Analisis Pengaruh Penambahan Jumlah *Array Microphone* Terhadap Estimasi *Direction Of Arrival (DOA)* dengan Teknik Pemrosesan Sinyal *Fast Fourier Transform Beamforming*

Moh.Fausi [1)]

***Abstrak*—Estimasi sudut datangnya gelombang atau *Direction Of Arrival (DOA)* pada *array sensor* adalah masalah yang penting dalam berbagai macam aplikasi deteksi sumber suara. Tujuan dari Estimasi adalah untuk mengoptimalkan gelombang yang diinginkan dan melemahkan noise dengan menggunakan teknik *beamforming*. *Pada penelitian ini dilakukan estimasi DOA menggunakan teknik Fast Fourier Transform (FFT) beamforming dengan konfigurasi sensor secara Uniform Linear Array (ULA).* Penelitian dilakukan dengan mengatur variasi jumlah *microphone array* menggunakan teknik scanning pada 2 sensor, 3 sensor, 6 sensor dan 9 sensor. Hasil penelitian menunjukkan penambahan jumlah arrah sensor dapat mempengaruhi hasil estimasi *DOA* dengan nilai error pengukuran ± 0.2^0.**

***Kata Kunci*— Array Sensor, DOA, FFT Beamforming, ULA.**

I. PENDAHULUAN

Perkembangan dan penelitian ilmiah dalam sistem deteksi sumber suara telah berkembang secara umum selama ini. Tujuan sistem ini adalah untuk mengestimasi sudut datangnya gelombang atau *Direction Of Arrival* (*DOA*) pada array sensor [1].

Estimasi *DOA* dengan array sensor adalah masalah yang penting dalam berbagai macam aplikasi seperti radar dan sonar dalam penentuan lokasi [2]. Metode yang sering digunakan untuk estimasi *DOA* adalah teknik *beamforming*. *Beamforming* merupakan teknik pemrosesan sinyal pada *array* sensor dengan cara menguatkan sinyal yang diinginkan dan mereduksi sinyal *noise* [3].

Teknologi yang sudah dikembangkan sampai saat ini, pengarahan *beam* pada array sensor dilakukan dengan beberapa cara yang dapat dikelompokkan menjadi dua yaitu pengaturan secara fisik array sensor dan pengaturan dengan algoritma pengolahan sinyal terhadap sinyal keluaran [4].

Penelitian sebelumnya telah dilakukan pengarahan *beam* pada array sensor dengan cara pengaturan jarak antar sensor. Tujuannya adalah mencari jarak antar array sensor yang memiliki hasil estimasi *DOA* paling dominan dengan akurasi tinggi. Hasil penelitian menunjukkan jarak array sensor pada 6cm memiliki hasil estimasi *DOA* paling dominan dengan akurasi tinggi. Saran dari penelitian sebelumnya menyatakan perlu adanya penelitian lanjutan untuk menganalisis pengaruh penambahan jumlah array sensor terhadap hasil estimasi *DOA* [5].

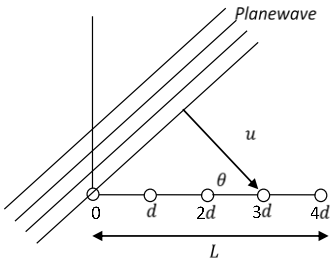
Berdasarkan penjelsan diatas maka pada penelitian ini akan didesain instrumen untuk estimasi *DOA* menggunakan *array microphone* yang disusun secara *ULA* dengan teknik pemrosesan sinyal *FFT beamforming*. Pemecahan masalah yang akan dilakukan adalah menganalisis pengaruh penambahan array sensor terhadap estimasi *DOA*. Hipotesa dari penelitian ini adalah penambahan jumlah array sensor dapat mempengaruhi hasil estimasi *DOA*

II. TEOREMA FFT BEAMFORMING

Teknik pada array sensor yang memberikan penerimaan maksimum pada arah yang ditentukan dengan melakukan estimasi kedatangan sinyal dari arah yang ditentukan sekaligus menolak sinyal yang tidak diinginkan dari arah lain disebut *beamforming adaptif* [6]. *Time delay beamforming* dalam domain frekuensi dikenal sebagai *FFT Beamforming*. Teknik ini mentranformasikan data dari array sensor dalam domain frekuensi sebelum dilakukan proses *beamforming*. Setelah dilakukan koreksi fase, maka data dari masing-masing sensor akan dijumlahkan. Selanjutnya untuk mendapatkan sinyal keluaran, hasil penjumlahan akan ditransformsikan kembali dalam domain waktu menggunakan *Inverse Fourier Transform* [7]

Model *array microphone* yang digunakan adalah *Uniform Linear Array* dengan elemen sebanyak M dan ditempatkan sama dengan jarak d. Gelombang datang digambarkan sebagai *planewave* dengan arah u pada arah sudut θ seperti ditunjukkan pada Gambar.1[8]. Algoritma *FFT beamforming* digunakan untuk mengatur bobot secara adaptif untuk mengoptimalkan estimasi *DOA*.

[1)] Moh.Fausi, Dosen PGMI, Fakultas Tarbiyah, IAIN Madura, Indonesia (email : mohfausi@stainpamekasan.ac.id)



Gbr. 1. Arah datang dari *planewave* terhadap

Perbedaan letak sensor terhadap sumber gelombang menyebabkan masing-masing sensor akan mengalami *delay*. Waktu *delay* tersebut dapat dituliskan pada persamaan 1.

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

Arah datangnya gelombang dianalogikan sebagai gelombang sinus. Maka persamaan gelombang untuk masing-masing sensor dapat dituliskan sebagaimana persamaan 2 dan beda fase masing-masing sinyal dituliskan pada persamaan 3.

$$y(t) = Sin\,(\omega t - \varphi) \quad (2)$$

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

dimana ω adalah frekuensi sinyal dalam satuan Hz dan τ_r adalah waktu *delay* setiap detiknya.

Berdasarkan teorema Shannon untuk discrete-time-sampling, ada persyaratan tertentu pada frekuensi sampling spasial untuk menghindari aliasing [3]. Yaitu jarak sensor diatur sebagaimana dituliskan pada persamaan 4.

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

Pada penelitian ini gelombang datang diasumsikan *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 5.

$$D \ge \frac{2L^2}{\lambda} \quad (5)$$

D adalah jarak sumber terhadap sensor dalam satuan meter, L adalah panjang array sensor dalam satuan meter dan λ 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*.

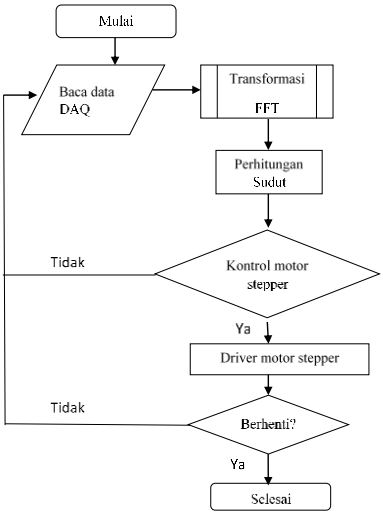
Pengambilan data dilakukan berdasarkan hasil estimasi *DOA* dari pemrosesan *FFT beamforming*. Kemudian data tiap jumlah sensor akan dianalisis dan dilakukan pembahasan.

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 6:

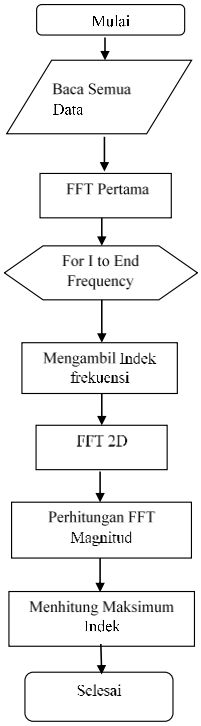
$$(arc\sin\frac{ct}{d}) \quad (6)$$

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.



Gbr. 2. *Flowchart* program utama pada *labview*



Gbr. 3. Sub program transformasi *FFT*

FFT transformation yang ditunjukkan pada Gambar 3. Semua data hasil pembacaan dari *DAQ* ditranformasikan 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 ditranformsikan kedalam *FFT* 2D (*FFT Transpose*) untuk mendapatkan domain spasial sesuai dengan nilai magnitude yang dihasilkan dari FFT 2D. Dari domain spasial didapatkan nilai maksimum indek berdasarkan nilai indek *FFT* yang memiliki maksimum magnitude

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian sebelumnya telah ditemukan jarak *array microphone* pada 6cm yang memiliki nilai akurasi maksimum. Oleh karena itu pada penelitian ini pengambilan data dilakukan dengan memvariasikan jumlah sensor menggunakan teknik *scanning* dengan pengaturan jumlah sensor yaitu 2, 3, 6 dan 9 pada jarak antar sensor adalah 6 cm yang ditunjukkan pada Tabel I sampai Tabel IV.

Tabel I adalah hasil pengambilan data estimasi *DOA* untuk 2 sensor. Pengambilan data dilakukan setiap 5^0 yang dimulai dari 0^0 sampai 90^0 pada sudut kanan (*DOA* kanan) dan sudut kiri (*DOA* kiri). *DOA* kanan (+) adalah hasil estimasi sudut datangnya gelombang dari pemrosesan sinyal *array* dengan teknik *FFT bemforming* untuk pengambilan data pada sudut kanan. Sedangkan *DOA* kiri (-) adalah hasil estimasi sudut datangnya gelombang pada sudut kiri. Dari hasil pemrosesan menunjukkan nilai estimasi *DOA* pada sudut 40^0 memiliki akurasi paling tinggi dengan nilai akurasi $\pm 0.2^0$.

TABEL I
HASIL ESTIMASI *DOA* UNTUK 2 SENSOR

Posisi Sumber (Derajat)	DOA Kanan (Derajat)	DOA Kanan (Derajat)
0	14.5	
5	-1.1	14.3
10	4.7	28.3
15	18.03	3.5
20	33.8	-38.2
25	32.4	-41.3
30	25.6	-23
35	24.3	-10.7
40	39.9	-39.8
45	51.6	-9.5
50	NAN	-32.4
55	NAN	-5.9
60	42.9	4.7
65	31	-14.3
70	42.9	NAN
75	62.5	NAN
80	NAN	NAN
85	NAN	NAN
90	NAN	-51.6

Pada tabel I 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 6. Kemudian pada data 2 sensor hasil DOA tidak stabil. Hal ini terjadi karena rendahnya nilai intensitas dan aplitudo gelombang yang dihasilkan menyebabkan *beam* yang terbentuk mengalami atenuasi sehingga sangat mudah terpengaruh *noise*. Selain itu pengaruh rendahnya osilasi data array pada 2 sensor menyebabkan nilai estimasi *DOA* tidak akurat.

TABEL II
HASIL ESTIMASI *DOA* UNTUK 3 SENSOR

Posisi Sumber (Derajat)	DOA Kanan (Derajat)	DOA Kanan (Derajat)
0	42.3	
5	4.7	32.4
10	1.1	38.2
15	11.9	19.2
20	20.2	-20.8
25	33.8	-33.8
30	27.7	-23.8
35	28.3	-5.9
40	39.8	39.9
45	57.7	-19.2
50	NAN	-36.7
55	NAN	-41.3
60	NAN	-13.1
65	NAN	-15.5
70	NAN	-41.3
75	NAN	-55.6
80	60	-44.5
85	57.7	-47.9
90	NAN	-33.8

Tabel II menunjukkan data estimasi *DOA* untuk 3 sensor. Dari hasil pemrosesan terdapat dua sudut yang memiliki nilai akurasi maksimum yaitu pada sudut 20^0 dan 40^0 dengan nilai akurasi $\pm 0.2^0$. Hal ini terjadi karena *beam* yang terbentuk mulai stabil sehingga bisa

mereduksi *noise* meski belum maksimal. Data *NAN* pada tabel II lebih sedikit jika dibandingkan dengan tabel I hal ini terjadi karena intensitas dan aplitudo gelombang yang dihasilkan mengalami peningkatan sehingga dapat mereduksi nilai delay yang melebihi batas maksimum dan minimum berdasarkan persamaan 6. Penambahan jumlah sensor pada tabel II juga meningkatkan osilasi data array sensor yang mempengaruhi akurasi data hasil estimasi *DOA*.

TABEL III
HASIL ESTIMASI *DOA* UNTUK 6 SENSOR

Posisi Sumber (Derajat)	DOA Kanan (Derajat)	DOA Kanan (Derajat)
0	-2.3	
5	3.5	-20.5
10	10	-10
15	14.8	15.1
20	20.5	-19.9
25	33.8	-28.3
30	35.3	-25.6
35	44.5	-51.6
40	39.9	-39.9
45	45.2	-44.9
50	44.5	-25.6
55	29.6	-27.3
60	42.9	-33.8
65	42.9	-47.9
70	57.7	NAN
75	57.7	NAN
80	62.5	NAN
85	NAN	-52.6
90	-13.1	-47.9

.

Tabel III menunjukkan data estimasi *DOA* untuk 6 sensor. Dari hasil pemrosesan terdapat lima sudut yang memiliki nilai akurasi maksimum yaitu pada sudut 10^0, 15^0, 20^0, 40^0 dan 45^0 dengan nilai akurasi $\pm 0.2^0$. Pengambilan data untuk 6 sensor terjadi peningkatan nilai akurasi estimasi *DOA*. Hal ini terjadi karena intensitas dan aplitudo gelombang yang dihasilkan dari sensor mengalami peningkatan yang signifikan sehingga *noise* dapat direduksi. Peningkatan intensitas dan amplitudo gelombang mempengaruhi *beam* yang dihasilkan semakin stabil sehingga nilai akurasi estimasi *DOA* pada setiap sudut kanan (*DOA* kanan) dan sudut kiri (*DOA* kiri) 0^0 sampai 90^0 semakin bertambah. Data *NAN* pada tabel III lebih sedikit jika dibandingkan dengan tabel I dan II hal ini terjadi karena intensitas dan aplitudo gelombang yang dihasilkan mengalami peningkatan sehingga dapat mereduksi nilai delay yang melebihi batas maksimum dan minimum berdasarkan persamaan 6.

Tabel IV adalah data hasil pemrosesan estimasi *DOA* dengan jumlah 9 sensor. Berdasarkan data tersebut membuktikan bahwa penambahan jumlah sensor dapat meningkatkan nilai intensitas dan amplitudo gelombang. Hal ini dapat mempengaruhi pembentukan *beam* yang semakin stabil, sehingga hasil estimasi *DOA* pada setiap sudut kanan (*DOA* kanan) dan sudut kiri (*DOA* kiri) 0^0 sampai 90^0 semakin bertambah. Penambahan jumlah sensor pada tabel IV juga meningkatkan osilasi data array sensor yang mempengaruhi akurasi data hasil estimasi *DOA*.

TABEL IV
HASIL ESTIMASI *DOA* UNTUK 9 SENSOR

Posisi Sumber (Derajat)	DOA Kanan (Derajat)	DOA Kanan (Derajat)
0	-2.3	-33
5	5.1	-4.9
10	10	-10
15	14.8	15.1
20	20.5	-19.9
25	33.8	-28.3
30	35.3	-25.6
35	35.2	-34.9
40	40	-40
45	45.2	-44.9
50	50	-50.1
55	29.6	-27.3
60	42.9	-33.8
65	42.9	-47.9
70	57.7	NAN
75	57.7	NAN
80	62.5	NAN
85	NAN	-52.6
90	-13.1	-47.9

.

V. KESIMPULAN

Penelitian pengaruh penambahan jumlah microphone array dianalisis pada paper ini. Analisis dengan menggunakan teknik pemrosesan sinyal berupa *Fast Fourier Transform* (*FFT*) *beamforming*. Penelitian dilakukan dengan mengatur variasi jumlah *microphone array* menggunakan teknik scanning pada 2 sensor, 3 sensor, 6 sensor dan 9 sensor. Hasil penelitian menyimpulkan penambahan jumlah sensor dapat mempengaruhi hasil estimasi *DOA*. Hal ini terjadi karena penambahan jumlah sensor dapat meningkatkan nilai intensitas dan amplitudo gelombang yang dapat mempengaruhi pembentukan *beam* semakin stabil, sehingga hasil estimasi *DOA* pada setiap sudut kanan (*DOA* kanan) dan sudut kiri (*DOA* kiri) 0^0 sampai 90^0 semakin bertambah dan memiliki akurasi tinggi dengan nilai error pengukuran $\pm 0.2^0$.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Vlasco Jose, " *Source Localization With Acoustic Sensor Array Using Generative Model Based Fitting With Spase Contraints* ", Sensors Journal, Vol. 12, No.2, Oktober 2012.

[2] Li Minghui and Lu Yilong, " *Array Signal Processing for Maximum Likelihood Direction Of Arrival Estimation* ", JEES Journal, Vol. 03, No. 01, 2013

[3] C.R Prasanth and K.S Sreeja, " *Beamforming And Adaptife Beamforming Technique And Its Implementation ADSP TS 201 Processor*, IOSR Journal, Vol. 03, No. 05, Desember 2013

[4] Febri Diana and Aswoyo Budi, " *Beamforming Pada Smart Antenna Menggunakan Algoritma LMS Berbasis Perangkat Lunak* ", EEPIS-ITS Journal

[5] Fausi Moh and Naba Agus, " *Analisis Jarak Microphone Array Dengan Teknik Pemrosesan Sinyal Fast Fourier Transform Beamforming* ", EECIS Journal, Vol. 09, No.01, Juni 2013

[6] Dewi Kusuma and Pramono Hadi, " *Analisis Beamforming Adaptif Pada Smart Antena Menggunakan Algoritma Robust Kalman Filter Kondisi Stasioner dan Non Stasioner*", EECIS Journal, Vol. 06. No. 02, Desember 2012

[7] Burrus Sidney.C, "*Fast Fourier Transform*"," Rice University Houston Texas

[8] Pridham. G. "A Novel Approach to Digital Beamforming", Journal on Acoustical Society of America, Vol 63. 2007. pp. 425-434