

PEMISAHAN SINYAL BUNYI DARI MICROPHONE ARRAY DENGAN MENGGUNAKAN METODE *BLIND SOURCE SEPARATION - INDEPENDENT COMPONENT ANALYSIS* UNTUK MEMANTAU KONDISI POROS RETAK

Novitha L. Th. Thenu

e-mail: novitha.thenu@fatek.unpatti.ac.id, novithathenu@gmail.com

Program Studi Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknik Universitas Pattimura - Ambon

ABSTRAK

Tulisan ini mempresentasikan tentang pemisahan sinyal bunyi untuk memantau kondisi poros dengan menggunakan metode *Blind Source Separation (BSS) - Independent Component Analysis (ICA)*. Pada penelitian ini, bunyi poros retak yang sementara berputar direkam melalui susunan mikrofon (*microphone array*) sebagai sensornya. Tiap-tiap mikrofon menerima sinyal dari poros tersebut, sehingga sinyal output dari tiap mikrofon merupakan sinyal campuran. BSS merupakan teknik memisahkan sinyal campuran berdasarkan analisa kebebasan statistik ICA sumber bunyi. Dengan memperhatikan jarak dan sudut datang antara mikrofon dengan poros maka tiap mikrofon menerima sinyal berbeda pula. Sinyal campuran dari tiap mikrofon akan diestimasi untuk memantau kondisi poros berdasarkan analisa pola bunyi. Pada penelitian ini pemisahan sinyal dilakukan pada time-domain dengan algoritma natural gradient. Berdasarkan hasil penelitian diperoleh metode pemisahan sinyal terbaik adalah metode pemisahan sinyal dalam kawasan waktu (TDICA) jauh lebih baik dari metode FDICA karena nilai MSE melalui TDICA jauh lebih kecil.

Kata Kunci: sinyal bunyi, Blind Source Separation, Independent Component Analysis, *microphone array*

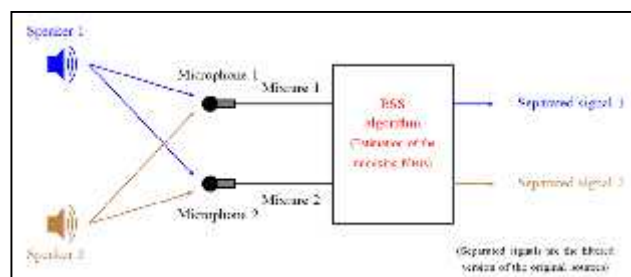
PENDAHULUAN

Perubahan pola getaran mengindikasikan terjadinya perubahan dinamika mesin. Perubahan getaran mesin menyebabkan perubahan bunyi yang diemisikan mesin, dimana bunyi mesin bercampur dengan sumber bunyi lainnya. BSS merupakan teknik untuk memisahkan campuran sinyal yang berasal dari berbagai sumber bunyi. Dengan mengikuti sifat independensi suatu sinyal, maka melalui teknik BSS, sinyal campuran akan direkam tanpa memikirkan asal dan proses sinyal kemudian diproses dan dipisahkan menjadi sinyal - sinyal yang saling bebas satu dengan lainnya. Sebuah model uji yang terdiri dari satu unit elektromotor, kopling sederhana, poros retak yang didukung oleh dua buah bantalan dan satu beban radial. Model uji mengemisikan bunyi campuran yang direkam dengan susunan mikrofon sebagai sensor. Mikrofon merekam bunyi yang berasal dari sumber bunyi dengan jarak dan sudut datang yang berbeda.

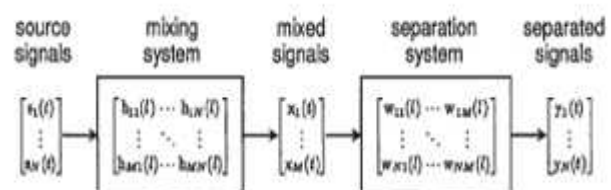
KAJIAN TEORI DAN METODE

A. Metode Blins Source Separation

Metode BSS dapat dijelaskan sebagai suatu metode pemisahan sumber secara buta dengan hanya mengetahui sinyal yang terekam oleh sensor tanpa mengetahui proses pencampuran Independen Statistik yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Proses Perekaman dan Pencampuran sinyal (Reju, 2009)



Gambar 2. Diagram Blok BSS (Makino, 2005)

Diagram blok BSS pada Gambar 2 menunjukkan alur dari proses pencampuran sampai pemisahan sinyal. Dalam gambar tersebut ditunjukkan bahwa s adalah sumber bunyi, x adalah sinyal bunyi yang ditangkap sensor (mikrofon), w adalah invers matrik dan y adalah sinyal bunyi yang berhasil dipisahkan (sinyal estimasi).

Metode BSS dapat diformulasikan (Zhou dan Chelidze, 2007) sebagai berikut :

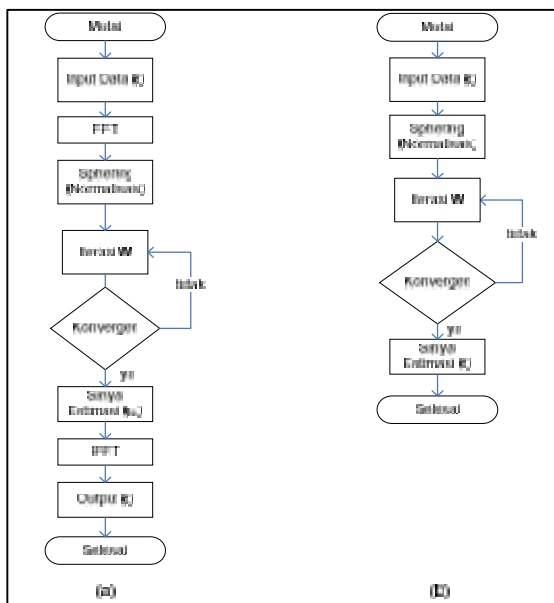
$$X = A + n \quad (1)$$

Dimana $X = [x_1, x_2, \dots, x_m]^T \in R^m$ adalah *vector* yang diukur sebagai sinyal skalar x_i , $s = [s_1, s_2, \dots, s_n]^T$ adalah vektor yang terdiri dari sinyal – sinyal sumber (m, n), $A \in R^{m \times n}$ adalah matrik pencampur yang tidak diketahui yang diatur dalam kolom, sedangkan $n \in R^m$ mewakili *noise* selama pengukuran.

B. ICA Kawasan Frekuensi (Frequency Domain ICA / FDICA)

Proses pemisahan sinyal bunyi pada penelitian ini dilakukan secara multi tahap (Multistage ICA), yakni dalam kawasan waktu dan frekuensi. Pemisahan dalam kawasan frekuensi dilakukan lebih dahulu (Nishikawa dkk, 2002). Untuk mencari filter pemisah, W , digunakan metode iterasi *Natural Gradien* (Amari dkk, 1996). Secara umum diagram alir pemisahan sinyal dalam kawasan frekuensi dan kawasan waktu dapat ditunjukkan pada Gambar 3.

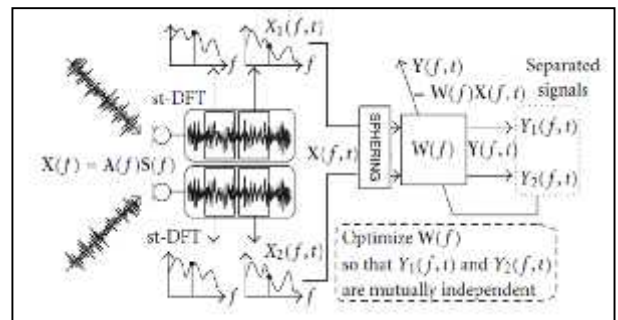
Proses pemisahan sinyal bunyi diawali dengan penyamaan ukuran *byte* file rekaman. Semakin kecil ukuran file, semakin cepat proses iterasi untuk mencari nilai W yang konvergen. Kemudian menggabungkan file tiap kanal, dan menginputkan file campuran pada algoritma ICA. Pada proses FDICA, sinyal input dalam kawasan waktu diubah menjadi kawasan frekuensi dengan transformasi fourier (FFT). Sebelum dipisahkan maka data dinormalisasi (*sphering*), pada proses ini juga dilakukan permutasi data input dengan vektor permutasi yang dibangkitkan agar stasioner.



Gambar 3 Diagram Alir Pemisahan Sinyal
 a. ICA Kawasan Frekuensi (FDICA)
 b. ICA Kawasan Waktu (TDICA)

Untuk mengubah sinyal-sinyal estimasi menjadi kawasan waktu, dilakukan transformasi fourier balik (IFFT), maka didapatkan sinyal estimasi output dalam kawasan waktu (t). Proses pemisahan sinyal

bunyi dalam kawasan frekuensi ini diilustrasikan melalui Gambar 4. Output dari FDICA selanjutnya menjadi input bagi TDICA. Jadi sinyal output dari FDICA tidak perlu disimpan (dalam file .wav) karena akan langsung diproses lagi.

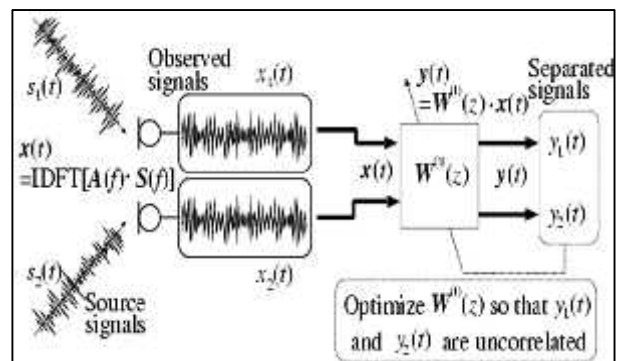


Gambar 4 ICA Kawasan Frekuensi (FDICA)
 (Nishikawa, 2005)

C. ICA Kawasan Waktu (Time Domain ICA / TDICA)

Proses pemisahan sinyal pada TDICA mirip dengan FDICA, diawali dengan menginputkan sinyal output yang sudah dalam bentuk matriks. Proses pencampuran sinyal bunyi ini dapat dimodelkan secara konvolutif (*convolutive mixture*), dimana respon dari mikrofon dikalikan dengan respon ruang. Dengan mengasumsikan bahwa proses pencampuran terjadi secara linear maka secara matematis pencampuran sinyal bunyi ini dapat direpresentasikan dalam bentuk konvolusi.

Pada TDICA, sinyal tidak perlu dirubah dalam kawasan frekuensi, jadi proses ini lebih cepat dan sederhana dibandingkan dengan FDICA. Iterasi filter pemisah, W , pada proses ini juga menggunakan metode yang sama dengan proses sebelumnya, yakni iterasi dengan metode natural gradient namun dengan besar langkah nilai pembelajaran (learning rate) sebesar 0,0001. Proses pemisahan sinyal dengan TDICA dapat diilustrasikan seperti Gambar 5.



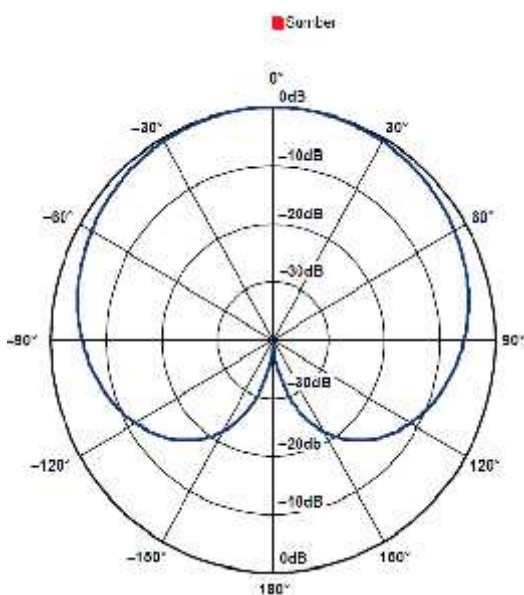
Gambar 5. ICA Kawasan Waktu (TDICA)
 (Nishikawa, 2005)

Output dari proses TDICA ini merupakan sinyal estimasi akhir yang diharapkan mampu mewakili sinyal sumber terukur. Sinyal ini disimpan dalam

bentuk file .wav untuk diproses sebagai sinyal *input* perhitungan frekuensi sesaat.

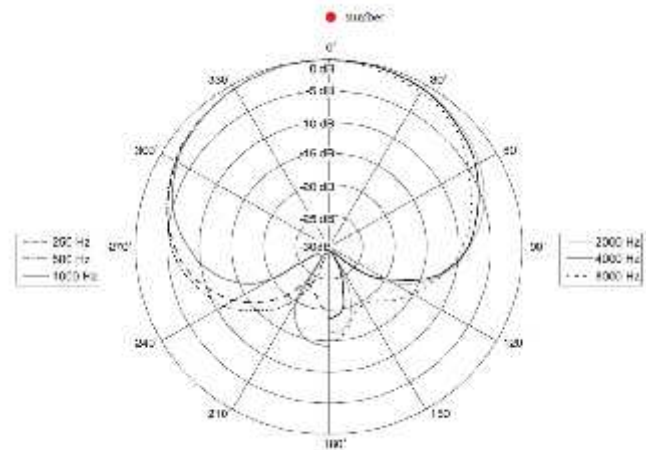
D. Microphone Array

Pada penelitian ini, sensor yang digunakan adalah mikrofon Behringer XM1800s yang merupakan jenis mikrofon dinamik yang memiliki *polar pattern* super *cardioid*. Mikrofon jenis ini tidak memiliki pelemahan sinyal pada sumber bunyi di titik depan mikrofon dan titik penangkapan sinyalnya berada di bagian tengah mikrofon. Polar diagram pada Gambar 6. menunjukkan bahwa mikrofon *cardioid* akan memilahkan sumber bunyi dari samping dan belakang namun sumber bunyi dari depan seperti yang ditunjukkan oleh titik merah akan ditangkap dengan baik. Skala 0 dB sampai -30 dB merupakan besarnya tekanan bunyi yang mampu diterima oleh mikrofon.



Gambar 6. Polar diagram mikrofon *cardioid* (Lewis, 2012)

Sedangkan polar diagram dari mikrofon Behringer XM1800s sendiri ditunjukkan pada Gambar 7. Cara kerja dari mikrofon ini hampir sama dengan mikrofon yang tercantum pada Gambar 6 dimana sumber bunyi yang berasal dari samping dan belakang mikrofon akan direduksi sedangkan sumber bunyi yang berasal dari depan seperti pada titik merah akan diterima dengan baik. Garis putus – putus paling luar yang tercantum pada Gambar 7 menunjukkan polar diagram mikrofon ketika dibangkitkan frekuensi sebesar 500 Hz. Sedangkan garis putus – putus di tengah menunjukkan polar diagram mikrofon ketika dibangkitkan sumber bunyi berfrekuensi 250 Hz dan garis normal menunjukkan polar diagram mikrofon ketika dibangkitkan bunyi frekuensi 1000 Hz.



Gambar 7. Polar diagram mikrofon Behringer XM1800S (Behringer Ultravoice, 2003)

E. Mean Square Error (MSE)

MSE merupakan suatu metode dalam statistika yang digunakan sebagai perbandingan antara sinyal estimasi dengan sinyal sumber (sinyal *baseline*). Persamaan yang digunakan dalam menghitung nilai MSE ini yaitu sebagai berikut :

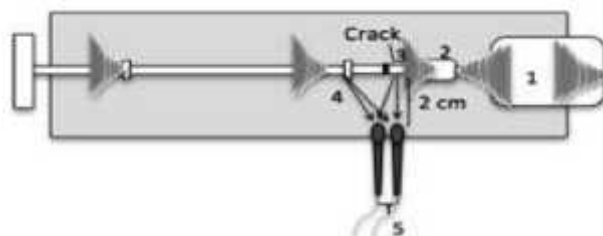
$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (S - S_c)^2 \quad (2)$$

dimana, MSE = Mean Square Error
 n = jumlah sample
 S = sinyal asli (baseline)
 S_c = sinyal estimasi

Dalam algoritma BSS, perhitungan nilai MSE ini dilakukan pada langkah terakhir. Apabila sinyal estimasi telah dieksekusi maka persamaan (2) dapat diberlakukan.

F. Metodologi

Pengujian dilakukan dengan menggunakan model uji seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Model Uji dan *Microphone Array*

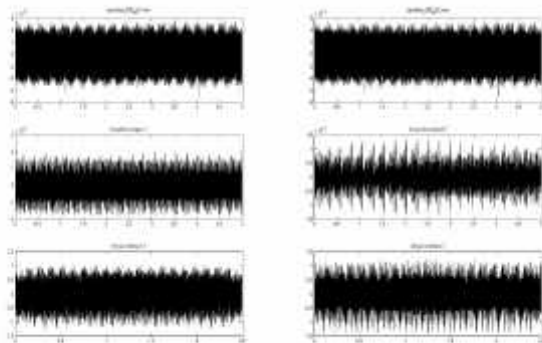
Asumsi yang diambil dalam pengujian ini adalah masing - masing komponen model uji dapat mengeluarkan bunyi yang berbeda. Mikrofon sebagai sensor terhubung dengan *M-Audio Fast Track Ultra* sebagai alat rekam bunyi. Data bunyi

yang terekam berupa sinyal campuran akan dipisah melalui pemrosesan sinyal Program Matlab dengan metode BSS-ICA yang menampilkan spektrum sinyal bunyi yang telah terpisah.

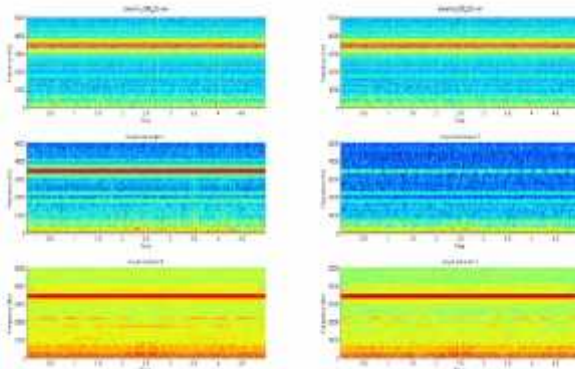
HASIL DAN PEMBAHASAN

A. ICA Kawasan Frekuensi (*Frequency Domain ICA / FDICA*)

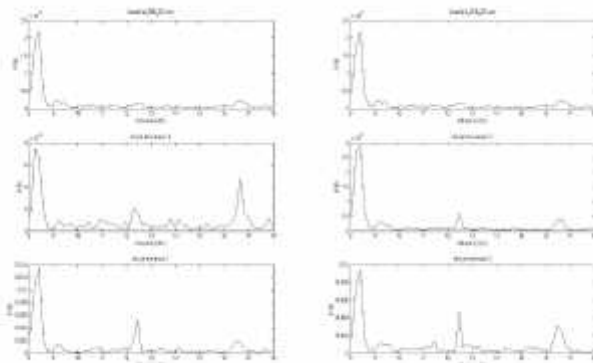
Hasil pengolahan dan pemisahan sinyal bunyi pada kecepatan poros 500 rpm ditampilkan dalam spektrum sinyal kawasan waktu dari sinyal asli, tercampur dan estimasi, spektrogram dan Fast Fourier Transform (FFT) pada Gambar 9, 10 dan 11.



Gambar 9. Spektrum Bunyi TDICA (2 microphone- 500 rpm)



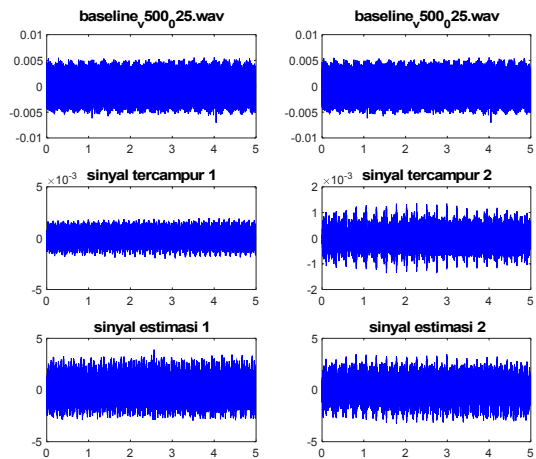
Gambar 10. Spektrogram TDICA (2 microphone- 500 rpm)



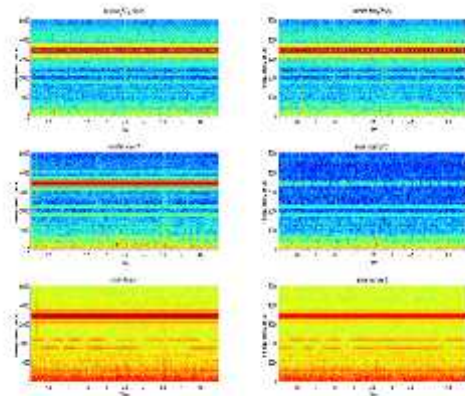
Gambar 11. FFT TDICA (2 microphone - 500 rpm)

B. ICA Kawasan Waktu (*Time Domain ICA / TDICA*)

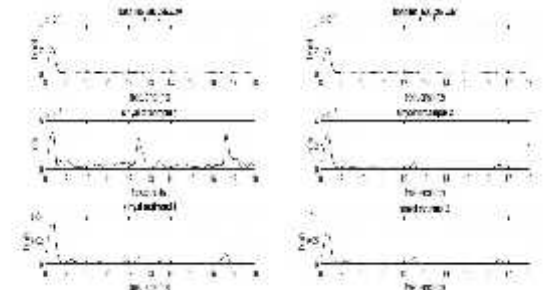
Hasil pengolahan dan pemisahan sinyal bunyi pada kecepatan poros 500 rpm ditampilkan dalam spektrum sinyal kawasan waktu dari sinyal asli, tercampur dan estimasi, spektrogram dan Fast Fourier Transform (FFT) pada Gambar 9, 10 dan 11.



Gambar 12. Spektrum Bunyi TDICA (2 microphone- 500 rpm)



Gambar 13. Spektrogram TDICA (2 microphone- 500 rpm)



Gambar 14. FFT TDICA (2 microphone - 500 rpm)

Berdasarkan asumsi dari BSS bahwa sinyal bunyi memiliki karakteristik independensi, artinya sinyal bunyi yang berasal dari komponen poros tidak

mempengaruhi sinyal bunyi komponen lainnya, hal ini berlaku pula dalam proses pengambilan data perekaman sinyal bunyi poros retak dimana bunyi tiap komponen memiliki karakteristik independensi. Dari hasil pemisahan sinyal terlihat bahwa sinyal estimasi hasil pemisahan sinyal campuran dengan metode TDICA lebih baik dibandingkan dengan FDICA sebab nilai MSE-nya lebih kecil.

Tabel 1. Perbandingan MSE sinyal estimasi antara TDICA dan FDICA dengan 2 microphone pada putaran poros 500 rpm

MSE Sinyal Estimasi	Metode	
	TDICA	FDICA
Sinyal estimasi 1	0.057437	1.8863
Sinyal estimasi 2	0.0593	1.8019

KESIMPULAN

Pemisahan sinyal bunyi dengan menggunakan Metode BSS - TDICA jauh lebih baik dibandingkan dengan BSS - FDICA.

DAFTAR PUSTAKA

Reju, V. G. 2009. *Blind Separation of Speech Mixtures*. Ph.D. Dissertation. School of

Electrical & Electronic Engineering. Singapore.

Behringer Ultravoice - User's manual . Dynamic Microphone XM1800s. Version 1, 1 June 2003.

Makino, S., Sawada, H., Mukai, R., and Araki, S. 2005. *Blind Source Separation of Convolutional Mixtures of Speech in Frequency Domain*. IEICE Trans. Fundamentals, Vol. E88-A, pp. 1640 -1655.

Zhou, W. and Chelidze, D. 2007. *Blind Source Separation Based Vibration Mode Identification*. Mechanical Systems and Signal Processing, Vol. 21, pp. 3072 - 3087.

Nishikawa, T. 2005. *Blind Source Separation Based on Multistage Independent Component*. Ph.D. Dissertation, Nara Institute of Science and Technology, Ikoma.

Amari, S. 1997. I. Saitama: RIKEN, Japan. Taylor, D. A. (1990), *Introduction to Marine Engineering*. 2nd edition, Butterworth & Co (Publisher), Ltd., London.

Lewis, J. 2012. *Microphone Array Beamforming*. Analog Devices – 1140 Application Note.