

PEMISAHAN BANYAK SUMBER SUARA MESIN MENGGUNAKAN *INDEPENDENT COMPONENT ANALYSIS (ICA)* UNTUK DETEKSI KERUSAKAN

B.T. Atmaja, A.S. Aisyah, dan D. Arifianto

Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS),
Kampus ITS Sukolilo, Surabaya, 60111, Indonesia

E-mail: backguys@ep.its.ac.id

Abstrak

Pemeliharaan kondisi mesin di industri membutuhkan kecepatan dan kemudahan, salah satu metodenya adalah dengan analisis getaran. Getaran mesin menyebabkan pola suara yang diemisikan mesin, di mana suara mesin satu bercampur dengan mesin lainnya. *Blind Source Separation (BSS)* merupakan teknik memisahkan sinyal campuran berdasarkan sifat kebebasan statistik antar sumber. Melalui simulasi dengan beberapa motor dan susunan mikrofon sebagai sensor, didapatkan data suara campuran dari beberapa motor yang terekam melalui tiap mikrofon. Intensitas sinyal yang diterima mikrofon berbeda satu sama lain, tergantung pada jarak dan sudut datangnya. Tujuan penelitian ini adalah untuk memisahkan sinyal campuran dari tiap mikrofon sehingga didapatkan sinyal estimasi sumber untuk mendeteksi kerusakan motor. Berdasarkan hasil penelitian, diperoleh pemisahan sinyal terbaik dalam *Time-Domain ICA*. Sinyal estimasi tersebut dianalisis untuk menentukan kondisi kerusakan mesin berdasarkan pola frekuensi sesaatnya.

Kata Kunci: *deteksi kerusakan, ICA, sinyal suara*

Abstract

Maintenance of engine condition in the industry requires speed and convenience, one of the method is by vibration analysis. Machine's vibration causes the machine emitted sound pattern, in which an engine sound mixed with other machine's. *Blind Source Separation (BSS)* is a technique to separate mixed signals based on the statistical independence properties between the sources. Through simulation with several motors and the composition of the microphones as the sensor, noise mixture data obtained from some motors recorded by each microphone. The signal intensity received by microphone are different from each other, depending on the distance and angle of arrival. The purpose of this study is to separate the mixed signals from each microphone to obtain estimation of the signal source to detect the motor damage. Based on the research, obtained the best signal separation in the *Time-Domain ICA*. Signal estimation is analyzed to determine the condition of an engine failure patterns based on instantaneous frequency.

Keywords: *damage detection, ICA, sound signal*

1. Pendahuluan

Strategi dalam dunia pemeliharaan di industri mulai mengarah pada *predictive maintenance (PdM)*. *PdM* memonitor peralatan berdasarkan kondisi peralatan tersebut sehingga teknik ini disebut pula *condition monitoring*. Ada beberapa metode yang digunakan dalam *PdM*, antara lain analisis vibrasi, termografi, tribologi, dan motor current. Menurut operator di lapangan, analisis vibrasi merupakan metode yang paling handal dalam menentukan kerusakan mesin. Perubahan terhadap parameter sinyal vibrasi (amplitudo, frekuensi, dan fase) bisa dideteksi sebagai kelainan kondisi mesin terhadap kondisi normal. Teknik inilah yang banyak digunakan di industri untuk pemeliharaan peralatannya.

Perubahan parameter getaran juga mengakibatkan perubahan terhadap parameter suara yang diemisikan mesin. Hal ini disebabkan karena suara yang ditimbulkan mesin berasal dari mesin tersebut di mana hal ini berlaku secara umum. Dengan mengetahui karakteristik suara mesin normal dan abnormal maka dapat dibangun suatu metode pemeliharaan berdasarkan analisis pola suara.

Pada penelitian sebelumnya telah berhasil dilakukan analisis sinyal suara mesin dari satu mesin dengan menggunakan satu mikrofon sebagai sensornya. Namun kenyataannya mesin yang digunakan di industri tidak tunggal melainkan lebih dari satu mesin. Suara dari mesin satu akan bercampur dengan mesin lainnya. Untuk mengembangkan metode pemeliharaan dengan

analisis pola suara maka dibutuhkan metode untuk memisahkan sinyal suara antar mesin tersebut, sehingga nantinya didapatkan sinyal estimasi sumber suara mesin yang dapat dianalisis untuk menentukan kondisi mesin.

Pada penelitian ini akan dipaparkan hasil penelitian yang telah dilakukan tentang pemisahan sinyal suara dari banyak mesin untuk deteksi kerusakan. Metode pemisahan yang digunakan adalah *Independent Component Analysis* (ICA) berdasarkan pada jurnal [1-3]. Penulisan penelitian ini diawali dengan latar belakang penelitian, penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, teori yang digunakan pada penelitian ini, metode penelitian yang digunakan, hasil dan analisis data, serta kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan. Hasil penelitian ini diharapkan mampu mengembangkan permasalahan pada penelitian sebelumnya serta berkelanjutan untuk mengembangkan metode baru pemeliharaan mesin berdasarkan analisis pola suara.

2. Metodologi

Suatu kejadian dikatakan bebas secara statistik bila kejadian tersebut tidak berhubungan satu sama lain. Secara matematik, peluang antar kejadian tersebut merupakan perkalian tiap kejadian tersebut, seperti pada persamaan di bawah ini:

$$p(y_1, y_2) = p(y_1).p(y_2) \tag{1}$$

bila ada sumber-sumber yang bebas secara statistik, maka aturan di atas juga berlaku. Sinyal terukur sensor dari sinyal yang diemisikan sumber-sumber yang bebas secara statistik dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$x_j = a_j s_1 + a_{j2} s_2 + \dots + a_{jn} s_n \tag{2}$$

dimana x menyatakan sinyal terukur sensor, s menyatakan sumber, dan a merupakan matrik pencampur yang tidak diketahui. Persamaan di atas merupakan ide dasar analisis komponen *independent* ICA. Persamaan di atas dapat disederhanakan menjadi model ICA sebagai berikut:

$$x = As \tag{3}$$

bila proses pencampuran sinyal emisi sumber berlangsung secara sesaat (*instantaneous*) model di atas dapat dituliskan dalam domain frekuensi sebagai berikut:

$$x(\omega) = A(\omega).s(\omega) \tag{4}$$

apabila proses berlangsung secara konvolusi, maka model ICA dapat diformulasikan ulang dalam domain waktu sebagai berikut:

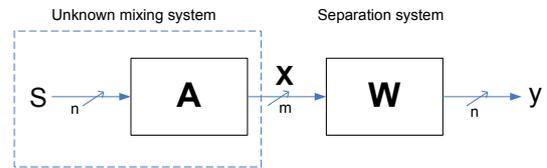
$$x(t) = A * s(t) \tag{5}$$

Model ICA yang dinyatakan dalam persamaan 5 melibatkan operasi perkalian konvolusi. Hal ini berbeda dengan model ICA dalam domain frekuensi yang hanya dikalikan secara *dot product*. Tujuan dari model ICA adalah mencari sinyal estimasi y yang ditentukan oleh persamaan sebagai berikut:

$$y = Wx \tag{6}$$

di mana $W=A^{-1}$.

Proses pemisahan sinyal dengan model ICA dapat digambarkan dengan blok diagram pada gambar 1.



Gambar 1. Proses ICA.

Permasalahan pada model ICA adalah mencari filter pemisah W . Pemilihan filter W yang tepat dan optimal akan memengaruhi kualitas sinyal estimasi.

Ada beberapa algoritma ICA yang digunakan. Masing-masing algoritma memiliki kelebihan satu sama lain dan dari tahun ke tahun algoritma ini terus disempurnakan. Beberapa algoritma untuk optimasi ICA adalah *Infomax*, *Natural Gradient*, dan *FastICA*

Algoritma *Infomax* mendekati model ICA berdasarkan fungsi *non-linear*. Pada algoritma ini, bobot filter pemisah W ditentukan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} W_{k+1} &= W_k - \mu \frac{\partial J(W_k)}{\partial W} \\ &= W_k + \mu [W_k^{-T} - f(u)_k x_k^T] \end{aligned} \tag{7}$$

dengan μ adalah besar langkah positif $f(u)=[f(u1),f(u2)...f(un)]$, di mana $u=W.x$ merupakan fungsi sebelum *non-linearitas*.

Kedua adalah algoritma *Natural Gradient*. Amari, Chicocki, dan Yang (1996) mengusulkan untuk memodifikasi besar pembobotan filter

pemisah pada algoritma Infomax dengan mengalikan fungsi tersebut dengan WTW. Sehingga besar pembobotan baru menjadi:

$$\begin{aligned}
 W_{k+1} &= W_k - \mu \frac{\partial J(W_k)}{\partial W} W_k^T W_k \\
 &= W_k + \mu [I - f(u_k)u^T] W_k
 \end{aligned}
 \tag{8}$$

algoritma diatas lebih cepat konvergen daripada Infomax. Algoritma ini dikenal dengan *natural gradient*.

Algoritma fastICA memodelkan ICA dengan pendekatan *non-gaussianity* yang didasarkan pada *negentropy* dengan iterasi titik tetap (*fixed-point*). Algoritma ini juga dapat didekati dengan iterasi *Newton* yang menghasilkan persamaan yang sama. Aturan pembobotan filter pemisah pada algoritma FastICA ditentukan sebagai berikut:

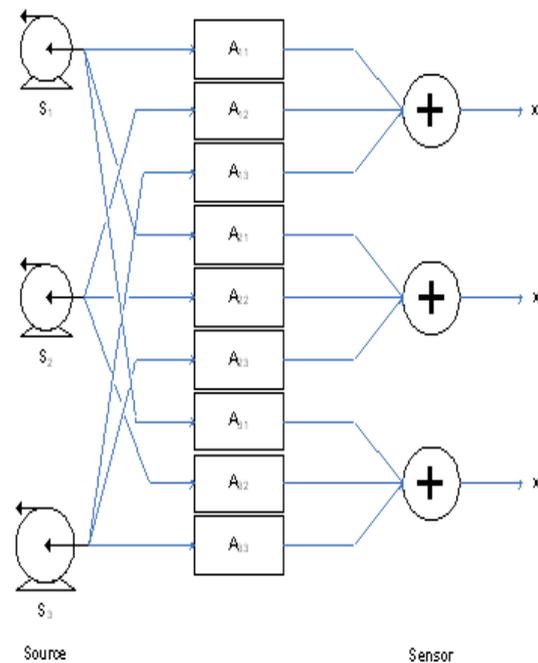
$$w^t = w - \frac{E\{xg(w^T x)\} - \beta w}{E\{xg(w^T x)\} - E\{g(w^T x)\}w}
 \tag{9}$$

Fungsi *g* merupakan turunan dari fungsi kontras. Algoritma *FastICA* ini dikenal lebih cepat konvergen dari algoritma-algoritma sebelumnya.

Setelah dilakukan studi literatur, tahapan yang digunakan pada penelitian ini dapat dibagi menjadi tiga tahap. Pertama, pengambilan data melalui perekaman multikanal. Kedua, pemisahan sinyal suara mesin dan ketiga adalah deteksi kerusakan mesin berdasarkan analisis pola suara dengan frekuensi sesaat. Pengambilan data pada penelitian ini dilakukan dengan perekaman multikanal sinyal suara yang diemisikan motor. Tiap-tiap mikrofon akan menerima sinyal dari tiap motor dengan kondisi tertentu. Mikrofon yang lebih dekat dengan salah satu motor akan menerima sinyal lebih kuat dari motor tersebut dibanding sinyal suara dari motor lainnya. Berdasarkan perbedaan jarak dan sudut datang sinyal suara motor, akan dipilah sinyal tiap motor berdasarkan sifat kebebasan statistik sinyal sumber. Pada gambar 2 ditunjukkan blok diagram pemisahan tiga sumber dari tiga sensor. Sedangkan realisasi dalam bentuk *hardware* ditunjukkan oleh gambar 3 yang juga merupakan sistem akuisisi data melalui perekaman multikanal dari mikrofon dan tiga motor.

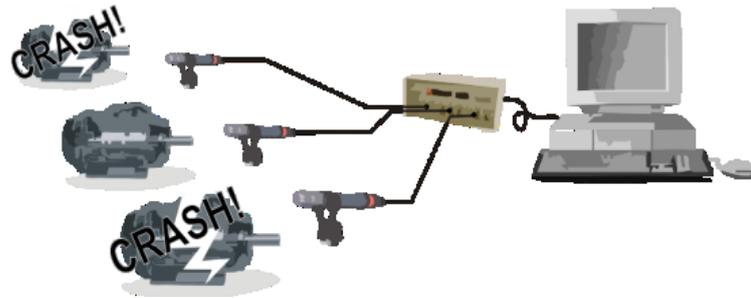
Metode pendekatan yang dipakai untuk memisahkan sinyal suara motor dari sinyal campuran tiap mikrofon pada penelitian ini dapat dibagi menjadi empat metode, antara lain TDICA (*Time domain ICA*), FDICA (*Frequency domain ICA*), MSICA 1 (*Time-frequency ICA*), dan MSICA 2 (*Frequency-Time ICA*).

Dari keempat metode tersebut akan dibandingkan metode yang paling baik untuk pemisahan sinyal suara mesin. Kemudian sinyal estimasi tersebut digunakan untuk mendeteksi kondisi kerusakan mesin berdasarkan pola frekuensi sesaatnya.

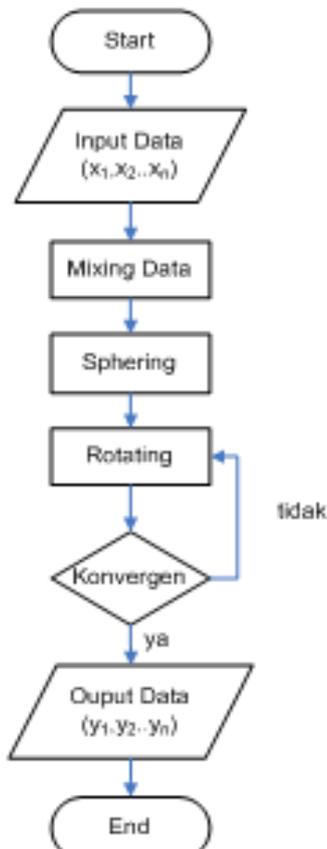


Gambar 2. Blok diagram sistem perekaman (3 Sumber-3 Sensor).

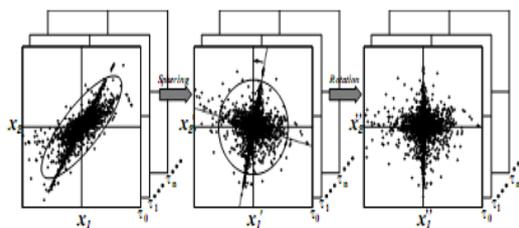
Secara umum diagram alur tiap metode di atas pada penelitian ini diilustrasikan pada gambar 4. *Sphering* merupakan suatu teknik agar *input data* tidak berkorelasi atau dipaksa untuk berkorelasi seminimal mungkin. Setelah itu data diputar (*rotating*) sehingga didapatkan vektor data baru yang konvergen. Ilustrasi mengenai *sphering* dan *rotating* dari data matriks pada analisis komponen independen dapat disajikan seperti gambar 5 [4].



Gambar 3. Akuisisi data.



Gambar 4. Diagram alir ICA.



Gambar 5. Sphering dan rotating.

3. Hasil dan Pembahasan

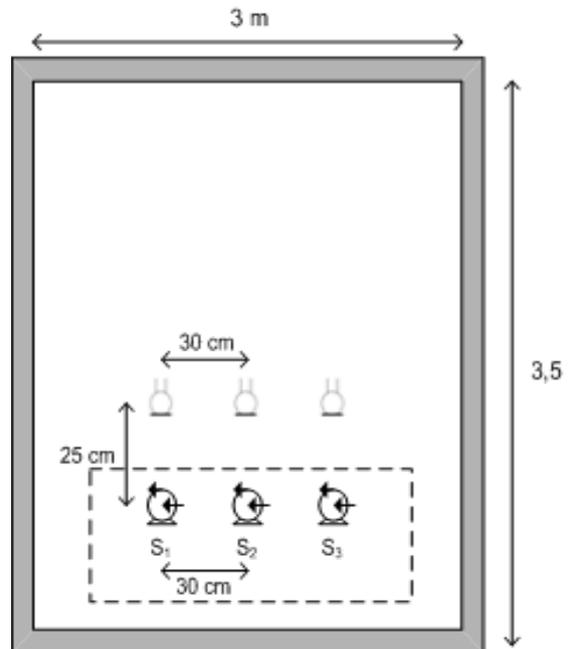
Untuk meminimalkan bising latar belakang, penelitian ini dilakukan di Ruang Kedap Suara,

Laboratorium Akustik Teknik Fisika ITS. Adapun *setting* eksperimen yang telah dilakukan adalah seperti tampak pada gambar 6.

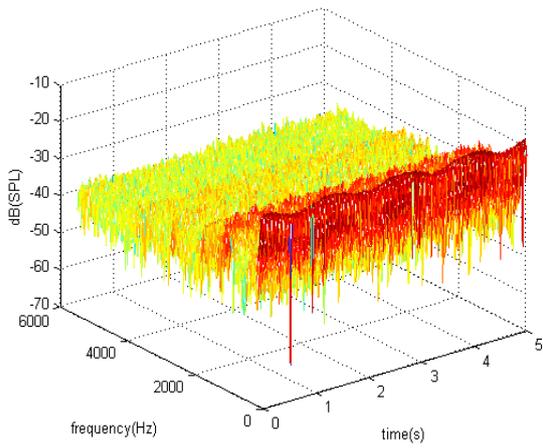
Dari proses perekaman multikanal akan didapatkan jumlah sinyal sesuai dengan jumlah sensor (mikrofon). Sinyal suara mesin direkam dengan tipe *file .wav*, 16 bit, mono, dan PCM.

Untuk mengidentifikasi sinyal estimasi, terlebih dahulu harus diketahui sinyal asli dari tiap kondisi kerusakan. Sinyal asli dari tiap kondisi ini di-plot dalam spektrogram untuk dicari pola frekuensi sesaatnya, seperti yang diilustrasikan pada gambar 7.

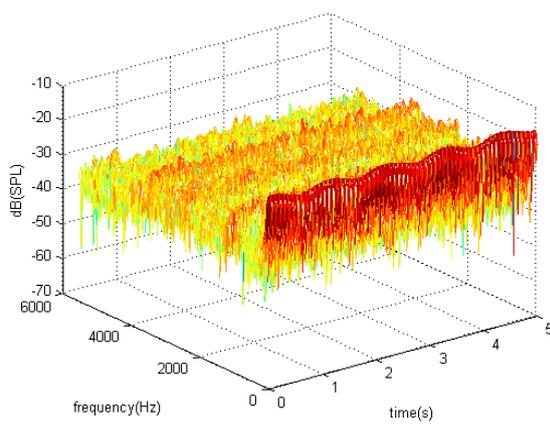
Selanjutnya sinyal tercampur dari tiap-tiap mikrofon diproses untuk dipisahkan dengan metode ICA. Pada perekaman dengan dua mikrofon dan dua motor untuk kondisi *bearing fault* juga *misalignment*, diperoleh data sinyal asli, sinyal tercampur, dan sinyal estimasi seperti pada gambar 8.



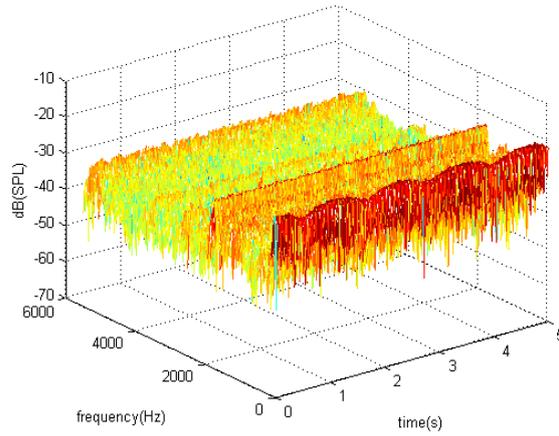
Gambar 6. *Setting* eksperimen di ruang kedap TF ITS.



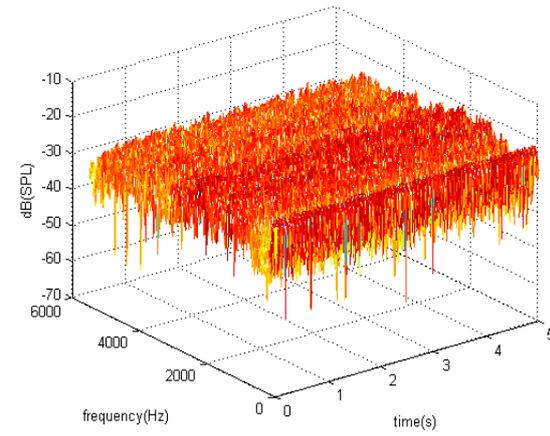
a. Normal



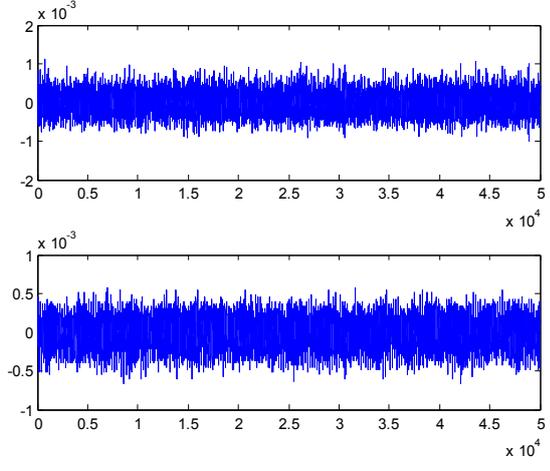
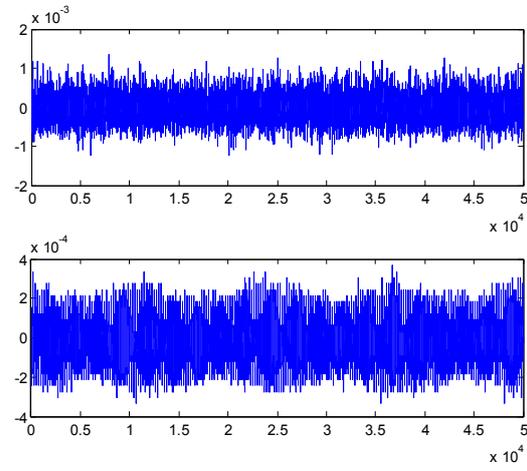
b. Unbalance



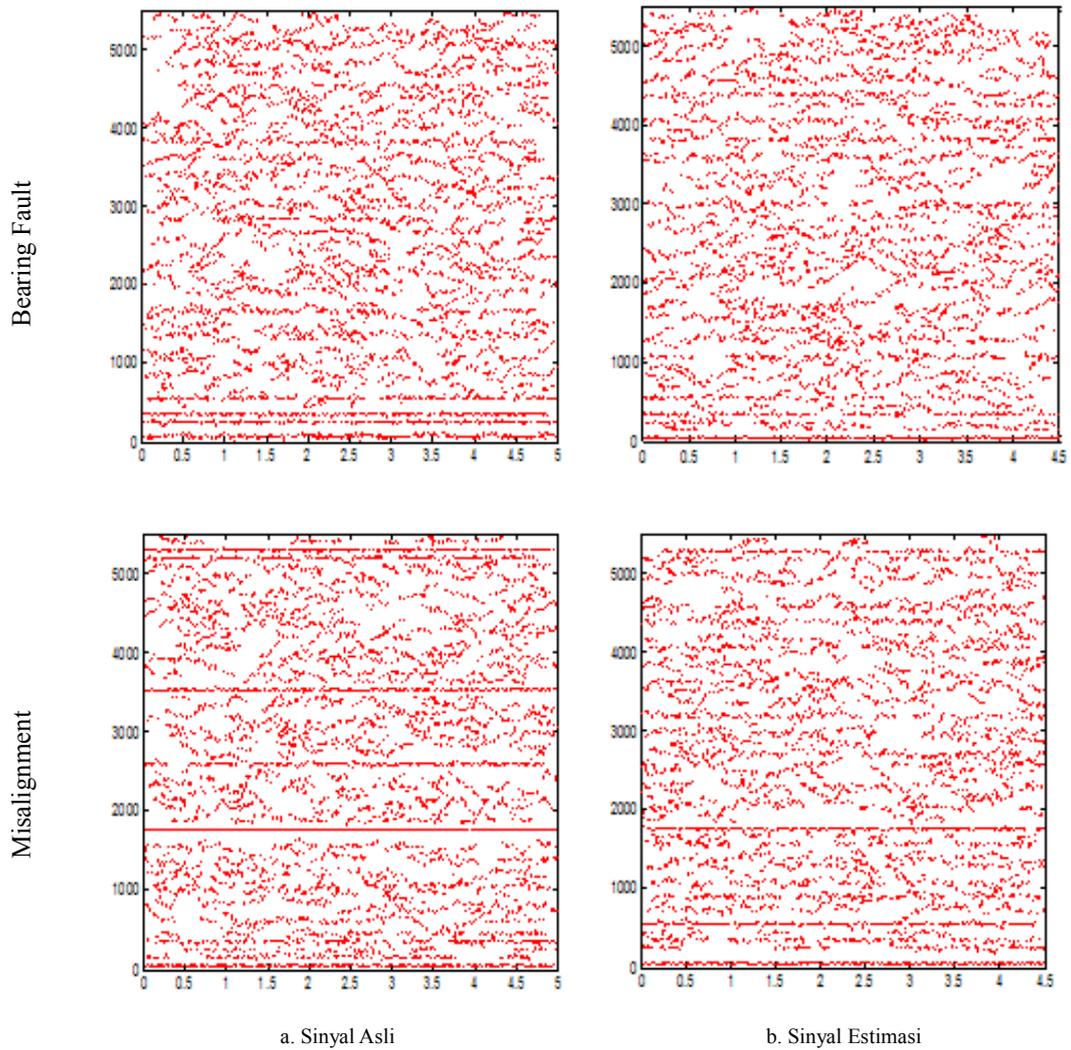
c. Misalignment



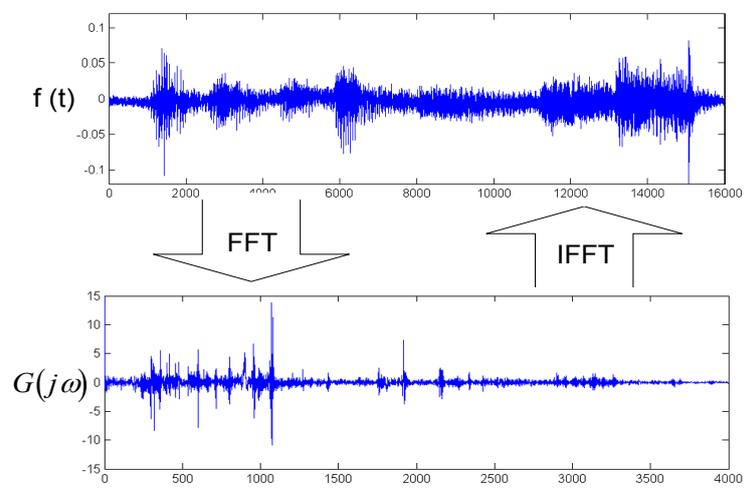
d. Bearing Fault



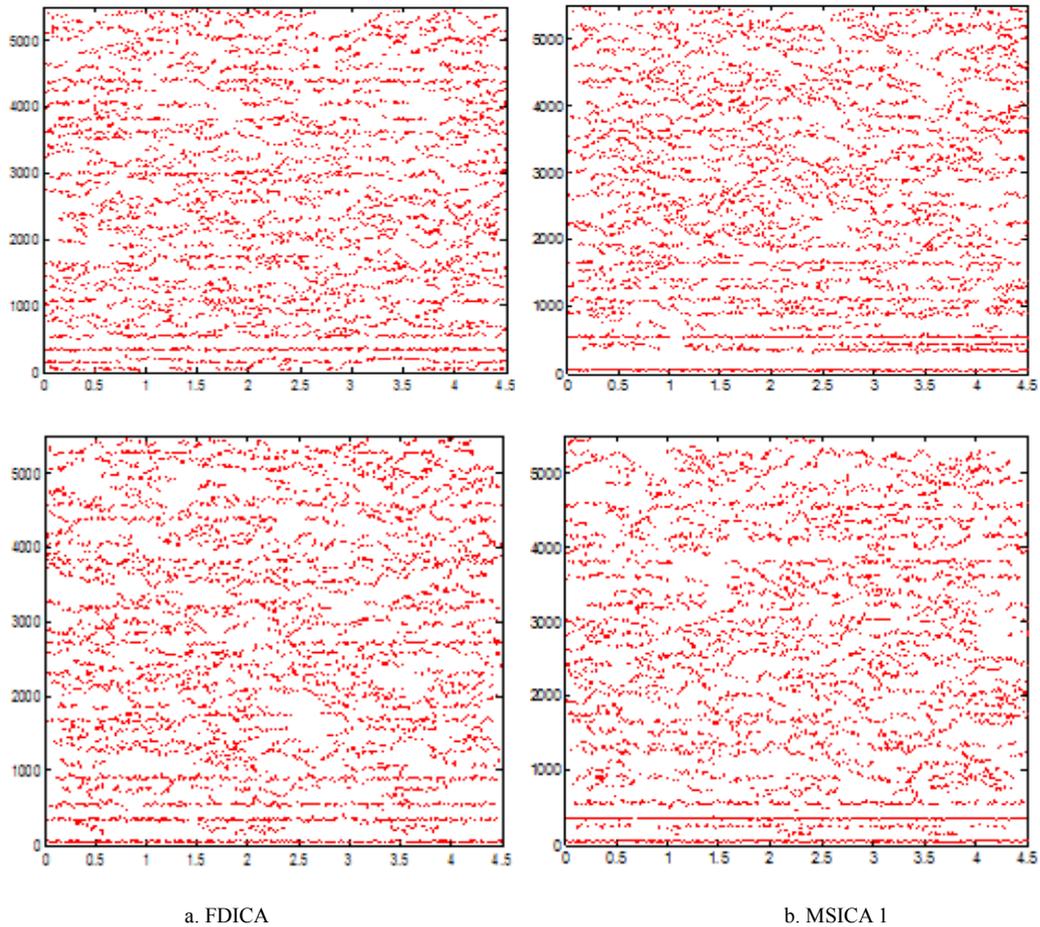
Gambar 8. Perbandingan sinyal asli & estimasi TDICA.



Gambar 9. Pola frekuensi sesaat sinyal asli & estimasi TDICA.



Gambar 10. FFT dan IFFT.



Gambar 11. Sinyal estimasi FDICA dan MSICA 1.

Analisis dalam domain waktu untuk identifikasi sinyal estimasi terhadap sinyal asli sangat sulit dilakukan (gambar 8). Pola frekuensi sesaat dapat mengidentifikasi sinyal estimasi untuk menentukan kondisi kerusakan dari sinyal yang bersangkutan.

Gambar 9 menunjukkan analisis pola frekuensi sesaat yang memperlihatkan pola-pola antara sinyal estimasi dan sinyal asli, sehingga dapat diidentifikasi bahwa sinyal pertama merupakan kondisi *bearing fault* dan sinyal kedua merepresentasikan kondisi *misalignment*.

Seperti yang tampak pada gambar 10, pada domain frekuensi, sinyal suara mesin dalam domain waktu ditransformasi Fourier (*Fast Fourier Transform* atau FFT) sehingga didapatkan sinyal campuran dalam domain frekuensi. Sinyal campuran dalam domain frekuensi ini kemudian dipisahkan dengan *frequency domain ICA* (FDICA). *Output* dari FDICA kemudian ditransformasi balik dalam domain waktu (IFFT) untuk mengetahui hasil pemisahannya.

Metode ketiga dan keempat pada penelitian ini merupakan gabungan dari *time-domain* dan

frequency-domain ICA. Pada metode ketiga (MSICA 1) digunakan *time-domain* lebih dahulu kemudian *frequency-domain ICA*, sedangkan metode keempat (MSICA 2) merupakan kebalikannya. Dengan metode FDICA dan MSICA 1 (*Time-Frequency ICA*) diperoleh sinyal estimasi seperti ditunjukkan oleh gambar 11.

Dari gambar 11, dapat dilihat bahwa sinyal estimasi FDICA dan MSICA 1 tidak lebih baik dari TDICA. Begitu juga dengan hasil pemisahan sinyal dengan MSICA 2. Nilai numerik parameter dan kualitas hasil pemisahan sinyal suara mesin pada penelitian ini dapat dilihat pada tabel I pada halaman selanjutnya.

Untuk membandingkan antar metode, maka nilai parameter di atas diset sama untuk semua metode. Kualitas pemisahan pada penelitian ini dinilai pada arah konvergensi (*angle*) pada iterasi keseratus serta nilai *signal to noise ratio* (SNR) dari sinyal estimasi. Perbandingan hasil numerik dari kedua metode tersebut dapat dilihat pada tabel II.

TABEL I
NILAI PARAMETER PEMISAHAN

Parameter	Kondisi
Besar Langkah	0.000001
Blok Proses	30
Jumlah Iterasi	100

TABEL II
PERBANDINGAN HASIL NUMERIK DARI BEBERAPA
METODE PEMISAHAN YANG DIGUNAKAN

Metode	Angle	SNR
TDICA	0.2	-4.4477
FDICA	1.4	11.9272
MSICA 1	0.0 & 0.0	12.6752
MSICA 2	0.4 & 1.3	22.9999

4. Kesimpulan

Telah berhasil dipisahkan sinyal suara dari beberapa motor metode *Independent Component Analysis* (ICA) dengan Algoritma *Natural Gradient* yang memberikan hasil pemisahan terbaik pada domain waktu (TDICA). Selain itu kondisi kerusakan mesin dapat dideteksi dari analisis pola suara menggunakan frekuensi sesaat. Pada penelitian ini, kondisi mesin normal memiliki frekuensi 51 Hz, antara 1000-1300 Hz, 1770 Hz dan 2650 Hz, *unbalance* pada frekuensi 46 Hz, 1000 Hz, 1770 Hz dan 1990 Hz, *misalignment* pada frekuensi normal ditambah pada frekuensi 3400 Hz, 5100 Hz dan 5300 Hz dan *bearing fault* pada frekuensi 73 Hz, 250 Hz dan 350 Hz.

Pada penelitian selanjutnya dapat dikembangkan jenis kerusakan mesin, konsistensi terhadap hasil penelitian ini serta implementasi pada algoritma ICA yang lain. Studi mengenai karakteristik suara mesin diharapkan mampu

meningkatkan keandalan metode ini dengan memodelkan filter pemisah yang lebih baik. Uji performa juga dapat dijadikan tugas pada penelitian selanjutnya.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih penulis sampaikan pada Dirjen Perguruan Tinggi (DIKTI), Departemen Pendidikan Nasional Republik Indonesia yang telah membiayai penelitian ini dalam program kreativitas mahasiswa bidang penelitian (PKMP) tahun 2009. Serta kepada Kepala Laboratorium Akustik Teknik Fisika ITS yang telah mengizinkan penulis untuk melakukan penelitian di tempat tersebut.

Referensi

- [1] S. Amari, "Natural Gradient Works Efficiently in Learning," *Neural Computation*, vol. 10, pp. 251-276, 1998.
- [2] A.J. Bell & T.J. Sejnowski, "The Independent Components of Natural Scene are Edge Filters," *Vision Research*, vol. 37, pp. 3327-3338, 1997.
- [3] A. Hyvärinen & O. Erkki, "Independent Component Analysis: Algorithm and Applications," *Neural Network*, vol. 13, pp. 411-430, 2000.
- [4] S. Ikeda & N. Murata, "A method of ICA in time-frequency domain" *In Proceedings of International Workshop on Independent Component Analysis and Blind Signal Separation*, pp. 365-371, 1999.