

Penentuan Posisi Sumber Bising Pada Area Turbine Geared Compressor Set Di PT. Gresik Power Indonesia (The Linde Group) Dengan Beamforming

Hade Lieberika M, Wiratno Argo Asmoro, Dhany Arifianto

Dept. of Engineering Physics, Fac. of Industrial Technology, Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

email: wiratno@ep.its.ac.id

Abstrak—Pada dunia industri kebisingan merupakan hal yang wajib untuk dikendalikan. Identifikasi sumber bising adalah satu metode penting untuk mengoptimalkan emisi bising yang berasal dari area tersebut. Obyek penelitian ini adalah pada area steam turbine geared compressor set di LINDE GROUP. Dalam menentukan posisi sumber bising di suatu area, umumnya menggunakan metode noise mapping dengan Sound Level Meter. Seiring dengan pesatnya perkembangan di bidang teknologi dan matematika, dari sinilah dikembangkan teknik alternatif untuk menentukan sumber bising pada suatu area dengan beamforming menggunakan sensor mikrofon array. Ada dua jenis metode beamforming yang digunakan yaitu Delay and Sum beamforming dan Minimum Variance Distortionless Response (MVDR) beamforming. Perekaman sinyal suara di Laboratorium dilakukan dengan menggunakan 1 mikrofon pada jarak 15 cm untuk mendapatkan sinyal baseline dan kombinasi 4 mikrofon pada jarak 90 cm terhadap sumber bunyi dengan kombinasi sudut 0° , $+45^\circ$ dan -45° . Sedangkan pada perekaman sinyal suara di Linde Group dilakukan dengan menggunakan 1 mikrofon pada jarak 15 cm untuk mendapatkan sinyal baseline dan kombinasi 4 mikrofon pada jarak 30 cm. Untuk mengetahui unjuk kerja dari kedua metode maka dilakukan perhitungan mean square error (MSE). Hasil penelitian yang didapatkan adalah nilai MSE MVDR beamforming di Linde Group terkecil bernilai 0.0899 yang terdapat pada titik 1 yang terletak pada belokan pipa masukan menuju kompresor stage 2. Sedangkan dengan analisa frekuensi sesaat menggunakan perhitungan Fast Fourier Transform (FFT) didapatkan adalah pola sinyal akustik dari area steam turbine geared compressor set dengan frekuensi yang selalu muncul dengan nilai amplitudo tertinggi yaitu pada 1358 Hz dengan nilai 0.0491. Sedangkan untuk validasi dengan Sound Level Meter (SLM) amplitudo tertinggi juga muncul pada frekuensi sekitar 1000Hz sampai dengan 1500 Hz dengan nilai power nya sebesar 122 dB.

Kata kunci—Beamforming, Delay and Sum Beamforming, Minimum Variance Distortionless Response Beamforming, MSE, FFT.

I. PENDAHULUAN

Pengendalian kebisingan merupakan suatu hal yang wajib diterapkan dalam sebuah pabrik yang secara rutin menghasilkan kebisingan pada level tertentu. Kebisingan pada industri dapat disebabkan oleh mesin yang sedang beroperasi ataupun kendaraan yang sedang melintasi area tersebut.

Hal pertama yang harus dilakukan adalah dengan mengidentifikasi 'hotspots', yaitu area dimana radiasi suara lokal secara signifikan menjadi lebih kuat dibandingkan dengan area sekelilingnya. Pada penelitian ini, untuk menentukan 'hotspots', dilakukanlah noise mapping menggunakan Sound Level Meter (SLM), sehingga

didapatkan nilai kebisingan tertinggi pada steam turbine geared compressor set di PT. Gresik Power Indonesia (The Linde Group) adalah 122 dBA pada frekuensi 2 KHz. Proses noise mapping adalah dengan melakukan pengukuran pada 6 titik utama yang dianggap menghasilkan nilai bising terbesar. Dari keenam titik tersebut diketahui nilai bising yang paling tinggi adalah di pipa aliran suction menuju compressor stage 2. Oleh karena itu penelitian selanjutnya akan dipusatkan di area tersebut sampai diketahui dimana tepatnya posisi sumber bisingnya.

Dalam menentukan sumber bising di suatu area umumnya menggunakan teknik noise mapping dengan Sound Level Meter. Seiring dengan pesatnya perkembangan di bidang teknologi dan matematika, dari sinilah dikembangkan teknik alternatif untuk menentukan sumber bising pada suatu area dengan beamforming menggunakan sensor mikrofon array [1].

Salah satu fungsi yang paling penting dari mikrofon array adalah untuk memisahkan sumber suara yang diinginkan dari noise, gema dan sumber lainnya. Tipe dari metode ini adalah untuk membentuk, mempersempit dan mengerucutkan bentuk beam serta mengarahkannya ke satu titik sumber yang diinginkan. Sehingga, nantinya akan terlihat sinyal dari arah yang diinginkan tersebut diperkuat sedangkan sinyal dari arah lainnya dilemahkan. Misalkan kita memiliki array yang terdiri dari N mikrofon dan keluaran dari mikrofon tersebut dinotasikan sebagai sinyal, maka beamforming dicapai dengan memanipulasi sinyal tersebut.

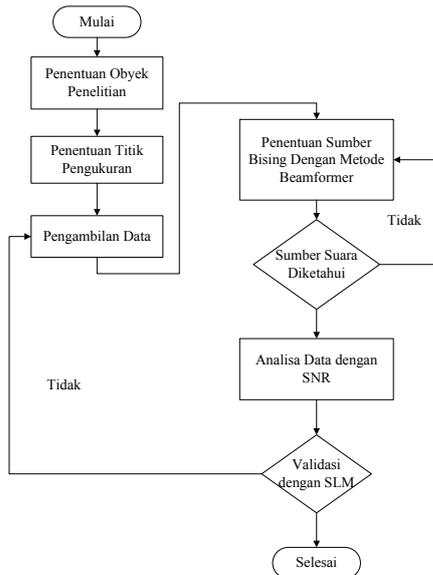
Rena (2012) mengembangkan penelitian untuk menentukan lokasi pembicara dengan cara beamforming dengan menggunakan mikrofon array di dalam ruang laboratorium multimedia MB-304 (Teknik Elektro). Dari hasil penelitian rena, dapat diketahui performa dari beamforming delay and sum dalam menentukan lokasi pembicaranya, dengan hasil penyimpangan sudut (error) yang kecil. Dari fakta diatas, tema penelitian ini diambil dengan harapan mampu menentukan posisi sumber bising di riil plant pada area steam turbin geared compressor set di PT. Gresik Power Indonesia (The Linde Group) mengenai hubungan antara sinyal akustik dengan bising yang ditimbulkan oleh mesin-mesin di area tersebut.

II. METODE PENELITIAN

A. Penentuan Objek Penelitian

Alur penelitian digunakan sebagai prosedur untuk menyelesaikan permasalahan penelitian. Alur penelitian

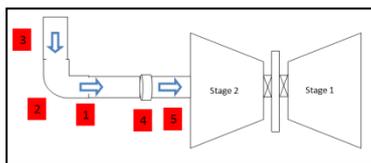
pada bab ini mengacu pada *flow chart* penelitian sebagai berikut:



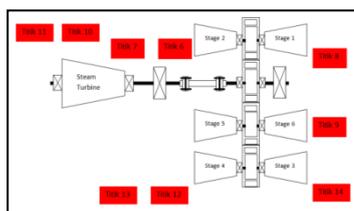
Gambar 2.1 Flowchart Penelitian

B. Penentuan Titik Pengukuran di PT. Gresik Power Indonesia

Penentuan titik pengukuran dilakukan untuk meletakkan sensor terhadap mesin. Pada tahap ini dilakukan dengan dua cara yaitu pengambilan sinyal *baseline* menggunakan satu mikrofon *array* (*single stage*) dan dilanjutkan dengan pengambilan sinyal suara tercampur menggunakan empat mikrofon *array* (*multi stage*) [2].



Gambar 2.4 Titik pengukuran pada pipa masukan menuju kompresor *stage 2* di lantai 4 menggunakan empat mikrofon *array*



Gambar 2.5 Titik pengukuran di sekeliling lantai 3 menggunakan SLM

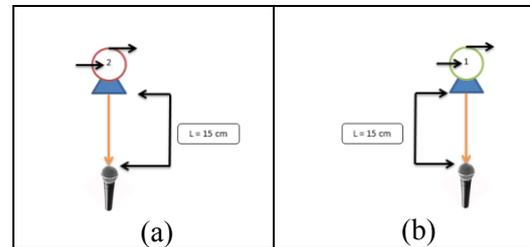
Pada Gambar 2.4 adalah detail titik-titik yang akan diambil data untuk sinyal campuran dengan menggunakan empat mikrofon *array* dengan jarak 30 cm dari mesin. Sedangkan gambar 2.5 adalah titik pengukuran dengan menggunakan SLM

C. Pada Ruang Kedap Laboratorium Akustik dan Fisika Bangunan

Sebelum melakukan pengukuran dan pengambilan data di area *steam turbine geared compressor set* di PT. Gresik Power Indonesia (The Linde Group), tahapan yang harus dilakukan adalah pengukuran, pengambilan dan pengolahan

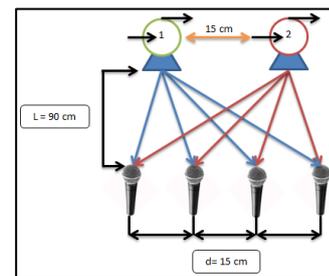
data dilakukan di dalam Ruang Kedap Laboratorium Akustik dan Fisika Bangunan. Hal ini dilakukan agar dapat diverifikasi dahulu untuk tahap Laboratorium sebelum nantinya diaplikasikan di *real plant*.

Perekaman sinyal pertama adalah sinyal *baseline*, dengan menggunakan 1 mikrofon *array* untuk merekam sinyal *baseline* dari masing- masing pompa yang digunakan.



Gambar 2.6 (a) Skema pengambilan suara *baseline* pompa *unbalanced* dengan 1 mikrofon (*single stage*); (b) Skema pengambilan suara *baseline* pompa normal dengan 1 mikrofon (*single stage*)

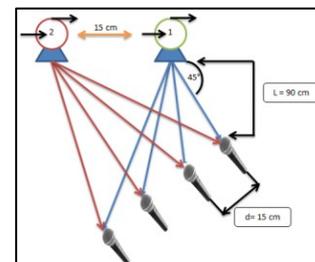
Selanjutnya perekaman sinyal kombinasi 4 mikrofon dengan 2 jenis sumber suara yang berbeda, yaitu pompa dengan kondisi normal dan pompa dengan kondisi *unbalanced*. Ada tiga variasi sudut pengambilan sinyal dari sumber bunyi terhadap mikrofon *array*, yaitu 0°, 45° dan -45°.



Gambar 2.7 Skema pengambilan suara sinyal tercampur dengan 4 mikrofon *array* dengan sudut 0°.

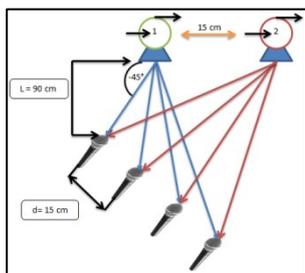
Hasil sinyal estimasi yang diinginkan setelah pengolahan dengan metode *delay and sum beamforming*, dapat dilihat dari plot *time domain*. Dan untuk melihat plot dalam *frequency domain* maka diolah lagi dengan metode FFT. Pada penelitian ini sinyal estimasi yang diinginkan adalah nilai TTB sinyal estimasi akan lebih rendah dari sebelum diolah dengan *beamforming*.

Berikutnya adalah skema perekaman sinyal suara dengan sudut 45°.



Gambar 2.8 Skema pengambilan sinyal suara tercampur dengan 4 mikrofon *array* dengan sudut +45°.

Berikutnya adalah skema perekaman sinyal suara dengan sudut -45°.



Gambar 2.9 Skema pengambilan sinyal suara *tercampur* dengan 4 mikrofon array dengan sudut -45° .

D. Pengambilan Data

Pada proses pengambilan data selama penelitian ini dilakukan di mesin area *steam turbine geared compressor set*. Proses pengambilan datanya dengan menggunakan seperangkat *hardware* seperti, mikrofon Behringer XM1800S sebagai sensor suara dengan karakteristik *cardioid* dan kabel sepanjang 10 m sedangkan *interface* yang digunakan sebagai konverter data analog ke data digital yaitu USB DAC *Multi Channel (M-Audio Fast Track Ultra)*, yang memiliki 6 masukan dan 6 keluaran. Untuk perangkat lunak, digunakan *software* adobe audition 3.0 dimana semua data hasil perekaman suara disimpan dengan ekstensi *.wav*. Setting perekaman sinyal suara mesin pada *software* tersebut yaitu mono, 32 bit (*recording depth*), 32 bit (*audio mix down*), vol.15 dan frekuensi sampling 44100 Hz. Digunakannya F_s 44100 Hz sebab frekuensi sampling ini merupakan frekuensi sampling minimum dari USB DAC *multi channel (M-audio Fast Track Ultra)*. Pengambilan data ini dilakukan dua tahap dengan cara mengambil sinyal *baseline* dengan menggunakan satu mikrofon (*single stage*) dan sinyal campuran dengan menggunakan kombinasi empat mikrofon (*multi stage*). Selama pengambilan data perlu diperhatikan peletakan dari *hardware*, khususnya kabel yang digunakan tidak boleh melipat karena dapat menyebabkan sinyal hasil perekaman rusak.

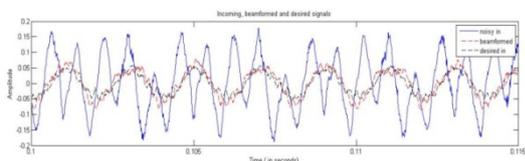


Gambar 2.10 Skema *Wiring* Mikrofon Array

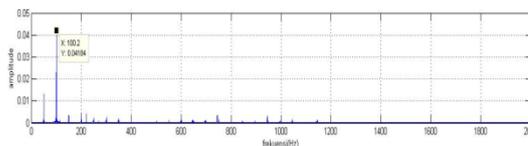
III HASIL PENELITIAN

A. Pengolahan dengan MVDR beamforming Sinyal Kombinasi 4 Mikrofon di Laboratorium

Berikut ini adalah hasil pengolahan sinyal suara terekam dengan 4 mikrofon yang diolah dengan metode DAS *beamforming*:



Gambar 3.1 Plot sinyal MVDR *beamforming* pada sudut 0°



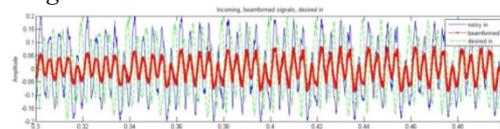
Gambar 3.2 Plot FFT dari sinyal MVDR *beamforming* pada sudut 0°

Pada gambar 3.1 untuk sinyal berwarna biru adalah sinyal *noisy in* (sinyal tercampur dengan noise), sedangkan untuk sinyal yang berwarna hitam adalah sinyal *desired in* (sinyal yang diinginkan) dan sinyal yang berwarna merah adalah sinyal *beamformed* (sinyal hasil rekonstruksi metode *beamforming*). Dari gambar 3.1 dapat dilihat jelas bahwa bentuk sinyal *beamformed* dapat menyerupai sinyal *desired in* yang dalam hal ini adalah sinyal dari pompa normal.

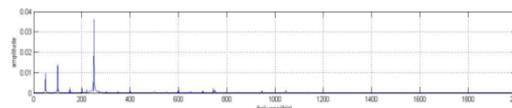
Untuk lebih detail lagi lihat gambar 3.2 yang merupakan hasil FFT dari sinyal *beamformed* untuk sudut 0° . Terlihat bahwa amplitudo yang muncul pada frekuensi 50 Hz dengan nilai 0.01317 yang mengindikasikan bahwa pompa normal dan terjadi perulangan pada frekuensi 100 Hz dengan nilai 0.04184.

B. Pengolahan dengan Delay and Sum beamforming Sinyal Kombinasi 4 Mikrofon di Laboratorium

Berikut ini adalah hasil pengolahan sinyal suara terekam dengan 4 mikrofon yang diolah dengan metode DAS *beamforming*.



Gambar 3.3 Plot sinyal DAS *beamforming* pada sudut 0°



Gambar 3.4 Plot FFT dari sinyal DAS *beamforming* pada sudut 0°

Dari gambar 3.3 dapat dilihat jelas bahwa bentuk sinyal *beamformed* lebih menyerupai sinyal *baseline* pompa *unbalanced*, padahal sinyal yang diinginkan adalah dari pompa normal. Dari hasil tersebut, dapat diambil kesimpulan bahwa metode DAS *beamforming* belum mampu untuk mengarahkan *beam* ke sumber suara yang diinginkan.

Untuk lebih detail lagi lihat gambar 3.4 yang merupakan hasil FFT dari sinyal *beamformed* untuk sudut 0° , terlihat bahwa amplitudo yang muncul pada frekuensi 50 Hz dengan nilai 0.009691 dan muncul nilai amplitudo tertinggi pada frekuensi 250 Hz dengan nilai amplitudo 0.03167.

C. Perhitungan nilai Signal To Noise Ratio di Laboratorium

Setelah dilakukan pengolahan metode DAS dan MVDR *beamforming*, tahap selanjutnya adalah perhitungan *Signal to Noise Ratio* (SNR) yang dilakukan dengan cara, membandingkan antara sinyal hasil rekonstruksi metode DAS dan MVDR *beamforming* dengan sinyal *background*

noise. Dengan tujuan untuk mengetahui apakah noise sudah berhasil di reduksi dengan metode *beamforming*. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat di tabel 3.1 berikut ini :

Tabel 3.1 Tabel perbandingan hasil SNR di Laboratorium Akustik dan Fisika Bangunan

SNR sinyal rekonstruksi DAS <i>Beamforming</i> (dB)			SNR sinyal rekonstruksi MVDR <i>Beamforming</i> (dB)		
Sudut 0	Sudut + 45	Sudut - 45	Sudut 0	Sudut + 45	Sudut - 45
-	-	-	-	-	-
15.691	16.5886	15.0032	22.44	21.1422	23.1765

Dari table 3.1 terlihat bahwa hasil perhitungan baik untuk metode DAS dan MVDR *beamforming* bernilai negatif. Sebagai contoh untuk nilai SNR sinyal rekonstruksi DAS *beamforming* sudut 0° yang bernilai -15.691. Nilai negatif ini berarti bahwa sinyal hasil rekonstruksi *beamforming* memiliki rasio terhadap noise sebesar $10^{-15.691}$. Sehingga *background noise* yang terdapat dalam sinyal inputan sudah dapat direduksi dengan menggunakan metode baik itu DAS maupun MVDR *beamforming*.

D. Perhitungan nilai Mean Square Error (MSE) di Laboratorium

Untuk mengetahui tingkat kesesuaian antara sinyal hasil rekonstruksi metode DAS dan MVDR *beamforming* dengan sinyal *baseline* (*desired in*) maka digunakanlah perhitungan MSE (*Mean Square Error*) . Hasil perhitungannya pada tabel 3.2 dan 3.3 berikut ini :

Tabel 3.2 Perhitungan MSE di Laboratorium antara sinyal rekonstruksi MVDR *beamforming* dengan sinyal *baseline* pompa normal dan *unbalanced*

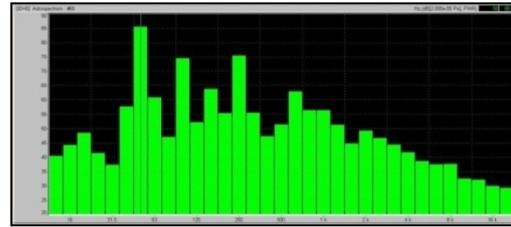
Sinyal Rekonstruksi MVDR sudut:	Mean Square Error (MSE)	
	baseline pompa normal	baseline pompa unbalanced
(+) 45°	0.0104	0.0442
(-) 45°	0.0054	0.0506
0°	0.0048	0.0673

Tabel 3.3 Perhitungan MSE di Laboratorium antara sinyal rekonstruksi DAS *beamforming* dengan sinyal *baseline* pompa normal dan *unbalanced*

Sinyal Rekonstruksi DAS :	Mean Square Error (MSE)	
	baseline pompa normal	baseline pompa unbalanced
(+) 45°	0.0465	0.0279
(-) 45°	0.0486	0.0237
0°	0.0499	0.0249

E. Validasi metode akustik dengan SLM di Ruang Kedap Laboratorium Akustik dan Fisika Bangunan

Untuk membuktikan kesesuaian antara metode *beamforming* yang digunakan dengan sinyal suara yang timbul di ruang kedap laboratorium rekayasa akustik dan fisika bangunan, maka dilakukan validasi dengan sinyal suara dari perekaman dengan *Sound Level Meter* (SLM).

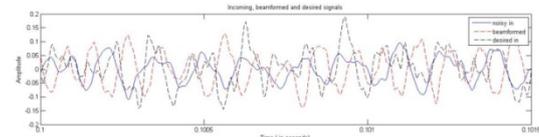


Gambar 3.5 Hasil spektrum SLM di titik 0°

Dari gambar 3.5 dapat diketahui bahwa pada sudut 0°, amplitudo tertinggi muncul pada frekuensi antara 50-100Hz dengan nilai *power* nya sebesar 85 dB. Begitu juga pada sudut +45°, amplitudo muncul pada frekuensi 50-100Hz dengan nilai *power* nya sebesar 68 dB. Kemudian pada sudut -45°, amplitudo juga muncul pada frekuensi 50Hz dengan nilai *power* nya sebesar 71 dB. Nilai frekuensi yang terlihat di SLM sama dengan yang didapat dari perhitungan FFT dari metode MVDR *beamforming* yaitu dengan nilai amplitudo tertinggi muncul di frekuensi 100Hz. Sedangkan untuk hasil FFT metode DAS *beamforming*, terlihat bahwa amplitudo yang dominan muncul di 50, 100 dan 250 Hz. Hal ini membuktikan bahwa metode DAS *beamforming* masih sangat sensitif terhadap noise, dilihat dari hasil FFT frekuensi yang muncul bukan merupakan pola dari sinyal pompa normal. Dikarenakan hasil rekonstruksi metode DAS *beamforming* masih sensitif terhadap noise, maka pengolahan data di LINDE GROUP hanya menggunakan metode MVDR *beamforming*.

F. Pengolahan Data dengan metode MVDR *beamforming* di LINDE GROUP.

Hasil rekonstruksi sinyal dari metode MVDR *beamforming*, untuk selanjutnya diolah dengan FFT (*Fast Fourier Transform*) untuk analisa nilai amplitudo tertinggi yang akan muncul tepat pada frekuensi berapa. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 3.6 sampai dengan gambar 3.7:



Gambar 3.6 Plot sinyal MVDR *beamforming* di titik 1 pada area Linde Group



Gambar 3.7 Plot FFT dari sinyal MVDR *beamforming* di titik 1 pada area Linde Group

Pada gambar 3.6 merupakan plot sinyal dari pengolahan MVDR *beamforming*. Dari gambar tersebut, sinyal *beamformed* sudah bisa direkonstruksi dengan mengurangi

noise nya. Dari kelima sinyal tersebut sinyal *desired in* memiliki nilai amplitudo yang lebih besar daripada sinyal *noisy in*. Hal disebabkan dari pengambilan sinyal *desired in* yang adalah sinyal *baseline*, diambil dengan jarak 5 cm dari sumber yang otomatis lebih besar amplitudo nya apabila dibandingkan dengan sinyal *noisy in*. Walaupun sinyal *noisy in* tidak memiliki nilai amplitudo yang besar, tetapi didalamnya terkandung *background noise* yang harus direduksi.

Dari hasil FFT untuk sinyal pengolahan MVDR *beamforming* yang mewakili masing-masing titik yang diduga menjadi sumber bising, dapat diketahui bahwa yang memiliki nilai amplitudo tertinggi pada frekuensi 1358 Hz adalah pada titik 1 dengan nilai 0.0491, seperti tercantum pada gambar 3.7.

G. Perhitungan nilai Signal to Noise Ratio (SNR) di LINDE GROUP

Setelah dilakukan pengolahan dengan metode MVDR *beamforming* di LINDE GROUP, tahap selanjutnya adalah perhitungan *Signal to Noise Ratio* (SNR) yang dilakukan dengan cara, membandingkan antara sinyal hasil rekonstruksi metode MVDR *beamforming* dengan sinyal *background noise*. Dengan tujuan untuk mengetahui apakah *noise* sudah berhasil di reduksi dengan metode *beamforming*. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat di tabel 3.4 berikut ini :

Tabel 3.4 Tabel perbandingan hasil SNR di Linde Group

SNR sinyal rekonstruksi MVDR <i>Beamforming</i> (dB)				
Titik 1	Titik 2	Titik 3	Titik 4	Titik 5
6.2509	5.2378	5.5503	2.4029	6.3429

Dari table 3.4 terlihat bahwa hasil perhitungan metode MVDR *beamforming* bernilai positif. Sebagai contoh untuk nilai SNR sinyal rekonstruksi MVDR *beamforming* di titik 1 yang bernilai 6.2509. Nilai positif ini berarti bahwa power dari sinyal hasil rekonstruksi MVDR *beamforming* lebih kuat dibandingkan dengan *background noise*. Apabila dikaitkan dengan perhitungan rasionya, sinyal hasil rekonstruksi *beamforming* memiliki rasio terhadap *noise* sebesar $10^{6.2509}$. Sehingga *background noise* yang terdapat dalam sinyal inputan sudah dapat direduksi dengan menggunakan metode MVDR *beamforming*.

H. Perhitungan nilai Mean Square Error (MSE) di LINDE GROUP

Untuk mengetahui tingkat kesesuaian antara sinyal rekonstruksi dengan sinyal *baseline* maka digunakanlah MSE (Mean Square Error) . Dalam menentukan MSE adalah dengan cara membandingkan antara sinyal *baseline* dengan sinyal hasil estimasi *beamforming* . Berikut ini didapatkan hasil MSE dari dari metode MVDR *beamforming* pada tabel 3.5:

Tabel 3.5 Perhitungan MSE di Linde Group antara sinyal rekonstruksi *beamforming* dengan sinyal *baseline* pada semua titik

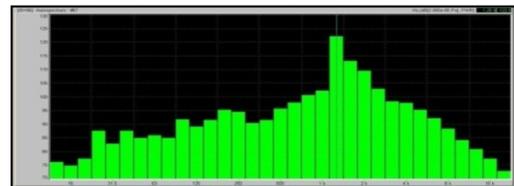
No	Sinyal Rekonstruksi MVDR Titik :	Mean Square Error (MSE)				
		baselin e titik 1	baselin e titik 2	baselin e titik 3	baselin e titik 4	baselin e titik 5
1	1	0.0899	0.1283	0.1176	0.097	0.1175
2	2	0.1146	0.1439	0.1404	0.1198	0.1400
3	3	0.1078	0.1425	0.1322	0.1116	0.1323
4	4	0.0897	0.1227	0.1156	0.0916	0.1147
5	5	0.1043	0.1478	0.1205	0.1118	0.1196

Dari Tabel 3.5 dapat dilihat bahwa nilai MSE dari sinyal *baseline* dan sinyal hasil rekonstruksi *beamforming* memiliki sinyal yang identik dan masih dalam range 0-0.5 yang mana masih termasuk hasil MSE yang baik. Hasil tersebut didapat dari resample sinyal menjadi 16000 Hz dari 44100 Hz. Serta penyesuaian panjang data.

Dari keseluruhan hasil sinyal rekonstruksi MVDR *beamforming* apabila dibandingkan dengan sinyal *baseline* dari masing-masing titik, dititik 1 lah yang menghasilkan nilai yang terkecil. Hal ini dikarenakan keseluruhan sinyal yang terekam parameternya identik dengan sinyal *baseline* di titik 1. Sehingga memperkuat dugaan bahwa titik 1 merupakan posisi sumber bising di *area turbine geared compressor set* di Linde Group. Titik 1 berada di pipa masukan menuju ke kompresor *stage 2*.

I. Validasi Metode Akustik dengan SLM di PT. Gresik Power Indonesia (The Linde Group)

Untuk membuktikan kesesuaian antara metode akustik yang digunakan dengan sinyal suara yang timbul di industri maka dilakukan validasi dengan sinyal suara dari perekaman dengan *Sound Level Meter* (SLM). Nilai TTB hasil perekaman dengan SLM di LINDE GROUP, sinyalnya berupa spektrum suara antara frekuensi dengan *power* suara (dB).

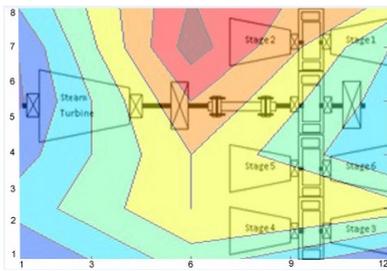


Gambar 3.8 Hasil spektrum SLM di titik 1 di Linde Group

Pada gambar 3.8 dapat diketahui bahwa pada titik 1, amplitudo tertinggi juga muncul pada frekuensi sekitar 1000Hz sampai dengan 1500 Hz dengan nilai *power* nya sebesar 122 dB. Sedangkan untuk titik-titik yang lainnya nilai amplitudonya tidak sebesar pada titik 1.

Dari hasil validasi dengan menggunakan SLM, dapat diketahui bahwa nilai yang dihasilkan dengan pengolahan MVDR *beamforming* sama dengan nilai yang dihasilkan SLM. Sehingga dengan metode MVDR *beamforming* dapat digunakan untuk menemukan posisi sumber bising yaitu pada titik 1.

J. Hasil Pengukuran Noise Mapping dengan SLM di PT. Gresik Power Indonesia (The Linde Group)



Gambar 3.9 Contur mapping dengan SLM pada area steam turbine geared compressor set

Hasil pengukuran yang dilakukan di area steam turbine geared compressor set dengan menggunakan SLM, menghasilkan *contur mapping* seperti gambar 3.9. Dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa tingkat kebisingan terbesar terjadi pada area *stage 2* berdasarkan hasil pengukuran dengan SLM didapat nilai TTB terbesar adalah 122 dBA.

K. Near Field Accoustical Holography dengan Metode MVDR Beamforming untuk Penentuan Posisi Sumber Bising di PT. Gresik Power Indonesia (The Linde Group)

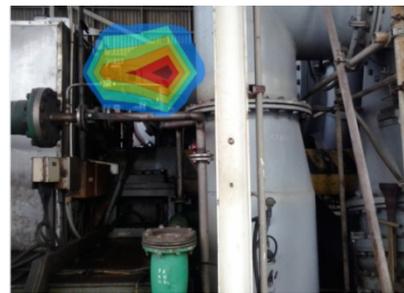
Hasil yang diperoleh dari pengolahan dengan metode MVDR beamforming dengan noise mapping menggunakan SLM didapatkan area dugaan yang sama, yaitu pada area sebelum masukan menuju *stage 2*. Apabila dilihat dari gambar 3.9 hasil dari *noise mapping* direpresentasikan pada *contur mapping* dari nilai TTB tertinggi pada area *turbin geared compressor set*. Hasil *contur mapping* hanya menampilkan area dengan nilai nilai TTB tertinggi (warna merah) tanpa mengetahui detail posisi dari sumber bising utama di area yang berwarna merah tersebut.

Sedangkan dari hasil pengolahan dengan metode MVDR *beamforming*, dapat diketahui detail posisi dari sumber bising utama di area *turbine geared compressor set* yaitu di titik 1 yang terletak pada pipa masukan menuju kompresor *stage 2*. Seperti diketahui bahwa hasil FFT dari rekonstruksi sinyal MVDR *beamforming* dari kelima titik ukur yang telah dilakukan, dapat dilihat bahwa amplitudo tertinggi sebesar 0.0491 yang muncul pada frekuensi 1358 Hz berada di titik 1. Dimana nilai frekuensi tersebut bukanlah frekuensi yang ditimbulkan dari kerusakan mesin berputar, tetapi diakibatkan oleh hal lain. Dalam hal ini adalah aliran fluida yang mengalir pada pipa masukan menuju kompresor *stage 2*.

Dengan menggunakan metode MVDR *beamforming* dapat dihasilkan *Contur Mapping* untuk *Near Field Accoustical Holography*, seperti gambar berikut :



(a)



(b)

Gambar 3.10 (a) Area sebelum di *contur mapping*; (b) Area setelah dilakukan *Contur Mapping Near Field Accoustical Holography*

IV KESIMPULAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Setelah dilakukan evaluasi antara beamforming metode MVDR dan DAS, didapatkan hasil bahwa metode MVDR jauh lebih baik dibandingkan dengan DAS. Hal ini diperoleh dari nilai MSE di laboratorium untuk MVDR beamforming sebesar 0.0048, yang lebih kecil jika dibandingkan dengan nilai MSE untuk DAS beamforming sebesar 0.0499.
2. Dari hasil rekonstruksi sinyal MVDR di Linde Group diperoleh nilai amplitudo tertinggi adalah di titik 1 (pipa masukan menuju stage 2) dengan nilai 0.0491 dengan frekuensi yang dominan muncul di nilai 1358Hz. Nilai frekuensi tersebut mengindikasikan bahwa bising yang muncul bukan berasal dari vibrasi mesin berputar.
3. Dari perhitungan MSE untuk MVDR beamforming di Linde Group didapatkan nilai terkecil sebesar 0.0899, yang merupakan hasil perbandingan sinyal rekonstruksi MVDR *beamforming* dengan *baseline* titik 1 (pipa masukan menuju stage 2).

B. Saran

Dari kesimpulan penelitian maka saran yang dapat diberikan sehubungan dengan hasil penelitian ini adalah :

1. *Array* yang digunakan ideal yang berbentuk spiral, sehingga posisi *array* menyebar.
2. Dalam pengolahan data perlu diperhatikan dalam penentuan panjang data apabila pengambilan data tidak dilakukan pada hari yang sama.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Aarts, Mark., Pries, Hendrik.,Doff, Arjan. 2012. **Two Sensor Array Beamforming Algorithm**, <URL:http://repository.tudelft.nl/assets/uuid:7b7b6fda-3446-49ee-84b0-4b7540914b80/ Two Sensor Beamforming Algorithm. Pdf>

[2] Brandstein, Michael, Ward, Darren.2001. **Microphone Arrays: Signal Processing Techniques and Applications (Digital Signal Processing)**. Springer

[3] Widyaningtyasidyaningtyas, Rena. 2011. Penentuan Lokasi Pembicara Dengan Pembentukan Berkas (Beamforming) Menggunakan Microphone Array. Surabaya: Jurusan Teknik Elektro FTI-ITS.