

# ANALISIS DAN SIMULASI ESTIMASI SUDUT KEDATANGAN MENGGUNAKAN ALGORITMA ESPRIT UNTUK APLIKASI RADAR “ANALYSIS AND SIMULATION DIRECTION OF ARRIVAL ESTIMATION USING ESPRIT ALGORITHM FOR RADAR APPLICATION”

Firman Wijaya Kusuma<sup>1, -2</sup>

<sup>1</sup>Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

---

## Abstrak

Untuk mendeteksi arah kedatangan sinyal, antena Radar konvensional harus berputar 360 derajat, sehingga diperlukan kemampuan mekanis yang memberikan delay yang cukup besar. Oleh karena itu, dikembangkan berbagai cara untuk melakukan estimasi arah kedatangan sinyal, sehingga antena tidak perlu berputar lagi. Cara yang dikembangkan saat ini adalah dengan menerapkan antena smart pada Radar. Untuk menerapkan antena smart diperlukan dua tahap, yaitu estimasi DOA (Direction of Arrival) dan proses beamforming.

Dalam Tugas Akhir ini membahas tentang estimasi DOA (Direction of Arrival) dengan menggunakan Algoritma ESPRIT (Estimation of Signal Parameters via Rotational Invariance Techniques). Analisis Tugas Akhir ini ditujukan pada pengaruh tingkat korelasi sinyal datang terhadap jumlah sudut output dan pengaruh jumlah elemen antena, jumlah sudut, SNR dan jumlah sample (gelombang) terhadap akurasi, resolusi, dan waktu kalkulasi. Selain itu, telah dilakukan perbandingan kinerja Algoritma ESPRIT dengan Algoritma MUSIC dengan tinjauan analisis yang sama.

Dari hasil simulasi diperoleh bahwa semakin besar selisih jumlah elemen antena dengan jumlah sudut, semakin tinggi SNR dan semakin banyak jumlah gelombang, maka akurasi Algoritma ESPRIT akan semakin tinggi. Untuk resolusi, semakin besar selisih jumlah elemen antena dengan jumlah sudut dan semakin tinggi SNR, maka resolusi awal dan resolusi minimum 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 MUSIC (Multiple Signal Classification), maka akurasi dan resolusi Algoritma ESPRIT lebih tinggi daripada Algoritma MUSIC. Untuk waktu kalkulasi Algoritma MUSIC lebih lama daripada Algoritma ESPRIT untuk setiap perhitungannya.

Kata Kunci :

---

Telkom  
University

### Abstract

The Conventional Radar have to spin 360 degrees to detect the direction of arrival, so it is necessary a mechanic ability that gives a long enough delay. To solve this, there is a lot of ways to estimate the direction of arrival. The method that have developed is applied smart antenna in Radar system. To apply the smart antenna, it has two steps, those are DOA (Direction of Arrival) estimation and beamforming process.

This final project investigates DOA (Direction of Arrival) estimation with ESPRIT (Estimation of Signal Parameters via Rotational Invariance Techniques) Algorithm. The Analysis of this final project is focused in the effect of correlation level of arrival signal to number of output angles and the effect of number of arrays, number of angles, SNR, and number of samples (waves) to accuracy, resolution, and calculation time. After that, it has been compared the performance of ESPRIT Algorithm and MUSIC Algorithm with the same focused analysis.

From the simulation result, it has been earned that the increment of difference of number of arrays and number of angles, SNR, and number of waves, the accuracy of ESPRIT Algorithm will increase. For resolution, the increment of difference of number of array and number of angle and SNR, the pre-resolution and minimum resolution of ESPRIT Algorithm will increase. The Calculation time will increase for the increment of number of arrays and number of samples, except for number of angles, it has only influenced a bit. When ESPRIT Algorithm and MUSIC (Multiple Signal Classification) Algorithm has been compared, the result is accuracy and resolution of ESPRIT Algorithm is higher than MUSIC Algorithm. For Calculation time, MUSIC Algorithm is higher than ESPRIT Algorithm for each calculation.

Keywords :

---



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Untuk mendeteksi arah kedatangan sinyal, antena Radar konvensional harus berputar 360 derajat, sehingga diperlukan kemampuan mekanis yang memberikan *delay* yang cukup besar. Oleh karena itu, dikembangkan berbagai cara untuk melakukan estimasi arah kedatangan sinyal, sehingga antena tidak perlu berputar lagi. Salah satu cara yang dikembangkan adalah dengan menerapkan antena *smart* pada Radar.

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 Tugas Akhir ini hanya membahas pada proses pencarian DOA.

Salah satu algoritma dalam proses pencarian DOA yang sedang dan atau telah dikembangkan adalah *ESPRIT Algorithm (Estimation of Signal Parameters via Rotational Invariance Techniques Algorithm)* 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 Tugas Akhir ini digunakan Algoritma ESPRIT dalam memperkirakan arah sudut kedatangan untuk aplikasi Radar yang kemudian dianalisis kehandalan algoritma dalam menentukan jumlah sudut output dengan tingkat korelasi sinyal datang tertentu, resolusi, akurasi dan kecepatan kalkulasi. Sebagai algoritma pembanding, digunakan *MUSIC Algorithm (Multiple Signal Classification Algorithm)* yang juga menggunakan teknik *subspace*.

## **Bab I Pendahuluan**

---

### **1.2 Perumusan Masalah**

Analisis dikhususkan pada hal-hal sebagai berikut:

- a. Pengaruh tingkat korelasi sinyal datang terhadap jumlah sudut output Algoritma ESPRIT.
- b. Pengaruh selisih jumlah elemen antena dengan jumlah sudut, SNR, dan jumlah gelombang terhadap akurasi Algoritma ESPRIT.
- c. Pengaruh selisih jumlah elemen antena dengan jumlah sudut dan SNR terhadap resolusi Algoritma ESPRIT.
- d. Pengaruh jumlah elemen antena, jumlah sudut dan jumlah *sample* terhadap waktu kalkulasi Algoritma ESPRIT.
- e. Keterkaitan antar pergeseran sudut akibat waktu kalkulasi dengan *error* estimasi akibat kurangnya keakuratan dari Algoritma ESPRIT.
- f. Perbandingan kinerja algoritma dalam tingkat korelasi sinyal datang, akurasi, resolusi, dan waktu kalkulasi antara Algoritma ESPRIT dan Algoritma MUSIC.

### **1.3 Batasan Masalah**

Dalam Tugas Akhir ini dilakukan beberapa pembatasan sebagai berikut :

- a. Spesifikasi antena
  - Radar menggunakan antena *equispace uniform linear array* dengan jarak antar elemen  $\lambda/2$ .
  - Mengabaikan impedansi gandeng.
- b. Tidak membahas mengenai karakteristik kerja Radar yang spesifik.
- c. Sinyal input
  - Sinyal sinusoidal yang berbeda fasa ( $0 < \text{fasa} < \pi$ ) dan ditambahkan *decorrelation factor* sebagai manipulasi dari sinyal datang agar yang memberikan tingkat korelasi antar sinyal datang yang lebih rendah.
  - Sinyal dan *noise* diasumsikan tidak berkorelasi.
  - Hanya melewati kanal AWGN (tidak melewati kanal *multipath fading*) dengan memanfaatkan fungsi dari MATLAB.
  - Hanya membahas sinyal setelah terjadi pantulan dengan benda, sehingga waktu propagasi tidak dihitung dua kali.

## Bab I Pendahuluan

---

- Sinyal yang ditinjau hanya sinyal yang akan diestimasi, sehingga tidak terdapat interferensi sinyal.
  - Tidak membahas tentang daya pancar dan rugi-rugi pancar (*free space loss, polarization loss, dll*).
- d. Pada saat analisis tingkat korelasi sinyal datang, akurasi dan resolusi, obyek dianggap diam. Pergerakan obyek hanya dibatasi saat perhitungan waktu kalkulasi dengan arah pergerakan obyek adalah *tangensial* terhadap Radar.
- e. Simulasi menggunakan perangkat lunak MATLAB 7.01

### 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penulisan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

- a. Untuk mengetahui pengaruh tingkat korelasi dari sinyal datang terhadap jumlah sudut output dari Algoritma ESPRIT.
- b. Untuk mengetahui pengaruh jumlah elemen antena, jumlah *sample* dan SNR terhadap resolusi, akurasi dan waktu kalkulasi dari Algoritma ESPRIT.
- c. Untuk mendapat keterkaitan antar pergeseran sudut akibat waktu kalkulasi dengan *error* estimasi akibat kurangnya keakuratan dari Algoritma ESPRIT.
- d. Untuk membandingkan kinerja Algoritma ESPRIT dan Algoritma MUSIC.

### 1.5 Metode Penelitian

Langkah-langkah yang dilakukan dalam penyelesaian Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Studi literatur, dengan mengkaji teori-teori dasar dan teori pendukung yang tersedia dalam sumber-sumber referensi.
2. Diskusi dengan pembimbing dan beberapa narasumber.
3. Analisa matematis mengenai struktur fungsi dari masing-masing algoritma.
4. Pembuatan simulator dengan menggunakan software MATLAB 7.
5. Studi eksperimental, dengan cara melakukan percobaan dengan menggunakan simulator untuk mendukung hipotesis dan membantu analisis.
6. Penyusunan Laporan akhir Tugas Akhir.

## ***Bab I Pendahuluan***

---

### **1.6 Sistematika Penulisan**

Laporan Tugas Akhir akan dirancang dengan sistematika sebagai berikut :

**BAB I**    **Pendahuluan**

Pada bagian ini secara berurutan membahas tentang latar belakang, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan penulisan, metode penelitian dan sistematika penulisan.

**BAB II**    **Landasan Teori**

Bagian ini berisi tentang dasar-dasar teori dari Algoritma ESPRIT dan Algoritma MUSIC.

**BAB III**    **Sistem dan Simulasi**

Pada BAB ini akan dirancang Algoritma ESPRIT dan Algoritma MUSIC, serta rancangan percobaan yang dilakukan sebagai bahan analisis.

**BAB IV**    **Analisis Hasil Simulasi**

Berisi analisa hasil simulasi sesuai dengan perumusan masalah yang telah disebutkan sebelumnya.

**BAB V**    **Penutup**

Berisi kesimpulan mengenai Tugas Akhir ini dan saran untuk pengembangan selanjutnya.



## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1. Kesimpulan

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

1. Tingkat korelasi sinyal datang akan mempengaruhi jumlah sudut output dari Algoritma ESPRIT. Semakin rendah tingkat korelasinya, maka jumlah sudut output akan semakin sama dengan jumlah sudut inputnya. Nilai *random decorrelation factor* dapat menghasilkan jumlah sudut output sama dengan jumlah sudut input.
2. Nilai SNR akan mempengaruhi akurasi dari Algoritma ESPRIT. Semakin besar nilai SNR, *error* estimasi akan semakin kecil, yang berarti akurasi akan semakin tinggi. Terlihat bahwa SNR 30 dB dapat memberikan *mean* ( $0.0081^\circ$ ),  $\Pr(\Delta > 0.01) = 30\%$ , dan *error range* ( $0.0004^\circ - 0.0263^\circ$ ) yang lebih kecil daripada SNR 10 dB dan 20 dB.
3. Nilai SNR juga mempengaruhi resolusi dari Algoritma ESPRIT. Semakin besar nilai SNR, resolusi awal dan resolusi minimum akan semakin tinggi. Terlihat bahwa SNR 20 dB mampu memberikan resolusi minimum ( $5^\circ$ ) dan resolusi awal ( $2^\circ$ ) yang lebih tinggi dari pada SNR 0, 5, dan 10 dB.
4. Selisih jumlah elemen antena dengan jumlah sudut akan mempengaruhi akurasi dari Algoritma ESPRIT. Semakin besar selisihnya, maka akurasi akan semakin tinggi. Terlihat bahwa  $L = 15$  dengan  $M = 2$  dapat memberikan *mean* ( $0.0061^\circ$ ),  $\Pr(\Delta > 0.01) = 20\%$  dan *error range* ( $0.0004^\circ - 0.0305^\circ$ ) yang lebih kecil daripada  $L = 4$  dan  $L = 10$  ( $M$  tetap). Begitu pula saat  $M = 1$  dengan  $L = 20$  dapat menghasilkan *mean* ( $0.0033^\circ$ ),  $\Pr(\Delta > 0.01) = 0\%$ , dan *error range* ( $0.0009 - 0.0058$ ) yang lebih kecil daripada  $M = 9$  dan  $M = 18$  ( $L$  tetap).
5. Selisih jumlah elemen antena dengan jumlah sudut akan mempengaruhi resolusi dari Algoritma ESPRIT. Semakin besar selisihnya, maka resolusi awal dan resolusi minimum akan semakin tinggi. Terlihat bahwa  $L = 10$

## Bab V Kesimpulan dan Saran

- mampu memberikan resolusi minimum ( $2^\circ$ ) dan resolusi awal ( $1^\circ$ ) yang lebih tinggi dari pada  $L = 3$ ,  $L = 4$  dan  $L = 6$ .
6. Jumlah elemen antena akan mempengaruhi waktu kalkulasi dari Algoritma ESPRIT. Semakin banyak jumlah elemen antena, maka waktu kalkulasi akan semakin lama. Terlihat bahwa  $L = 15$  dapat menghasilkan waktu kalkulasi (0.0219 detik) yang lebih lama daripada  $L = 4$  (0.0110 detik) dan  $L = 10$  (0.0031 detik).
  7. Lamanya waktu kalkulasi akibat jumlah elemen antena menyebabkan terjadinya pergeseran sudut. Akibat pergeseran sudut ini, tidak menjadi kemutlakan banyaknya jumlah elemen antena akan menghasilkan akurasi yang semakin tinggi, karena jika jumlah elemen antena dari percobaan ini terus ditambah, suatu saat *error* estimasi akan bertambah ( terjadi saat  $L = 45$  ).
  8. Jumlah Gelombang mempengaruhi akurasi dari Algoritma ESPRIT. Semakin banyak jumlah gelombang, maka semakin tinggi akurasinya. Semakin banyak jumlah gelombang, maka akurasi Algoritma ESPRIT akan semakin tinggi. Terlihat bahwa  $n = 200$  dapat menghasilkan *mean* ( $0.0027^\circ$ ),  $\Pr (\Delta > 0.01) = 0\%$ , dan *error range* ( $0.0002 - 0.0156$ ) yang lebih kecil daripada  $n = 20$  dan  $n = 50$ .
  9. Jumlah *Sample* mempengaruhi waktu kalkulasi dari Algoritma ESPRIT. Semakin banyak jumlah *sample*, maka waktu kalkulasi akan semakin lama. Terlihat bahwa  $n = 200$  (0.0562 detik) dapat menghasilkan waktu kalkulasi yang lebih lama daripada  $n = 20$  (0.0280 detik) dan  $n = 50$  (0.0329 detik).
  10. Lamanya waktu kalkulasi akibat jumlah gelombang (*sample*) menyebabkan terjadinya pergeseran sudut. Akibat pergeseran sudut ini, tidak menjadi kemutlakan banyaknya jumlah gelombang (*sample*) akan menghasilkan akurasi yang semakin tinggi, karena jumlah gelombang (*sample*) dari percobaan ini terus ditambah, suatu saat *error* estimasi akan bertambah (terjadi saat  $n = 50$ ).
  11. Jika dibandingkan dengan Algoritma ESPRIT, Algoritma MUSIC lebih kuat dalam menghadapi sinyal datang dengan tingkat korelasi yang tinggi. Hal ini terbukti saat  $\Delta\phi = 180/M$  dan *decorrelation factor* = 0, Algoritma MUSIC



## Bab V Kesimpulan dan Saran

sudah dapat menghasilkan jumlah sudut output yang sama ( $\Delta \leq 1^\circ$ ), sedangkan Algoritma ESPRIT belum bisa menghasilkan hal yang sama.

12. Algoritma ESPRIT memberikan akurasi yang lebih tinggi dari pada Algoritma MUSIC. Hal ini terbukti pada *Gambar 4.2*, dimana *mean error* estimasi Algoritma ESPRIT selalu lebih kecil dari pada Algoritma MUSIC untuk setiap parameter.
13. Algoritma ESPRIT memberikan resolusi yang lebih tinggi dari pada Algoritma MUSIC. Hal ini terbukti pada *Tabel 4.30*, *Table 4.31*, dan *Tabel 4.32*.
14. Algoritma ESPRIT selalu memberikan waktu kalkulasi yang lebih rendah dari pada Algoritma MUSIC. Hal ini terbukti pada *Gambar 4.3*, dimana *mean* waktu kalkulasi Algoritma ESPRIT selalu lebih kecil dari pada Algoritma MUSIC untuk setiap parameter.

### 5.2. Saran

Berikut saran yang diajukan penulis untuk pengembangan berikutnya :

1. Pengembangan berikutnya diharapkan sinyal input sudah tidak dibatasi lagi oleh parameter-parameter yang dibatasi oleh penulis.
2. Baik Algoritma ESPRIT maupun Algoritma MUSIC, sebaiknya diimplementasikan pada *DSP Processor* (TMS atau FPGA) untuk mendapatkan waktu dan hasil yang *realtime*.
3. Pengembangan berikutnya diharapkan menggunakan Algoritma ESPRIT yang lebih canggih, seperti : Unitary ESPRIT, ESPRIT *with Structured Weighting Vector*, TLS-ESPRIT, SLS-ESPRIT, dll.
4. Menggunakan teknik-teknik khusus untuk menghadapi sinyal dengan tingkat korelasi tinggi, seperti menggunakan teknik *Spatial Smoothing Method*.
5. Mencoba menggunakan teknik pemisahan *subspace* yang lain seperti AIC dan MDL.
6. Sebaiknya percobaan dilanjutkan hingga pencarian jarak dan kecepatan benda.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kraus John D., 2002, "Antennas", 3<sup>rd</sup> Edition, Singapore, *McGraw-Hill International Editions*.
- [2] Haykin Simon, 1931, "An Introduction to Analog and Digital Communication", Singapore, *John Wiley & Sons*.
- [3] Jerry Whitaker C., 2002, "The RF Transmission System", Electronic Book, California, *CRC Press*.
- [4] Lal Chand Godara., 2004, "Smart Antennas", Electronic Book, California, *CRC Press*.
- [5] Vladimir I. Vasilishin, "Direction of Arrival via Unitary TLS-ESPRIT Algorithm With Structure Weighting", Ukaraine, *Kharhov Air Force Institute*.
- [6] Charles Van Loan, "A Unitary method for the ESPRIT Direction of Arrival Estimation Algorithm", New York, *Departement of Computer Science Cornell University*.
- [7] Gershman Alex, Prof. "Advanced Algorithm for Smart Antennas", *TU Darmstadt*
- [8] Ramani Meena, 2004, "Auditory Perception", Florida, *Computational Neuro Engineering Lab. The University of Florida*.
- [9] Adve Raviraj, 2003, "Direction of Arrival Estimation".
- [10] Ali Nasiri Amini, Spectral Analysis, Moments and Sensing", *Department of Electrical and Computer Engineering Center for Dynamical Systems and Control University of Minnesota*
- [11] Bittikaka Jitro, 2003 "Analisis Algoritma MUSIC (Multiple Signal Classification) pada Estimasi DOA (Direction of Arrival)", Bandung, Tugas Akhir, STT TELKOM,.
- [12] Mufti Nachwan, "Sistem Antena Te3253a", Bandung, Diktat Kuliah, STT TELKOM