

PERBANDINGAN ESTIMASI SUDUT KEDATANGAN MENGGUNAKAN ALGORITMA ESPRIT DAN MVDR PADA WIRELESS MOBILE COMMUNICATION

Ramlond Anggito P¹, Bambang Setia N², Budi Prasetya³
Fakultas Elektro dan Komunikasi - Institut Teknologi Telkom, Bandung
[1alond_oke@yahoo.com](mailto:alond_oke@yahoo.com), [2bmb@ittelkom.ac.id](mailto:bmb@ittelkom.ac.id), [3bpy@ittelkom.ac.id](mailto:bpy@ittelkom.ac.id)

Abstrak

Dengan semakin berkembangnya teknologi pada sistem komunikasi bergerak, salah satunya adalah GSM (*Global System for Mobile Communication*), maka diperlukan suatu teknik yang lebih berkembang untuk mendukung performansi dari sistem tersebut dalam hal penentuan posisi dan lokasi dari suatu *users* yang otomatis akan semakin bertambah banyak. Salah satu cara yang dikembangkan adalah dengan menerapkan antena *smart* pada sistem komunikasi GSM. Untuk menerapkan antena *smart* diperlukan dua tahap, yaitu estimasi DOA (*Direction of Arrival*) dan proses *beamforming*.

Dalam Penelitian ini dibahas tentang estimasi DOA (*Direction of Arrival*) dengan menggunakan Algoritma ESPRIT (*Estimation of Signal Parameters via Rotational Invariance Techniques*) dan Algoritma MVDR (*Minimum Variance Distortionless Vector*). Analisis Penelitian ini ditujukan pada pengaruh jumlah elemen antena, jumlah sudut, SNR dan jumlah *sample* (gelombang) terhadap akurasi, resolusi, dan waktu kalkulasi serta dilakukan perbandingan kehandalan untuk kedua algoritma tersebut.

Dari hasil simulasi diperoleh bahwa semakin besar selisih jumlah elemen antena dengan jumlah sudut, semakin tinggi SNR dan semakin banyak jumlah gelombang, maka akurasi kedua algoritma akan semakin tinggi. Untuk resolusi, semakin besar selisih jumlah elemen antena dengan jumlah sudut dan semakin tinggi SNR, maka resolusi estimasi akan semakin tinggi. Waktu kalkulasi akan semakin lama untuk jumlah elemen antena dan jumlah *sample* yang semakin banyak, sedangkan jumlah sudut hanya berpengaruh sedikit. Saat Algoritma ESPRIT dibandingkan dengan Algoritma MVDR, dari tingkat akurasinya maka Algoritma ESPRIT memiliki tingkat akurasi yang lebih tinggi yaitu $\leq 0.05^\circ$ dibandingkan dengan Algoritma MVDR yang memiliki tingkat akurasi $\leq 0.5^\circ$. Dari tingkat resolusinya didapatkan Algoritma ESPRIT memiliki resolusi minimum kedatangan sudut yang lebih tinggi daripada Algoritma MVDR. Untuk mendapatkan resolusi yang tinggi untuk kedua algoritma sebaiknya menggunakan jumlah elemen antena lebih besar dari dua kali jumlah kedatangan sudut. Dalam perhitungan waktu kalkulasi, kalkulasi waktu untuk Algoritma ESPRIT lebih cepat daripada Algoritma ESPRIT.

Kata kunci : DOA (*Direction of Arrival*), ESPRIT (*Estimation of Signal Parameters via Rotational Invariance Techniques*), MVDR (*Minimum Variance Distortionless Vector*)

1. Pendahuluan

Dengan semakin berkembangnya teknologi pada sistem komunikasi bergerak, salah satunya adalah GSM (*Global System for Mobile Communication*) yang merupakan salah satu trend teknologi seluler yang paling banyak dipakai pada saat ini, maka diperlukan suatu teknik yang lebih berkembang untuk mendukung performansi dari sistem tersebut dalam hal penentuan posisi dan lokasi dari suatu *users* yang otomatis akan semakin bertambah banyak. Salah satu cara yang dikembangkan adalah

dengan menerapkan antena *smart* pada sistem komunikasi GSM.

Antena *smart* terdiri atas dua tahap, yaitu proses pencarian DOA (*Direction of Arrival*) dan proses *beamforming*. Proses pencarian DOA akan menghasilkan output berupa sudut kedatangan, sedangkan proses *beamforming* akan mengarahkan pola radiasi pada arah sudut tersebut. Dalam Penelitian ini hanya membahas pada proses pencarian DOA.

Algoritma DOA (*Direction of Arrival*) adalah metode yang digunakan untuk mengestimasi sudut kedatangan pada sensor antenna array,

salah satu algoritmanya adalah ESPRIT (*Estimation of Signal Parameter via Rotational Invariance Techniques*) yang merupakan salah satu algoritma yang memanfaatkan teknik *subspace*. Teknik *subspace* melakukan estimasi arah kedatangan sinyal dengan memanfaatkan struktur *eigen* dan melakukan pemisahan antara *noise subspace* dan *signal subspace*. Pemisahan *subspace* ini memberikan kehandalan algoritma untuk memisahkan antara sinyal dan *noise* untuk diproses lebih lanjut.

Oleh karena itu, dalam Penelitian ini digunakan Algoritma ESPRIT (*Estimation of Signal Parameter via Rotational Invariance Techniques*) dengan membuat alat simulasinya menggunakan program MATLAB dalam menganalisa model sinyal datang secara *realistic* yang kemudian dianalisis kehandalan algoritma dalam menentukan jumlah sudut output dengan tingkat korelasi sinyal datang tertentu, resolusi, akurasi dan kecepatan kalkulasi. Sebagai pembanding, digunakan Algoritma MVDR (*Minimum Variance Distorsionless Response*) untuk mengetahui tingkat kehandalan Algoritma ESPRIT.

2. Tinjauan Teori

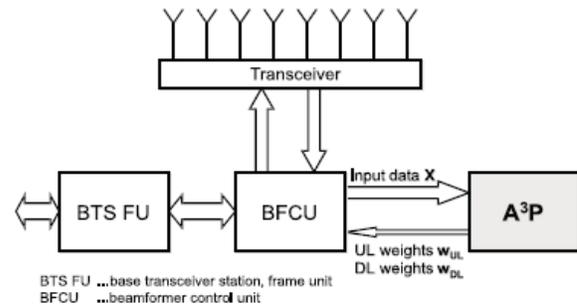
2.1 GSM (*Global System for Mobile Communication*)

GSM merupakan salah satu *trend* teknologi seluler yang paling banyak dipakai pada saat ini. GSM juga merupakan suatu teknologi seluler generasi kedua (2G) yang menggunakan teknologi modulasi digital., menyediakan kapasitas lebih besar, kualitas suara serta sekuritas yang lebih baik jika dibandingkan dengan teknologi seluler generasi pertama (1G).

Jaringan GSM dibagi menjadi 3 sistem utama : sistem switching (SS), sistem base station (BSS), dan sistem operasi dan support (OSS)

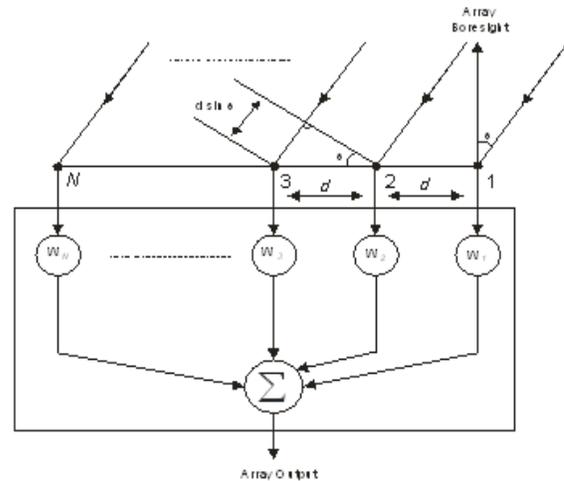
2.2 Smart Antenna Base Station

Adapun konfigurasi Smart Antenna pada Base Station seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.2.



Gambar 1. Smart Antenna Base Station

Penerimaan sinyal yang datang menggunakan Antena Equispace Uniform Linear Array.



Gambar 2. Model Antena Equispace Uniform Linear Array

Pada gambar diatas terdapat L elemen susunan antena uniform dan linear yang menerima sinyal dari arah θ relatif terhadap elemen disisi-sisinya. Sudut ini disebut *Angle of Arrival (AOA)* atau *Direction of Arrival (DOA)*.

Sinyal yang datang, S , menuju ke setiap elemen antena. Sinyal pada tiap elemen merupakan sinyal sebelumnya yang mengalami delay. Pada gambar 2.4, sinyal dari elemen referensi akan bergerak sejauh $d \sin \theta$ untuk mencapai elemen kedua. Jadi sinyal akan mengalami perbedaan fasa, sehingga membentuk *steering vector*, A , dan mendapatkan tambahan *noise*, N , dengan $E\{S.N^H\} = 0$.

Secara umum model data dapat disajikan sebagai berikut:

$$\mathbf{X} = \mathbf{A}\mathbf{S} + \mathbf{N}_o$$

Steering vector dapat dimodelkan sebagai berikut :

$$\mathbf{A} = [a(\theta_1), a(\theta_2), \dots, a(\theta_M)]$$

Jika sinyal datang dimodelkan sebagai berikut :

$$\mathbf{S} = [s_1 \ s_2 \ \dots \ \dots \ s_M]^T$$

dan *noise* dimodelkan sebagai berikut:

$$\mathbf{N}_o = [n_{o,1} \ n_{o,2} \ \dots \ \dots \ u_{o,L}]^T$$

Maka secara lengkap dapat dimodelkan sebagai berikut :

$$\mathbf{x} = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \dots \\ \dots \\ \dots \\ x_L \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a(\theta_1) & a(\theta_2) & a(\theta_3) & \dots & a(\theta_M) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_1 \\ s_2 \\ \dots \\ \dots \\ s_M \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_{o,1} \\ n_{o,2} \\ \dots \\ \dots \\ \dots \\ n_{o,L} \end{bmatrix}$$

2.3 Algoritma DOA (*Direction of Arrival*)

Algoritma DOA adalah metode yang digunakan untuk mengestimasi sudut kedatangan pada sensor array, yang mempunyai peranan penting pada *array signal processing*.

2.3.1 Algoritma MVDR (*Minimum Variance Distortionless Response*)

Estimasi *Minimum Variance Distortionless Response* adalah metode *Maximum Likelihood* dari estimasi suatu *spectrum*, dimana mencari suatu estimasi *Maximum Likelihood* pada daya kedatangan dari sumber utama di arah θ dengan mengasumsikan semua sumber lain sebagai penginterferensi.

2.3.1.1 Covariance Matrix

Covariance Matrix sinyal input yang dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$R_{xx} = E\{x \cdot x^H\} = \frac{1}{N} \mathbf{X} \cdot \mathbf{X}^H$$

Setelah dilakukan proses estimasi *subspace*, maka dilakukan pencarian DOA dengan *tracking* daya, pada *Field of View* (FOV)

$$= -\frac{\pi}{2} \text{ s.d } \frac{\pi}{2}$$

FOV ini digunakan karena *steering vector* menggunakan fungsi sin. Persamaan yang digunakan untuk mendapatkan DOA adalah sebagai berikut:

$$P_{MVDR} = \frac{1}{\mathbf{a}^H(\theta) R_{xx}^{-1} \mathbf{a}(\theta)}$$

2.3.2 Algoritma ESPRIT (*Estimation of Signal Parameters via Rotational Invariance Techniques*)

Estimation of Signal Parameters via Rotational Invariance Techniques adalah estimasi yang menggunakan metode subspace, dengan membentuk dua *subarray* dengan jumlah elemen antenna yang sama dengan jarak D berdasarkan signal subspace

2.3.2.1 Eigen Value Decomposition

Eigen Value Decomposition dari nilai *Covariance*, R_{xx} .

$$\begin{bmatrix} V_{11} & V_{12} & \dots & V_{1L} \\ V_{21} & V_{22} & \dots & V_{2L} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ V_{L1} & V_{L2} & V_{L3} & V_{LL} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \lambda_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \lambda_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \lambda_L \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{11} & V_{12} & \dots & V_{1L} \\ V_{21} & V_{22} & \dots & V_{2L} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ V_{L1} & V_{L2} & V_{L3} & V_{LL} \end{bmatrix}^H$$

2.3.2.2 Eigenthresholding

Harus ditentukan *threshold*, yang memberikan batasan antara *noise* dan sinyal.

$$\lambda_s + \lambda_n = \text{sum}(\lambda)$$

$$\frac{\lambda_s}{SNR} + \frac{\lambda_n}{SNR} = \frac{\text{sum}(\lambda)}{SNR}$$

$$\text{Noise} + \text{Sinyal} = \frac{\text{sum}(\lambda)}{SNR}$$

Sehingga,

$$\text{Signal subspace} \approx \lambda > 0.5 \cdot \frac{\text{sum}(\lambda)}{SNR}$$

$$\text{Noise subspace} \approx \lambda < 0.5 \cdot \frac{\text{sum}(\lambda)}{SNR}$$

Seperti yang telah diketahui diatas, Algoritma ESPRIT membentuk dua subarray dari L elemen antenna. Secara matematis dapat dapat disajikan sebagai berikut :

$$\mathbf{A}_1 = [\mathbf{I}_{(L-1) \times (L-1)} \ \mathbf{0}_{(L-1) \times 1}] \cdot \mathbf{A}$$

$$\mathbf{A}_2 = [\mathbf{0}_{(L-1) \times 1} \ \mathbf{I}_{(L-1) \times (L-1)}] \cdot \mathbf{A}$$

Jika terdapat faktor D membentuk persamaan sebagai berikut:

$$\mathbf{A}_2 = \mathbf{A}_1 \mathbf{D}$$

Dengan melakukan hal yang sama, maka :

$$E_1 = [I_{(L-1) \times (L-1)} \ 0_{(L-1) \times 1}] \cdot E$$

$$E_2 = [0_{(L-1) \times 1} \ I_{(L-1) \times (L-1)}] \cdot E$$

Jika diketahui signal *subspace*, E , dari A dengan faktor C maka akan membentuk persamaan sebagai berikut :

$$E_1 = A_1 C$$

$$E_2 = A_2 C$$

Dengan melakukan substitusi, maka:

$$E_2 = A_1 DC$$

Dari persamaan dapat ditemukan hubungan E_2 dan E_1 dengan mengalikannya dengan matrix $C \times C^{-1}$, maka :

$$E_2 = A_1 C C^{-1} DC$$

$$E_2 = A_1 (C^{-1} DC)$$

$$E_2 = E_1 (C^{-1} DC)$$

Untuk mendapatkan nilai D , dapat dilakukan *Eigen Value Decomposition*, yaitu:

$$(E_1^H E_1)^{-1} (E_1^H E_2) = V D V^H$$

$$D = [\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_M]$$

Dari nilai D tersebut, maka akan dihasilkan sudut output dengan formula sebagai berikut :

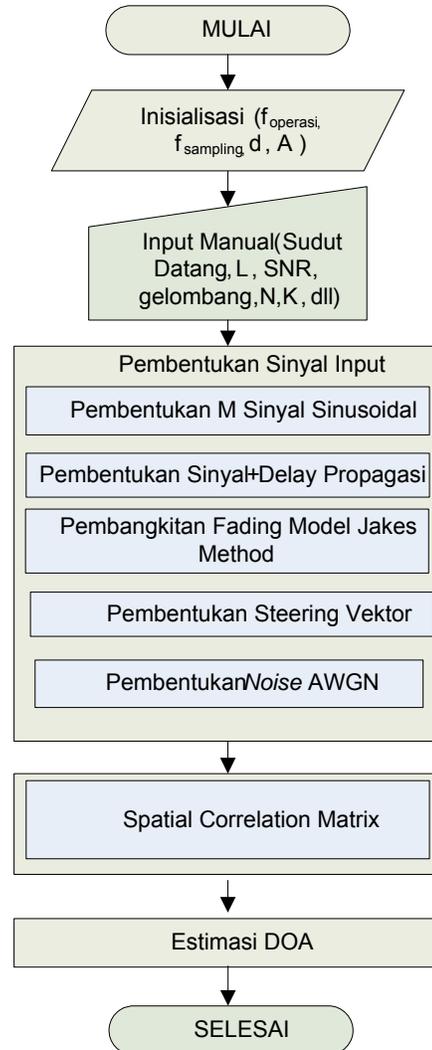
$$\theta_m = \sin^{-1} \left(\frac{\lambda_m}{2\pi \frac{d}{\lambda_{op}}} \right), m = 1, \dots, M$$

3. Sistem dan Simulasi

Pada bagian ini akan disimulasikan Algoritma ESPRIT dan MVDR dengan beberapa parameter. Pada intinya perancangan ini dapat dibagi atas lima tahap, yaitu inialisasi konstanta dan variabel, pembentukan sinyal input, estimasi *subspace*, estimasi DOA dan perbandingan antara kedua algoritma.

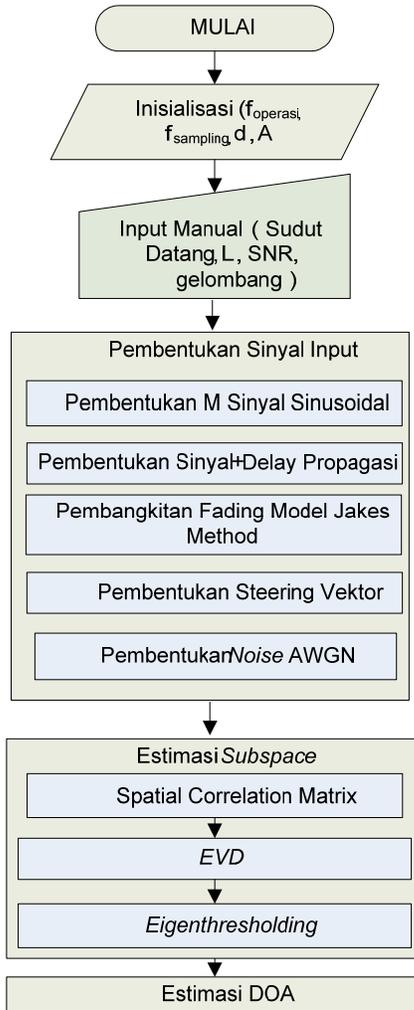
3.1. Diagram alir perancangan Algoritma

3.1.1 Algoritma MVDR



Gambar 3. Diagram Alir Perancangan Algoritma MVDR

3.1.2 Algoritma ESPRIT



Gambar 4. Diagram Alir Perancangan Algoritma ESPRIT

3.2 Inisialisasi

Dalam menjalankan simulasi digunakan MATLAB 7.4 dengan parameter sebagai berikut:

Parameter konstan

- Amplitudo gelombang = 10 volt
- Frekuensi Operasi = 900MHz
- Frekuensi *sampling* = 15 x frek Operasi
- Jarak antar elemen antenna = 0.5λ
- Jarak user terhadap antenna = 100km
- Kecepatan user = 30km/jam
- Daerah Propagasi = Urban

Parameter variabel

- Jumlah elemen antenna (L)= 4, 5, 6, 7, 8, 10, 14,15 dan 18

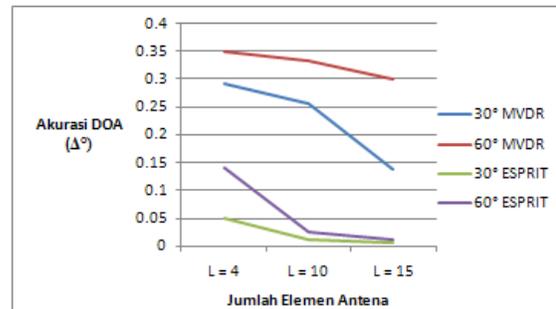
- Jumlah sudut (M) = 2 dan 7
- SNR = 5, 10, 15, 20, 25 dan 30dB
- Jumlah gelombang (n) = 20, 50, 100, 150, 200 dan 250

4. Analisa Hasil Simulasi

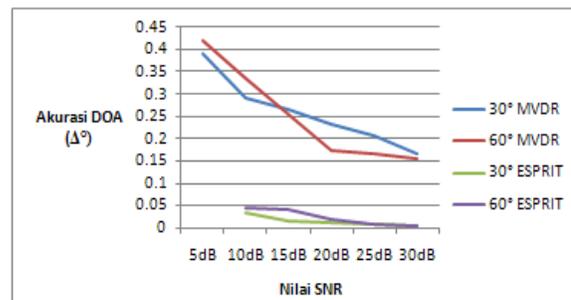
Setelah dilakukan perancangan simulasi pada Bab sebelumnya, maka pada bagian ini akan dilakukan beberapa percobaan dengan menggunakan Algoritma ESPRIT (*Estimation of Signal Parameter via Rotational Invariance Techniques*) dan Algoritma MVDR (*Minimum Variance Distorsionless Response*).

4.1 Akurasi Algoritma DOA (*Direction of Arrival*)

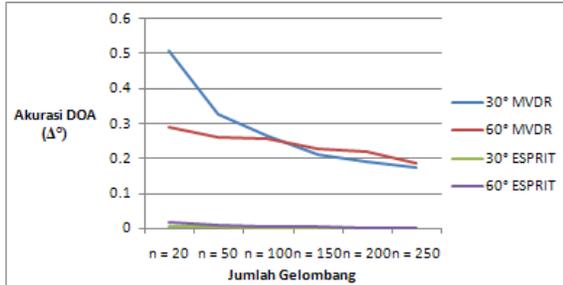
Akurasi akan memberikan tingkat ketepatan algoritma dalam mendeteksi sudut datang. Hal ini dilakukan dengan memperoleh selisih antara θ_{input} dengan θ_{output} . Semakin kecil selisihnya (Δ), maka semakin tinggi akurasi. Parameter yang digunakan dalam percobaan ini adalah jumlah elemen antenna, SNR dan jumlah gelombang.



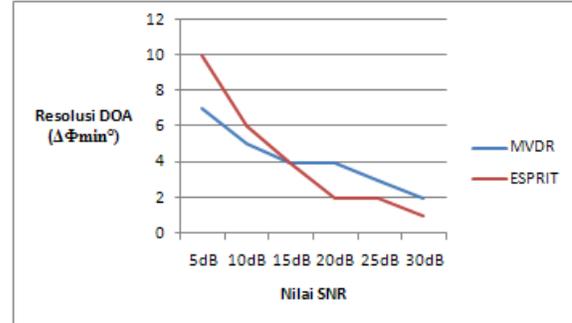
Gambar 5 Grafik perbandingan pengaruh Jumlah Elemen Antena terhadap Akurasi



Gambar 6 Grafik perbandingan pengaruh SNR terhadap Akurasi



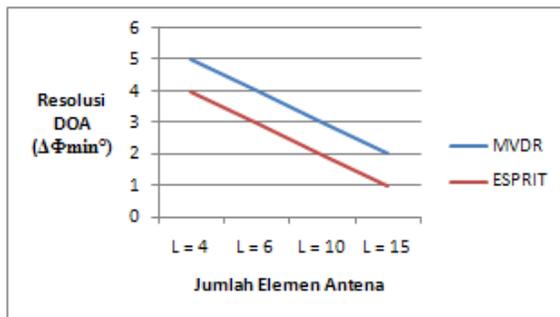
Gambar 7. Grafik perbandingan pengaruh Jumlah Sample terhadap Akurasi



Gambar 9. Grafik perbandingan pengaruh SNR terhadap Resolusi

4.2 Resolusi Algoritma DOA (*Direction of Arrival*)

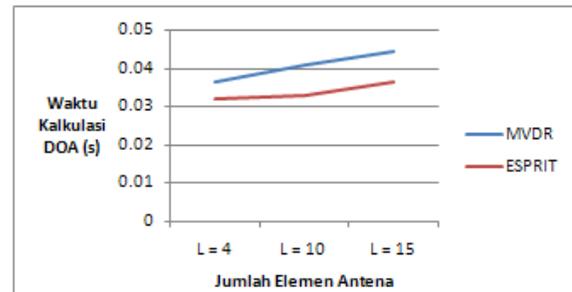
Maksud dari resolusi disini merupakan beda arah kedatangan minimum ($\Delta\phi_{\min}$) dari dua buah atau lebih sinyal yang masuk pada elemen antenna. Jika beda sudut kedatangan antar dua buah sinyal $\Delta\phi$ lebih kecil dari $\Delta\phi_{\min}$, maka algoritma akan mendeteksi kedua sinyal tersebut sebagai satu buah sinyal datang. Analisa resolusi beda sudut minimum ($\Delta\phi_{\min}$) perlu dilakukan untuk menghindari kesalahan estimasi DOA jika terdapat dua buah atau lebih sinyal yang datang dari sudut yang saling berdekatan satu sama lain. Parameter yang akan digunakan dalam percobaan ini adalah jumlah elemen antenna dan SNR.



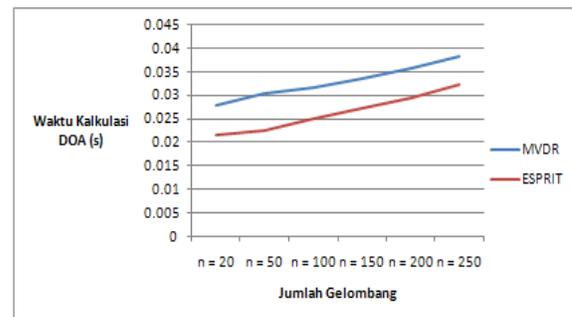
Gambar 8. Grafik perbandingan pengaruh Jumlah Elemen Antena terhadap Resolusi

4.3 Analisa Waktu Kalkulasi Algoritma DOA

Analisa waktu merupakan analisa delay waktu yang diperlukan mulai dari propagasi sinyal sejauh r sampai algoritma DOA selesai mengestimasi DOA dari masing-masing sinyal yang datang. Parameter yang akan digunakan dalam percobaan ini adalah jumlah elemen antenna dan jumlah *sample*.



Gambar 10. Grafik Pengaruh Jumlah Elemen Antena terhadap Waktu Kalkulasi



Gambar 11. Grafik perbandingan pengaruh Jumlah Sample terhadap Waktu Kalkulasi

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi dan analisa yang telah dilakukan sebelumnya, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Semakin besar jumlah elemen antena maka akurasi DOA yang di estimasi akan semakin besar. Algoritma ESPRIT memberikan tingkat akurasi yang lebih tinggi dibandingkan Algoritma MVDR.
2. Semakin besar nilai SNR maka akurasi DOA yang di estimasi akan semakin besar. Algoritma ESPRIT memberikan tingkat akurasi yang lebih tinggi dibandingkan Algoritma MVDR, namun Algoritma ESPRIT tidak baik digunakan pada SNR rendah.
3. Semakin banyak jumlah sample sinyal (N) yang di ambil maka hasil estimasi DOA akan semakin baik. Algoritma ESPRIT memberikan tingkat akurasi yang lebih tinggi dibandingkan Algoritma MVDR.
4. Semakin besar jumlah elemen antena maka resolusi DOA yang di estimasi akan semakin besar. Algoritma ESPRIT memberikan tingkat resolusi yang lebih tinggi dibandingkan Algoritma MVDR
5. Semakin besar nilai SNR maka resolusi DOA yang di estimasi akan semakin besar. Algoritma ESPRIT kurang baik pada SNR rendah ($\leq 5\text{dB}$) dibandingkan Algoritma MVDR namun Algoritma ESPRIT handal pada SNR tinggi ($\geq 20\text{dB}$) dibandingkan Algoritma MVDR.
6. Dengan penambahan selisih L terhadap M atau $L \gg M$, maka resolusi estimasi DOA akan semakin besar. Algoritma ESPRIT lebih handal jika dibandingkan dengan Algoritma MVDR.
7. Semakin besar jumlah elemen antena maka waktu proses estimasi DOA ikut bertambah. Algoritma ESPRIT selalu memberikan waktu kalkulasi yang lebih rendah dari pada Algoritma MVDR.
8. Semakin banyak jumlah *sample*, maka waktu kalkulasi akan semakin lama. Algoritma ESPRIT selalu memberikan waktu kalkulasi yang lebih rendah dari pada Algoritma MVDR. Terlihat bahwa pada Algoritma ESPRIT $n = 250$ (0.03222 detik) dan Algoritma MVDR $n = 250$ (0.038438 detik).
9. Total waktu yang dibutuhkan untuk mencari waktu kalkulasi estimasi DOA sangat

tergantung pada spesifikasi processor yang digunakan.

10. Kesalahan estimasi yang terjadi pada simulasi ini kemungkinan besar disebabkan oleh noise yang masuk kedalam sinyal input dimana terdapat delay propagasi serta noise lingkungan yang kurang dapat dihilangkan secara baik dari kedua algoritma..
11. Algoritma ESPRIT dan MVDR dapat diterapkan pada lingkungan *Wireless Mobile Communication*, namun sebaiknya menggunakan Algoritma ESPRIT karena memiliki tingkat akurasi dan resolusi yang handal dari setiap parameter yang telah dianalisa serta perhitungan waktu kalkulasi yang cepat dibandingkan dengan Algoritma MVDR. Hanya saja Algoritma ESPRIT tidak cocok untuk diimplementasikan pada SNR rendah.

6. Daftar Pustaka

- [1] Dimitris A.Pados. "An Iterative Algorithm for the Computation of MVDR Filter", IEEE
- [2] Vladimir I. Vasilishin, "Direction of Arrival via Unitary TLS-ESPRIT Algorithm With Structure Weighting", Ukaraine, Kharhov Air Force Institute.
- [3] Andreas Richter, "CUBA-ESPRIT Angle Estimation With Circular Uniform Beam Arrays", Germany, Ilmenau University of Technology Department of Communication and Measurement Technology.
- [4] Charles Van Loan, "A Unitary method for the ESPRIT Direction of Arrival Estimation Algorithm", New York, Departement of Computer Science Cornell University.
- [5] Roland Badeau, "Adaptive ESPRIT Algorithm Based on The Past Subspace Tracker", Paris, Ecole Nationale Superieure des Telecommunications.
- [6] Roland Badeau, "Selecting The Modeling Order For The ESPRIT High Resolution Method: An Alternative Approach", Paris, Ecole Nationale Superieure des Telecommunications.
- [7] Al-Nuani M.A., 2003, "Direction of Arrival Estimation in Wireless Mobile Communication Using Minimum Variance Distortionless Vector".

- [8] Bittikaka Jitro, 2003 "*Analisis Algoritma MUSIC (Multiple Signal Classification) pada Estimasi DOA (Direction of Arrival)*", Bandung, Penelitian, STT TELKOM,.
- [9] Lal Chand Godara., 2004, "*Smart Antennas*", Electronic Book, California, CRC Press.
- [10] Permana Dimas I., 2007. "Analisa dan Simulasi Estimasi Sudut Kedatangan Pada Wireless Mobile Communication Menggunakan Algoritma Minimum Variance Distortionless Response (MVDR)". Bandung, Penelitian, STT TELKOM.