

## PENGARUH VARIASI POSISI SUMBER SUARA TERHADAP ESTIMASI DIRECTION OF ARRIVAL (DOA)

### EFFECT VARIATION SOUND SOURCE POSITION TO ESTIMATION DIRECTION OF ARRIVAL (DOA)

Moh Fausi<sup>1</sup>,

<sup>1</sup>Program Studi Pendidikan Guru Madrasah Ibtidaiyah (PGMI), Fakultas Tarbiyah, Institut Agama Islam Negeri (IAIN) Madura. KM 04, Pamekasan, Indonesia.

[mohfausi@stainpamekasan.ac.id](mailto:mohfausi@stainpamekasan.ac.id)

#### Abstrak

Metode yang sering digunakan untuk meng-estimasi arah datangnya sumber suara (*DOA*) adalah teknik beamforming. Beamforming adalah pemrosesan sinyal pada array sensor dengan cara meningkatkan sinyal sumber dan mengfilter *noise*. Pemecahan masalah dalam penelitian ini adalah menganalisis pengaruh variasi posisi sumber suara terhadap estimasi *DOA*. Metode yang digunakan adalah pemrosesan sinyal dengan algoritma Fast Fourier Transform (FFT) beamforming. Sedangkan konfigurasi sensor disusun secara *Uniform Linear Array (ULA)*. Penelitian dilaksanakan dengan memvariasikan posisi sumber suara menjadi tiga kategori: pertama, posisi sumber lebih dari  $D_{min}$  ( $> Planewave$ ). Kedua, posisi sumber kurang dari  $D_{min}$  ( $< Planewave$ ) dan ketiga, posisi sumber sama dengan  $D_{min}$  ( $= Planewave$ ). Hasil penelitian menunjukkan penempatan posisi sumber suara sama dengan  $D_{min}$  ( $= Planewave$ ) memiliki nilai akurasi paling tinggi terhadap estimasi *DOA* dengan nilai error pengukuran  $\pm 0.1^0$ .

**Kata kunci:** Array Sensor, Pemrosesan Sinyal, FFT Beamforming, *DOA*, *ULA*.

#### Abstract

The method used to estimate the direction of the sound source (*DOA*) is beamforming technique. Beamforming is signal processing array sensor by increasing the source signal and filtering noise. The solution to the problem in this study is to analyze the effect of variations in the position of the sound source on the estimation of *DOA*. Method used is signal processing with Fast Fourier Transform (FFT) beamforming algorithm is used in this research to estimate *DOA*. While the sensor configuration is arranged in a *Uniform Linear Array (ULA)*. The research was conducted by varying the position of sound sources into three categories. First, the source position is more than  $D_{min}$  ( $> Planewave$ ). Second, the source position is less than  $D_{min}$  ( $< Planewave$ ), and third, the source position is the same as  $D_{min}$  ( $= Planewave$ ). The results showed placement of the sound source position is same as  $D_{min}$  ( $= Planewave$ ) has highest accuracy value of *DOA* estimation with measurement error value  $\pm 0.1^0$ .

**Keywords:** Array Sensor, Signal Processing, FFT Beamforming, *DOA*, *ULA*.

#### 1. PENDAHULUAN

Penelitian tentang estimasi sumber suara sudah dilakukan selama ini. Estimasi arah sumber suara adalah teknik yang sangat penting dan banyak digunakan. Aplikasi dari teknik ini seringkali diterapkan untuk perekam suara, array sensor dan smart antenna [1]. Dari penelitian menunjukkan untuk mendapatkan lokasi sumber suara yang maksimum dapat dilakukan dengan cara membedakan intensitas gelombang dan waktu tempuh dari sumber ke pendengar [2]. Metode yang sering digunakan untuk mengestimasi arah datangnya sumber suara *DOA* adalah teknik *beamforming*. *Beamforming* merupakan metode untuk membuat pola radiasi pada antenna array dengan cara

menguatkan sinyal pada arah target yang diinginkan [3]. Pendapat lain menyatakan *Beamforming* adalah suatu algoritma untuk pemrosesan sinyal multichannel [4]. Secara umum dapat disimpulkan *Beamforming* adalah pemrosesan sinyal pada array sensor dengan cara meningkatkan sinyal sumber dan mengfilter *noise* [5]. Estimasi *DOA* dilakukan dengan cara mengestimasi arah datangnya suara dari sumber. Kemudian diterapkan metode resolusi tinggi untuk memperkirakan posisi sudut suara dari sumber [6].

Pengaturan jarak antar array sensor untuk pengarahan *beam* telah dilakukan pada penelitian sebelumnya [7]. Hal ini bertujuan untuk mencari nilai maksimum dan akurasi tinggi dari estimasi *DOA*. Hasil penelitian menunjukkan jarak array sensor pada 6cm mempunyai estimasi *DOA* paling maksimum dan akurat. Kemudian Penelitian dilanjutkan dengan penambahan jumlah array sensor yang memvariasikan jumlah sensor menggunakan teknik scanning pada 2, 3, 6, dan 9 sensor. Hasil penelitian menjelaskan bahwa penambahan jumlah array sensor bisa mempengaruhi hasil estimasi *DOA* [8]. Saran dari penelitian sebelumnya menyatakan perlu adanya penelitian lanjutan untuk menganalisis pengaruh variasi jarak sumber suara terhadap hasil estimasi *DOA*.

Berdasarkan penjelasan diatas maka pada penelitian ini akan membuat pemrosesan sinyal dengan algoritma FFT *beamforming* untuk estimasi *DOA* menggunakan *array microphone*. Sedangkan konfigurasi sensor disusun secara *ULA*. Pemecahan masalah yang akan dilakukan adalah menganalisis pengaruh variasi posisi sumber suara terhadap estimasi *DOA*. Hipotesa dari penelitian ini adalah jika sumber suara semakin menjauhi pendengar ( $> Planewave$ ) maka hasil estimasi *DOA* semakin tidak akurat.

## 2. DASAR TEORI

Transformasi domain waktu ke domain frekuensi dikenal sebagai *FFT Beamforming* [9]. Transformasi Fourier menggambarkan spektrum kontinyu sinyal secara non-periodik [10]. Bentuk transformasi fourier diformulasikan sebagai berikut:

$$X(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \cdot e^{-i2\pi ft} dt \quad (1)$$

Invers Transformasi:

$$X(t) = \int_{-\infty}^{\infty} x(f) \cdot e^{-i2\pi ft} dt \quad (2)$$

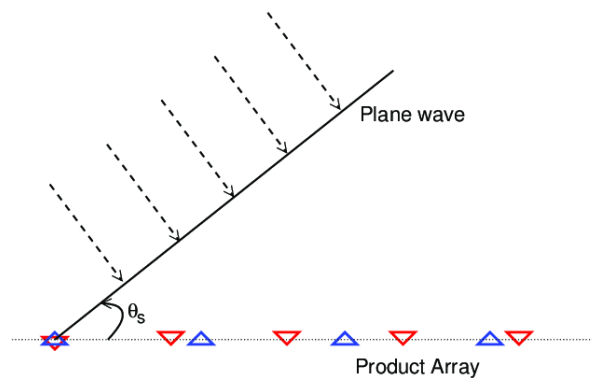
$X(f)$  = Sinyal dalam domain frekuensi

$X(t)$  = Sinyal dalam domain waktu

$x(t)$  = waktu tempuh sinyal

$e$  = Persamaan eksponensial

Model *array microphone* menggunakan *ULA* dengan array sensor sebanyak  $M$  dan diposisikan dengan jarak yang sama yaitu  $d$ . Sinyal dari sumber dianalogikan sebagai *planewave* pada arah sudut  $\theta$  seperti ditampilkan pada Gambar 1. Untuk mengatur bobot secara adaptif dan optimalisasi estimasi *DOA*, maka digunakan algoritma *FFT beamforming*.



Gambar 1. Arah datang dari *Planewave* Terhadap Array Sensor

Perbedaan letak sensor terhadap sumber gelombang menyebabkan masing-masing sensor akan mengalami *delay*. Persamaan 3 merupakan formulasi waktu *delay*.

$$\tau_r = \frac{r_m}{c} = \frac{M d \sin \theta}{c} \quad (3)$$

$\tau$  = Waktu *delay* sinyal

$M$  = Jumlah sensor

$d$  = Jarak antar array sensor

$\theta$  = Sudut datangnya sinyal

$c$  = Kecepatan gelombang di udara

Gelombang sinus dianalogikan sebagai arah datangnya sumber suara. Oleh sebab itu persamaan gelombang pada array sensor dapat dirumuskan pada persamaan 4. Kemudian beda fase masing-masing sinyal dirumuskan pada persamaan 5.

$$y(t) = \text{Sin}(\omega t - \varphi) \quad (4)$$

$$\varphi = \omega \tau_r = \omega \frac{M d \sin \theta}{c} \quad (5)$$

$y(t)$  = Persamaan gelombang sinus

$\omega t$  = Frekuensi gelombang

$\varphi$  = Fase gelombang

Berdasarkan teorema Shannon untuk discrete-time-sampling, ada persyaratan tertentu pada frekuensi sampling spasial untuk menghindari aliasing. Yaitu jarak sensor diatur sebagaimana dituliskan pada persamaan 6.

$$d \leq \frac{\lambda}{2} \quad (6)$$

$d$  = Jarak antar array sensor

$\lambda$  = Panjang gelombang

*Planewave* diasumsikan sebagai gelombang sumber pada penelitian. *Planewave* akan terbentuk jika jarak sumber terhadap sensor cukup jauh (*farfield*). Pengaturan jarak sumber terhadap sensor berdasarkan *franhoufer* dapat dituliskan sebagai berikut.

$$D \geq \frac{2L^2}{\lambda} \quad (7)$$

$D$  = Jarak sumber suara terhadap sensor

$L$  = Panjang array sensor

$\lambda$  = Panjang gelombang

### 3. PEMBAHASAN

*Software LABVIEW* 2018 digunakan pada perancangan program pemrosesan sinyal. Data diperoleh dari hasil estimasi *DOA* melalui pemrosesan *FFT beamforming*. Kemudian data array sensor dianalisis dan dilakukan pembahasan. Gambar 4 menjelaskan *flowchart* dari program utama yang dirancang. Diawali dengan data dari *DAQ* kemudian data tersebut dilakukan proses *FFT*. Setelah proses *FFT* maka diperoleh nilai maksimum indeks yang berfungsi sebagai parameter perhitungan sudut. Persamaan 8 adalah rumusan perhitungan sudut yang hasil perhitungannya merupakan nilai dari estimasi *DOA*:

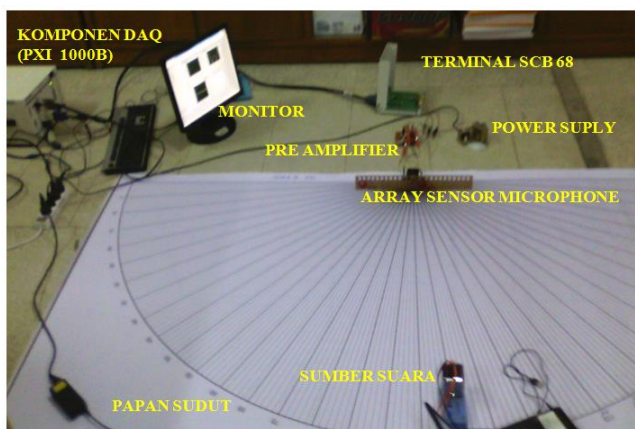
$$\left( \arcsin \frac{ct}{d} \right) \quad (8)$$

$d$  = Jarak antar array sensor

$t$  = Waktu delay tiap sensor

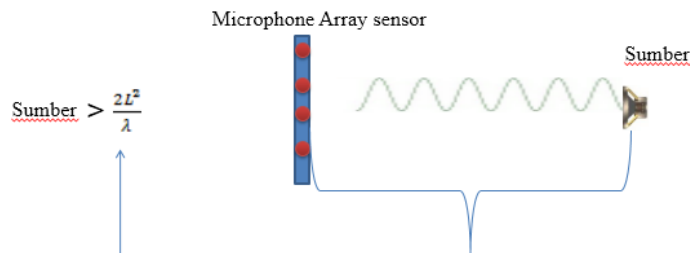
$c$  = Kecepatan gelombang di udara

Selanjutnya adalah *steering control*. Yaitu dengan mengontrol *motor stepper* untuk memposisikan *array microphone* terhadap posisi sudut yang diinginkan berdasarkan hasil perhitungan sudut.



Gambar 3. Rancangan Array Sensor

Penelitian sebelumnya telah ditemukan jarak *array microphone* pada 6 cm yang memiliki nilai akurasi maksimum dengan jumlah *array microphone* sebanyak 9. Oleh karena itu pada penelitian ini pengambilan data dilakukan dengan memvariasikan posisi sumber suara didasarkan pada persamaan 7 yang dibagi menjadi tiga katagori : pertama, posisi sumber lebih dari  $D_{min}$  ( $> Planewave$ ) . Kedua, posisi sumber kurang dari  $D_{min}$  ( $< Planewave$ ) dan ketiga, posisi sumber sama dengan  $D_{min}$  ( $= Planewave$ ). Gambar 4 menunjukkan ilustrasi tentang variasi posisi sumber suara.



Gambar 4. Ilustrasi Variasi Posisi Sumber Suara

### 3.1 Posisi sumber suara Lebih dari Planewave

Gelombang dari sumber diasumsikan sebagai gelombang *planewave* jika pengaturan jarak sumber terhadap sensor ditentukan berdasarkan persamaan 7. Hasil perhitungan jarak sumber terhadap sensor berdasarkan persamaan 7 adalah 36 cm. Tetapi pada pengambilan data ini, sumber diposisikan pada jarak 52 cm. Tabel 1 merupakan pengambilan data  $> Planewave$ .

Tabel 1 Hasil Estimasi DOA untuk ( $> Planewave$ )

Posisi Sumber (Derajat)	Hasil Estimasi DOA Arah Kanan (Derajat)	Hasil Estimasi DOA Arah Kiri (Derajat)
0	2.3	NAN
5	8.3	0
10	10.9	-10.9
15	15.7	-15.7
20	20.8	-21.5
25	26	-25.9
30	33.8	-21.8
35	39.7	-25.6
40	44.5	-29.6
45	46	-45.8
50	53.5	-36.7
55	55.6	-41.3
60	55.6	-49.7
65	62.5	-55.6
70	65.5	-62.5
75	65.5	-75.9
80	71.6	-75.9
85	68.2	-68.2
90	65.2	-60



Grafik 1 Hasil Estimasi DOA > *Planewave*

Data pada Tabel 1 menunjukkan akurasi nilai estimasi DOA terdapat pada sudut  $10^{\circ}$  sampai  $25^{\circ}$  dan  $45^{\circ}$  dengan selisih sudut rata-rata  $1,8^{\circ}$ . Akurasi nilai estimasi DOA lebih sedikit jika dibandingkan dengan pengambilan data pada kategori 3. Hal ini terjadi karena jarak sumber semakin jauh dengan sensor maka akan mengalami antenuasi gelombang, sehingga menyebabkan data nilai DOA tidak stabil.

Pada Tabel 1 menunjukkan bahwa nilai estimasi *DOA* dibagian sudut kiri lebih sedikit dibandingkan dengan bagian sudut kanan. Pada bagian kiri terdapat dua akurasi nilai estimasi *DOA* yaitu pada sudut  $-20$  dan  $-25$  dengan nilai error pengukuran akurasi  $\pm 0,8^{\circ}$ . Hal ini terjadi karena posisi sumber mempengaruhi beam sumber terhadap sensor, sehingga antenuasi gelombang pada sudut kiri lebih besar dibandingkan dengan sudut kanan.

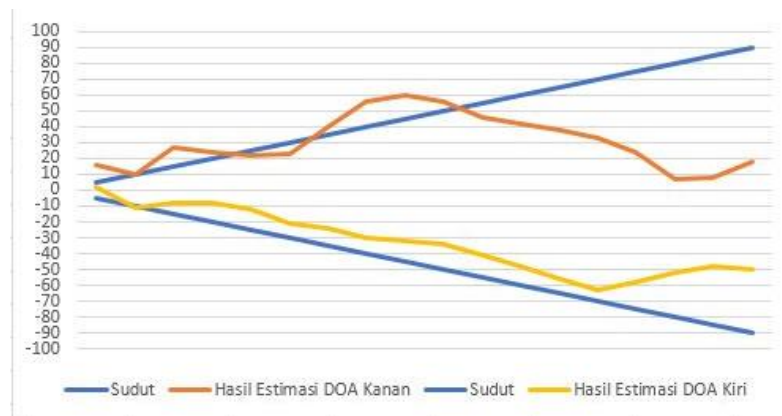
### 3.2 Posisi sumber suara Kurang dari *Planewave*

Pengambilan data kategori 2 memiliki dua tujuan. Pertama untuk membuktikan rumusan penelitian yang telah dilakukan penelitian sebelumnya bahwa *planewave* terbentuk apabila jarak antara sumber dengan sensor cukup jauh (*farfield*). Hal ini dilakukan karena tidak ada kepastian untuk nilai *planewave* pada masing-masing sudut datangnya gelombang terkait dengan jarak antara sensor dengan sumber. Kedua adalah menguji desain *FFT Beamforming*. Apakah desain tersebut mampu melakukan pemrosesan sinyal pada array sensor untuk jarak dekat (*Near Field*). Hasil pengambilan data kategori 2 ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2 Hasil Estimasi DOA untuk (< *Planewave*)

Posisi Sumber (Derajat)	Hasil Estimasi DOA Arah Kanan (Derajat)	Hasil Estimasi DOA Arah Kiri (Derajat)
0	7	NAN
5	15.5	2.3
10	10.3	-10.7
15	27	-8.3
20	24.3	-8.3
25	21.8	-11.9
30	23	-20.5
35	39.7	-24.3
40	55.6	-29.6
45	60	-32.4

50	55.6	-33.8
55	46.2	-41.3
60	41.3	-47.9
65	38.2	-55.6
70	32.4	-62.5
75	24.3	-57.7
80	7.1	-51.6
85	7.4	-47.9
90	18	-49.7



Grafik 2 Hasil Estimasi DOA > *Planewave*

Pada pengambilan data ini, posisi sumber terhadap sensor diletakkan pada jarak 20 cm. Data tabel 2 menunjukkan bahwa akurasi nilai estimasi *DOA* memiliki nilai paling sedikit. Akurasi nilai estimasi *DOA* terdapat pada sudut  $10^0$  dan  $-10^0$  dengan nilai error pengukuran akurasi  $\pm 1,1^0$ . Minimnya akurasi tersebut disebabkan oleh jarak antara sumber dengan sensor tidak memenuhi kriteria *planewave* sehingga gelombang yang datang tidak lagi diasumsikan sebagai gelombang *planewave* melainkan diasumsikan sebagai gelombang sferikal. Berdasarkan persamaan 3 dan ilustrasi pemodelan gelombang datang pada Gambar 1.

Penelitian yang dilakukan menggunakan aproksimasi persamaan delay untuk *farfield* dengan konfigurasi sensor *ULA*. Hal ini dilakukan karena sumber suara diasumsikan sebagai *planewave*. Oleh sebab itu hardware dan software yang didesain tidak cocok untuk penelitian lokasi sumber pada jarak dekat (*Near Field*). Hal ini disebabkan perhitungan delay dan pemodelan gelombang datang pada *nearfield* berbeda dengan *farfield*, sehingga diperlukan penambahan algoritme pada desain *FFT Beamforming* dan modifikasi konfigurasi sensor. Hal tersebut menjadi kelemahan pada penelitian kami yang nantinya akan menjadi referensi dan lanjutan untuk penelitian selanjutnya mengenai pemrosesan sinyal pada array sensor untuk deteksi sumber jarak dekat (*Near Field*).

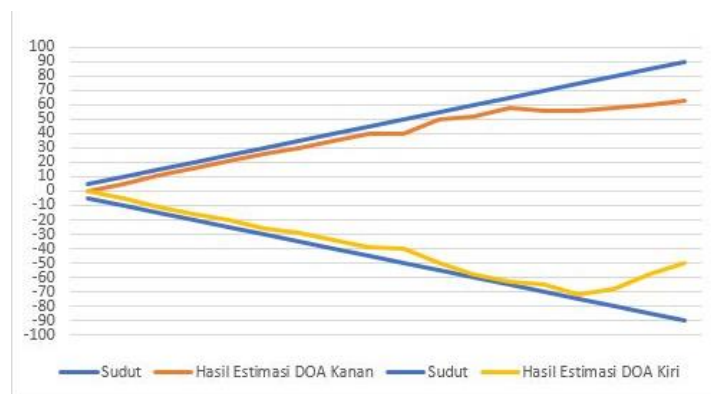
### 3.3 Posisi sumber suara Sama dengan *Planewave*

Selanjutnya pengambilan data ke 3 yaitu pengambilan data dilakukan dengan menghitung jarak sumber terhadap sensor berdasarkan persamaan 7. Hasil perhitungan menunjukkan jarak antara sumber terhadap sensor adalah 36 cm. Tujuan dari pengambilan data adalah untuk mengetahui akurasi nilai estimasi *DOA* yang paling dominan. Hasil pengambilan data katagori III ditunjukkan pada tabel 3. Data tabel 3 memiliki akurasi nilai estimasi *DOA* paling dominan. Sudut kanan terdapat tujuh sudut yang cocok yaitu pada sudut  $0^0 - 50^0$  dengan selisih nilai error pengukuran akurasi  $\pm 1,3^0$  terhadap posisi sumber sesungguhnya. Banyaknya akurasi nilai estimasi *DOA* karena gelombang dari

sumber tidak mengalami atenuasi, nilai intensitas gelombang yang diterima pada setiap sensor berada dalam kondisi stabil dan tidak mudah terpengaruh oleh *noise*.

Tabel 3 Hasil Estimasi DOA untuk (= Planewave)

Posisi Sumber (Derajat)	Hasil Estimasi DOA Arah Kanan (Derajat)	Hasil Estimasi DOA Arah Kiri (Derajat)
0	0.3	-0.3
5	4.7	-4.7
10	10.9	-10.9
15	15.7	-15.7
20	20.4	-20.4
25	26	-26
30	29.3	-29
35	34.4	-34.4
40	39.3	-39.3
45	39.7	-39.7
50	49.9	-49.9
55	51.6	-57.7
60	57.7	-62.5
65	55.6	-65.2
70	55.6	-71.6
75	57.7	-68.2
80	60	-57.7
85	62.5	-49.7
90	63.5	-42.9



Grafik 3 Hasil Estimasi DOA = *Planewave*

#### 4. KESIMPULAN

Jurnal ini melakukan penelitian tentang pengaruh variasi posisi sumber suara terhadap estimasi DOA menggunakan pemrosesan sinyal *Fast Fourier Transform (FFT) beamforming*. Analisis yang dilakukan adalah memvariasikan posisi sumber berdasarkan persamaan 7 dengan membagi tiga kategori: pertama, posisi sumber lebih dari  $D_{min}$  ( $> Planewave$ ). Kedua, posisi sumber kurang dari  $D_{min}$  ( $< Planewave$ ), dan ketiga, posisi sumber sama dengan  $D_{min}$  ( $= Planewave$ ). Hasil penelitian menyimpulkan penempatan posisi sumber suara sama dengan  $D_{min}$  ( $= Planewave$ ) memiliki nilai akurasi paling tinggi terhadap estimasi DOA dengan nilai error pengukuran  $\pm 0.1^0$ . Hal ini karena pada posisi tersebut gelombang dari sumber tidak mengalami atenuasi, nilai intensitas gelombang yang diterima pada setiap sensor berada dalam kondisi stabil dan tidak mudah terpengaruh oleh *noise*.



**DAFTAR PUSTAKA**

- [1] Safitri Irma. 2015. “ *Estimasi Arah Sumber Suara Berbasis Gaussian Mixture Model*” Bandung. Jurnal Elektro Telekomunikasi Terapan (JETT). Desember.
- [2] Rusli, Meifal, John Malta, 2010, “ *Prediksi Arah Sumber Suara untuk Perawatan Prediktif,*” in Prosiding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM).
- [3] Budi Aswoyo, Achmad Basuki. 2001. “ *Optimization Array Factor of Planar Array Antenna using Genetic Algorithms*”, Proc.of the International Conf. on Electrical, Electronics, Communication, and Information (CECI2001). Jakarta. 7 Maret.
- [4] Shmulik Markovich, Sharon Gannot and Israel Cohen. 2009. “ *Multichannel Eigen space Beamforming in a Reverberant Noisy Environment with Multiple Interfering Speech Signals*”, IEEE Transactions on Audio, Speech and Language Processing, vol. 17. no. 6, pp. 1071 – 1086.
- [5] Krishnaveni V. Kesavamurthy T. Aparma. 2013. “ *Beamforming for Direction-of-Arrival (DOA) Estimation-A Survey*”. International Journal of Computer Applications Volume 61– No.11. January.
- [6] C.R Prasanth and K.S Sreeja. 2013. “ *Beamforming And Adaptive Beamforming Technique And Its Implementation ADSP TS 201 Processor*. IOSR Journal. Vol. 03, No. 05. Desember.
- [7] Fausi Moh and Naba Agus. 2013. “ *Analisis Jarak Microphone Array Dengan Teknik Pemrosesan Sinyal Fast Fourier Transform Beamforming*”. EECIS Journal. Vol. 09, No.01, Juni.
- [8] Fausi Moh. 2018. “ *Analisis Pengaruh Penambahan Jumlah Array Microphone Terhadap Estimasi Direction Of Arrival (DOA) dengan Teknik Pemrosesan Sinyal Fast Fourier Transform Beamforming*”. EECIS Journal. Vol. 12, No.01. April.
- [9] Harcarik, T. Bocko, J dan Maslakova, K. 2012. “ *Frequency Analysis of Acoustic Signal Using The Fast Fourier Transformation In Matlab*”. Slovakia. Journal, University of Kosice.
- [10] Hsu, Hwei P. 1976. “ *Schaum’s Outline Of Theory and Problems Of Signal and System*”. Mc.GrawHill.