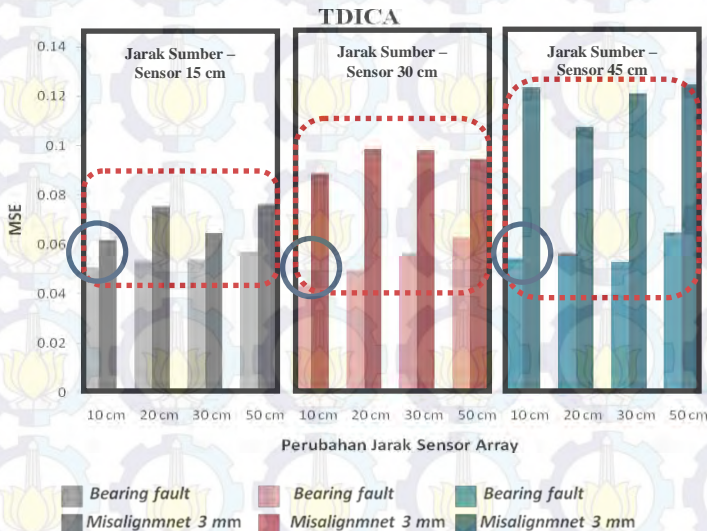
Pengambilan data rekaman suara tercampur dilakukan dengan sensor *array/microphone array* menggunakan dua *microphone behringer XM1800S* pada satu pompa dengan dua kerusakan dan empat *microphone behringer XM1800S* pada dua pompa dengan empat kerusakan. Satu pompa dengan dua kerusakan pompa data yang diambil dilakukan variasi jarak sumber – sensor dan jarak antar *microphone array* untuk satu jenis konfigurasi kerusakan pompa (*bearing fault* dan *misalignment 3 mm*) dan pengambilan data dengan variasi jarak antar *microphone array* saja pada semua konfigurasi kerusakan pompa yang dapat dilihat pada tabel 3.2.

Pengambilan data dua pompa dengan empat kerusakan pompa dilakukan dengan variasi jarak antar *microphone array* untuk semua konfigurasi kerusakan yang dapat dilihat pada tabel 3.3. Selanjutnya semua data rekaman yang telah diambil tersebut diolah dengan metode ICA untuk memperoleh hasil estimasi hasil pemisahan sinyal suara, sehingga mendapatkan nilai MSE (*Mean Square Error*) yang digunakan untuk melihat respon grafik hasil pemisahan yang dilihat dari nilai MSE dari masing-masing kerusakan pompa. Sehingga dapat diketahui bagaimana unjuk kerja ICA berdasarkan fungsi perubahan jarak sumber – sensor dan jarak sensor – sensor atau jarak antar sensor *array*.

### 4.2.1 Evaluasi Unjuk Kerja ICA Sebagai Fungsi Perubahan Jarak Sumber - Sensor.

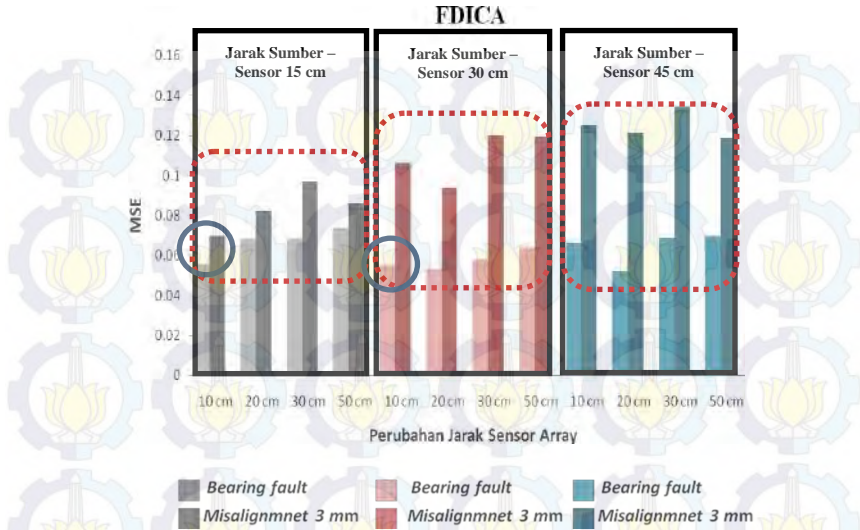
Pemisahan sinyal suara tercampur dengan metode ICA (*Time Domain ICA*, *Frequency Domain ICA* dan *Multi Stage ICA*) pada satu pompa dua kerusakan untuk *bearing fault* dan *misalignment 3 mm* dilakukan untuk evaluasi unjuk kerja ICA sebagai fungsi perubahan jarak sumber – sensor dan sensor – sensor. Perubahan jarak sumber – sensor diberikan variasi 15 cm; 30 cm; 45 cm dan perubahan jarak *microphone array* diberikan variasi 10 cm; 20 cm; 30 cm; 50 cm.

Hasil pengolahan data evaluasi unjuk kerja pemisahan sinyal ICA yang diberikan variasi perubahan jarak sumber suara mesin pompa terhadap sensor dapat dilihat pada gambar 4.11 sampai dengan gambar 4.13 yang disajikan dengan masing – masing metode berbeda.

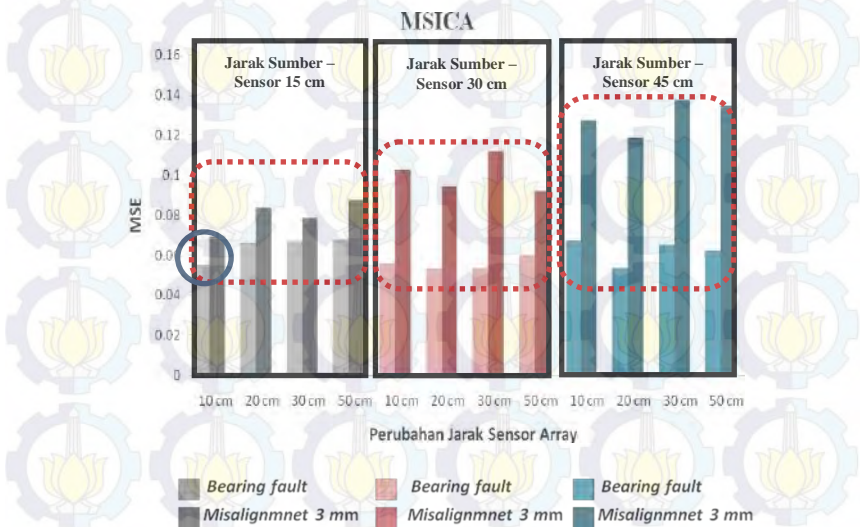


**Gambar 4.11** MSE terhadap perubahan jarak pada *Time Domain ICA*

Metode *time domain ICA* pada gambar 4.11 pemisahan sinyal suara dengan perubahan jarak sensor terhadap sumber menunjukkan bahwa semakin jauh jarak sensor terhadap sumber yang diberikan, semakin tinggi nilai MSE yang didapat oleh kerusakan *misalignment 3 mm*, kenaikan nilai MSE tersebut sangat signifikan pada setiap pertambahan jaraknya. Namun, untuk *bearing fault* cenderung memiliki nilai MSE yang stabil. Sedangkan pada metode frekuensi domain ICA dan multi stage ICA dapat dilihat pada gambar 4.12 dan gambar 4.13.



**Gambar 4.12** MSE terhadap perubahan jarak pada FDICA



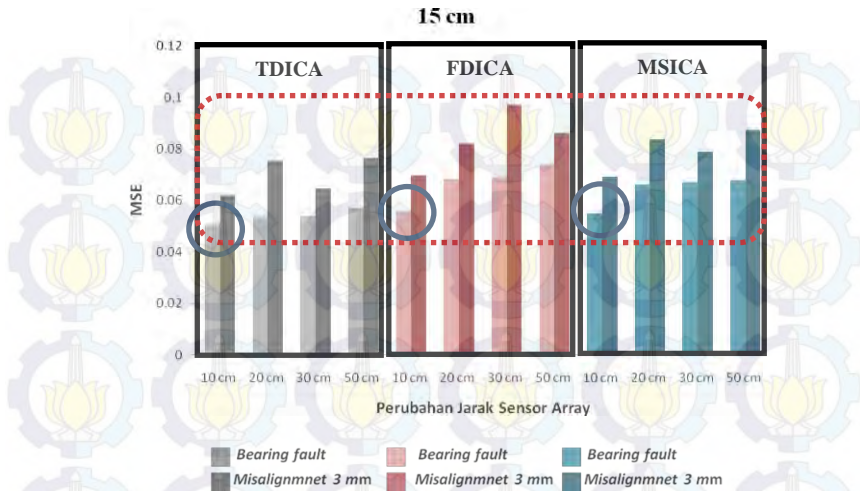
**Gambar 4.13** MSE terhadap perubahan jarak pada MSICA



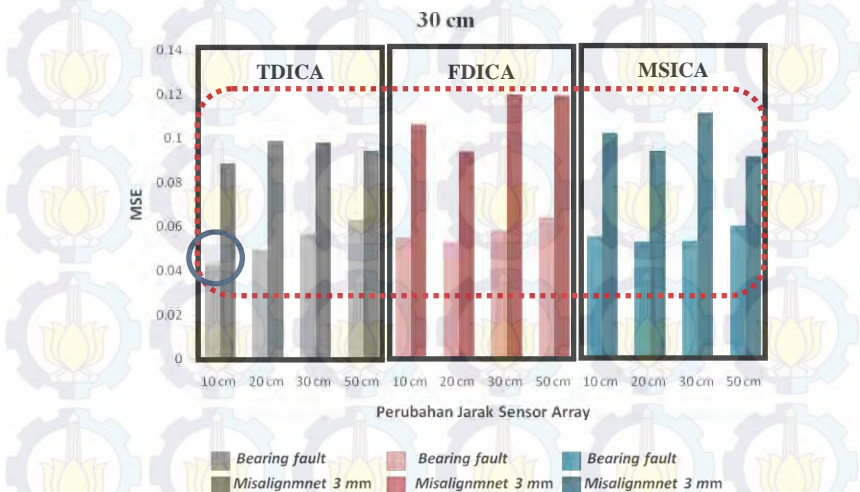
Data grafik yang paling mencolok dari data grafik gambar 4.11 sampai dengan grafik 4.13 merupakan pada jarak sumber suara terhadap sensor 15 cm. Pada jarak 15 cm menunjukkan rentang nilai MSE pada *bearing fault* dan *misalignment* 3 mm yang dekat dibandingkan rentang kerusakan pada jarak sensor terhadap sumber 30 cm dan 45 cm. Pertambahan jarak yang diberikan menunjukkan kenaikan nilai MSE pada kerusakan *misalignment* 3 mm saja, sedangkan pada *bearing fault* tidak berpengaruh. Pada *bearing fault* nilai MSE hanya pada rentang 0.04 sampai dengan 0.08 untuk seluruh metode ICA yang digunakan.

Semakin jauh jarak sumber suara terhadap sensor semakin tinggi nilai MSE yang ditunjukkan pada kerusakan *misalignment* 3 mm berlaku untuk semua metode ICA yang digunakan, sedangkan pada kerusakan *bearing* tidak terjadi kenaikan yang signifikan seperti *misalignment* 3 mm juga berlaku untuk semua metode ICA yang digunakan. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kerusakan *bearing* memiliki karakter yang sangat kuat dan kerusakan *misalignment* lebih susah untuk dideteksi karena hasil yang diperoleh lebih mengacu pada kerusakan *bearing fault* sehingga walaupun diberikan variasi perubahan jarak sumber suara terhadap sensor tidaklah berpengaruh terhadap nilai MSE.

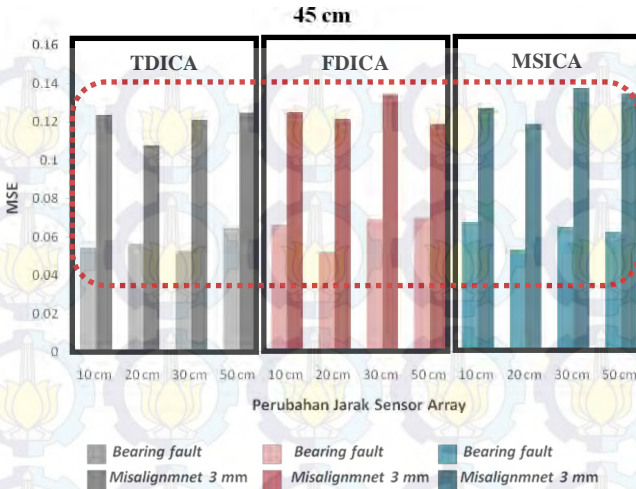
Sedangkan untuk perubahan jarak sensor *array/microphone array*, jarak terbaik adalah pada jarak 10 cm. Sebagian besar dari data menunjukkan bahwa semakin jauh jarak dari sensor *array* nilai MSE yang diperoleh semakin tinggi. Pada jarak sensor *array* lebih dari 10 cm terjadinya fenomena *spatial aliasing* semakin tinggi. Untuk hasil dari metode ICA yang berbeda terhadap setiap jarak sumber suara ke sensor yang sama pada setiap perubahan jarak *microphone array* dapat dilihat pada grafik 4.14 sampai dengan grafik 4.16.



**Gambar 4.14** MSE terhadap metode yang berbeda pada jarak sumber – sensor 15 cm



**Gambar 4.15** MSE terhadap metode yang berbeda dengan jarak sensor – pompa 30 cm



**Gambar 4.16** MSE terhadap metode yang berbeda dengan jarak sensor – pompa 45 cm

Perbandingan dengan metode ICA, pada pemisahan sinyal suara ini masih sulit untuk dilihat hasil yang terbaik dari metode, namun pada gambar 4.11 sampai dengan gambar 4.13 terlihat bahwa TDICA, FDICA dan MSICA tidak menunjukkan perubahan nilai MSE yang signifikan. Ketiganya memiliki nilai yang hampir sama. Namun, apabila diperhatikan pada tabel untuk ketiga metode yang memiliki nilai MSE paling rendah/lebih unggul dengan grafik yang relative rendah adalah ketika menggunakan TDICA yang dapat dilihat pada tabel (Lampiran A). Pada lampiran terlihat bahwa nilai MSE yang pada metode TDICA memiliki nilai paling rendah di setiap perubahan jarak sensor – sumber yaitu dengan MSE perubahan jarak sensor – sumber 15 cm 0.0506; 45 cm 0.0522; 30 cm 0.0433 dan untuk metode FDICA yang dua diantara perubahan jarak memiliki nilai MSE yang paling tinggi dari perubahan jarak sensor – sumber yaitu dengan MSE 15 cm 0.0971; 30 cm 0.1198; 45 cm 0.1377. Dari data tersebut

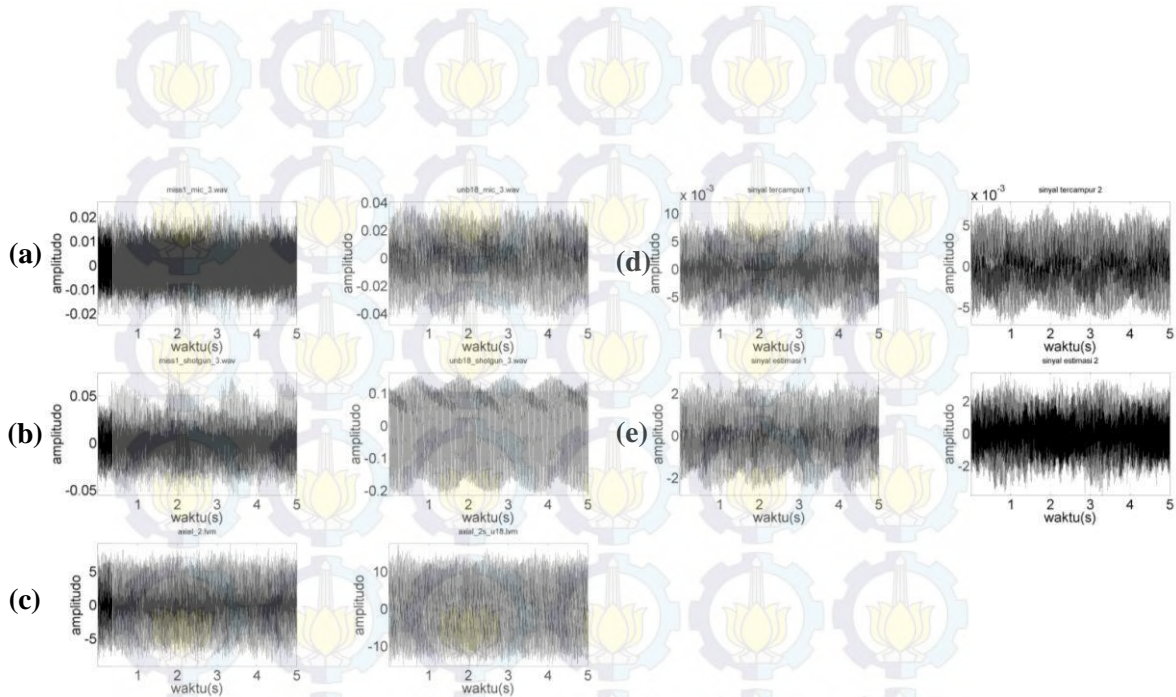
ditemukan anomali pada jarak sumber – sensor 30 cm pada nilai MSE terendah, dengan jarak tersebut di temukan nilai MSE yang lebih rendah daripada nilai MSE pada jarak sumber – sensor 15 cm.

#### **4.2.2 Evaluasi Unjuk Kerja ICA Sebagai Fungsi Perubahan Jarak Sensor Array Pada 1 Pompa dengan 2 Kerusakan.**

Deteksi multi kerusakan pada pompa dengan metode pemisahan sinyal suara tercampur dilakukan dengan menggunakan dua *microphone array/sensor array* yang dipasang secara *linier* untuk satu pompa dengan dua kerusakan. Konfigurasi pengambilan data dapat dilihat pada Gambar 3.4. Jenis kerusakan yang diambil dapat dilihat pada Tabel 3.1. Pengambilan data suara tercampur masing – masing memiliki jarak antar sumber suara – sensor tetap dengan jauh 15 cm dan dengan variasi jarak antar sensor 10 cm, 20 cm, dan 30 cm yang disimpan dengan file wav. Selanjutnya data – data rekaman dalam bentuk wav tersebut diolah dengan menggunakan *algoritma ICA (Time Domain ICA, Frequency Domain ICA dan Multi Stage ICA)*. Selanjutnya menentukan nilai MSE yang dijadikan sebagai nilai acuan kualitas dari hasil sinyal estimasi (sinyal hasil pemisahan) terhadap sinyal asli (*baseline*).

##### **4.2.2.1 TDICA (Time – Domain ICA)**

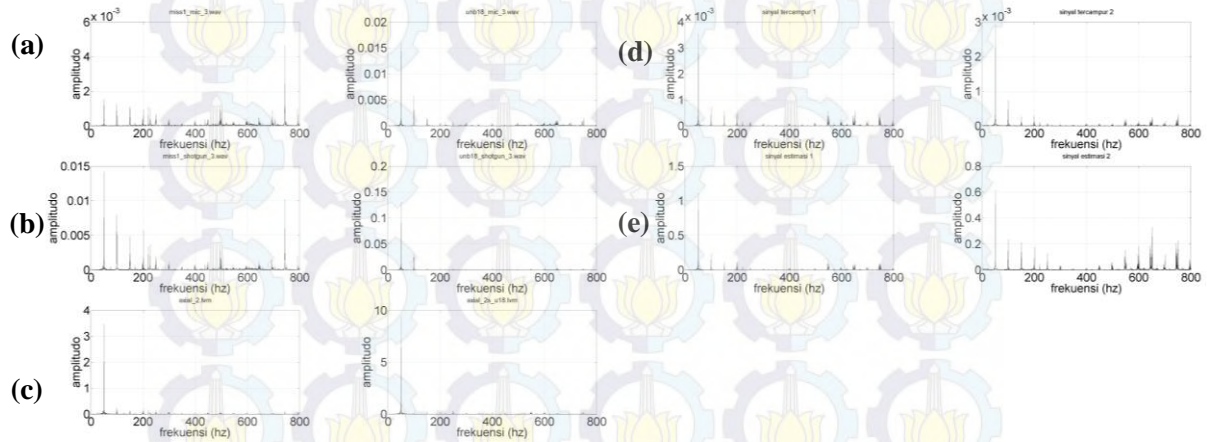
Sinyal *baseline* dari tiga variasi sensor dengan data rekaman menggunakan sensor akustik *behringer microphone* dan *shotgun microphone* serta data getaran yang diambil dengan menggunakan sensor vibrasi *accelerometer*. Sinyal suara tercampur dan sinyal estimasi dalam *waveform* dapat dilihat pada gambar 4.17 dan domain frekuensi gambar 4.18 untuk kerusakan *unbalance 27 gram.cm* dan *misalignment 1 mm*.



**Gambar 4.17** Time Waveform TDICA; (a) *Baseline behringer mic.* (b) *Baseline shotgun mic.* (c) *Baseline accelerometer* (d) *Sinyal tercampur dan* (e) *Sinyal estimasi*

**Keterangan :**

- \*miss1\_mic = kerusakan *misalignment* 1 mm menggunakan sensor *behringer* mic.
- \*miss1\_shot = kerusakan *misalignment* 1 mm menggunakan sensor *shotgun* mic.
- \*unbb18\_mic = kerusakan *unbalance* 18 (beban 18 gram) → *unbalance* 27 gram.cm menggunakan sensor *behringer* mic.
- \*unbb18\_shot = kerusakan *unbalance* 18 (beban 18 gram) → *unbalance* 27 gram.cm menggunakan sensor *shotgun* mic.



**Gambar 4.18** Spektrum Frekuensi TDICA; (a) *Baseline behringer mic.* (b) *Baseline shotgun mic.* (c) *Baseline accelerometer* (d) Sinyal tercampur dan (e) Sinyal estimasi

**Keterangan :**

\*miss1\_mic = kerusakan *misalignment* 1 mm menggunakan sensor *behringer mic.*

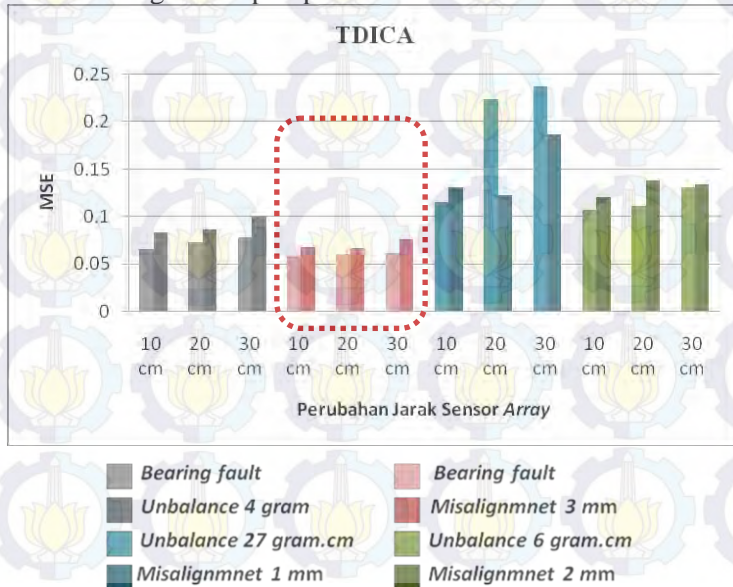
\*miss1\_shot = kerusakan *misalignment* 1 mm menggunakan sensor *shotgun mic.*

\*unb18\_mic = kerusakan *unbalance* 18 (beban 18 gram) → *unbalance* 27 gram.cm menggunakan sensor *behringer mic.*

\*unb18\_shot = kerusakan *unbalance* 18 (beban 18 gram) → *unbalance* 27 gram.cm menggunakan sensor *shotgun mic.*

*Waveform* dan spektrum frekuensi yang ditunjukkan pada gambar 4.17 dan gambar 4.18 adalah hasil pengolahan data dengan perekaman sinyal suara tercampur dengan jarak antar *microphone array* 20 cm. Dari kedua gambar tersebut terlihat bahwa (d) Sinyal tercampur 1; sinyal tercampur 2 dan (e) Sinyal estimasi 1; sinyal estimasi 2 terlihat berbeda. Sinyal estimasi dua lebih dominan mirip sinyal *baseline misalignment* 1 mm, namun untuk sinyal estimasi dua masih identik dengan sinyal tercampur dua. Seperti yang ditunjukkan oleh spektrum frekuensi yang dapat diperhatikan pada gambar 4.18, sinyal estimasi dua pada frekuensi 50 Hz sampai dengan frekuensi 200 Hz memiliki pola dengan amplitudo tinggi yang sama dengan kerusakan *misalignment* 1 mm.

Untuk meninjau seberapa kualitas dari sinyal estimasi terhadap *baseline* dapat dilihat dengan nilai MSE (*Mean Square Error*). Berikut adalah hasil MSE dari TDICA untuk semua konfigurasi 1 pompa 2 kerusakan.



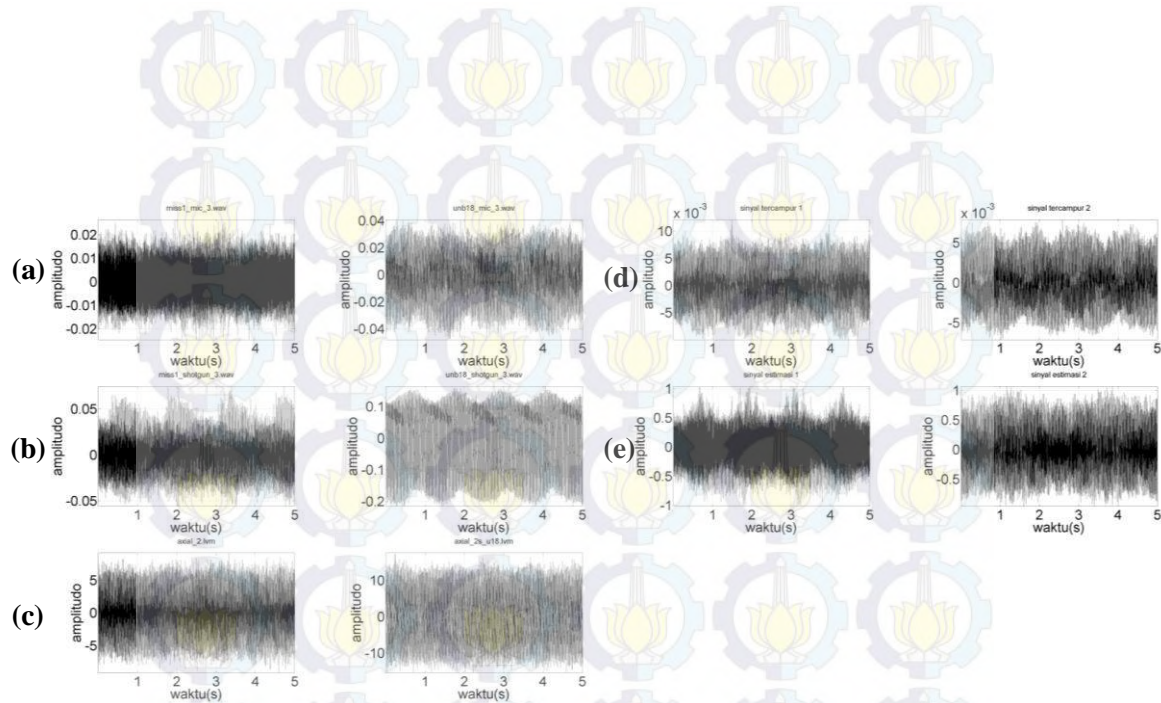
**Gambar 4.19** MSE satu pompa dua kerusakan dengan TDICA

Dari gambar 4.19 dapat menunjukkan hasil nilai MSE berdasarkan kerusakan pompa yang berbeda – beda. Kerusakan pompa dapat dilihat pada keterangan pada bawah grafik dengan warna yang berbeda – beda. Warna abu – abu adalah kerusakan *bearing fault* dan *unbalance* 6 gram.cm; warna merah adalah kerusakan *bearing fault* dan *misalignment* 3 mm; warna biru adalah kerusakan *unbalance* 27 gram.cm dan *misalignment* 1 mm dan warna hijau adalah kerusakan *unbalance* 6 gram.cm dan *misalignmet* 2 mm. Hasil nilai MSE paling rendah terlihat pada grafik yang ditandai merah, yaitu kerusakan *bearing fault* dan *misalignment* 3 mm. Nilai MSE yang rendah untuk jenis kerusakan ini dibandingkan dengan yang kerusakan yang lain berarti pada sinyal tercampur untuk kerusakan *bearing fault* dan *misalignment* 3 mm lebih mudah dipisahkan daripada jenis kerusakan yang lainnya. Sedangkan untuk nilai MSE yang paling tinggi adalah pada kerusakan *unbalance* 27 gram.cm dan *misalignment* 1 mm, berarti pada sinyal tercampur pada kerusakan tersebut paling lebih sulit dipisahkan.

#### 4.2.1.2 FDICA (*Frequency – Domain ICA*)

Sinyal *baseline* dari tiga variasi sensor dengan data rekaman menggunakan sensor akustik *behringer microphone* dan *shotgun microphone* serta data getaran yang diambil dengan menggunakan sensor vibrasi *accelerometer*. Sinyal suara tercampur dan sinyal etimasi dalam *time waveform* ditunjukkan gambar 4.20 dan spektrum frekuensi gambar 4.21 pada pompa dua kerusakan *unbalance* 27 gram.cm dan *misalignment* (1 mm) dengan menggunakan metode FDICA (*Frequency – Domain Independent Component Analysis*).





**Gambar 4.20** Time Waveform FDICA; (a) Baseline behringer mic. (b) Baseline shotgun mic. (c) Baseline accelerometer (d) Sinyal tercampur dan (e) Sinyal estimasi

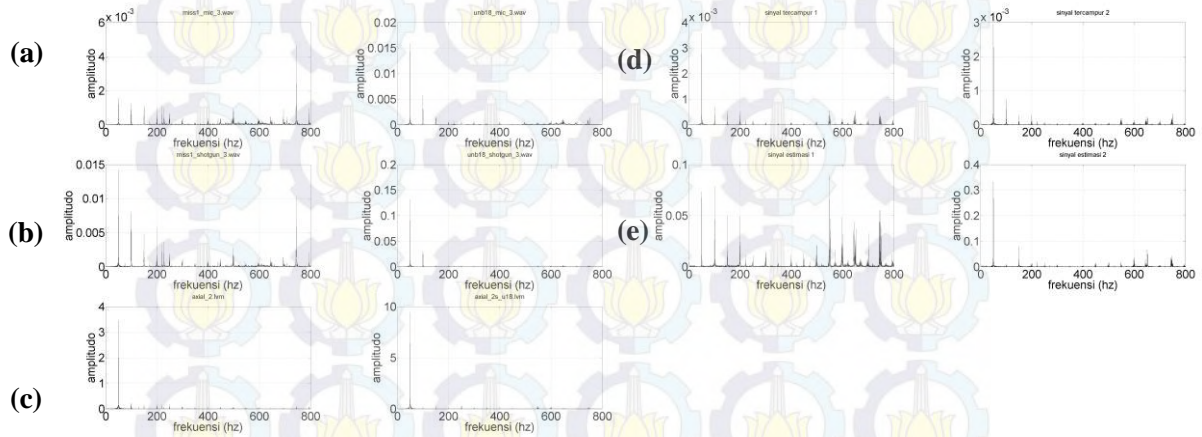
**Keterangan :**

\*miss1\_mic = kerusakan *misalignment* 1 mm menggunakan sensor *behringer* mic.

\*miss1\_shot = kerusakan *misalignment* 1 mm menggunakan sensor *shotgun* mic.

\*unbl18\_mic = kerusakan *unbalance* 18 (beban 18 gram) → *unbalance* 27 gram.cm menggunakan sensor *behringer* mic.

\*unbl18\_shot = kerusakan *unbalance* 18 (beban 18 gram) → *unbalance* 27 gram.cm menggunakan sensor *shotgun* mic.



**Gambar 4.21** Spektrum Frekuensi FDICA; (a) *Baseline behringer mic.* (b) *Baseline shotgun mic.* (c) *Baseline accelerometer* (d) *Sinyal tercampur dan* (e) *Sinyal estimasi*

**Keterangan :**

\*miss1\_mic = kerusakan *misalignment* 1 mm menggunakan sensor *behringer mic.*

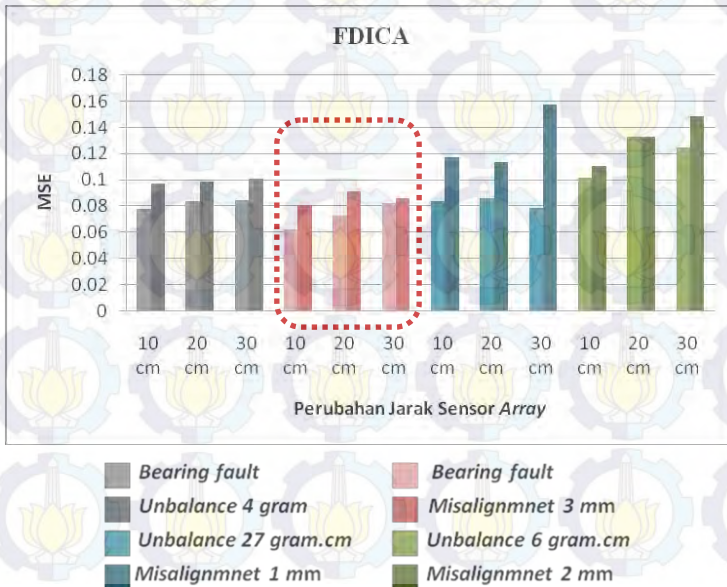
\*miss1\_shot = kerusakan *misalignment* 1 mm menggunakan sensor *shotgun mic.*

\*unb18\_mic = kerusakan *unbalance* 18 (beban 18 gram) → *unbalance* 27 gram.cm menggunakan sensor *behringer mic.*

\*unb18\_shot = kerusakan *unbalance* 18 (beban 18 gram) → *unbalance* 27 gram.cm menggunakan sensor *shotgun mic.*

FDICA pada pemisahan sinyal suara ini memiliki hasil pemisahan sinyal suara yang sama seperti metode TDICA pada bahasan sebelumnya, sinyal *time waveform* terlihat perubahan antara sinyal estimasi 1 dan sinyal estimasi 2 terhadap kedua sinyal tercampur. Sinyal estimasi 1 dominan terhadap sinyal dengan sensor *baseline misalignment* 1 mm *microphone behringer* dan sinyal estimasi 2 dominan dengan *baseline unbalance* 27 gram.cm dengan sensor *microphone behringer*.

Spektrum frekuensi kurang terlihat jelas hasil perbedaan dari kedua sinyal estimasi. Namun pada sinyal estimasi 1 di frekuensi tinggi terdapat beberapa amplitudo tinggi yang mirip dengan sinyal *baseline misalignment* 1 mm. Untuk nilai MSE pada konfigurasi kerusakan yang lain satu pompa dengan dua kerusakan pompa dengan pemisahan sinyal suara metode FDICA yang ditunjukkan pada gambar 4.22.

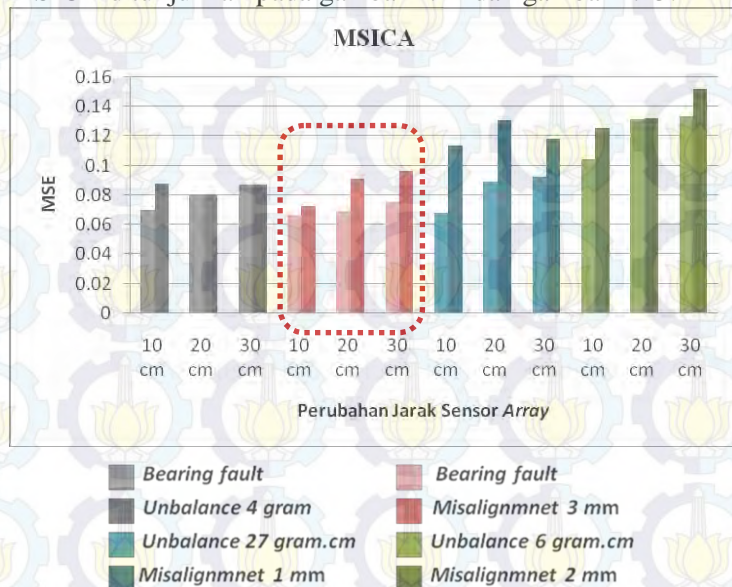


**Gambar 4.22** MSE satu pompa dua kerusakan dengan FDICA

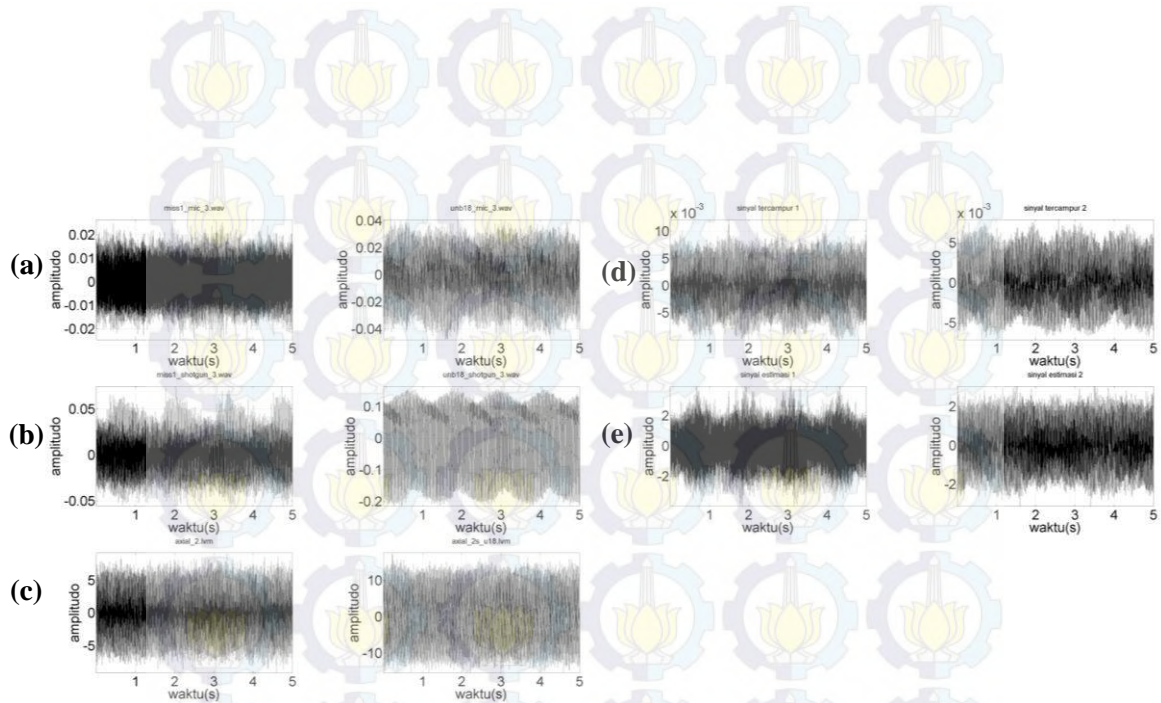
Hasil plot grafik berdasarkan nilai MSE dengan *Frequency Domain ICA* memiliki nilai MSE paling rendah adalah pada kerusakan *bearing* dan *misalignment* 3 mm, sama dengan hasil pemisahan sinyal sebelumnya dengan data nilai MSE metode *Time Domain ICA*. Sedangkan untuk variasi jarak *microphone array* juga menunjukkan hasil yang sama seperti pada gambar 4.19 yaitu dengan jarak *microphone array* 10 cm.

#### 4.2.1.3 MSICA (*Multi Stage ICA*)

Hasil MSE pemisahan sinyal suara tercampur dan sinyal etimasi dengan MSICA untuk semua konfigurasi kerusakan data dilihat pada gambar 4.23 dan untuk *time waveform* dan spektrum frekuensi pada kerusakan *unbalance* 27 gram.cm dan *misalignment* (1 mm) dengan metode MSICA ditunjukkan pada gambar 4.24 dan gambar 4.25.



**Gambar 4.23** MSE satu pompa dua kerusakan dengan MSICA



**Gambar 4.24** Time Waveform MSICA; (a) Baseline behringer mic. (b) Baseline shotgun mic. (c) Baseline accelerometer (d) Sinyal tercampur dan (e) Sinyal estimasi

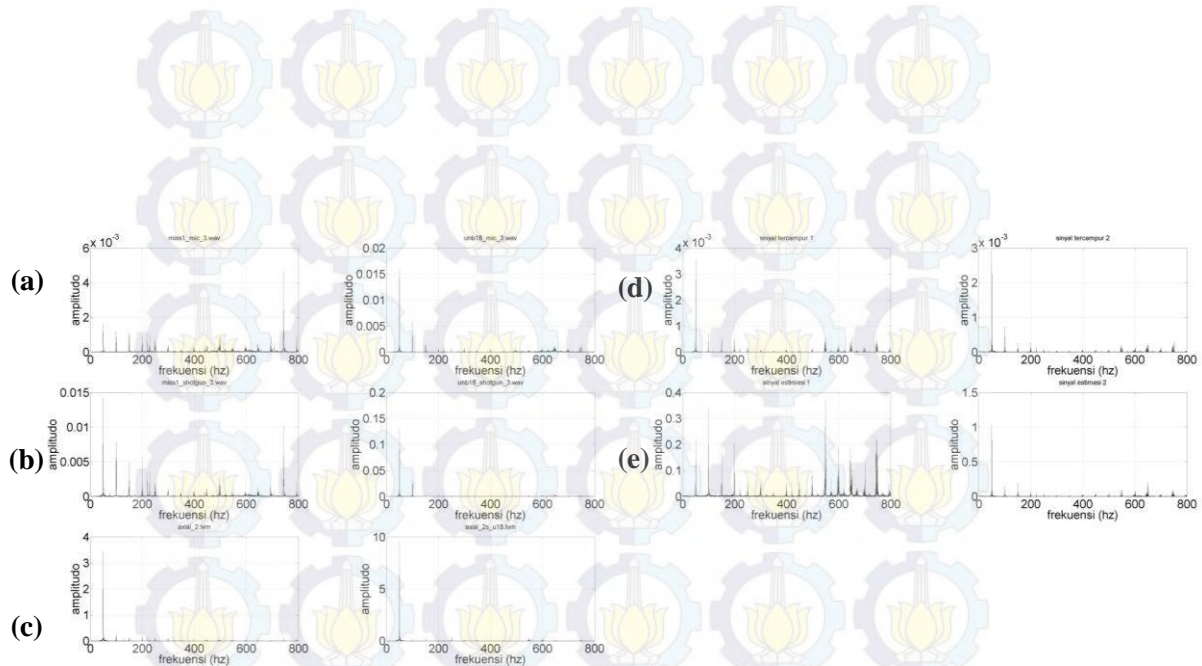
**Keterangan :**

\*miss1\_mic = kerusakan *misalignment* 1 mm menggunakan sensor *behringer* mic.

\*miss1\_shot = kerusakan *misalignment* 1 mm menggunakan sensor *shotgun* mic.

\*unb18\_mic = kerusakan *unbalance* 18 (beban 18 gram) → *unbalance* 27 gram.cm menggunakan sensor *behringer* mic.

\*unb18\_shot = kerusakan *unbalance* 18 (beban 18 gram) → *unbalance* 27 gram.cm menggunakan sensor *shotgun* mic.



**Gambar 4.25** Spektrum Frekuensi MSICA; (a) *Baseline behringer mic.* (b) *Baseline shotgun mic.* (c) *Baseline accelerometer* (d) Sinyal tercampur dan (e) Sinyal estimasi

**Keterangan :**

\*miss1\_mic = kerusakan *misalignment* 1 mm menggunakan sensor *behringer mic.*

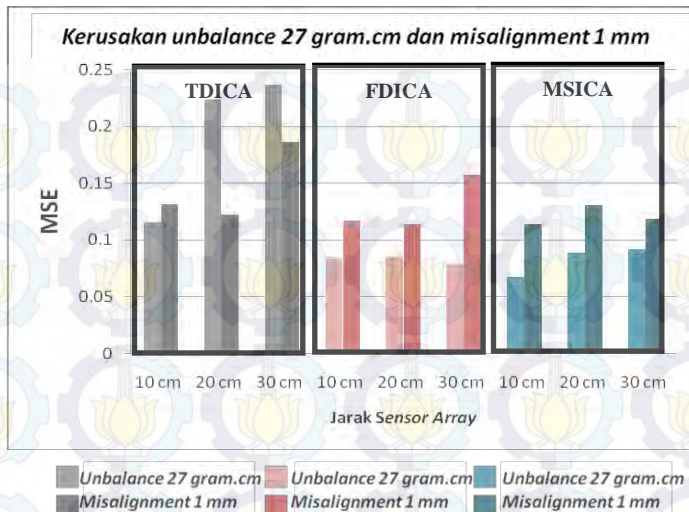
\*miss1\_shot = kerusakan *misalignment* 1 mm menggunakan sensor *shotgun mic.*

\*unbl18\_mic = kerusakan *unbalance* 18 (beban 18 gram)  $\rightarrow$  *unbalance* 27 gram.cm menggunakan sensor *behringer mic.*

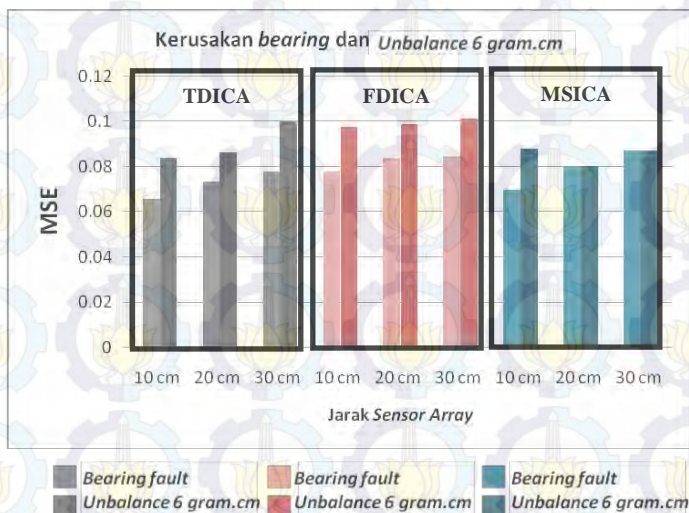
\*unbl18\_shot = kerusakan *unbalance* 18 (beban 18 gram)  $\rightarrow$  *unbalance* 27 gram.cm menggunakan sensor *shotgun mic.*

*Time waveform* gambar 4.24 adalah hasil *plot time waveform* pada pompa dengan kerusakan *unbalance* 27 gram.cm dan *misalignment* 1 mm dengan jarak antar sensor *array* 20 cm. Gambar 4.25 menunjukkan bahwa hasil sinyal estimasi 1 pada dominan dengan sinyal *baseline misalignment* 1 mm dengan sensor *behringer microphone* dan juga *shotgun microphone* untuk sinyal estimasi 2 sedikit tidak terjadi perubahan, tetap seperti pada sinyal tercampur 1. Spektrum frekuensi pemisahan sinyal suara dengan MSICA yang ditunjukkan pada gambar 4.25 menunjukkan hasil yang sama seperti sinyal *waveform* pada gambar 4.24, dengan sinyal estimasi satu yang cenderung dominan terhadap sinyal *baseline misalignment* 1 mm yang ditunjukkan pada *baseline misalignment* 1 mm memiliki amplitudo tinggi di rentang frekuensi 50 Hz sampai dengan 250 Hz. Hasil dari MSE dengan metode pemisahan sinyal suara MSICA dapat dilihat pada gambar 4.26. Metode MSICA nilai MSE yang paling rendah ditunjukkan *unbalance* 27 gram.cm dan *misalignment* 1 mm sama seperti metode TDICA dan FDICA sebelumnya dengan jarak sensor *array* 10 cm.

Selanjutnya untuk hasil MSE (*Mean Square Error*) berdasarkan semua jenis kerusakan pompa yang kemudian dibandingkan dengan tiga metode ICA (*Time Domain ICA*, *Frequency Domain ICA* dan *Multi Stage ICA*) dapat dilihat pada gambar 4.26 sampai dengan 4.30. Ketiga metode tidak menunjukkan perubahan yang signifikan, untuk menunjukkan metode pemisahan suara dengan ICA mana yang paling baik digunakan. Namun, apabila dilihat pada nilai MSE pada tabel (Lampiran A) nilai MSE dari TDICA yang menunjukkan MSE paling rendah dibandingkan dengan FDICA dan MSICA kecuali pada kerusakan *unbalance* 27 gram.cm dan *misalignment* 1 mm pada jarak sensor *array* 30 cm, TDICA memiliki nilai MSE jauh lebih tinggi dibanding dengan lainnya.

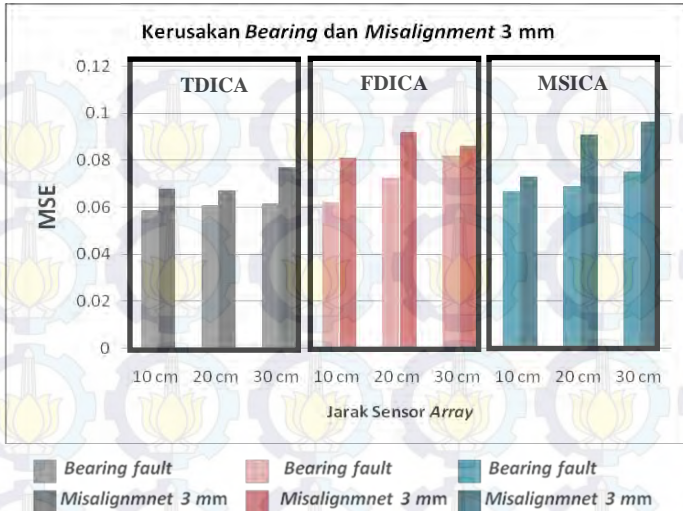


**Grafik 4.26** Nilai MSE pada kerusakan pompa *unbalance* 27 gram.cm dan *misalignment* 1 mm

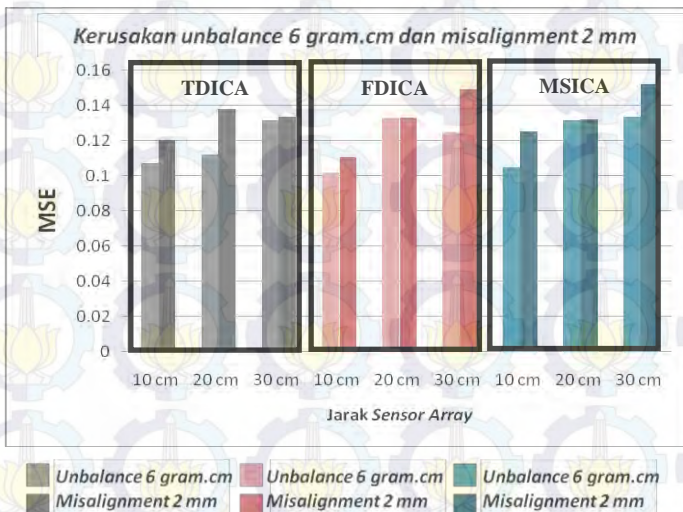


**Grafik 4.27** Nilai MSE pada kerusakan pompa *bearing* dan *unbalance* 6 gram.cm

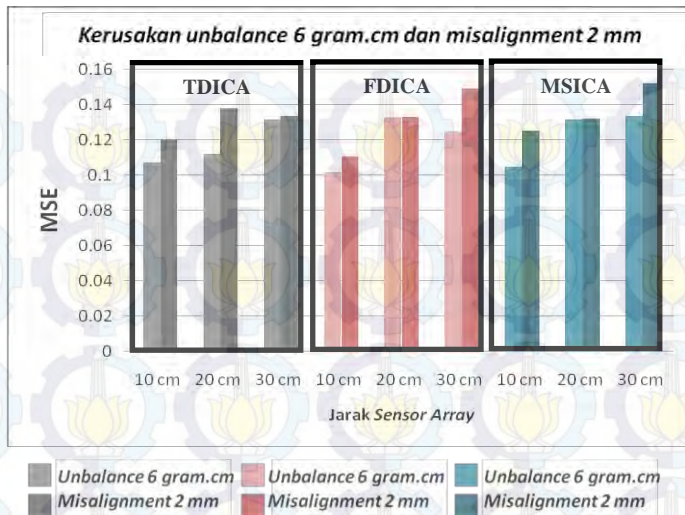




**Grafik 4.28** Nilai MSE pada kerusakan pompa *bearing* dan *misalignment* 3 mm



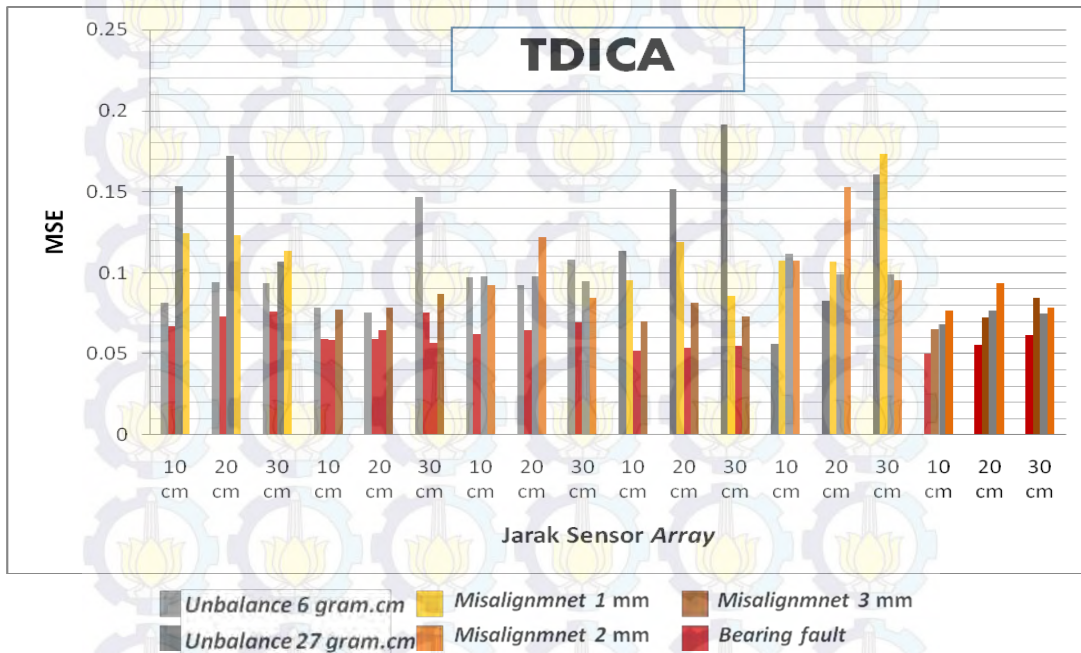
**Grafik 4.29** Nilai MSE pada kerusakan pompa *unbalance* 6 gram.cm dan *misalignment* 2 mm



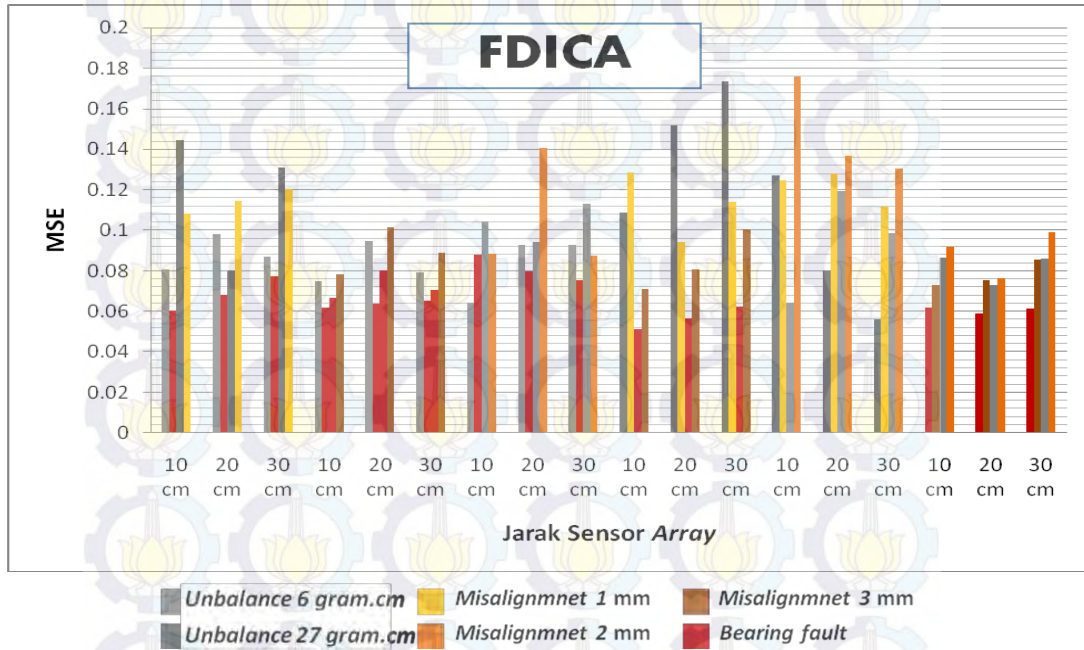
**Grafik 4.29** Nilai MSE pada kerusakan pompa *unbalance* 6 gram.cm dan *misalignment* 2 mm

#### 4.2.3 Evaluasi Unjuk Kerja ICA Sebagai Fungsi Perubahan Jarak Sensor Array Pada 2 Pompa dengan 4 Kerusakan.

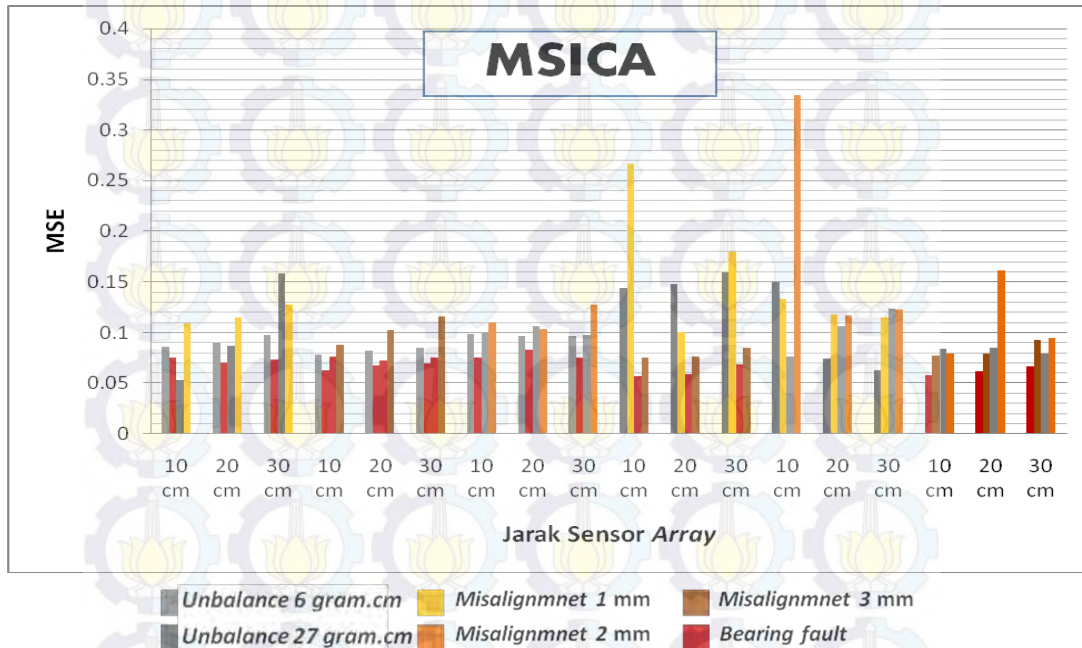
Deteksi multi kerusakan pada dua pompa dengan empat kerusakan dilakukan dengan memisahkan sinyal suara tercampur dengan menggunakan pemisahan suara ICA (*Time Domain ICA*, *Frequency Domain ICA* dan *Multi Stage ICA*) dengan pengambilan data variasi perubahan jarak *microphone array* 10 cm; 20 dan 30 cm. Pada dua pompa dengan empat kerusakan terdapat enam konfigurasi kerusakan pada pompa. Penelitian ini yang dapat dilihat pada tabel 3.3. Presentasi data hasil pengolahan disajikan dalam bentuk grafik yang nantinya akan dapat dilihat konfigurasi pada kerusakan apa saja yang lebih mudah dipisahkan dan pada jarak sensor *array* mana yang paling baik untuk digunakan pada penelitian ini.



**Gambar 4.30** Evaluasi unjuk kerja sensor *array* dua sensor empat kerusakan pompa dengan TDICA



**Gambar 4.31** Evaluasi unjuk kerja sensor *array* dua sensor empat kerusakan pompa dengan FDICA



**Gambar 4.32** Evaluasi unjuk kerja sensor *array* dua sensor empat kerusakan pompa dengan MSICA

Hasil data pada gambar 4.30 sampai dengan gambar 4.32 menunjukkan bahwa dengan menggunakan metode ICA yang berbeda untuk pemisahan sinyal suara empat sensor *array* dengan variasi jarak *microphone array* disini tidak terlihat signifikan jarak yang menghasilkan nilai MSE lebih rendah daripada lainnya seperti pada percobaan sebelumnya. Sedangkan untuk jenis kerusakan yang terlihat lebih mudah dipisahkan dengan semua metode ICA adalah jenis kerusakan *bearing fault* dengan blok berwarna merah. Namun untuk setiap konfigurasi kerusakan pompa, yang memiliki nilai MSE rata lebih rendah adalah pada kerusakan *bearing-unbalance* 6 gram.cm dan kerusakan *bearing-misalignment* 3 mm. Ketiga grafik menunjukkan bahwa kerusakan tersebut yang paling mudah untuk dapat dipisahkan dibandingkan dengan konfigurasi kerusakan yang lainnya.

#### 4.2.4 Pembahasan Pemisahan Sinyal Suara

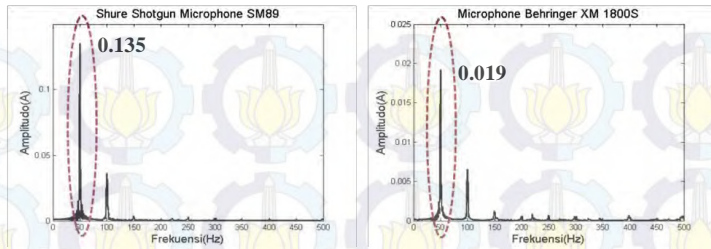
Pemisahan sinyal suara dilakukan pada satu pompa dengan dua kerusakan dengan menggunakan dua *microphone array* dan dua pompa dengan empat kerusakan dengan menggunakan empat *microphone array*. Satu pompa dengan dua kerusakan dilakukan dengan memberikan variasi perubahan jarak sensor – sumber 15 cm; 30 cm; 45 cm dan variasi perubahan jarak *microphone array* 10 cm; 20 cm; 30cm; 50 cm untuk kerusakan *bearing* dan *misalignment* 3 mm. Hasil MSE terbaik yang diperoleh dari hasil pemisahan sinyal suara dengan variasi sumber suara terhadap sensor adalah pada jarak 30 cm. Pada jarak ini ditemukan nilai MSE yang paling rendah dengan nilai 0.043 dengan jarak *microphone array* 10 cm. Semakin jauh jarak sumber suara terhadap sensor hasil nilai MSE untuk kerusakan *misalignment* 3 mm semakin tinggi, sedangkan pada *bearing fault* tidak banyak mengalami perubahan. Dari kasus ini dapat diketahui bahwa kerusakan bearing memiliki karakteristik suara yang kuat, berbeda dengan kerusakan *misalignmnet*. Selanjutnya,

pengolahan data pada semua konfigurasi kerusakan. Untuk semua konfigurasi kerusakan, kerusakan pada *misalignment* 3 mm dan *bearing fault* yang memiliki nilai MSE paling rendah dibandingkan dengan konfigurasi kerusakan yang lainnya, sedangkan kerusakan *unbalance* 27 gram.cm dan *misalignment* 1 mm yang dominan memiliki nilai MSE paling tinggi dibandingkan dengan yang lainnya. Sehingga pada kerusakan *unbalance* 27 gram.cm dan *misalignment* 1 mm dapat dikatakan bahwa sinyal suara tercampur pada kerusakan ini sulit untuk dipisahkan. Namun, untuk metode ICA (*Time Domain ICA*, *Frequency Domain ICA* dan *Multi Stage ICA*) yang digunakan tidak berpengaruh secara signifikan. Pada pemisahan sinyal suara pada kerusakan pompa ini tidak berpengaruh pada masing – masing metode yang digunakan.

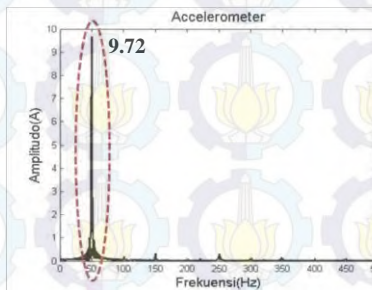
Sedangkan untuk pemisahan sinyal suara untuk empat kerusakan pada dua pompa dengan semua konfigurasi (enam konfigurasi) diperoleh nilai MSE rata lebih rendah adalah pada kerusakan *bearing-unbalance* 6 gram.cm dan kerusakan *bearing-misalignment* 3 mm namun untuk perubahan jarak *microphone array* dan metode berbeda yang digunakan tidak menunjukkan perubahan yang signifikan.

#### **4.3 Performansi *Microphone array***

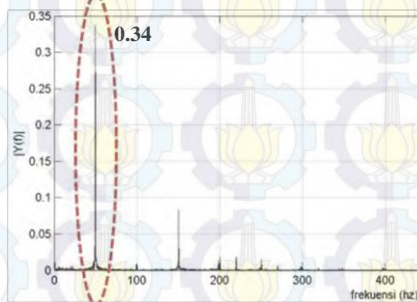
Performansi *microphone array* dapat dilihat dengan hasil data estimasi pemisahan suara pompa terhadap sensor akustik *microphone shotgun*, *microphone behringer* dan sensor vibrasi *accelerometer* yang dilakukan dengan membandingkan data *baseline* dengan data hasil estimasi pemisahan sinyal suara. Diberikan salah satu *sample* pada pada satu pompa dengan dua kerusakan (*unbalance* 27 gram.cm dan *misalignment* 1 mm) untuk melihat performansi *microphone array/sensor array* yang dapat diamati pada spektrum frekuensinya (sinyal *baseline* dan sinyal estimasi). Sinyal estimasi yang dianalisa pada kerusakan tersebut adalah pada sinyal estimasi *unbalance* 27 gram.cm.



**Gambar 4.33** *Baseline unbalance sensor akustik*



**Gambar 4.34** *Baseline unbalance sensor vibrasi*



**Gambar 4.35** *Sinyal estimasi (unbalance)*

Dari gambar 4.31 sampai dengan gambar 4.33 dapat dilihat bahwa semua gambar menunjukkan ciri yang sama pada spektrum frekuensi. Sensor akustik pada frekuensi 50 Hz dan 100 Hz memiliki nilai amplitudo, namun untuk frekuensi



50 Hz jauh lebih tinggi daripada amplitudo pada 100 Hz. Sedangkan untuk spektrum frekuensi sensor vibrasi diperoleh ciri yang sempurna untuk kerusakan *unbalance*, yaitu memiliki ciri hanya 1x frekuensi yang memiliki amplitudo tinggi, begitu juga pada sinyal estimasi pada 1x frekuensi memiliki amplitudo yang tinggi.

Dari hasil pengolahan data, performansi *microphone array* terhadap sinyal estimasi pada *unbalance 27 gram.cm* dapat dikatakan memiliki unjuk kerja yang lebih tinggi dibandingkan dengan *baseline* menggunakan sensor akustik. Karena pada sinyal estimasi memiliki amplitudo yang lebih tinggi dibandingkan dengan kedua *baseline* sinyal akustik, dengan amplitudo *baseline mic. shotgun* 0.135, amplitudo *baseline mic. behringer* 0.019 dan untuk amplitudo pada hasil estimasi adalah 0.34.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Dari penelitian yang telah dilakukan diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Ciri kerusakan pompa pada data *baseline* dengan spektrum frekuensi kerusakan *unbalance* dan *bearing fault* sesuai dengan teori, baik menggunakan sensor akustik maupun sensor vibrasi, sehingga sensor akustik dapat menggantikan sensor vibrasi.
2. Pemisahan sinyal suara dengan metode TDICA, FDICA dan MSICA tidak menunjukkan salah satu metode yang menonjol diantara ketiganya.
3. Perubahan jarak sumber – sensor yang terbaik pada percobaan adalah pada jarak 30 cm pada multi kerusakan pompa *bearing fault* dan *misalignment* 3 mm dengan nilai MSE 0.043.
4. Jarak sensor *array/microphone array* yang paling baik adalah semua data yang diambil pada jarak 10 cm.
5. Hasil unjuk kerja *microphone array* terhadap data *baseline* diperoleh bahwa pada sinyal estimasi mempunyai amplitudo yang lebih tinggi dibandingkan dengan kedua sensor akustik.

#### **5.2 Saran**

Saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya adalah untuk memperbaiki desain kerusakan pada *misalignment* dan untuk pemisahan sinyal suara tercampur lebih baik untuk menggunakan *convolutive mixture*.



**Halaman ini sengaja dikosongkan**

## LAMPIRAN A

### A1. Nilai MSE hasil pemisahan sinyal suara tercampur satu pompa dengan dua kerusakan Metode yang berbeda

**Tabel 1.** Nilai MSE hasil pemisahan dengan TDICA

Kode	Kerusakan	MSE terhadap perubahan jarak antar sensor		
		10 cm	20 cm	30 cm
2	<i>Bearing</i>	0.065728	0.073189	0.077813
	<i>Unb.6 gr.cm</i>	0.083801	0.086386	0.099798
3	<i>Unb.27 gr.cm</i>	0.115219	0.223716	0.236863
	<i>Mis.(1mm)</i>	0.131225	0.12237	0.186559
4	<i>Bearing</i>	0.058674	0.060853	0.061702
	<i>Mis.(3mm)</i>	0.067971	0.06732	0.07693
5	<i>Unb.6 gr.cm</i>	0.10708	0.111727	0.131273
	<i>Mis.(2mm)</i>	0.120312	0.137801	0.133523

**Tabel 2.** Nilai MSE hasil pemisahan dengan FDICA

Kode	Kerusakan	MSE terhadap perubahan jarak antar sensor		
		10 cm	20 cm	30 cm
2	<i>Bearing</i>	0.077548	0.083769	0.084495
	<i>Unb.6 gr.cm</i>	0.097382	0.09875	0.101119
3	<i>Unb.27 gr.cm</i>	0.083466	0.085976	0.078655
	<i>Mis.(1mm)</i>	0.11732	0.113892	0.157618
4	<i>Bearing</i>	0.061916	0.072463	0.082064
	<i>Mis.(3mm)</i>	0.080829	0.091793	0.086005
5	<i>Unb.6 gr.cm</i>	0.101863	0.132691	0.124487
	<i>Mis.(2mm)</i>	0.110319	0.132766	0.148749

**Tabel 3.** Nilai MSE hasil pemisahan dengan MSICA

Kode	Kerusakan	MSE terhadap perubahan jarak antar sensor		
		10 cm	20 cm	30 cm
2	<i>Bearing</i>	0.069829	0.079599	0.087192
	<i>Unb.6 gr.cm</i>	0.088021	0.080349	0.086831
3	<i>Unb.27 gr.cm</i>	0.06784	0.089171	0.092174
	<i>Mis.(1mm)</i>	0.113793	0.130685	0.118276
4	<i>Bearing</i>	0.066842	0.069148	0.075047
	<i>Mis.(3mm)</i>	0.072856	0.091023	0.096333
5	<i>Unb.6 gr.cm</i>	0.104564	0.131661	0.133249
	<i>Mis.(2mm)</i>	0.125297	0.131781	0.151921

**Perubahan Jarak Sumber Terhadap Sensor****Tabel 4.** MSE terhadap perubahan jarak sensor – sumber 15 cm

Metode	Kerusakan	Jarak sensor array			
		10 cm	20 cm	30 cm	50 cm
TDICA	<i>Bearing fault</i>	0.05062	0.05354	0.05391	0.05708
	<i>Mis. (3 mm)</i>	0.06186	0.07546	0.06467	0.07636
FDICA	<i>Bearing fault</i>	0.05576	0.06852	0.06868	0.07399
	<i>Mis. (3 mm)</i>	0.06984	0.08209	0.09706	0.08608
MSICA	<i>Bearing fault</i>	0.05496	0.06615	0.06709	0.06794
	<i>Mis. (3 mm)</i>	0.06923	0.08365	0.07885	0.08741

**Tabel 5.** MSE terhadap perubahan jarak sensor – sumber 30 cm

Metode	Kerusakan	Jarak sensor array			
		10 cm	20 cm	30 cm	50 cm
TDICA	<i>Bearing fault</i>	0.04334	0.04928	0.05668	0.06295
	<i>Mis. (3 mm)</i>	0.08885	0.09877	0.09805	0.09443
FDICA	<i>Bearing fault</i>	0.05498	0.05312	0.05824	0.06411
	<i>Mis. (3 mm)</i>	0.10634	0.09404	0.11980	0.11966
MSICA	<i>Bearing fault</i>	0.05573	0.05322	0.05346	0.06027
	<i>Mis. (3 mm)</i>	0.1022	0.09438	0.11182	0.09205

**Tabel 6.** MSE terhadap perubahan jarak sensor – sumber 45 cm

Metode	Kerusakan	Jarak sensor array			
		10 cm	20 cm	30 cm	50 cm
TDICA	<i>Bearing fault</i>	0.05432	0.05661	0.05308	0.06490
	<i>Mis. (3 mm)</i>	0.12368	0.10769	0.1211	0.12471
FDICA	<i>Bearing fault</i>	0.06639	0.05217	0.06911	0.06985
	<i>Mis. (3 mm)</i>	0.12523	0.12138	0.13433	0.11887
MSICA	<i>Bearing fault</i>	0.06758	0.05343	0.06512	0.06265
	<i>Mis. (3 mm)</i>	0.12724	0.11892	0.13773	0.13479

**A2. Nilai MSE hasil pemisahan sinyal suara tercampur satu pompa dengan dua kerusakan**

**Tabel 7.** Nilai MSE hasil pemisahan dengan TDICA

Percobaan ke-	Kode	Kerusakan	Jarak sensor array		
			10cm	20cm	30cm
1	4	<i>Bearing</i>	0.049798	0.055436	0.067218
		<i>Mis. (3 mm)</i>	0.065372	0.073098	0.084456
	5	<i>Unb. 6gr.cm</i>	0.059207	0.069925	0.074824
		<i>Mis. (2 mm)</i>	0.077242	0.093781	0.096927
2	4	<i>Bearing</i>	0.053696	0.053645	0.054866
		<i>Mis. (3 mm)</i>	0.062298	0.081568	0.071124
	3	<i>Unb. 27gr.cm</i>	0.136492	0.13543	0.133644
		<i>Mis. (1 mm)</i>	0.078321	0.094982	0.085489
3	2	<i>Unb. 6gr.cm</i>	0.080515	0.084567	0.083218
		<i>Bearing</i>	0.071668	0.079513	0.087746
	3	<i>Unb. 27gr.cm</i>	0.146291	0.180869	0.178823
		<i>Mis. (1 mm)</i>	0.098281	0.10768	0.113276
4	3	<i>Unb. 27gr.cm</i>	0.086057	0.082551	0.132338
		<i>Mis. (1 mm)</i>	0.170541	0.106721	0.179001
	5	<i>Unb. 6gr.cm</i>	0.142168	0.176827	0.097524
		<i>Mis. (2 mm)</i>	0.140118	0.096849	0.150882
5	2	<i>Unb. 6gr.cm</i>	0.07048	0.070139	0.073584
		<i>Bearing</i>	0.065708	0.062053	0.076178
	4	<i>Bearing</i>	0.05877	0.065615	0.063601
		<i>Mis. (3 mm)</i>	0.077381	0.072724	0.0831
6	2	<i>Unb. 6gr.cm</i>	0.077858	0.078626	0.082916
		<i>Bearing</i>	0.073816	0.076629	0.080756
	5	<i>Unb. 6gr.cm</i>	0.077858	0.078626	0.082916
		<i>Mis. (2 mm)</i>	0.084046	0.090501	0.099451

**Tabel 8.** Nilai MSE hasil pemisahan dengan FDICA

Percobaan ke-	Kode	Kerusakan	Jarak sensor array		
			10cm	20cm	30cm
1	4	<i>Bearing</i>	0.063581	0.063234	0.063324
		<i>Mis. (3 mm)</i>	0.081549	0.080059	0.077241
	5	<i>Unb. 6gr.cm</i>	0.073307	0.096998	0.063046
		<i>Mis. (2 mm)</i>	0.079204	0.078057	0.090769
2	4	<i>Bearing</i>	0.057364	0.053356	0.063681
		<i>Mis. (3 mm)</i>	0.070161	0.087299	0.097841
	3	<i>Unb.27gr.cm</i>	0.112983	0.135659	0.145965
		<i>Mis. (1 mm)</i>	0.091505	0.103345	0.106227
3	2	<i>Unb.6gr.cm</i>	0.078245	0.08252	0.10531
		<i>Bearing</i>	0.067328	0.108284	0.101731
	3	<i>Unb.27gr.cm</i>	0.140746	0.181216	0.147737
		<i>Mis. (1 mm)</i>	0.093002	0.14231	0.129584
4	3	<i>Unb.27gr.cm</i>	0.068186	0.071687	0.09429
		<i>Mis. (1 mm)</i>	0.115414	0.123319	0.103463
	5	<i>Unb.6gr.cm</i>	0.187288	0.17382	0.124879
		<i>Mis. (2 mm)</i>	0.093489	0.101945	0.086437
5	2	<i>Unb.6gr.cm</i>	0.070407	0.075851	0.078624
		<i>Bearing</i>	0.089857	0.08219	0.079511
	4	<i>Bearing</i>	0.061822	0.090669	0.065621
		<i>Mis. (3 mm)</i>	0.092822	0.090354	0.096476
6	2	<i>Unb.6gr.cm</i>	0.08012	0.084606	0.070082
		<i>Bearing</i>	0.097279	0.126234	0.091267
	5	<i>Unb.6gr.cm</i>	0.08012	0.084606	0.070082
		<i>Mis. (2 mm)</i>	0.089706	0.166393	0.101613

**Tabel 9.** Nilai MSE hasil pemisahan dengan MSICA

Percobaan ke-	Kode	Kerusakan	Jarak sensor array		
			10cm	20cm	30cm
1	4	<i>Bearing</i>	0.057345	0.056001	0.067084
		<i>Mis. (3 mm)</i>	0.082225	0.07952	0.092894
	5	<i>Unb. 6gr.cm</i>	0.075622	0.070177	0.079807
		<i>Mis. (2 mm)</i>	0.086155	0.078316	0.094195
2	4	<i>Bearing</i>	0.063099	0.056866	0.068783
		<i>Mis. (3 mm)</i>	0.161208	0.074849	0.088197
	3	<i>Unb.27gr.cm</i>	0.142985	0.139328	0.148383
		<i>Mis. (1 mm)</i>	0.154588	0.093362	0.103712
3	2	<i>Unb.6gr.cm</i>	0.081516	0.083962	0.104215
		<i>Bearing</i>	0.075608	0.137052	0.124321

	3	<i>Unb.27gr.cm</i>	0.159006	0.159641	0.153084
		<i>Mis. (1 mm)</i>	0.100866	0.172165	0.156032
4	3	<i>Unb.27gr.cm</i>	0.092609	0.074412	0.161764
		<i>Mis. (1 mm)</i>	0.098541	0.127626	0.14832
	5	<i>Unb.6gr.cm</i>	0.354218	0.214148	0.111916
		<i>Mis. (2 mm)</i>	0.086113	0.112631	0.122974
5	2	<i>Unb.6gr.cm</i>	0.075789	0.080268	0.0787
		<i>Bearing</i>	0.074267	0.072694	0.068682
	4	<i>Bearing</i>	0.066811	0.065037	0.073203
		<i>Mis. (3 mm)</i>	0.084877	0.08316	0.086336
6	2	<i>Unb.6gr.cm</i>	0.091006	0.094733	0.086741
		<i>Bearing</i>	0.081509	0.18105	0.085843
	5	<i>Unb.6gr.cm</i>	0.091006	0.094733	0.086741
		<i>Mis. (2 mm)</i>	0.095554	0.233666	0.092483



## LAMPIRAN B

### B.1 Spesifikasi *Microphone* Behringer XM 1800S



#### ▪ Spesifikasi

<i>Type</i>	: <i>Dynamic</i>
<i>Frequency response</i>	: 80 Hz to 15 KHz
<i>Polar pattern</i>	: <i>Supercardioida</i>
<i>Impedance</i>	: 600 $\Omega$
<i>Sensitivity</i>	: -52dbV (0 dbV = 1V/Pa), 2.5 mV/Pa

#### ▪ *Dimention*

<i>Head Length</i>	: 57.5mm
<i>Main Length Unit</i>	: 117.5mm
<i>Total Length</i>	: 175 mm
<i>Weight</i>	: 230 g

#### ▪ *Respon Microphone*

##### *Frequency Response*

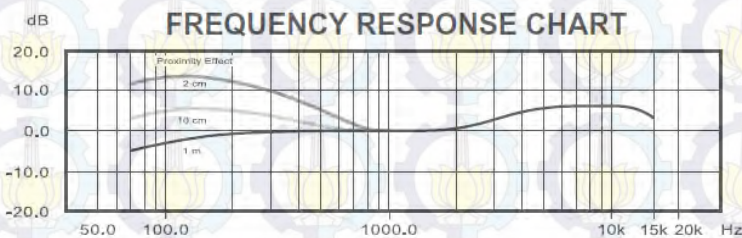
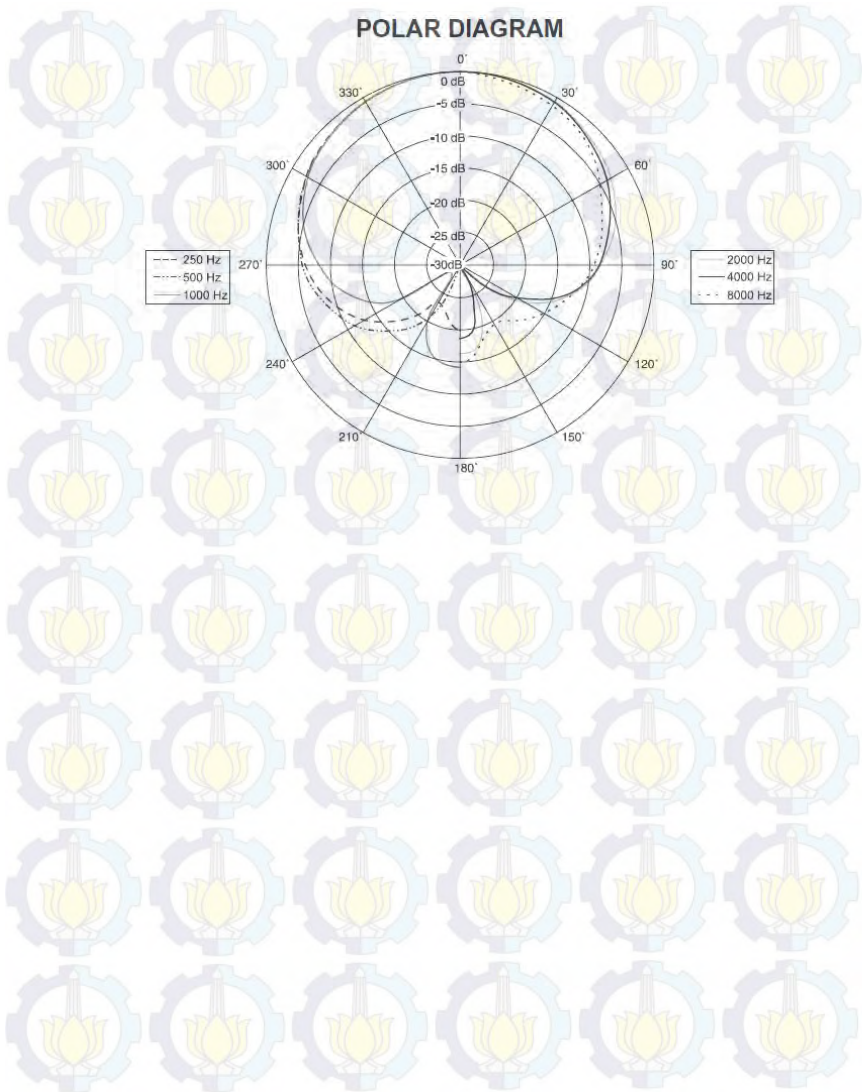


Fig. 6.1: Polar diagram and frequency response chart

## *Polar Patterns*



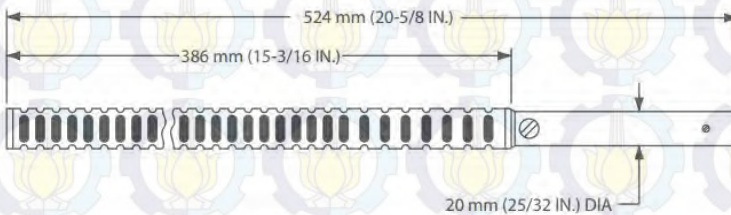
## B.2 Spesifikasi Shure Shotgun Microphone SM89



### ▪ Spesifikasi

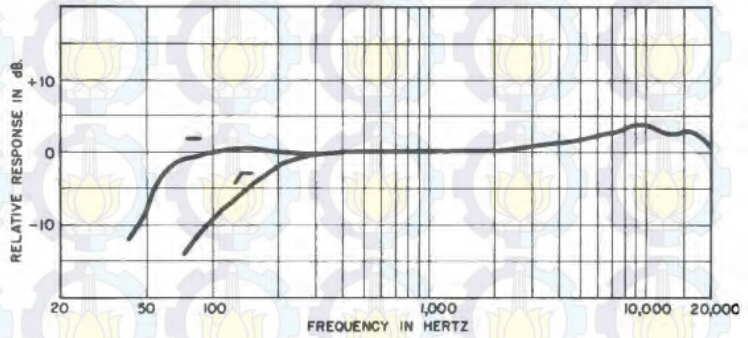
Type	: Pressure gradient/line combination
Transducer	: Condenser
Frequency response	: 60 Hz to 20,000 Hz
Polar pattern	: Hypercardioid
Output Impedance	: Rated at 150 $\Omega$ (100 $\Omega$ actual)
Sensitivity	: -33dBV/Pa (22.2 mV), at 1,000 Hz

### ▪ Dimention



OVERALL DIMENSIONS

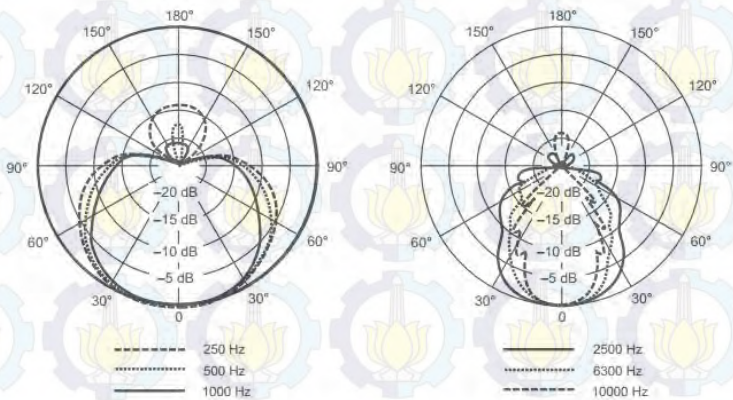
▪ **Respon Microphone**  
**Frequency Response**



\*Curves shown at 1.8m (6 ft)

**TYPICAL ON-AXIS FREQUENCY RESPONSE**

**Polar Patterns**



**TYPICAL POLAR PATTERNS**

Curves shown at 1.8m (6 ft)

## B.3 Spesifikasi *accelerometer* model 352C33

	ENGLISH	SI																					
<b>Performance</b>																							
Sensitivity(± 10 %)	100 mV/g	10.2 mV/(m/s <sup>2</sup> )																					
Measurement Range	± 50 g pk	± 490 m/s <sup>2</sup> pk																					
Frequency Range(± 5 %)	0.5 to 10,000 Hz	0.5 to 10,000 Hz																					
Frequency Range(± 10 %)	0.3 to 15,000 Hz	0.3 to 15,000 Hz																					
Resonant Frequency	≥ 50 kHz	≥ 50 kHz																					
Broadband Resolution(1 to 10,000 Hz)	0.00015 g rms	0.0015 m/s <sup>2</sup> rms	[1]																				
Non-Linearity	≤ 1 %	≤ 1 %	[4]																				
Transverse Sensitivity	≤ 5 %	≤ 5 %	[5]																				
<b>Environmental</b>																							
Overload Limit(Shock)	± 5000 g pk	± 49,000 m/s <sup>2</sup> pk																					
Temperature Range(Operating)	-65 to +200 °F	-54 to +93 °C	[3]																				
Temperature Response	See Graph	See Graph	[3][1]																				
Base Strain Sensitivity	0.003 g/με	0.029 (m/s <sup>2</sup> )/με	[1]																				
<b>Electrical</b>																							
Excitation Voltage	18 to 30 VDC	18 to 30 VDC																					
Constant Current Excitation	2 to 20 mA	2 to 20 mA																					
Output Impedance	≤ 200 ohm	≤ 200 ohm																					
Output Bias Voltage	7 to 12 VDC	7 to 12 VDC																					
Discharge Time Constant	1.0 to 2.5 sec	1.0 to 2.5 sec																					
Settling Time(within 10% of bias)	<10 sec	<10 sec																					
Spectral Noise(1 Hz)	39 μg/√Hz	380 (μm/s <sup>2</sup> )/√Hz	[1]																				
Spectral Noise(10 Hz)	11 μg/√Hz	110 (μm/s <sup>2</sup> )/√Hz	[1]																				
Spectral Noise(100 Hz)	3.4 μg/√Hz	33 (μm/s <sup>2</sup> )/√Hz	[1]																				
Spectral Noise(1 kHz)	1.4 μg/√Hz	14 (μm/s <sup>2</sup> )/√Hz	[1]																				
<b>Physical</b>																							
Sensing Element	Ceramic	Ceramic																					
Sensing Geometry	Shear	Shear																					
Housing Material	Titanium	Titanium																					
Sealing	Hermetic	Hermetic																					
Size (Hex x Height)	0.44 in x 0.62 in	11.2 mm x 15.7 mm																					
Weight	0.20 oz	5.8 gm	[1]																				
Electrical Connector	10-32 Coaxial Jack	10-32 Coaxial Jack																					
Electrical Connection Position	Side	Side																					
Mounting Thread	10-32 Female	10-32 Female																					
Mounting Torque	10 to 20 in-lb	113 to 226 N-cm																					
	<p>Typical Sensitivity Deviation vs Temperature</p> <table border="1"> <caption>Typical Sensitivity Deviation vs Temperature</caption> <thead> <tr> <th>Temperature (°F)</th> <th>Sensitivity Deviation (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>-70</td> <td>-10</td> </tr> <tr> <td>-20</td> <td>-5</td> </tr> <tr> <td>30</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>80</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>130</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>180</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>230</td> <td>4.5</td> </tr> <tr> <td>280</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>330</td> <td>5</td> </tr> </tbody> </table>			Temperature (°F)	Sensitivity Deviation (%)	-70	-10	-20	-5	30	0	80	2	130	3	180	4	230	4.5	280	5	330	5
Temperature (°F)	Sensitivity Deviation (%)																						
-70	-10																						
-20	-5																						
30	0																						
80	2																						
130	3																						
180	4																						
230	4.5																						
280	5																						
330	5																						
<b>CE</b>			[6]																				

All specifications are at room temperature unless otherwise specified.

In the interest of constant product improvement, we reserve the right to change specifications without notice.

ICP® is a registered trademark of PCB Group, Inc.

### OPTIONAL VERSIONS

Optional versions have identical specifications and accessories as listed for the standard model except where noted below. More than one option may be used.

<b>HT</b> - High temperature, extends normal operation temperatures			[3]
Frequency Range(5 %)	6 to 10,000 Hz	6 to 10,000 Hz	
Frequency Range(10 %)	4.5 to 15,000 Hz	4.5 to 15,000 Hz	
Broadband Resolution(1 to 10,000 Hz)	0.0009 g rms	0.009 m/s <sup>2</sup> rms	
Temperature Range(Operating)	-65 to +325 °F	-54 to +163 °C	
Excitation Voltage	22 to 30 VDC	22 to 30 VDC	
Discharge Time Constant	0.07 to 0.15 sec	0.07 to 0.15 sec	
Spectral Noise(1 Hz)	107 µg/√Hz	1050 (µm/s <sup>2</sup> )/√Hz	
Spectral Noise(10 Hz)	58 µg/√Hz	570 (µm/s <sup>2</sup> )/√Hz	
Spectral Noise(100 Hz)	41 µg/√Hz	400 (µm/s <sup>2</sup> )/√Hz	
Spectral Noise(1 kHz)	9.8 µg/√Hz	96 (µm/s <sup>2</sup> )/√Hz	
Output Bias Voltage	10 to 15 VDC	10 to 15 VDC	[2]
Supplied Accessory : Model ACS-68 Single Axis Amplitude Response Calibration from 5 Hz to upper 5% plotted on dB scale replaces Model ACS-1			

<b>J</b> - Ground Isolated		
Frequency Range(5 %)	9 kHz	9 kHz
Frequency Range(10 %)	14 kHz	14 kHz
Resonant Frequency	≥ 40 kHz	≥ 40 kHz
Electrical Isolation(Base)	>10 <sup>8</sup> ohm	>10 <sup>8</sup> ohm
Size - Hex x Height	0.44 in x 0.67 in	11.2 mm x 17.0 mm
Weight	0.21 oz	6.0 gm

<b>T</b> - TEDS Capable of Digital Memory and Communication Compliant with IEEE P1451.4		
<b>TLA</b> - TEDS LMS International - Free Format		
<b>TLB</b> - TEDS LMS International - Automotive Format		
<b>TLC</b> - TEDS LMS International - Aeronautical Format		
<b>TLD</b> - TEDS Capable of Digital Memory and Communication Compliant with IEEE 1451.4		
Temperature Range(Memory Access)	-10 to +200 °F	-23 to +93 °C
Excitation Voltage	20 to 30 VDC	20 to 30 VDC
Output Bias Voltage	7.5 to 13 VDC	7.5 to 13 VDC

<b>W</b> - Water Resistant Cable		
Electrical Connector	Sealed Integral Cable Side	Sealed Integral Cable Side
Electrical Connection Position		

#### NOTES:

- [1] Typical.
- [2] TEDS option adds 1.0 VDC to bias voltage.
- [3] 200°F to 325°F data valid with HT option only.
- [4] Zero-based, least-squares, straight line method.
- [5] Transverse sensitivity is typically ≤ 3%.
- [6] See PCB Declaration of Conformance PS023 for details.

#### SUPPLIED ACCESSORIES:

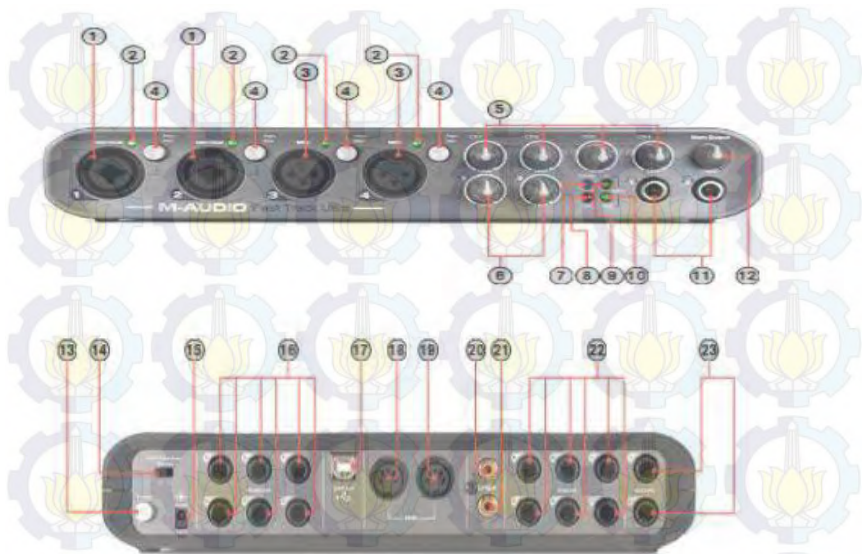
- Model 080A Adhesive's Mounting Base (1)
- Model 080A109 Petro Wax (1)
- Model 081B05 Mounting Stud (10-32 to 10-32) (1)
- Model ACS-1 NIST traceable frequency response (10 Hz to upper 5% point), (1)
- Model M081B05 Mounting Stud 10-32 to M6 X 0.75 (1)

Entered: <u>BLS</u>	Engineer: <u>BU</u>	Sales: <u>WDC</u>	Approved: <u>EB</u>	Spec Number:
Date: <u>4.15.08</u>	Date: <u>4.15.08</u>	Date: <u>4.15.08</u>	Date: <u>4.15.08</u>	13118

**PCB PIEZOTRONICS**  
VIBRATION DIVISION  
3425 Walden Avenue, Depew, NY 14043

Phone: 716-684-0001  
Fax: 716-685-3886  
E-Mail: vibration@pcb.com

## B.4 Spesifikasi M-Audio *Fast track*



### **Keterangan :**

1. *Microphone/Instrument Inputs 1 and 2 (Mic/Inst)*
2. *LED Level Meters*
3. *Microphone Inputs 3 and 4 (Mic)*
4. *Front/Rear (Mic/Line Level) Switches*
5. *Mic/Instrument Gain/Pad 1-4 (Gain)*
6. *Headphone Output Knobs*
7. *Power LED (Power)*
8. *Phantom Power LED (48V)*
9. *MIDI Input LED (MIDI In)*
10. *MIDI Output LED (MIDI Out)*
11. *Headphone Outputs*
12. *Main Output Knob (Main Output)*
13. *Power Button (Power)*
14. *Phantom Power Switch (48V Phantom Power)*

15. *Power Input (5V DC)*
16. *Line Outputs (Outputs)*
17. *USB Connector (USB 2.0)*
18. *MIDI Output (MIDI Out)*
19. *MIDI Input (MIDI In)*
20. *S/PDIF Input (S/PDIF In)*
21. *S/PDIF Output (S/PDIF Out)*
22. *Line Inputs (Inputs)*
23. *Inserts (Inserts)*





<b>Line Outputs</b>	
Frequency Response:	20 Hz to 22 kHz, $\pm 0.1$ dB @ 48 kHz sample rate
SNR and Dynamic Range:	+104 dB, A-weighted
THD+N:	0.002% @ +1dBFS, 1kHz
Signal Level:	$\pm 10$ dBu balanced $\pm 2$ dBV, unbalanced
Impedance:	800 Ohm balanced 150 Ohm unbalanced
Crosstalk:	< -100 dB @ 1 kHz
<b>Line Inputs</b>	
Frequency response:	20 Hz to 22 kHz, $\pm 0.3$ dB @ 48 kHz sample rate
SNR and Dynamic Range:	+103 dB, A-weighted
THD+N:	0.002% @ +1dBFS, 1kHz
Signal Level:	$\pm 3.4$ dBu balanced $\pm 1.2$ dBV, unbalanced
Impedance:	20K Ohm balanced 10K Ohm unbalanced
Crosstalk:	< -100 dB @ 1 kHz
<b>Headphone Outputs</b>	
Frequency Response:	20 Hz to 22 kHz, $\pm 0.7$ dB @ 48 kHz sample rate
SNR and Dynamic Range:	98 dB, A-weighted
THD+N:	< 0.005% at maximum volume
Working Range:	24 to 800 ohms
Maximum Output Level:	0dbv into 32ohms
Crosstalk:	55 dB @ 1 kHz
<b>Microphone Input</b>	
Preamp Gain:	60dB or greater
SNR (min gain):	+103 dB, A-weighted
Dynamic Range (min gain):	103 dB, A-weighted
THD+N (min gain):	0.003% @ +1dBFS
Freq. Response (min gain):	20 Hz to 22 kHz, $\pm 0.1$ dB @ 48 kHz sample rate
Sensitivity:	$\pm 18$ dBu max level at min gain, $\pm 21$ dBu max level at min gain (pad engaged)
Phantom Power:	48 Volts DC no load, 16mA max
Switchable Pad:	-20 dB
<b>Instrument Input</b>	
Preamp Gain:	0dB to 40dB or greater
Impedance:	1M Ohm unbalanced
SNR (min gain):	+103 dB, A-weighted
Dynamic Range (min gain):	103 dB, A-weighted
THD+N (min gain):	0.006% (88 dB) @ +1 dBFS, 1 kHz
Freq. Response (min gain):	20 Hz to 22 kHz, $\pm 0.3$ dB @ 48 kHz sample rate
Maximum Input:	$\pm 14$ dBu max level at min gain (pad disengaged)
Switchable Pad:	-20 dB
<b>Power Requirements</b>	Power is derived from either the host computer's USB bus or from the included EVDC 3000mA power supply.

## DAFTAR PUSTAKA

- Hyvarinen, A., Oja E., 2000. "Independent Component Analysis: Algorithms and Applications". Neural Network, 13(4-5):411-430
- Saruwatari, H et.al. 2002. "Blind Source Separation of Acoustic Signal Based on Multistage Independent Component Analysis". Power Point File.
- Machinerylubrication, 2002. Tipe Misalignment. <http://www.machinerylubrication.com/Read/421/coupling-lubrication> (Diakses tanggal 2 Februari 2014)
- Nishikawa, T., Saruwatari H. Shikano, K., April 2003. "Blind Source Separation of Acoustic Signals Based on Multistage ICA Combining Frequency-Domain ICA and Time-Domain ICA". IEICE Trans. Fundamentals, Vol.E86-A, NO.4
- Scheffer, Cornelius and Girdhar, Paresh. 2004. "Machinery Vibration Analysis & Predictive Maintenance".
- \_\_\_\_\_. 2006. "Model SM89 User Guide". SHURE Incorporated
- Aji K, .2007. "Deteksi Kerusakan Bantalan Gelinding pada Pompa Sentrifugal dengan Analisa Sinyal Getaran", Tugas Akhir, Jurusan Teknik Mesin Universitas Sebelas Maret.
- Karnowo, Anis, Samsudin. 2008. "Dasar Pompa". Tugas Akhir Universitas Negeri Semarang, Semarang.
- Yang yang, Li Zouli, Wang Xiuqin and Zhang Di. 2011. "Noise Source Separation based on the Blind Source Separation", Journal Chinese Control and Decision Conference (CCDC), IEEE
- Gao Lixin, Zai F., Su S., Wang H., Chen P., and Liu L. "Study and Application of Acoustic Emission Testing in Fault Diagnosis of Low-Speed Heavy-Duty Gears". Sensors 2011,11,599-611;doi:10.3390/s110100599

- Ridasari F, Arifianto D, dan Rahmadiansyah A, “Penerapan *Time Frequency Independent Component Analysis (TFICA)* untuk Mendeteksi *Multi* Kerusakan Pada Mesin Putar”. Jurnal Teknik Pomits Vol. 1, (2012) 1-6
- Zuhdi M.S, .2013. “Deteksi Sumber Bising Pada *Plant* Pompa di Laboratorium Akustik Menggunakan Nonlinear Mikrofon *Array*”, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Fisika Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- Pribadi R.J.,2014. “Pemisahan Suara Tercampur (*Source Separation*) Bawah Air Dengan Metode *Time-Frequency Independent Component Analysis* Pada *Semi-Anechoic Water Tank*”, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Fisika Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- Fauziyah A.,2014. “Deteksi Multi-Kerusakan pada Pompa Menggunakan *Accelerometer Array*”, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Fisika Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

## BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Tulungagung pada tanggal 20 November 1990 yang merupakan anak ke-tiga dari empat bersaudara. Riwayat pendidikan formal di SDN Karangrejo I, SMPN 1 Tulungagung, SMAN 1 Boyolangu Tulungagung. Setelah lulus SMA penulis menempuh pendidikan D3 Teknik Instrumentasi di-ITS. Kemudian melanjutkan ke jenjang pendidikan S1 di Jurusan Teknik Fisika-ITS.

Selama menjadi mahasiswa penulis cukup aktif dalam beberapa organisasi mahasiswa, seperti Himpunan Mahasiswa Teknik Fisika dan BEM ITS. Penulis mengambil bidang minat rekayasa akustik dan fisika bangunan sebagai tema tugas akhirnya. Penulis dengan hobi *travelling* dan *design* ini dapat dihubungi di alamat email [rizkawahyunovita@gmail.com](mailto:rizkawahyunovita@gmail.com)