

ANALISIS PENGARUH SPATIAL ALIASING PADA TEKNIK BLIND SOURCE SEPARATION UNTUK DETEKSI KERUSAKAN MESIN

ANALYSING OF SPATIAL ALIASING'S EFFECT IN BLIND SOURCE SEPARATION TECHNIQUE FOR MACHINE FAULT DETECTION

Ahmad Barelvie Rasyid¹, Mamat Rokhmat., M.Si², Hertiana Bethaningtyas, MT³

^{1,2,3} Prodi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik, Universitas Telkom Bandung

¹ahmad_barelvie@yahoo.com, ²mamatrokhmat76@gmail.com, ³bethaningtyas23@gmail.com

Abstrak

Dalam aktivitas industri terdiri dari beberapa mesin sehingga sinyal suara menjadi tercampur. Untuk memantau kondisi alat dengan teknik analisis getar dibutuhkan sebuah metode untuk memisahkan sinyal suara tercampur. Blind source separation adalah metode untuk memisahkan sinyal suara tercampur, hasil pemisahan blind source separation dapat dilihat dari nilai *mean square error* (MSE). Nilai rata-rata MSE hasil pemisahan dari suara tercampur *convolutive mixture* 2 input antara mesin normal dan *bearing fault* adalah 5100,924191, dan MSE hasil pemisahan sinyal suara tercampur antara mesin *unbalance* dan *misalignment* adalah 9,53463320. Sedangkan nilai MSE sinyal hasil pemisahan dari suara tercampur *instantaneous linear mixture* 2 input antara mesin normal dan *bearing fault* adalah 0,00000702, dan MSE hasil pemisahan sinyal suara tercampur antara mesin *unbalance* dan *misalignment* adalah 0,00002066. Nilai rata-rata MSE hasil pemisahan sinyal tercampur dengan teknik *convolutive mixture* terhadap sinyal asli 3 input adalah 42,754061, dan nilai rata-rata MSE hasil pemisahan sinyal tercampur dengan teknik *instantaneous linear mixture* adalah 0,016585. *Spatial aliasing* hanya mempengaruhi perubahan intensitas pada sudut arah datang suatu frekuensi, namun tidak pada pola frekuensi pada *spectrogram* masing-masing kondisi mesin. sehingga pada proses pemisahan sinyal suara tetap dapat diketahui karakteristik suatu kondisi mesin melalui *spectrogram* hasil pemisahan sinyal suara tercampur.

Kata Kunci : *Blind Source Separation, Convolutive Mixture, Instantaneous linear mixture, Mean Square Error (MSE)*

Abstract

In the industrial activity consists of several machines so that the sound signal becomes mixed. To monitor the condition of a tool with analytical vibrating techniques required a method to separate mixed signal. Blind source separation is a method to separate mixed signal, separation's result of blind source separation can be seen from mean square error (MSE). The average value of MSE separation's result of convolutive mixture 2 input between normal machine and bearing fault is 5100,924191, and MSE results of the separation of mixed signals between unbalance machine and misalignment is 9,53463320. While the value of MSE signal separation results from mixed signal instantaneous linear mixture 2 inputs between normal machine and bearing fault is 0,00000702, and MSE results of the separation mixed signals between the unbalance machine and misalignment is 0,00002066. The average value of MSE separation's results of convolutive mixture 3 input is 42,754061, and the average value of MSE separation's results of instantaneous linear mixture is 0,016585. Spatial aliasing only affects the intensity of arrival angle in a single frequency, but not on the frequency patterns spectrogram each machine condition. so that the sound signal separation process can still be known characteristic of a condition of the machine through the sound signal separation results.

Keyword : *Blind Source Separation, Convolutive Mixture, Instantaneous linear mixture, Mean Square Error (MSE)*

1. Pendahuluan

Pemeliharaan pada bidang industri merupakan sebuah sistem kegiatan untuk menjaga dan mempertahankan performa dari sebuah alat industri agar peralatan yang digunakan tidak cepat rusak dan dapat bekerja sesuai dengan fungsinya dalam jangka waktu yang sudah direncanakan. Pemeliharaan dapat dilakukan dengan cara memantau kondisi suatu alat dengan metode analisis getar. perubahan amplitudo dan fasa pada sinyal dapat dideteksi sebagai kerusakan pada mesin[1]. Getaran mesin rusak akan berbeda dengan getaran mesin normal.

Dalam aktivitas industri terdapat banyak mesin yang menyala secara bersamaan sehingga dibutuhkan sebuah metode untuk memisahkan sinyal-sinyal suara yang tercampur. *Blind Source Separation* (BSS) adalah salah satu teknik yang dapat memisahkan suara sinyal yang tercampur. Hasil dari pemisahan *Blind Source Separation* dapat dianalisis untuk menentukan kondisi mesin. Dalam proses pemisahan suara hal yang perlu diperhatikan adalah pengkondisian *Spatial aliasing*[2]. *Spatial aliasing* merupakan kejadian saat sinyal suara

dari beberapa sumber tidak dapat dibedakan, sehingga dapat mempengaruhi proses pemisahan suara. Salah satu faktor yang dapat mempengaruhi terjadinya *Spatial aliasing* yaitu posisi antara sensor dan mesin.

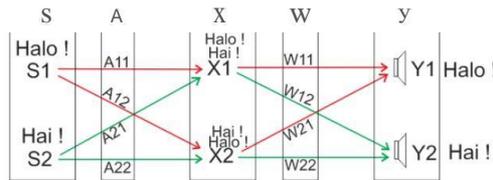
Peletakan posisi antara sensor dan mesin berperan penting dalam aktifitas industri. Suhu dari suatu mesin yang sedang rusak akan cenderung lebih panas sehingga sensor dapat rusak apabila diletakan terlalu dekat dengan mesin. Sedangkan jika sensor diletakan terlalu jauh, maka dimungkinkan terjadi *Spatial aliasing*. Oleh karena itu diperlukan jarak terbaik antara sensor dan mesin pada proses pemisahan suara dalam pemanfaatan di bidang industri.

Berdasarkan paparan yang telah dijelaskan, maka perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang pengaruh *Spatial aliasing* pada teknik *Blind Source Separation* untuk mendeteksi kerusakan pada mesin agar diperoleh hasil yang optimal dalam pemisahan suara.

2. Dasar Teori

2.1 Blind Source Separation

Blind Source Separation adalah sebuah metode pemisahan sinyal untuk mendapatkan sinyal asli tanpa adanya informasi tentang sumber sinyal ataupun proses pencampurannya [1] [3]. Diilustrasikan pada gambar 2.4



Gambar 1 Blind Source Separation[3]

Pada gambar 1 sumber sinyal yang independent yang dinyatakan dengan S yang terdiri dari s_1 dan s_2 . Sinyal suara yang diterima oleh sensor setelah memasuki sistem pencampuran A yang tidak diketahui adalah x_1 dan x_2 sehingga untuk mendapatkan sinyal hasil pemisahan y_1 yang identik dengan s_1 maka X diolah untuk mendapatkan W digunakan teknik *independent component analysis*.

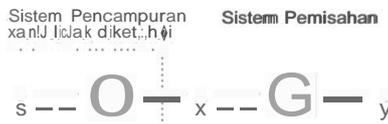
2.2 Independent Component Analysis (ICA)

Independent Component Analysis (ICA) adalah teknik yang paling sering digunakan untuk menyelesaikan permasalahan *Blind Source Separation*[3]. Pada *Independent Component Analysis* diasumsikan sinyal yang tercampur adalah gabungan dari sinyal-sinyal tunggal. Bila terdapat sinyal yang tercampur dari sumber-sumber yang saling bebas satu sama lain maka komponen yang dapat terukur dari sensor dalam domain waktu dimodelkan pada persamaan (1) [1][3][4][5]:

$$x(t) = a_1 s_1(t) + a_2 s_2(t) + \dots + a_n s_n(t) \tag{1}$$

Persamaan (1) dapat ditulis dalam bentuk matriks sebagai berikut:

$$X(t) = AS(t) \tag{2}$$



Gambar 2 Blok Diagram Model ICA[3]

X merupakan sinyal yang ditangkap sensor, A adalah matriks yang tidak diketahui, dan S adalah sinyal sumber. Untuk memperkirakan sinyal sumber dapat menggunakan matriks pemisah W, dimana $W = A^{-1}$ [8]. Dengan melihat ilustrasi gambar 2, maka:

$$Y(t) = W X(t) \tag{3}$$

Natural Gradient adalah salah satu metode aturan pendekatan filter W yang dikemukakan oleh Amari, Chiocki & Yang (1996) [1]. Persamaan *natural gradient* dipaparkan pada persamaan (4) [1][3][4][5]:

$$\frac{\partial W}{\partial t} = -W \frac{\partial \log p(y)}{\partial y} \tag{4}$$

Agar sinyal dapat terpisah dengan baik dari sinyal tercampur terdapat syarat yang harus dipenuhi pada metode *Independent Component Analysis*, syarat tersebut adalah *independent* dan *non-gaussian*[3].

2.3 Independent

Kovarian adalah salah satu cara untuk melihat independensi[3]. bila ada dua *variable* acak yang berbeda x_1 dan x_2 dimana x_1 bersifat *independent* terhadap x_2 . Nilai ρ tidak dipengaruhi oleh berapapun nilai ρ . Kovarian $C(x_1, x_2)$ bernilai 0, akan dijelaskan pada persamaan (5).

$$C(x_1, x_2) = E \{ (x_1 - \mu_1)(x_2 - \mu_2) \} \tag{5}$$

μ adalah mean dari sinyal. Persamaan (6) dapat diuraikan menjadi :

Apabila $C(\omega_1, \omega_2) = E \{ x_1(t) x_2(t) \}$ dan $C(\omega_1, \omega_2) = 0$ maka $C(\omega_1, \omega_2) = 0$ (6)
 (7)

2.4 Non-Gaussian

Independensi sinyal ditandai dengan distribusi non-gaussian. Bila ada variable yang berdistribusi Gaussian maka variable tersebut akan tersebar secara simetris sehingga matriks pencampurnya tidak dapat ditentukan[4]. Salah satu langkah untuk menentukan sinyal tersebut Gaussian atau tidak adalah dengan mengetahui nilai kurtosis[3]. Jika kurtosis bernilai 3 maka distribusi tersebut adalah gaussian.

2.5 Aliasing

Aliasing adalah suatu efek dimana sinyal yang dihasilkan memiliki frekuensi yang berbeda dengan sinyal aslinya[1][2]. Agar tidak terjadi aliasing maka besarnya frekuensi sampling minimal dua kali lebih besar dari frekuensi informasi. Teorema Nyquist didefinisikan pada persamaan (8):

$$F_s (\text{Sampling}) > 2 f_m (\text{Sinyal Informasi}) \tag{8}$$

2.6 Spatial aliasing

Spatial aliasing adalah aliasing dalam domain jarak [2]. Faktor yang mempengaruhi terjadinya spatial aliasing adalah jarak antar microphone dan sudut datang yang dibentuk antara sumber dan sensor. Apabila terjadi spatial aliasing maka sinyal dari sumber satu tidak dapat ditangkap oleh sensor lainnya [19]. Persamaan spatial aliasing didefinisikan pada persamaan (9) [1][2] :

$$d \leq \frac{\lambda}{2} \tag{9}$$

2.7 Mean Square Error

MSE (Mean Square Error) adalah nilai rata-rata dari error hasil estimasi. Bila nilai MSE semakin mendekati nilai 0 maka sinyal estimasi yang terukur semakin mirip dengan sinyal asli. Rumus MSE adalah sebagai berikut dengan n adalah banyak data, Se adalah sinyal estimasi, dan S adalah sinyal asli :

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (S_i - \hat{S}_i)^2 \tag{10}$$

3. Metode Penelitian

3.1 Metode Penelitian

Langkah-langkah yang dilakukan dalam melakukan penelitian pemisahan suara, yaitu proses perekaman multikanal, setting alat, pemisahan suara, dan cara mendapatkan data yang akan di analisis dari metode frekuensi sesaat. Berikut adalah diagram alir dari penelitian ini :



Gambar 3 Diagram Alir Penelitian [3]

Penelitian diawali dengan melakukan studi literature untuk mengetahui langkah-langkah yang harus dilakukan dan mengetahui karakteristik sinyal input agar dapat melakukan pemisahan sinyal suara tercampur. Setelah melakukan studi literature, selanjutnya adalah pengambilan data sinyal tunggal. Sinyal tunggal yang terdiri dari sinyal suara mesin normal, unbalance, bearingfault, dan misalignment akan diuji karakteristiknya dengan pengujian independent dan pengujian non-gaussian sebagai syarat melakukan pemisahan sinyal suara tercampur pada blind source separation. Setelah dilakukan pengujian karakteristik, selanjutnya mengambil data sinyal tercampur. Pengambilan data sinyal tercampur terdiri dari beberapa jarak perekaman antar mesin dan microphone yaitu 15cm, 25cm, dan 35cm. Terdapat dua cara untuk mendapatkan sinyal suara tercampur, yaitu dengan instantaneous linear mixture dan convolutive mixture. pengambilan data sinyal tercampur dengan cara instantaneous linear mixture adalah dengan cara menggabungkan beberapa sinyal tunggal dengan cara memberikan matriks pencampur, sedangkan pengambilan data sinyal tercampur dengan cara convolutive mixture adalah dengan cara merekam langsung beberapa sinyal sumber yang dinyalakan secara bersamaan. Data sinyal tercampur akan dipisahkan menggunakan algoritma natural gradient independent component analysis. Nilai mean square error sinyal suara yang telah dipisahkan akan dibandingkan dengan data sinyal tunggal untuk dibandingkan besar nilai error yang akan dianalisis terhadap pengaruh spatial aliasing dan ditarik kesimpulan.

3.1 Proses Perekaman Multikanal

Proses pengambilan data didapatkan dari proses perekaman sinyal. Suara mesin yang dihasilkan akan ditangkap oleh sensor suara (*microphone*). Sinyal suara yang tertangkap akan diproses oleh *mixer audio* sehingga masing-masing *input* dari sensor suara dapat diterima. Selanjutnya sinyal yang diterima pada *mixer* akan diteruskan ke laptop atau PC untuk diperoleh data berupa bentuk pola suara, data akan diproses oleh PC atau laptop untuk dipisahkan sinyal suara yang tercampur. Proses perekaman dilakukan selama 10 detik dengan frekuensi sampling 44100Hz. Berikut ini adalah skema proses perekaman pada penelitian ini :



3.2 Setting Alat

Spatial aliasing dapat mengganggu proses pengambilan data [1][2]. Rentang frekuensi kondisi normal mesin pompa DAB model Aqua adalah 0Hz hingga 22050Hz. Dalam rentang tersebut terdapat beberapa frekuensi yang memiliki *magnitude* tinggi, dengan menggunakan matlab frekuensi yang memiliki *magnitude* tinggi adalah 4463Hz, 3851Hz, 1999Hz, 1782Hz, 1179Hz, 1079Hz, 978,7Hz, dan 486,6 Hz. Dari beberapa *magnitude* tersebut berdasarkan perhitungan *spatial aliasing* dengan persamaan $d \leq \frac{\lambda}{2}$ maka jarak yang akan diteliti adalah 15cm, 25cm, dan 35cm. Jarak ideal antara sumber suara dan *microphone* adalah lebih dari 10 cm. Sample jarak *spatial aliasing* terbanyak ada pada rentang 0-20cm, sehingga jarak yang diteliti dari sebelum dan sesudah 20cm yaitu 15cm dan 25cm. Karena jarak *spatial aliasing* terjauh adalah 35,4cm maka akan diuji pada jarak 35cm.

4. Hasil dan Analisis Sistem

4.1 Pengujian Independent

Pengujian independent dapat dilakukan dengan menghitung nilai kovarian[3]. Nilai kovarian dari sinyal-sinyal yang *independent* atau tidak terkait satu sama lainnya akan bernilai 0. Kovarian hanya dapat dilakukan pada dua *variable* sehingga perhitungan kovarian terdiri dari kombinasi mesin normal, mesin *unbalance*, mesin *bearing fault*, dan mesin *misalignment*. Berikut adalah tabel perhitungan kovarian dari semua kombinasi:

Tabel 1 Perhitungan Kovarian

	Mesin Normal	Mesin <i>Unbalance</i>	Mesin <i>Bearing fault</i>	Mesin <i>Misalignment</i>
Mesin Normal	0,005077	-0,000784	-0,000062	0,000295
Mesin <i>Unbalance</i>	-0,000784	0,005687	0,000152	-0,000090
Mesin <i>Bearing fault</i>	-0,000062	0,000152	0,040266	-0,000208
Mesin <i>Unbalance</i>	0,000295	-0,000090	-0,000208	0,027349

Pada tabel 1 perhitungan kovarian dengan mesin yang sama lebih besar dibandingkan perhitungan kovarian antar mesin yang berbeda sehingga dapat diasumsikan bahwa sinyal suara masing-masing kondisi mesin independent. Tanda minus (-) pada nilai diatas terjadi karena pengaruh nilai amplitudo yang berlawanan arah sementara amplitudo tidak pernah ada yang bernilai negatif.

4.1.1 Pengujian Kurtosis

Hasil perhitungan kurtosis sinyal mesin normal adalah 2,9548, mesin *unbalance* adalah 3,3674, mesin *bearing fault* adalah 5,1990, dan mesin *misalignment* adalah 5,9530. Dari hasil pengujian, keempat mesin memiliki nilai yang positif dan tidak ada yang bernilai 3 maka keempat sinyal tersebut merupakan sinyal non-gaussian sehingga keempat sinyal tersebut memenuhi syarat ICA.

4.2 Hasil Pemisahan

Time Domain ICA (TDICA) adalah teknik untuk memisahkan sinyal suara tercampur dalam domain waktu. algoritma yang digunakan adalah *natural gradient* dengan parameter yang besar langkah (*learning rate*) sebesar 0,000001 dan blok proses sebesar 30. Hasil pemisahan percobaan pertama pada sinyal suara tercampur *convolutive mixture* mesin normal dan mesin *bearing fault* dapat dilihat dari hasil perhitungan MSE seperti pada tabel 2.

Tabel 2 Perbandingan Nilai MSE Hasil Pemisahan Mesin Normal Dan *Bearing fault* Terhadap Sinyal Suara Tercampur *Convolutive mixture* Dan Sinyal Suara Asli Pada Jarak 15 cm, 25 cm, dan 35 cm.

		Sinyal Tercampur	Sinyal Asli
MSE Sinyal Hasil Pemisahan 1	15 cm	0,000006	12,109594
	25 cm	0,000004	1,691521

	35 cm	0,000010	88,851027
MSE Sinyal Hasil Pemisahan 2	15 cm	0,000024	2992,014000
	25 cm	0,000005	109,269000
	35 cm	0,000002	27401,610000
Rata-Rata		0,000008	5100,924191

Pada tabel 2 nilai rata-rata MSE sinyal hasil pemisahan terhadap sinyal tercampur adalah sebesar 0,000008 sedangkan nilai MSE sinyal hasil pemisahan terhadap sinyal asli adalah sebesar 5100,924191. Karena nilai MSE sinyal hasil pemisahan terhadap sinyal asli lebih besar dibandingkan dengan MSE sinyal hasil pemisahan terhadap sinyal tercampur maka dapat dikatakan bahwa sinyal suara tercampur tidak dapat dipisahkan.

Selanjutnya adalah percobaan kedua yaitu pemisahan sinyal suara tercampur mesin *unbalance* terhadap mesin *misalignment*.

Tabel 3 Perbandingan Nilai MSE Hasil Pemisahan Mesin *Unbalance* dan Mesin *Misalignment* Terhadap Sinyal Suara Tercampur *Convolutive mixture* Dan Sinyal Suara Asli Pada Jarak 15cm, 25cm, dan 35 cm.

		Sinyal Tercampur	Sinyal Asli
MSE Sinyal Hasil Pemisahan 1	15cm	0,000008	65,736030
	25 cm	0,000011	320,372210
	35cm	0,000015	50,992355
MSE Sinyal Hasil Pemisahan 2	15 cm	0,000377	15,200830
	25 cm	0,000028	80,131340
	35 cm	0,000015	39,645250
Rata-Rata		0,000076	9,534633

Pada tabel 3 nilai rata-rata MSE sinyal hasil pemisahan terhadap sinyal suara tercampur adalah 0,000076 sedangkan nilai MSE sinyal hasil pemisahan terhadap sinyal suara asli adalah 9,534633.

Pemisahan tidak dapat dilakukan pada data yang tercampur dengan teknik *convolutive mixture*, karena perubahan amplitudo pada sinyal tercampur tidak *linear* karena adanya perbedaan intensitas suara yang diterima oleh sensor, selain itu sinyal suara tercampur *microphone 1* dan *microphone 2* tidak menunjukkan ada nya korelasi sedangkan algoritma ICA membutuhkan nilai kolerasi untuk dapat melakukan proses pemisahan sinyal suara tercampur. Jika tidak terdapat nilai kolerasi maka algoritma ICA mengasumsikan bahwa kedua *input* sinyal tercampur tersebut adalah sinyal tunggal.

Percobaan berikutnya dilakukan pada pemisahan sinyal tercampur antara suara mesin normal dan suara mesin *bearing fault*. Hasil pemisahan sinyal suara tercampur dapat dilihat dengan nilai MSE pada tabel 4

Tabel 4 Perbandingan Nilai MSE Hasil Pemisahan Mesin Normal Dan Mesin *Bearing fault* Terhadap Sinyal Suara Tercampur *Instantaneous linear mixture* Dan Sinyal Suara Asli Pada Jarak 15cm, 25 cm, dan 35 cm.

		Sinyal Tercampur	Sinyal Asli
MSE Sinyal Hasil Pemisahan 1	15cm	0,034108	0,00000654
	25 cm	0,003536	0,00000013
	35cm	0,001975	0,00000004
MSE Sinyal Hasil Pemisahan 2	15 cm	0,002113	0,00002720
	25 cm	0,000640	0,00000821
	35 cm	0,000416	0,00000008
Rata-Rata		0,007131	0,00000702

Pada tabel 4 nilai rata-rata MSE sinyal hasil pemisahan terhadap sinyal tercampur adalah sebesar 0,007131 sedangkan nilai MSE sinyal hasil pemisahan mesin normal terhadap sinyal asli adalah sebesar 0,00000702. Karena nilai MSE sinyal hasil pemisahan terhadap sinyal asli lebih kecil dibandingkan dengan MSE sinyal hasil pemisahan terhadap sinyal tercampur maka dapat dikatakan bahwa sinyal suara tercampur dapat dipisahkan.

Selanjutnya percobaan kedua dilakukan pada pemisahan sinyal tercampur antara suara mesin *unbalance* dan suara mesin *misalignment*. Tabel 5 adalah nilai MSE sinyal hasil pemisahan terhadap sinyal tercampur dan sinyal asli mesin *unbalanced* dan mesin *misalignment*.

Tabel 5 Perbandingan Nilai MSE Hasil Pemisahan Mesin *Unbalance* dan *Misalignment* Terhadap Sinyal Suara Tercampur *Instantaneous linear mixture* Dan Sinyal Suara Asli Pada Jarak 15cm, 25 cm, dan 35 cm.

		Sinyal Tercampur	Sinyal Asli
MSE Sinyal Hasil Pemisahan 1	15cm	0,011168	0,00000248
	25 cm	0,001042	0,0000273
	35cm	0,000588	0,0000123
MSE Sinyal Hasil Pemisahan 2	15 cm	0,002557	0,0000617
	25 cm	0,001040	0,0000136
	35 cm	0,000608	0,00000659
Rata-Rata		0,002833	0,00002066

Pada tabel 5 nilai rata-rata MSE sinyal hasil pemisahan terhadap sinyal tercampur adalah sebesar 0,002833 sedangkan nilai MSE sinyal hasil pemisahan terhadap sinyal asli adalah sebesar 0,00002066.

Selanjutnya adalah pemisahan sinyal tercampur 3 input dilakukan dengan urutan mesin normal, *unbalance* dan *bearing fault*. Hasil pemisahan dapat dengan melihat nilai MSE pada tabel 6:

Tabel 6 Perbandingan Nilai MSE Sinyal Tercampur dan Sinyal Asli pada Pemisahan Sinyal Tercampur *Convolutive mixture 3 input*

		Sinyal Tercampur	Sinyal Asli
MSE Sinyal Hasil pemisahan 1	15 cm	0,024943	17,31101543
	25 cm	0,003696	94,73983027
	35 cm	0,001689	7,88827877
MSE Sinyal Hasil pemisahan 2	15 cm	0,036634	83,50388643
	25 cm	0,007692	47,72327325
	35 cm	0,003735	4145,36067027
MSE Sinyal Hasil pemisahan 3	15 cm	0,7012832	283,97164972
	25 cm	0,01736596	200,43516697
	35 cm	0,00555787	278,52124804
Rata-Rata		0,01463401	42,75406129

Pada tabel 6 nilai rata-rata MSE sinyal hasil pemisahan terhadap sinyal suara tercampur adalah 0,01463401 dan nilai rata-rata MSE sinyal hasil pemisahan terhadap sinyal suara asli adalah 42,75406129, nilai MSE sinyal suara hasil pemisahan terhadap sinyal suara asli lebih besar dibandingkan dengan sinyal suara tercampur di setiap *microphone*. Walaupun nilai MSE sinyal suara hasil pemisahan terhadap sinyal suara tercampur tidak sekecil seperti pada *input 2* mesin yang menandakan sinyal hasil pemisahan tidak mirip dengan sinyal suara tercampur namun tetap dikatakan bahwa sinyal suara tercampur tidak dapat dipisahkan karena nilai MSE sinyal suara hasil pemisahan terhadap sinyal suara asli besar.

Selanjutnya dilakukan percobaan pemisahan sinyal tercampur tiga input sinyal tunggal mesin normal, *unbalance* dan *bearing fault* dengan teknik *instantaneous linear mixture*. Tabel 7 adalah nilai MSE yang dihasilkan sinyal hasil pemisahan terhadap sinyal tercampur dan sinyal asli.

Tabel 7 Perbandingan Nilai MSE Sinyal Tercampur dan Sinyal Asli pada Pemisahan Sinyal Tercampur Dengan Teknik *Instantaneous linear mixture* Dari Sinyal Tunggal Normal, *Unbalance*, dan *Bearing fault*

		Sinyal Tercampur	Sinyal Asli
MSE Sinyal Hasil pemisahan 1	15 cm	0,00120563	0,00796927
	25 cm	0,00001456	0,00322096
	35 cm	0,00001412	0,00168955
MSE Sinyal	15 cm	0,01357332	0,06775789

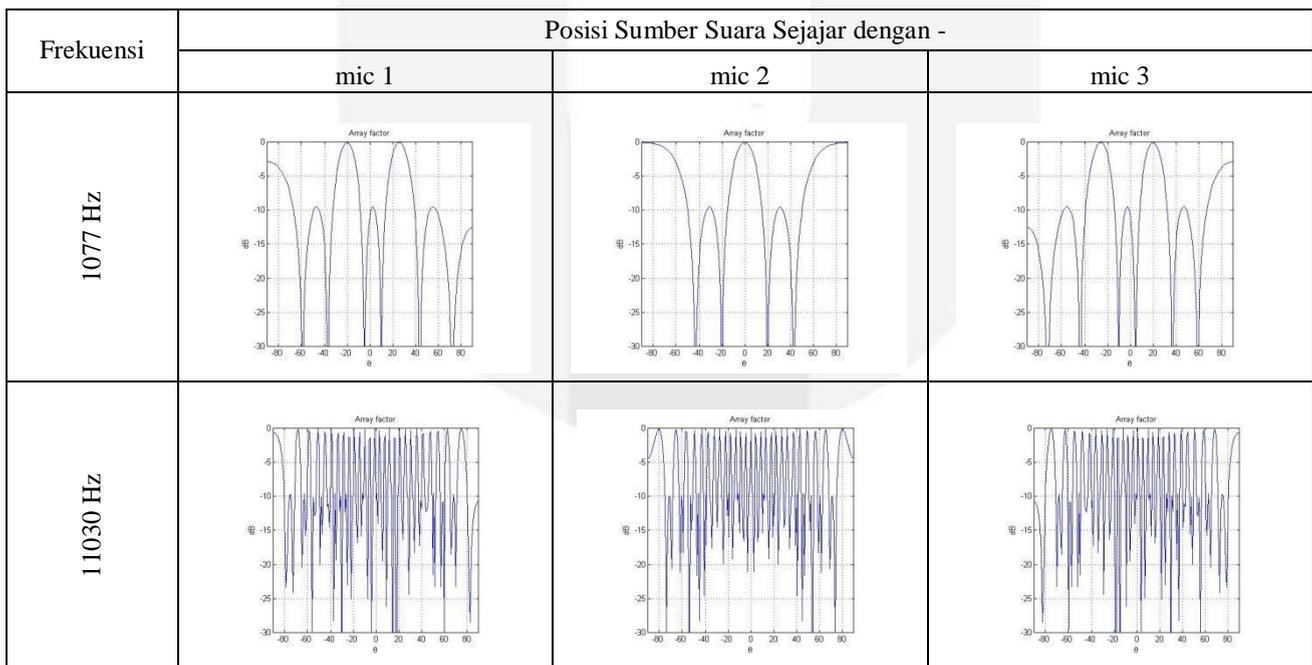
Hasil pemisahan 2	25 cm	0,00059366	0,00457860
	35 cm	0,00006394	0,00216302
MSE Sinyal	15 cm	0,02071787	0,04930351
Hasil pemisahan 3	25 cm	0,00252050	0,00928737
	35 cm	0,00042396	0,00330093
Rata-Rata		0,00434750	0,01658568

Pada tabel 7 nilai rata-rata MSE sinyal hasil pemisahan terhadap sinyal suara tercampur adalah 0,00434750 dan nilai rata-rata MSE sinyal hasil pemisahan terhadap sinyal suara asli adalah 0,01658568. Nilai MSE sinyal suara hasil pemisahan terhadap sinyal suara asli juga lebih besar dibandingkan dengan sinyal suara tercampur di setiap *microphone*, maka dapat dikatakan sinyal tercampur dengan teknik *instantaneous linear mixture* pada *input 3 microphone* tidak berhasil dipisahkan.

4.3 Analisa Spatial aliasing

Untuk menganalisis *spatial aliasing* dilakukan dengan cara melihat respon intensitas suara terhadap sudut datang yang terdeteksi pada *beamform*. Percobaan dilakukan dengan setting perekaman seperti gambar 3.4, namun sumber suara yang digunakan hanya 1 mesin dengan kondisi jarak antar mesin dan *microphone* adalah 15 cm, sehingga jarak (d) antar *microphone* menjadi 31cm. Dengan jarak antar *microphone* 31 cm maka menurut persamaan 2.41 yaitu $d \leq \frac{c}{2f}$ frekuensi yang lebih besar dari 553Hz akan mengalami *spatial aliasing*.

Pengujian analisis *spatial aliasing* dilakukan pada frekuensi yang dominan pada mesin normal, yaitu frekuensi 1077 Hz dan 11030 Hz. pengujian juga dilakukan dengan posisi sumber suara sejajar dengan *microphone 1*, *microphone 2*, dan *microphone 3*. Gambar 4.3 adalah efek dari *spatial aliasing* pada posisi sumber suara sejajar dengan *microphone 1*, *microphone 2*, dan *microphone 3*.



Gambar 5 Efek *Spatial Aliasing* Pada Posisi Sumber Suara Sejajar Dengan *Microphone 1*, *Microphone 2*, dan *Microphone 3*.

Pada frekuensi 1077 Hz saat posisi sumber sejajar dengan *microphone 1* maka sudut arah datang sumber suara terhadap sensor yang paling *central* yaitu *microphone 2* adalah 25,82°. Gambar 5 Menunjukkan respon intensitas suara yang besar pada sudut 25,82°, namun efek *spatial aliasing* terlihat pada sudut -36° yang memiliki intensitas yang sama besar dengan sudut 25,82°.

Lalu pada frekuensi 1077 Hz saat posisi sumber sejajar dengan *microphone 2* maka sudut arah datang sumber suara terhadap sensor yang paling *central* yaitu *microphone 2* adalah 0°. Gambar 5 Menunjukkan respon intensitas suara yang besar pada sudut 0°, namun efek *spatial aliasing* terlihat pada sudut 90° dan -90° yang memiliki intensitas yang sama besar dengan sudut 0°.

Selanjutnya pada frekuensi 1077 Hz saat posisi sumber sejajar dengan *microphone 3* maka sudut arah datang sumber suara terhadap sensor yang paling *central* yaitu *microphone 2* adalah -25,82°. Gambar 5 Menunjukkan respon intensitas suara yang besar pada sudut -25,82°, namun efek *spatial aliasing* terlihat pada sudut 36° yang memiliki intensitas yang sama besar dengan sudut -25,82°.

Pada gambar 5 juga terlihat semakin besar frekuensi maka efek *spatial aliasing* semakin banyak muncul. walaupun terjadi efek *spatial aliasing*, namun pola frekuensi mesin pada *spectrogram* tidak berubah.

5. Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

Penelitian dan Tugas Akhir ini memiliki tujuan yakni untuk mendapatkan hasil pemisahan yang sesuai dengan sinyal asli dengan teknik *Blind source separation* dan menganalisis performansi pemisahan suara dengan teknik *Blind source separation* terhadap pengaruh *Spatial aliasing*. Melihat hasil pengamatan dan analisis data yang telah dilakukan kesimpulan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- 1) Nilai MSE tidak dapat digunakan sebagai acuan karakteristik karena adanya perbedaan fasa awal.
- 2) Dengan teknik *blind source separation* telah berhasil dipisahkan sinyal suara tercampur *instantaneous linear mixture 2 input* antara mesin normal dan *bearing fault* dengan nilai rata-rata MSE adalah 0,00000702, dan MSE hasil pemisahan sinyal suara tercampur antara mesin *unbalance* dan *misalignment* adalah 0,00002066. Sedangkan nilai rata-rata MSE hasil pemisahan dari suara tercampur *convolutive mixture 2 input* antara mesin normal dan *bearing fault* adalah 5100,924191, dan MSE hasil pemisahan sinyal suara tercampur antara mesin *unbalance* dan *misalignment* adalah 9,53463320. Hasil pemisahan sinyal suara tercampur *instantaneous linear mixture* lebih baik daripada *convolutive mixture* karena nilai MSE hasil pemisahan sinyal suara tercampur *instantaneous linear mixture* lebih kecil. Dengan demikian deteksi kesalahan dapat di deteksi.
- 3) Nilai rata-rata MSE hasil pemisahan sinyal tercampur dengan teknik *convolutive mixture* terhadap sinyal asli 3 *input* adalah 42,754061, dan nilai rata-rata MSE hasil pemisahan sinyal tercampur dengan teknik *instantaneous linear mixture* adalah 0,016585. Hasil pemisahan sinyal suara tercampur 3 *input* tidak berhasil karena nilai MSE yang dihasilkan besar.
- 4) Analisis pengaruh *spatial aliasing* pada teknik *blind source separation* tidak dapat dilakukan karena sinyal hasil pemisahan yang didapatkan tidak sesuai dengan sinyal asli pada pemisahan sinyal suara tercampur dengan cara *convolutive mixture*.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan tugas akhir ini, saran yang diberikan penulis untuk penelitian selanjutnya diharapkan dapat memperbaiki kekurangan yang ada dan diharapkan dapat mengembangkan apa yang telah dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1) Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk meneliti perbedaan mendapatkan sinyal gabungan dengan cara *convolutive mixture* dan *instantaneous linear mixture*.
- 2) Perlu adanya metode validasi serta perhitungan untuk menentukan karakteristik dari suara mesin tunggal.

Daftar Pustaka

- [1] Atmaja, B.T. 2009. **PEMISAHAN BANYAK SUMBER SUARA MESIN DARI MICROPHONE ARRAY DENGAN METODE INDEPENDENT COMPONENT ANALYSIS (ICA) UNTUK DETEKSI KERUSAKAN**. ITS, Surabaya.
- [2] Loesch, B., Yang, Bin. 2010. **Blind Source Separation based on Time-Frequency Sparseness in the Presence of Spatial aliasing**. University of Stuttgart. Stuttgart.
- [3] Rosi, F. 2013. **Penerapan Teknik Blind Source Separation untuk Memisahkan Noise dari Sinyal Akustik yang Non Gaussian**. ITS, Surabaya.
- [4] Hyvärinen, A., Erkki, H. 2000. **Independent Component Analysis: Algorithm and Applications**. Helsinki Univ. Of Tech..
- [5] Stone, James V. 2004. **Independent component analysis : a tutorial introduction**. Massachusetts Institute of Technology, United States of America.