

# Analisis Jarak *Microphone Array* dengan Teknik Pemrosesan Sinyal *Fast Fourier Transform Beamforming*

Moh. Fausi, Agus Naba dan Djoko Santjojo

**Abstract**—The main problem in the application of the sound source detection is to estimate the angle of the wave or called as Direction Of Arrival (DOA) of Planewave. The method commonly to overcome the problem to utilize the sensor array by the data processing technique such as a beamforming technique. In this research was done by DOA estimation that used technique Fast Fourier Transform (FFT) beamformer with sensor configuration by Uniform Linear Array (ULA). The analysis has been to determine the distance of the array microphone that has DOA estimation with high accuracy to the real source position. Based on the variation of distance of array microphone tested, shown the 6 cm is the best distance which has the most dominant DOA estimation results with high accuracy

**Keywords** : DOA , FFT Beamforming , Array sensor , ULA

**Abstrak**—Permasalahan utama dalam aplikasi deteksi sumber bunyi adalah kesulitan mengestimasi sudut datangnya gelombang atau *Direction Of Arrival (DOA)* dari penjalaran *planewave*. Metode yang biasa digunakan untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah memanfaatkan komponen *array sensor* dengan teknik pemrosesan data berupa teknik *beamforming*. Dalam penelitian ini dilakukan estimasi *DOA* menggunakan teknik *Fast Fourier Transform (FFT) beamforming* dengan konfigurasi sensor secara *Uniform Linear Array (ULA)*. Analisis yang dilakukan adalah mencari jarak antar *array microphone* yang memiliki hasil estimasi *DOA* paling dominan dengan akurasi tinggi terhadap posisi sumber sesungguhnya. Berbagai variasi jarak *array microphone* yang diuji, menunjukkan 6 cm adalah jarak terbaik yang memiliki hasil estimasi *DOA* paling dominan dengan akurasi tinggi.

**Kata Kunci**— *DOA, FFT Beamforming, Array sensor, ULA*

## I. PENDAHULUAN

SALAH satu permasalahan dalam aplikasi deteksi sumber suara adalah kesulitan untuk mengestimasi sudut datangnya gelombang dari *planewave*. Hal ini berkaitan dengan permasalahan mencari arah penjalaran gelombang atau estimasi *DOA*. Karena permasalahan

tersebut, maka topik tentang estimasi *DOA* mendapat perhatian dari berbagai peneliti beberapa tahun ini. Metode yang telah dilakukan untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah dengan memanfaatkan komponen transduser seperti *array microphone* dalam mencari sudut datangnya gelombang atau *DOA* [1].

Salah satu metode untuk menentukan *DOA* adalah teknik *beamforming*. *Beamforming* merupakan teknik pemrosesan sinyal pada *array sensor* dengan cara menguatkan sinyal yang diinginkan dan mereduksi sinyal *noise*. Teknik *beamforming* banyak diimplementasikan untuk deteksi sumber suara.

Pada penelitian ini akan didesain instrumen untuk estimasi *DOA* menggunakan komponen *array microphone* yang disusun secara *ULA* dengan teknik pemrosesan sinyal *FFT beamforming*. Teknik ini memiliki keunggulan jika dibandingkan dengan teknik sebelumnya berkaitan dengan waktu komputasi yang lebih cepat, frekuensi sampling rendah dan tidak membutuhkan kapasitas memori yang besar. Sedangkan analisis yang akan dilakukan adalah mencari jarak antar *microphone array* yang memiliki hasil estimasi *DOA* paling dominan dengan akurasi tinggi.

## II. METODOLOGI PENELITIAN

### A. Teknik Beamforming

*Beamforming* adalah filter spasial yang berfungsi untuk menguatkan arah sudut datangnya sinyal yang diinginkan dan melemahkan sinyal interferensi atau *noise*. Teknik *beamforming* dibagi menjadi dua yaitu *convensional beamforming* dan *adaptive beamforming*. Salah satu contoh teknik konvensional *beamforming* adalah *Delay And Sum Beamforming*. Sedangkan adaptif *beamforming* seperti *Fast Fourier Transform (FFT) Beamforming*. Adaptif *beamforming* lebih menguntungkan dari pada adaptif *beamforming* untuk estimasi *DOA*. Karena adaptif *beamforming* melibatkan adaptif algoritma pada pemrosesan data *array*. Sehingga sinyal interferensi atau *noise* menjadi lemah dan sinyal yang diinginkan dapat ditingkatkan [2].

### B. Fast Fourier Transform (FFT) Beamforming

*Time delay beamforming* dalam domain frekuensi dikenal sebagai *FFT Beamforming*. Teknik ini dikembangkan dari *DFT (Discrete Fourier Transform)*. Tiap data dari sensor akan ditransformasikan dalam domain frekuensi sebelum dilakukan proses

M. Fausi, Dosen Fakultas Teknik Informatika, Fisika Universitas Kanjuruhan dan mahasiswa Program Magister Fisika Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia (e-mail: [fauziprof1@gmail.com](mailto:fauziprof1@gmail.com)).

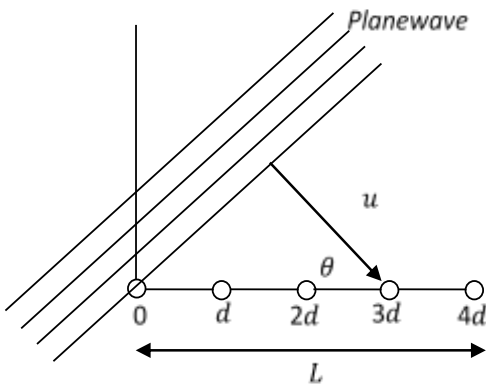
Agus Naba, Dosen Jurusan Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia (e-mail: [agusnaba@gmail.com](mailto:agusnaba@gmail.com)).

Djoko Santjojo, Dosen Jurusan Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia (e-mail: [dsantjojo@gmail.com](mailto:dsantjojo@gmail.com)).

*beamforming*. Setelah dilakukan koreksi fase dari tiap frekuensi kemudian data dari masing-masing sensor akan dijumlahkan dalam domain frekuensi. Selanjutnya untuk mendapatkan sinyal keluaran, hasil penjumlahan akan ditransformasikan kembali dalam domain waktu menggunakan *Inverse Fourier Transform*. Namun terkadang setelah didapatkan keluaran sinyal yang koheren dalam domain frekuensi dapat langsung ditransformasikan kembali ke dalam domain waktu untuk dijumlahkan.

*Array sensor* dapat disusun dalam *ULA* dimana masing-masing sensor dipisahkan dengan jarak yang sama seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Gelombang datang digambarkan sebagai *planewave* dengan arah  $u$  dan diterima oleh masing-masing sensor dengan jarak  $d$ . Untuk masing-masing sensor akan mengalami *delay* akibat perbedaan letak dari sensor terhadap sumber gelombang. Waktu *delay* tersebut dapat dituliskan pada persamaan 1.

$$\tau_r = \frac{r_m}{c} = \frac{M d \sin \theta}{c} \quad (1)$$



Gambar 1. Arah datang dari *planewave* terhadap

$M$  adalah indeks dari sensor (0,1,2,...M-1),  $d$  adalah jarak antar sensor dengan satuan meter,  $\theta$  adalah sudut yang dibentuk dari antara gelombang datang dengan *array sensor* dalam satuan derajat,  $c$  adalah kecepatan gelombang dan  $L$  adalah panjang *array sensor* [3].

Jika gelombang bidang dapat digambarkan sebagai gelombang sinus maka persamaan gelombang untuk masing-masing sensor dapat dituliskan sebagaimana persamaan 2.

$$y(t) = \text{Sin}(\omega t - \varphi) \quad (2)$$

Sedangkan beda fase masing-masing sinyal diberikan persamaan 3.

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

dimana  $\omega$  adalah frekuensi sinyal dalam satuan  $\text{Hz}$  dan  $\tau_r$  adalah waktu *delay* setiap detiknya.

### C. *Spatial Aliasing*

Sesuai dengan teorema sampling bahwa aliasing juga terjadi pada domain frekuensi jika sinyal sampling tidak memenuhi kriteria *nyquist*. Pertimbangan yang sama ketika kita menganalisis spektrum dari frekuensi spasial.

Kriteria *nyquist* ekuivalen dengan rata-rata sampling untuk menghindari *spatial aliasing* secara tidak langsung jarak antar sensor  $d$  harus kurang dari atau sama dengan setengah minimum panjang gelombang, dimana minimum panjang gelombang ini berkaitan dengan frekuensi maksimum dari sumber [4].

Berkaitan dengan hal tersebut diatas maka kita perlu menentukan jarak maksimum dari masing-masing sensor agar tidak terjadi *spatial aliasing*. Dengan mengacu pada persamaan *delay* dan kondisi *spatial aliasing* yang mungkin terjadi, jarak maksimum dari masing-masing sensor dapat ditentukan melalui persamaan 4 dan 5.

$$d \leq \frac{\lambda}{2} \quad (4)$$

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (5)$$

Dimana  $d$  adalah jarak antar sensor,  $\lambda$  adalah panjang gelombang,  $c$  adalah kecepatan gelombang diudara yaitu  $317 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$  dan  $f$  adalah frekuensi maksimum dari sumber dalam satuan  $\text{Hz}$ .

Sedangkan asumsi gelombang yang datang berupa *planewave*, hal ini terjadi jika jarak sumber terhadap sensor cukup jauh (*farfield*). Berdasarkan pendekatan dari *franhoufer* pada gejala optis, pengaturan jarak sumber terhadap sensor dapat ditentukan melalui persamaan 6.

$$D \geq \frac{2L^2}{\lambda} \quad (6)$$

dimana  $D$  adalah jarak sumber terhadap sensor dalam satuan meter,  $L$  adalah panjang *array sensor* dalam satuan meter dan  $\lambda$  adalah panjang gelombang dari sumber.

### III. TAHAPAN PENELITIAN.

Langkah-langkah yang akan dilakukan dalam penelitian ini adalah desain *hardware* dan *software* untuk estimasi *DOA*. Secara umum desain *hardware* merupakan rangkaian *pre amplifier* dan akuisisi data pada *array microphone* (modul *array microphone*) dengan konfigurasi sensor adalah *ULA*. Sedangkan desain *software* adalah teknik *FFT beamforming* untuk estimasi *DOA*.

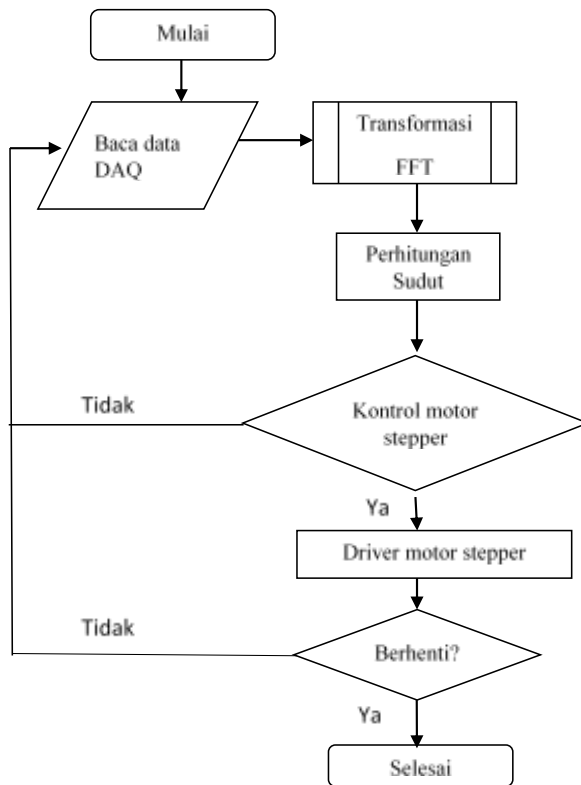
Pengambilan data dilakukan berdasarkan hasil estimasi *DOA* dari pemrosesan *FFT beamforming*. Kemudian data tiap jarak antar sensor yang didapat dianalisis dan dilakukan pembahasan.

Perancangan program pemrosesan sinyal dibangun menggunakan *software LABVIEW 2013*. Gambar 2 menunjukkan *flowchart* dari program utama yang dirancang. Dimulai dengan membaca deretan data dari *DAQ* kemudian data tersebut dilakukan proses *FFT* sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3. Setelah dilakukan proses *FFT* maka didapatkan nilai maksimum indek yang digunakan sebagai parameter dari perhitungan sudut. Nilai estimasi *DOA* didapatkan dari proses perhitungan sudut berdasarkan persamaan 7:

$$\left(\arcsin \frac{ct}{d}\right) \quad (7)$$

dimana  $c$  adalah kecepatan gelombang diudara,  $t$  adalah waktu *delay* dari masing-masing sensor dan  $d$  adalah jarak antar sensor.

Proses selanjutnya adalah steering control. Proses ini dilakukan dengan mengontrol *motor stepper* untuk mengarahkan *array microphone* pada posisi sudut sesuai dengan hasil perhitungan sudut.



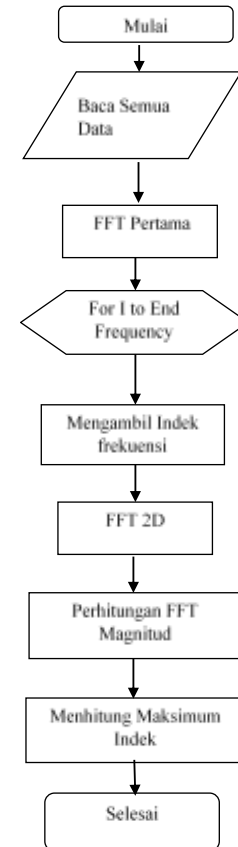
Gambar 2. Flowchart program utama pada labview

Pada proses *FFT* transformation yang ditunjukkan Gambar 3. Semua data hasil pembacaan dari *DAQ* ditransformasikan dalam proses *FFT* pertama, kemudian hasil transformasi *FFT* pertama diubah kedalam bentuk data array 2D. Bentuk data array 2D ini terdiri dari baris dan kolom, dimana baris sebagai data dari magnitud hasil *FFT* pertama untuk indek frekuensi yang diambil, sedangkan kolom merupakan indek  $n$  sensor. Setelah didapatkan bentuk array 2D, kemudian ditransformasikan kedalam *FFT 2D* (*FFT Transpose*) untuk mendapatkan domain spasial sesuai dengan nilai magnitud yang dihasilkan dari *FFT 2D*. Dari domain spasial didapatkan nilai maksimum indek berdasarkan nilai indek *FFT* yang memiliki maksimum magnitud.

#### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengambilan data dilakukan dengan memvariasikan jarak antar sensor menggunakan teknik *scanning* dengan pengaturan jarak yaitu 1,5, 6 dan 9 cm ditunjukkan pada Tabel I sampai Tabel III. Dari Tabel II menunjukkan data 2 sensor pada jarak 6 cm memiliki hasil estimasi *DOA* paling dominan jika dibandingkan dengan yang lainnya.

Kemudian dilanjutkan pengambilan data jarak sensor yang paling dekat dari 6 cm yaitu pada 4,5 cm dan 7,5 cm yang ditunjukkan pada Tabel IV dan V. Hal ini bertujuan untuk mencari nilai yang paling dominan dari berbagai variasi jarak antar sensor. Hasilnya menunjukkan data jarak antar sensor pada 6 cm tetap memiliki nilai estimasi *DOA* yang paling dominan.



Gambar 3. Sub program transformasi *FFT*

Pengambilan data jarak ideal antar sensor diberhentikan sampai 9 cm karena semakin pengaturan jarak mendekati perhitungan jarak maksimum antar sensor, maka data yang diperoleh semakin tidak akurat. Berdasarkan persamaan 4 perhitungan jarak antar sensor maksimum adalah 15 cm. Hal ini bertujuan untuk menghindari sinyal *aliasing*.

Tabel I adalah hasil pengambilan data estimasi *DOA* untuk jarak sensor 1,5 cm. Pengambilan data dilakukan setiap  $5^0$  yang dimulai dari  $0^0$  sampai  $90^0$  pada sudut kanan (*DOA* kanan) dan sudut kiri (*DOA* kiri). Adapun hasil estimasi *DOA* untuk jarak 1,5 cm ditunjukkan pada Tabel I.

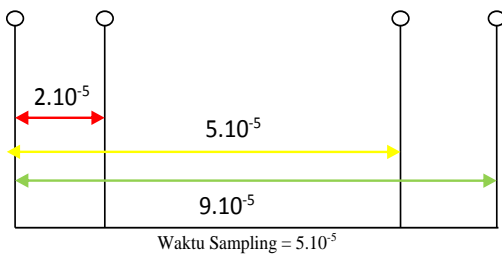
Posisi sumber (derajat) pada Tabel I adalah posisi sumber gelombang suara dibangkitkan (posisi sumber sesungguhnya). *DOA* kanan (+) adalah hasil estimasi sudut datangnya gelombang dari pemrosesan sinyal *array* dengan teknik *FFT beamforming* untuk pengambilan data pada sudut kanan. Sedangkan *DOA* kiri (-) adalah hasil estimasi sudut datangnya gelombang pada sudut kiri. Dari hasil pemrosesan menunjukkan tidak terdapat nilai estimasi *DOA* yang akurat pada

setiap sudut yang diambil dari sudut kanan (+) dan kiri (-).

Tabel I menunjukkan pada jarak terdekat yaitu 1,5 cm memiliki nilai data yang mayoritas sama (data ganda). Hal ini terjadi karena data *delay* yang terlalu kecil dapat mempengaruhi akurasi. Berdasarkan persamaan 1 maka nilai *delay* untuk jarak 1,5 cm adalah  $2 \times 10^{-5}$ s, sedangkan untuk jarak 6 cm adalah  $9 \times 10^{-5}$ s. Ilustrasi dari perbandingan antara waktu *delay* untuk jarak 1,5 cm dan jarak 6 cm dengan waktu sampling ditunjukkan pada Gambar 4.

TABEL I  
HASIL ESTIMASI DOA UNTUK JARAK SENSOR 1,5 CM

Posisi Sumber (Derajat)	DOA Kanan (Derajat)	DOA Kanan (Derajat)
0	-9.5	
5	-9.5	-19.2
10	-4.7	-24.3
15	0	-35.3
20	4.7	-41.3
25	9.5	-41.3
30	14.3	-47.9
35	19.2	-41.3
40	19.2	-65.2
45	19.2	-47.9
50	24.3	-47.9
55	29.6	-47.9
60	29.6	-47.9
65	41.3	-47.9
70	55.6	-47.9
75	55.6	-41.3
80	65.2	-35.3
85	55.6	-29.6
90	55.6	-35.3



Gambar 4. Ilustrasi waktu *delay* dan waktu sampling

Gambar 4 menjelaskan bahwa nilai *delay* pada jarak 1.5 cm lebih kecil dari waktu sampling. Oleh sebab itu data pada jarak 1,5 cm kebanyakan tidak terbaca, Sehingga hasil estimasi *DOA* tidak akurat ketika dibandingkan dengan posisi sumber sesungguhnya.

Pengambilan data dilanjutkan pada pengaturan jarak sensor sama dengan 6 cm. Adapun data yang diambil ditunjukkan pada Tabel II.

Tabel II menunjukkan bahwa nilai akurasi *DOA* untuk jarak 6 cm terdapat pada sudut  $5^0$  sampai  $25^0$ . Nilai akurasi paling tinggi terdapat pada sudut  $15^0$ , dengan nilai error pengukuran akurasi  $\pm 0,2^0$ . Meskipun pada jarak 6 cm nilai *DOA* masih terdapat data ganda yaitu pada sudut  $30^0$  dan  $35^0$ , kemudian terdapat data *NAN* pada sudut  $75^0$ ,  $80^0$  dan  $85^0$ .

Data Pada Tabel II lebih sedikit *NAN* jika dibandingkan dengan jarak terdekat antar sensor yaitu di 1,5 cm dan jarak terjauh di 9 cm. Berdasarkan

penjelasan yang telah diuraikan sebelumnya, maka dalam penelitian ini jarak antar *microphone array* yang memiliki hasil estimasi *DOA* paling dominan dengan akurasi tinggi terdapat pada jarak 6 cm.

Pada jarak 6 cm memiliki nilai estimasi *DOA* yang paling dominan. Hal ini terjadi karena data *delay* pada jarak ini memiliki nilai lebih besar dari pada waktu samplingnya. Hal tersebut sebagaimana diilustrasikan pada Gambar 4.

TABEL II  
HASIL ESTIMASI DOA UNTUK JARAK SENSOR 6 CM

Posisi Sumber (Derajat)	DOA Kanan (Derajat)	DOA Kanan (Derajat)
0	-8.3	
5	3.5	-9.5
10	9.5	-18
15	15.2	-23
20	20.5	-35.3
25	24.3	-32.4
30	25.6	-38.25
35	25.6	-42.9
40	28.3	-46.2
45	29.6	-49.7
50	35.3	-60
55	41.3	-75
60	51.6	<i>NAN</i>
65	62.5	-60
70	82.5	-46.2
75	<i>NAN</i>	-41.3
80	<i>NAN</i>	-39.7
85	<i>NAN</i>	-35.3
90	<i>NAN</i>	-35.4

Jika nilai *delay* melebihi waktu sampling akan menyebabkan pembacaan data dari sensor lebih banyak terdeteksi, sehingga hasil estimasi *DOA* memiliki nilai akurasi tinggi.

Pembentukan *beam* pada jarak 6 cm, memiliki nilai intensitas gelombang lebih stabil dibandingkan dengan lainnya. Kemudian nilai intensitas gelombang yang dihasilkan memiliki nilai tertinggi, sehingga apabila ada pengaruh *noise* maka intensitas gelombangnya akan saling menguatkan.

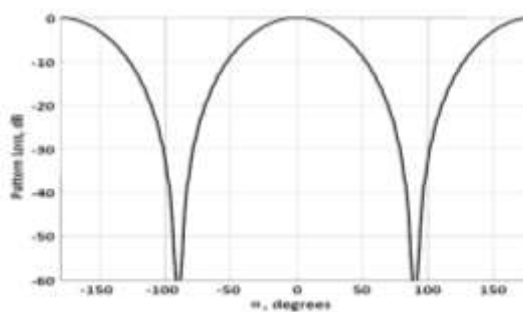
TABEL III  
HASIL ESTIMASI DOA UNTUK JARAK SENSOR 9 CM

Posisi Sumber (Derajat)	DOA Kanan (Derajat)	DOA Kanan (Derajat)
0	-3.9	
5	-3.1	-9.5
10	-2.3	-16.7
15	11.1	-20.1
20	15.9	-26.1
25	20.9	-29.6
30	24.3	-38.2
35	25	-4.6
40	30.6	-74.3
45	39.2	<i>NAN</i>
50	42.3	<i>NAN</i>
55	47.9	<i>NAN</i>
60	<i>NAN</i>	-69.3
65	<i>NAN</i>	<i>NAN</i>
70	<i>NAN</i>	<i>NAN</i>
75	<i>NAN</i>	<i>NAN</i>
80	77.6	-74.3
85	82.1	-77.6
90	60	-57

Tabel III menunjukkan hasil pengambilan data pada jarak antar sensor *microphone* sama dengan 9 cm. Data

ini merupakan pengambilan jarak paling jauh, karena jika jarak semakin mendekati jarak maksimum berdasarkan persamaan 4, maka data yang diperoleh adalah sinyal *aliasing*. Pada penelitian ini, pengambilan data dihentikan pada jarak 9 cm. Karena semakin mendekati jarak maksimum, data semakin tidak stabil dan tidak terdapat hasil estimasi *DOA* yang akurat sebagaimana telah ditunjukkan pada Tabel III.

Pada jarak terjauh yaitu 9 cm. Nilai data yang diperoleh adalah kebanyakan *NAN* (*Not A Number*). Hal ini terjadi karena data *delay* saat dikalkulasi dalam bentuk radian (sudut) melebihi batas maksimum dan minimum yang telah ditetapkan berdasarkan persamaan 7 yaitu di  $90^0$  dan  $-90^0$ . Kemudian pada jarak 9 cm, data hasil *DOA* tidak stabil. Hal ini terjadi karena pada jarak ini mudah terpengaruh oleh *noise* yang disebabkan jarak antar sensor terlalu jauh, sehingga *beam* yang terbentuk sebagaimana diilustrasikan pada Gambar 5.



Gambar 5. Ilustrasi *Beam Microphone*

Gambar 5 adalah menggambarkan *beam* pada *microphone sensor*. Gambar tersebut menunjukkan apabila jarak antar sensor semakin jauh, maka nilai intensitas gelombang semakin menurun. Pada jarak antar sensor 9 cm memiliki *beam* yang tidak stabil. Hal ini terjadi karena salah satu nilai intensitas gelombangnya mengalami atenuasi. Sehingga rentan untuk dipengaruhi *noise*.

TABEL IV  
HASIL ESTIMASI *DOA* UNTUK JARAK SENSOR 4,5 CM

Posisi Sumber (Derajat)	<i>DOA</i> Kanan (Derajat)	<i>DOA</i> Kanan (Derajat)
0	-11	
5	0	-22.6
10	9.5	-39.2
15	14.3	-50.3
20	19.2	-69.3
25	22.6	-52.9
30	26.1	-58.4
35	31.5	-50.3
40	35.3	-31.5
45	41.3	-29.6
50	47.9	-33.3
55	52.9	-27.8
60	52.9	-39.2
65	55.6	-35.3
70	55.6	-50.3
75	50.3	<i>NAN</i>
80	45.6	<i>NAN</i>
85	41.3	-74.3
90	39.2	-58.5

Tabel IV merupakan pengambilan data jarak antar sensor yang paling terdekat dengan jarak antar sensor

6cm. Hal ini bertujuan untuk mencari nilai yang paling dominan dari berbagai variasi jarak antar sensor.

Pada Tabel IV didapatkan empat posisi sudut dengan akurasi tinggi pada pengambilan data sudut kanan (*DOA* kanan) dari  $10^0$  sampai  $25^0$ . Intensitas gelombang yang dihasilkan stabil, tetapi hasil estimasi *DOA* lebih sedikit jika dibandingkan dengan 6 cm.

TABEL V  
HASIL ESTIMASI *DOA* UNTUK JARAK SENSOR 7,5 CM

Posisi Sumber (Derajat)	<i>DOA</i> Kanan (Derajat)	<i>DOA</i> Kanan (Derajat)
0	-12.3	
5	-9.5	-20.2
10	-3.7	-33
15	12.3	-46.5
20	17.2	-47.9
25	23.3	-49.4
30	26.4	-47.9
35	31.8	-38.8
40	40	-45.2
45	46.5	-41.3
50	50.8	-30.7
55	63	-28.6
60	70.2	-46.5
65	65.2	<i>NAN</i>
70	52.4	<i>NAN</i>
75	46.5	<i>NAN</i>
80	40	<i>NAN</i>
85	35.3	<i>NAN</i>
90	34.1	<i>NAN</i>

Pada Tabel V didapatkan empat posisi sudut dengan akurasi tinggi pada pengambilan data sudut kanan (*DOA* kanan). Tetapi hasil estimasi *DOA* tersebut tidak berurutan yaitu pada sudut  $25^0$ ,  $40^0$ ,  $50^0$  dan  $65^0$ . Hasil estimasi *DOA* yang tidak berurutan disebabkan oleh intensitas gelombang tidak stabil. Hal ini terjadi karena jarak antar sensor agak jauh, sehingga disudut tertentu *beam* yang dihasilkan mengalami atenuasi dan mudah terpengaruh *noise*. Kemudian pada sudut  $65^0$ -  $90^0$  hasil estimasi *DOA* yang didapat adalah *NAN* (*Not A Number*). Hal ini terjadi karena nilai yang dihasilkan dari pemrosesan array sensor jika ditransformasikan dalam satuan radian melebihi batas maksimum dan minimum yang telah ditetapkan sebagaimana rumusan perhitungan sudut terdapat pada persamaan 7.

Data diatas jika dibandingkan dengan pada pengambilan data 6 cm. Estimasi *DOA* yang dihasilkan lebih akurat pada jarak 6 cm. Hal ini disebabkan pada jarak 6 cm intensitas gelombang yang dihasilkan lebih stabil dan nilai *delay* ketika ditransformasi dalam bentuk radian lebih akurat.

## V. KESIMPULAN.

Penelitian jarak antar microphone array dianalisis pada paper ini. Analisis dengan menggunakan teknik pemrosesan sinyal berupa *Fast Fourier Transform (FFT) beamforming*. Penelitian dilakukan dengan mengatur jarak antar *microphone array* menggunakan teknik scanning pada jarak 1,5 cm, 6 cm dan 9 cm dan dilanjutkan pada jarak yang terdekat dengan 6 cm yaitu 4,5 cm dan 7,5 cm. Hasil penelitian menunjukkan jarak 6 cm adalah jarak *microphone array* yang memiliki nilai estimasi *DOA* paling dominan dan akurasi tinggi dengan

nilai error pengukuran  $\pm 0.2^0$ .

DAFTAR PUSTAKA.

- [1] Krishnaveni V., Kesavamurthy T., dan B Aparna., "Beamforming for Direction-of-Arrival (DOA) Estimation-A Survey", International Journal of Computer Applications, Vol 61 (11). 2013. pp. 4-5.
- [2] Niko Moritz, 2007. "Time and Frequency Domain SONAR Beamforming in the Near-Field, University of Applied Sciences in Bremen". Germany.
- [3] Pridham. G. "A Novel Approach to Digital Beamforming", Journal on Acoustical Society of America, Vol 63. 2007. pp. 425-434.
- [4] Amin , "Estimation of Direction of Arrival (DOA) Using Real-Time Array Signal Processing and Performance Analysis, IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security, Vol.10 No.7. 2010. pp. 44-45.