

Anindita Adikaputri Vinaya

Dosen
Universitas Internasional Semen
Indonesia
Departemen Manajemen Rekayasa
anindita.vinaya@uisi.ac.id

Nurul Dwi Aviva

Mahasiswa
Universitas Internasional Semen
Indonesia
Departemen Manajemen Rekayasa
nuruldwiaviva@yahoo.com

Andhika Eko Prasetyo

Dosen
Universitas Internasional Semen
Indonesia
Departemen Manajemen Rekayasa
Andhika.prasetyo@uisi.ac.id

Identifikasi Sumber Bising Berdasarkan Sinyal Campuran dengan Algoritma *Minimum Variance Distortionless Response Weighted* (MVDRW) pada Mesin Kompresor

The vibration of the rotating engine can produce mixed sound and noise. The purpose of this study is to localize the noise sources by using mixed signals. The angular spectrum method with the Minimum Variance Distortionless Response Weighted (MVDRW) algorithm was used in this study. The mixed signal recording of a compressor engine with turbine drive was performed in this study. The mixed signal consists of 3 sources that produced from some parts of the compressor engine in the real plant. The experimental set results, at a distance of 60 cm, there are 3 noise sources that located at 44 °, 99 °, and 151 ° of the axis with different spatial positions 1 ° at source 1, 1 ° at source 2, and 1 ° at source 3 of the experimental set Based on the results, the noise source on the compressor component is at source 2, the opposite side turbine.

Keywords : MVDRW, noise source, compressor

1. PENDAHULUAN

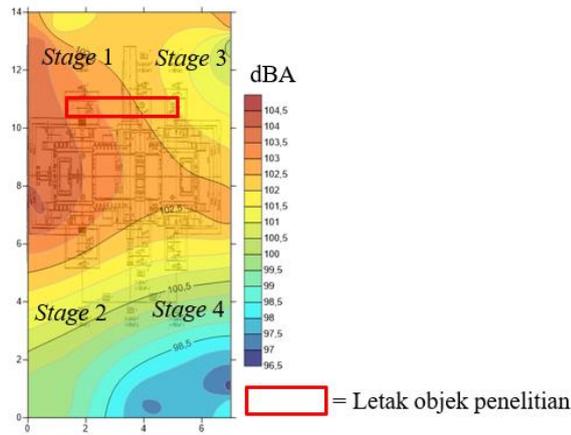
Teknik yang paling banyak dilakukan untuk mengukur tingkat kebisingan di area kerja adalah *noise mapping* dengan menggunakan *sound level meter* (SLM). Teknik SLM memiliki keterbatasan, yaitu memerlukan tenaga yang cukup tinggi dan waktu yang cukup lama karena pengukuran dilakukan pada tiap titik pengukuran. Intensitas dan arah kedatangan sumber bising tidak dapat diketahui. Adanya keterbatasan ini, diperlukan cara yang lebih efektif dan efisien. Penelitian baru dengan memanfaatkan sinyal campuran terus dikembangkan untuk mendeteksi intensitas dan arah sumber bunyi [1-3].

Penelitian yang dilakukan oleh Zuhdi pada tahun 2013, dengan menggunakan metode *beamforming* dapat mendeteksi sumber bising dalam skala laboratorium. Berdasarkan hasil penelitiannya, pompa dengan kerusakan *unbalance* yang menjadi sumber bising [2]. Vinaya pada tahun 2016 berhasil melokalisasi sumber bunyi menggunakan metode spektrum angular dengan algoritma *Generalized Cross Correlation with Phase Transform* (GCC-PT) dengan memperhatikan faktor angin. Proses lokalisasi dilakukan dengan memanfaatkan 4 sumber bunyi yang terdiri dari 2 sinyal hasil rekaman pidato (orasi), musik, dan *pure tone*. Metode yang diusulkan dapat mengestimasi jumlah dan arah sumber bunyi pada skala laboratorium [3]. Penelitian lain dilakukan oleh Zhang, dengan menggunakan 2 metode yaitu *beamforming* dan *sound source localization* (SSL) untuk melihat performansi dari kedua metode tersebut. Berdasarkan hasil penelitiannya, SSL dengan pendekatan spektrum memiliki hasil yang lebih baik [4]. Blandin menggunakan beberapa algoritma dalam penelitiannya untuk melokalisasi sumber bunyi. Algoritma *Minimum Variance Distortionless Response Weighted* (MVDRW) dan GCC-PT merupakan dua algoritma yang memiliki performansi yang baik. Bunyi yang digunakan dalam penelitiannya adalah sinyal pidato dan musik [5,6].

Penelitian ini bertujuan untuk memanfaatkan sinyal campuran yang akan direkam oleh sensor untuk mengetahui lokalisasi sumber bising mesin kompresor dengan turbin sebagai penggerak. Perekaman bunyi mesin dilakukan dengan menggunakan *microphone array* sebagai sensor. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode spektrum angular dengan salah satu algoritma dengan kinerja terbaik yang diusulkan oleh Blandin pada tahun 2012 yaitu MVDRW [5]. Metode ini dapat membantu dalam mengetahui arah, jumlah sumber bunyi aktif dari bentuk spektrum, dan jumlah sumber bunyi yang dominan terlihat dari jumlah puncak yang tertinggi dalam grafik spektrum angular [5, 6].

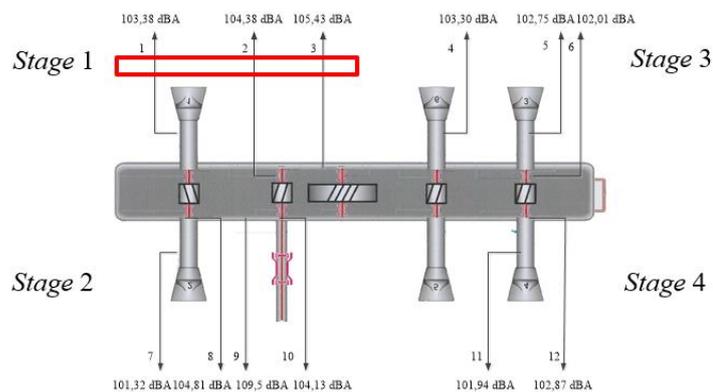
2. METODOLOGI PENELITIAN

Tahapan penelitian terdiri dari: pengukuran tingkat tekanan bunyi(TTB), penentuan titik pengukuran, pengambilan data, pengolahan data,penilaian peformansi metode dan pembahasan.Pengukuran TTB dengan menggunakan SLM Casella CEL620B di area kompresor. Objek penelitian akan diprentukan berdasarkan hasil pengukuran TTB yang mengindikasikan sumber bising paling tinggi.



Gambar 1. *Noise mapping* pada area kompresor

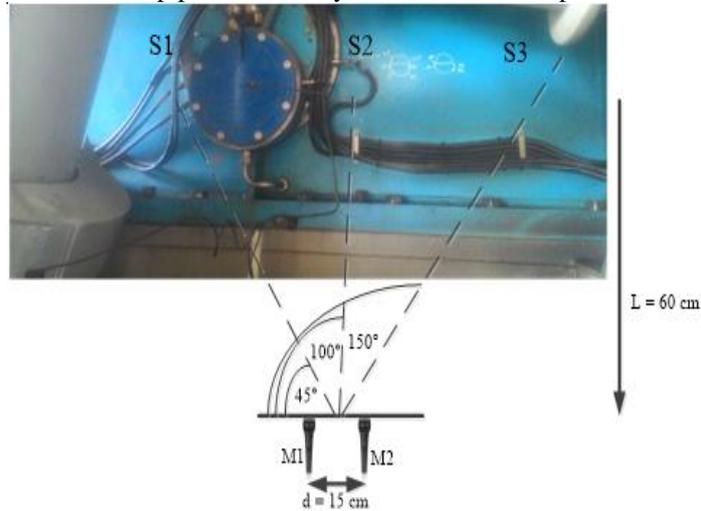
Hasil dari *noise mapping* di area kompresor dengan luas 7,5 m x 14 m dapat dilihat pada Gambar , dan tingkat nilai TTB paling tinggi terdapat pada area *stage 1* dengan nilai mencapai 105 dBA. Pengukuran dilakukan di 12 titik pada setiap komponen kompresor yang menghasilkan getaran sehingga diperoleh sumber bising paling tinggi. Tingkat kebisingan tiap komponen ditampilkan pada Gambar 2. Hasil dari nilai TTB setiap komponen dan *noise mapping*, di area antara *stage 1* dan *stage 2* memiliki nilai TTB paling tinggi. Permasalahan yang dihadapi selama percobaan yaitu tidak tersedianya tempat untuk meletakkan sensor mikrofon di area antara *stage 1* dan *stage 2*, ditetapkan di area antara *stage 1* dan *stage 3* merupakan area bising untuk meletakkan sensor atau mikrofon saat melakukan perekaman sinyal campuran.



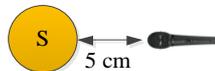
Gambar 2. TTB tiap komponen kompresor (kompresor tampak atas)

Objek dalam penelitian ini adalah *main air compressor* (MAC) yang terhubung dengan 2 buah turbin dengan putaran yang saling berlawananarah. Pada area kompresor antara *stage 1* dan *stage 3*, ditetapkan 3 sumber bunyi sebagai sumber bising pada area kompresor yaitu *the shaft opposite to turbine side* sebagai sumber 1, *the opposite side turbine* sebagai sumber 2, dan *the 1st stage compressor* sebagai sumber 3. Pemilihan 3 sumber bunyi ini berdasarkan letak tiap komponen kompresor yang saling berdekatan sehingga dapat dijangkau oleh 2 sensor. Tingkat tekanan bunyi sumber S1, S2 dan S3 berada diantara 103-105dB. Pada dasarnya komponen pada S1, S2 dan S3 saling terintegrasi secara langsung sehingga getaran komponen satu dapat merambat ke komponen yang lain, hal tersebut dapat menyebabkan perbedaan yang tidak signifikan. Letak posisi sumber yang bersebelahan dapat mempengaruhi tingkat tekanan sumber yang lain, sehingga untuk mengantisipasi hal tersebut pengukuran baseline dilakukan dengan jarak sensor dengan sumber bunyi 5cm agar bunyi yang tertangkap oleh sensor benar-benar merepresentasikan sumber bunyi dari komponen tersebut. Pengaturan eksperimen perekaman sinyal campuran dapat dilihat pada Gambar 3. Jarak antar sensor yang digunakan ketika proses perekaman sinyal campuran adalah 15cm dengan kecepatan bunyi di udara 340m/s.

Perekaman sinyal campuran dilakukan setelah melakukan perekaman *baseline*. Pengaturan eksperimen ditetapkan dengan jarak antara sumber bunyi dan sensor adalah 60 cm dan dapat dilihat pada Gambar 3. Perekaman *baseline* juga dilakukan untuk mengetahui karakteristik dari setiap sumber yang dapat dilihat pada Gambar 4. Perekaman *baseline* dilakukan dengan jarak 5 cm antara sumber bunyi (S) dengan sensor selama 5 detik. Sensor yang digunakan adalah *microphone* tipe *super-cardioid*. Nilai *gain* yang digunakan pada *USB audio interface* adalah 50% untuk setiap perekaman sinyal *baseline* dan campuran.



Gambar 3. Pengaturan eksperimen sinyal campuran dengan jarak 60 cm



Gambar 4. Posisi perekaman *baseline*

Pada tahapan pengolahan data yang perlu dilakukan yaitu memasukkan data primer berupa data perekaman yang diperoleh saat perekaman. Pengolahan data untuk data sinyal *baseline* dengan cara memanggil data perekaman ke dalam pengolah data kemudian data di *downsampling* pada frekuensi 16000 Hz. Keluarannya berupa nilai amplitudo minimum dan maksimum setiap sumber pada waktu selama 5 detik. Hasil dari sinyal *baseline* tersebut dikonversi ke nilai TTB sebagai validasi data.

Pengolahan data untuk perekaman sinyal campuran dengan menentukan panjang *window* sebesar 1024 sampel. Selanjutnya diolah menggunakan metode *angular spectrum* dengan algoritma *Minimum Variance Distortionless Response Weighted (MVDRW)* berdasarkan persamaan konvolutif dalam domain waktu [5].

$$Y(t) = \sum_{i=1}^l B(\tau) \cdot J(t - \tau) \quad (1)$$

dengan:

- $[J_1, J_2, \dots, J_l]^T$ merupakan vector kolom matrik 1×1
- $[Y_1, Y_2, \dots, Y_l]^T$ merupakan kumpulan dari sinyal yang diamati berupa matrik *square*
- B adalah matrik dengan ukuran $k \times 1$ berisi koefisien pencampur
- k adalah jumlah sensor
- l adalah jumlah sumber.

Untuk mengidentifikasi jumlah sumber sinyal bunyi, maka fungsi *TDOA (time different of arrival)* harus dibangun dan dimasukkan dalam fungsi objektif *MVDRW*. Jumlah sumber bising diperoleh dengan identifikasi puncak berdasarkan *max pooling function* pada persamaan di bawah ini [5].

$$f^{MVDR}(t, \omega, \tau) = \frac{1 + \frac{2v^J(t, \omega, \tau)}{v^n(t, \omega, \tau)} + \text{sinc}(2\pi\omega \frac{d}{c})}{1 - \text{sinc}(2\pi\omega \frac{d}{c})} \quad (2)$$

$$f^{MVDRW}(t, \omega, \tau) = w_d(\omega) f^{MVDR}(t, \omega, \tau) + w_d(\omega) - 1 \quad (3)$$

dengan:

$$w_d(\omega) = \frac{1}{2} \left(1 - \text{sinc}(2\pi\omega \frac{d}{c}) \right) \quad (4)$$

merupakan faktor pembebanan tergantung pada frekuensi dan jarak antara mikrofon.

d = jarak antara sensor

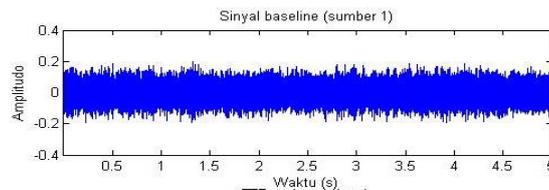
c = kecepatan bunyi propagasi di udara

Kesesuaian antara metode *angular spectrum* dengan pengaturan eksperimen yang sudah ditentukan diperoleh berdasarkan perbandingan arah hasil lokalisasi dengan arah pengaturan eksperimen. Power hasil lokalisasi akan dibandingkan dengan hasil perekaman *baseline* dan hasil pengukuran TTB dengan menggunakan SLM.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

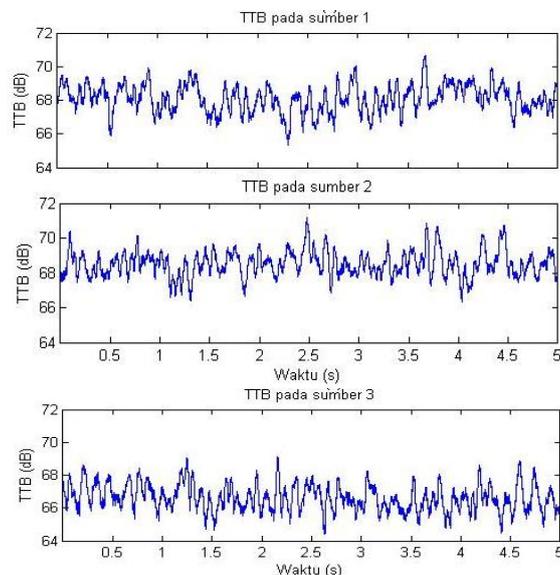
Pada perekaman *baseline* dan sinyal campuran, frekuensi sampling yang digunakan yaitu 44100 Hz. Proses *downsampling* kefrekuensi 16000Hz dilakukan pada sinyal yang semula memiliki 44100Hz. Perekaman dalam selang waktu 5 detik dihasilkan 220500 data sebelum proses *downsampling*, sedangkan setelah proses *downsampling* dihasilkan 90000 data. Data yang lebih sedikit tersebut akan digunakan dalam pemrosesan selanjutnya.

Berdasarkan perekaman sinyal *baseline* pada Gambar 3., nilai amplitudo maksimum pada sumber 1, sumber 2, dan sumber 3 yaitu 0,19, 0,23, dan 0,17 dalam pembacaan waktu 5 detik. Sumber 2 merupakan komponen yang menghasikan bising paling tinggi diantara sumber lainnya karena menghasilkan nilai amplitudo paling tinggi.



Gambar 5. Perekaman salah satu Sinyal *baseline* tiap sumber dalam domain waktu

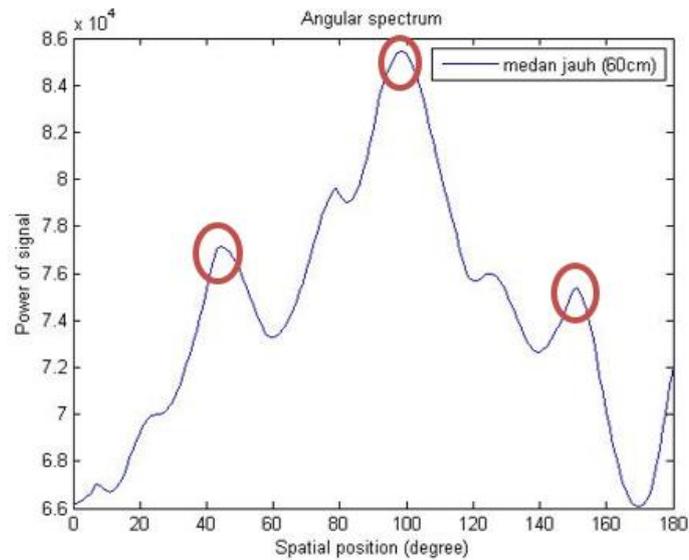
Amplitudo sinyal *baseline* dikonversi menjadi satuan desibel (dB) untuk mengetahui nilai tingkat tekanan bunyi setiap sumber yang nantinya akan digunakan untuk validasi data. Nilai tingkat tekanan bunyi tiap sumber dapat dilihat pada Gambar 6. Pada Gambar 6. nilai tingkat tekanan bunyi selama pembacaan 5 detik memiliki nilai yang fluktuatif dan setiap sumber menghasilkan TTB maksimumnya itu pada sumber 1 (70,66 dB), sumber 2 (71,20 dB), dan sumber 3 (69,53 dB). Hasil dari nilai dB sebelumnya akan di konversi ke nilai *A-weighted decibel* (dBA) menjadi sumber 1 (71,86 dBA), sumber 2 (72,40 dBA), dan sumber 3 (70,73 dBA). Sehingga dapat dilihat dari nilai tingkat tekanan bunyi, sumber 2 yang memiliki nilai TTB paling tinggi.



Gambar 6. Tingkat tekanan bunyi tiap sumber bunyi

Perekaman sinyal campuran akan dilakukan pada jarak antar *microphone* yaitu 15 cm sesuai pengaturan

eksperimen pada Gambar 2. Hasil pengolahan dengan algoritma MVDRW dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 7. Hasil lokalisasi pada jarak 60 cm antara sumber bunyi dengan sensor

Tabel 1. Perbandingan pengaturan eksperimen dengan hasil *real* eksperimen pada jarak 60cm

Sumber sinyal	Posisi Spasial Pengaturan eksperimen	MVDRW	Perbedaan posisi spasial
S1	45°	44°	1°
S2	100°	99°	1°
S3	150°	151°	1°

Gambar 7 menunjukkan bahwa jumlah sumber bunyi yang aktif terletak pada posisi spasial yang sesuai dengan pengaturan eksperimen pertama dan terdapat 3 jumlah sumber bunyi yang sesuai dengan pengaturan eksperimen. Posisi spasial pada hasil *angular spectrum* yaitu 45°, 99°, dan 151°. Nilai power sinyal pada sumber 1, sumber 2, dan sumber 3 yaitu $7,71 \times 10^4$, $8,54 \times 10^4$, dan $7,54 \times 10^4$ sehingga dari nilai tersebut sumber 2 yang memiliki nilai power sinyal paling tinggi yaitu pada posisi spasial 99° dengan power sinyal $8,54 \times 10^4$. *Power* ini mewakili rata-rata waktu dari kuadrat amplitude sinyal dalam satuan arbitrary unit (a.u)

Tabel 2 menunjukkan perbandingan nilai tingkat tekanan bunyi dari sinyal *baseline*, nilai tingkat tekanan bunyi yang diperoleh dari pengukuran menggunakan SLM, dan *power* hasil lokalisasi. Tingkat tekanan bunyi dalam dBA yang dihasilkan dari SLM dan sinyal *baseline* terdapat perbedaan 32 dBA, hal tersebut disebabkan oleh pengaturan *gain* dari USB *audio interface* saat perekaman sinyal dan perbedaan spesifikasi sensor yang digunakan. Berdasarkan Tabel 2, perbandingan nilai perekaman *baseline*, pengukuran dengan SLM, dan *power* sinyal hasil lokalisasi berhasil diperoleh. Sumber 2 memiliki nilai paling tinggi dibandingkan dengan sumber 1 dan sumber 3, hal ini sesuai dengan hasil lokalisasi dengan metode *angular spectrum* (algoritma MVDRW). Komponen yang memiliki kebisingan tertinggi diantara bagian-bagian dari mesin kompresor adalah *the opposite side turbine* (turbin yang putarannya berlawanan dengan turbin yang lain)

Tabel 2. Perbandingan nilai perekaman *baseline*, pengukuran dengan SLM, dan *power* sinyal hasil lokalisasi

Sumber	Perekaman		Power hasil lokalisasi
	baseline dengan microphone (dBA)	SLM (dBA)	
S1	71,86	104,38	$7,71 \times 10^4$
S2	72,40	105,43	$8,54 \times 10^4$
S3	70,73	103,38	$7,54 \times 10^4$

4. KESIMPULAN

Penelitian dengan metode *angular spectrum* melalui algoritma *Minimum Variance Distortionless Response Weighted* (MVDRW) mampu mengidentifikasi sumber bising dalam posisi antara jarak sensor dengan sumber bunyi adalah 60cm. Posisi spasial antara hasil pengaturan eksperimen dengan hasil lokalisasi terdapat perbedaan 0° - 1° . Terdapat 3 sumber bunyi yang aktif berdasarkan hasil lokalisasi dan hal tersebut sesuai dengan pengaturan eksperimen. Sumber 2 merupakan sumber bising pada komponen kompresor yaitu *the opposite side turbine* berdasarkan perbandingan *power* hasil lokalisasi dan tingkat tekanan bunyi dengan sumber yang lain.

5. PERNYATAAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih kami haturkan kepada DIREKTORAT RISET DAN PENGABDIAN KEPADA MASYARAKAT (DRPM) Ditjen Penguatan Riset dan Pengembangan, Kemenristekdikti yang telah mendanai penelitian dengan skema hibah dosen pemula tahun 2018.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] MONHAZIZ, HADE LIEBERIKA, WIRATNO A.A., DHANY A.(2013), “Penentuan Posisi Sumber Bising pada Area Turbine Geared Compressor SET di PT Gresik Power Indonesia (The Linde Group) dengan Beamforming”, *Jurnal Teknik POMITS*, vol.2, No. 1, ISSN; 2310-9271.
- [2] ZUHDI, M.S., (2013), *Deteksi Sumber Bising Pada Plant Pompa Di Laboratorium Akustik Menggunakan Nonlinier Mikrofon Array*, Skripsi, Institut Teknologi Sepuluh November (ITS), Surabaya
- [3] VINAYA, ANINDITA ADIKAPUTRI, (2016), “Experimental Study of Sound Source Localization Using Angular Spectrum Approach In The Presence of Artificial Wind”, *Proceeding International Seminar On Intelligent Technology and Its Application*, Lombok, hal. 31-36.
- [4] ZHANG CHE, D. FLORÊNCIO, DEMBA E. BA., &ZHENGYOU ZHANG, (2008), "Maximum likelihood soundsource localization and beamforming for directional microphone arrays indistributed meetings," *IEEE Transaction on Multimedia*, vol. 10.3, hal.538-548.
- [5] BLANDIN, C., E.VINCENT, A.OZEROV, (2011), "Multi-source TDOA Estimation Using SNR-Based Angular Spectra," in *International conference on Acoustic, Speech, and Signal Processing (ICASSP)*, Prague, Czech Republic, hal. 2616-2619.
- [6] BLANDIN, C., E.VINCENT, A.OZEROV, (2012), "Multi-Source TDOA Estimation Using SNR-Based Angular Spectra and Clustering," *Signal Processing*, Elseiver, hal. 1950-1960.
- [7] DMOCHOWSKI, J., BENESTY, J., &AFFÈS, S. (2009). On spatial aliasing in microphone arrays. *IEEE Transactions on Signal Processing*, 57(4), 1383-1395.