

**ANALISIS PERBANDINGAN PERFORMASI *DIRECTION OF ARRIVAL*
PADA *SMART ANTENNA UNIFORM LINEAR ARRAY* DENGAN
ALGORITMA MUSIC-USV DAN ESPRIT**

SKRIPSI

*Diajukan untuk memenuhi syarat dalam memperoleh gelar Sarjana di Program
Studi Sistem Telekomunikasi*



Oleh
Farah Wardatul Zannah
NIM 1905603

**PROGRAM STUDI SISTEM TELEKOMUNIKASI
KAMPUS UPI DI PURWAKARTA
UNIVERSITAS PENDIDIKAN INDONESIA
2023**

ANALISIS PERBANDINGAN PERFORMASI *DIRECTION OF ARRIVAL* PADA *SMART ANTENNA UNIFORM LINEAR ARRAY* DENGAN ALGORITMA MUSIC-USV DAN ESPRIT

Oleh

Farah Wardatul Zanah

Sebuah skripsi yang diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik pada departemen Kampus UPI di Purwakarta

© Farah Wardatul Zanah 2023

Universitas Pendidikan Indonesia

Agustus 2023

Hak Cipta dilindungi undang-undang.

Skripsi ini tidak boleh diperbanyak seluruhnya atau sebagian, dengan dicetak ulang, difoto kopi, atau cara lainnya tanpa ijin dari penulis.

Farah Wardatul Zanah, 2023

ANALISIS PERBANDINGAN PERFORMASI DIRECTION OF ARRIVAL PADA SMART ANTENNA UNIFORM LINEAR ARRAY DENGAN ALGORITMA MUSIC-USV DAN ESPRIT

Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | [Perpustakaan.upi.edu](https://perpustakaan.upi.edu)

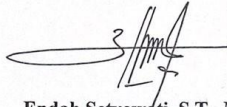
HALAMAN PENGESAHAN

FARAH WARDATUL ZANAH

ANALISIS PERBANDINGAN PERFORMASI *DIRECTION OF ARRIVAL*
PADA *SMART ANTENNA UNIFORM LINEAR ARRAY* DENGAN
ALGORITMA MUSIC-USV DAN ESPRIT

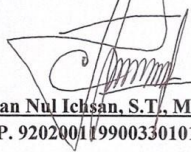
disetujui dan disahkan oleh pembimbing:

Pembimbing I



Endah Setyowati, S.T., M.T.
NIP. 920190219920908201

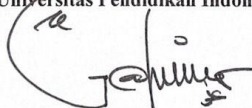
Pembimbing II



Ichwan Nul Ichsan, S.T., M.T.
NIP. 920200119900330101

Mengetahui,

Ketua Program Studi Sistem Telekomunikasi
Kampus UPI di Purwakarta
Universitas Pendidikan Indonesia



Galura Muhammad Suranegara, S.Pd., M.T.
NIP. 920190219920111101

**HALAMAN PERNYATAAN TENTANG KEASLIAN SKRIPSI DAN
PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME**

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi dengan judul “**ANALISIS PERBANDINGAN PERFORMASI *DIRECTION OF ARRIVAL* PADA *SMART ANTENNA UNIFORM LINEAR ARRAY* DENGAN ALGORITMA *MUSIC-USV* DAN *ESPRIT*” ini beserta seluruh isinya adalah benar-benar karya saya sendiri. Saya tidak melakukan penjiplakan atau pengutipan dengan cara-cara yang tidak sesuai dengan etika ilmu yang berlaku dalam masyarakat keilmuan. Atas pernyataan ini, saya siap menanggung risiko/sanksi apabila di kemudian hari ditemukan adanya pelanggaran etika keilmuan atau ada klaim dari pihak lain terhadap keaslian karya saya ini.**

Purwakarta, Agustus 2023

Farah Wardatul Zanah
NIM 1905603

**HALAMAN PERNYATAAN TENTANG KEASLIAN SKRIPSI DAN
PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME**

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi dengan judul “**ANALISIS PERBANDINGAN PERFORMASI *DIRECTION OF ARRIVAL* PADA *SMART ANTENNA UNIFORM LINEAR ARRAY* DENGAN ALGORITMA *MUSIC-USV* DAN *ESPRIT*” ini beserta seluruh isinya adalah benar-benar karya saya sendiri. Saya tidak melakukan penjiplakan atau pengutipan dengan cara-cara yang tidak sesuai dengan etika ilmu yang berlaku dalam masyarakat keilmuan. Atas pernyataan ini, saya siap menanggung risiko/sanksi apabila di kemudian hari ditemukan adanya pelanggaran etika keilmuan atau ada klaim dari pihak lain terhadap keaslian karya saya ini.**

Purwakarta, Agustus 2023

Farah Wardatul Zanah
NIM 1905603

KATA PENGANTAR

Segenap puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkat, nikmat, dan sehat kepada penulis sehingga mampu menyelesaikan penulisan skripsi dengan judul “ANALISIS PERBANDINGAN PERFORMASI *DIRECTION OF ARRIVAL* PADA *SMART ANTENNA UNIFORM LINEAR ARRAY* DENGAN ALGORITMA MUSIC-USV DAN ESPRIT” yang digunakan untuk memenuhi syarat kelulusan mata kuliah Skripsi tingkat Sarjana di Program Studi Sistem Telekomunikasi, Universitas Pendidikan Indonesia Kampus Daerah Purwakarta.

Penelitian ini untuk mengetahui performasi algoritma MUSIC-USV dan ESPRIT dalam menentukan *Direction of Arrival* pada *Uniform Linear Array Antenna*. Algoritma yang bekerja lebih baik yang nantinya diharapkan akan berguna dalam penentuan sudut, lokasi, dan jarak dalam kehidupan nyata.

Penulis menyadari masih terdapat kesalahan dalam penyusunan skripsi ini, karena segala kesempurnaan hanya milik Tuhan Yang Maha Esa, dan kekurangan dalam penelitian ini hanya milik penulis semata. Oleh sebab itu, kritik, saran, dan masukan dibutuhkan kepada penulis yang nantinya akan dijadikan sebagai bahan evaluasi untuk penulisan berikutnya. Semoga penelitian ini dapat memberikan manfaat dalam dunia sistem komunikasi, telekomunikasi, dunia pendidikan, dan masyarakat.

Purwakarta, Agustus 2023

Penulis

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada tahap proses persiapan, pengerjaan, hingga penyusunan skripsi ini, tidak terlepas dari pihak-pihak yang ikut serta membantu memberikan dukungan materiil dan imaterial. Maka dari itu, pada kesempatan ini dengan segala rasa hormat dan ketulusan hati penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang terlibat dalam memberikan bantuan secara langsung maupun tidak langsung, kepada:

1. Alm. Papah Juhyar dan Mamah Yuyum selaku kedua orang tua yang menjadi pemberi dukungan penuh nomor satu, dan selalu mendoakan kesuksesan anak-anaknya di mana pun berada.
2. Ibu Endah Setyowati, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing yang selalu memberikan arahan, masukan, kritik dan saran dalam penyelesaian skripsi ini.
3. Bapak Ichwan Nul Ichsan, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing yang selalu memberikan pembelajaran selama penulisan skripsi.
4. Bapak Ahmad Fauzi, S.Si., M.T. selaku dosen wali selama berkuliah Sistem Telekomunikasi UPI Kampus Purwakarta dan telah membantu dalam penulisan jurnal.
5. Bapak Galura Muhammad Suranegara, S.Pd., M.T. selaku penanggung jawab skripsi dan Kaprodi Sistem Telekomunikasi.
6. Para dosen di jurusan Sistem Telekomunikasi yang telah memberikan bimbingan, ilmu, pengetahuan, dan pengalaman yang bermanfaat kepada penulis selama berkuliah.
7. Tete dan kakak tercinta, Teh Riska Rachmawati, Kak Gita Widya Shofa yang selalu memberikan dukungan, kasih sayang, dan motivasi agar penulisan skripsi segera selesai pada waktunya.
8. Om Asep dan Tante Risna yang selalu memberikan pendapat dan wejangan terkait skripsi dan pandangan dunia luar.
9. Ibu Vira, yang telah memberikan bantuan dalam proses pengerjaan program, terima kasih atas bantuan yang telah diberikan.

Farah Wardatul Zanah, 2023

ANALISIS PERBANDINGAN PERFORMASI DIRECTION OF ARRIVAL PADA SMART ANTENNA UNIFORM LINEAR ARRAY DENGAN ALGORITMA MUSIC-USV DAN ESPRIT

Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | Perpustakaan.upi.edu

10. Torona dan Payer, selaku teman seperjuangan pp Bekasi-Purwakarta yang selalu memberikan dorongan, dan motivasi mengerjakan skripsi.
11. Gisella, Adisty, Fauziyah, dan Esa, selaku teman seperbimbingan mulai dari seminar proposal hingga akhir penulisan skripsi, terima kasih atas segala pendapat, dan dorongan untuk mengerjakan skripsi.
12. Teman-teman sobat surga Toro, Isni, Nissa, Tarisa, Dina, dan Fia yang selalu memberikan motivasi dan dorongan untuk mengerjakan skripsi.
13. Angkatan Sistel 2019 yang menjadi teman seperjuangan, yang kebersamai proses perkuliahan dari semester satu hingga perjuangan tugas akhir skripsi dengan saling menyemangati satu sama lain.
14. Ryana, Syavira, Anya, Risma, Adinda, dan Zelda teman seperjuangan beda universitas yang selalu memberikan semangat.
15. Seluruh pihak yang tidak dapat disebutkan, terima kasih atas bantuan dan dukungan moral.

Terima kasih atas bantuan yang diberikan, sekecil apa pun bantuan yang diberikan sangat berarti bagi penulis dalam menyelesaikan penulisan skripsi ini.

Purwakarta, Agustus 2023

Penulis

ABSTRAK

ANALISIS PERBANDINGAN PERFORMASI *DIRECTION OF ARRIVAL* PADA *SMART ANTENNA UNIFORM LINEAR ARRAY* DENGAN ALGORITMA MUSIC-USV DAN ESPRIT

Elemen *antenna array* memiliki informasi berupa arah sinyal datang. *Direction of arrival* digunakan pada sistem radar mengenai arah sudut datang sumber isyarat terhadap *receiver*. Estimasi dilakukan untuk membandingkan performasi algoritma MUSIC-USV (*Multiple Signal Classification – Universal Steering Vector*) dan ESPRIT (*Estimation of Signal Parameters via Rotational Invariance Techniques*) pada sinyal datang *uniform linear array antenna*. Pada penelitian ini, dilakukan estimasi pengaruh terhadap sudut kedatangan (θ), banyaknya sampel (L), dan SNR *input*. Pada penelitian ini, algoritma MUSIC dan ESPRIT disimulasikan melalui *software* Matlab R2020a. Data yang dikumpulkan dianalisis untuk menentukan kinerja sebenarnya dari algoritma dengan perhitungan *error* estimasi. Algoritma MUSIC-USV bekerja lebih tidak rentan terhadap *error* estimasi dibandingkan dengan ESPRIT dalam berbagai simulasi. Pada parameter sudut kedatangan, MUSIC-USV bekerja dengan resolusi *spectral* yang lebih baik dalam memisahkan sinyal-sinyal yang berasal dari berbagai arah. Algoritma MUSIC-USV tidak mempertimbangkan efek *mutual coupling* antara elemen larik antena. ESPRIT bersifat lebih sensitif terhadap perubahan jumlah sampel sehingga menghasilkan estimasi yang kurang akurat jika jumlah sampel terbatas. MUSIC-USV bekerja memisahkan *noise-subspace* yang mampu menekan *noise*. Sedangkan ESPRIT, bekerja kurang baik jika dalam kondisi SNR yang rendah.

Kata kunci: DoA, MUSIC-USV, ESPRIT, *Uniform Linear Array Antenna*.

ABSTRACT

PERFORMANCE ANALYSIS DIRECTION OF ARRIVAL IN SMART ANTENNA UNIFORM LINEAR ARRAY WITH MUSIC-USV AND ESPRIT ALGORITHM

The antenna array elements have information regarding the direction of the incident signal. Direction of arrival is used in radar systems regarding the signal source's angle of incidence towards the receiver. Estimation is done to compare the performance of MUSIC-USV (Multiple Signal Classification - Universal Steering Vector) and ESPRIT (Estimation of Signal Parameters via Rotational Invariance Techniques) algorithms on the incident signal of uniform linear array antenna. In this study, the effect of angle of arrival (θ), number of samples (L), and input SNR are estimated. In this research, the MUSIC and ESPRIT algorithms are simulated through Matlab R2020a software. The collected data is analyzed to determine the actual performance of the algorithms by calculation of the estimation error. The MUSIC-USV algorithm performs less prone to estimation error compared to ESPRIT in various simulations. On the angle of arrival parameter, MUSIC-USV performs with better spectral resolution in separating signals coming from different directions. The MUSIC-USV algorithm does not consider the effect of mutual coupling between antenna array elements. ESPRIT is more sensitive to changes in the number of samples resulting in less accurate estimates if the number of samples is limited. MUSIC-USV works on noise-subspace separation which is able to suppress noise. ESPRIT, on the other hand, works less well in low SNR conditions.

Keywords: DoA, MUSIC-USV, ESPRIT, Uniform Linear Array Antenna.

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN.....	i
HALAMAN PERNYATAAN TENTANG KEASLIAN SKRIPSI DAN PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME.....	iv
KATA PENGANTAR	v
UCAPAN TERIMA KASIH.....	vi
ABSTRAK	viii
<i>ABSTRACT</i>	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xv
NOMENKLATUR.....	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Batasan Masalah.....	4
BAB II KAJIAN PUSTAKA	5
2.1 <i>Smart Antenna</i>	5
2.1.1 Sistem <i>Smart Antenna</i>	6
2.1.2 Sistem <i>Switched Beam Antenna</i>	6
2.1.3 Sistem <i>Adaptive Beam Antenna</i>	7
2.1.4 Manfaat <i>Smart Antenna</i>	8
2.2 <i>Array Antenna</i>	9
2.2.1 Prinsip Kerja <i>Array Antenna</i>	9
2.2.2 Jenis <i>Array Antenna</i>	10

Farah Wardatul Zanah, 2023

**ANALISIS PERBANDINGAN PERFORMASI DIRECTION OF ARRIVAL PADA SMART ANTENNA UNIFORM
LINEAR ARRAY DENGAN ALGORITMA MUSIC-USV DAN ESPRIT**

Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | Perpustakaan.upi.edu

2.3	<i>Direction of Arrival (DoA)</i>	10
2.3.1	<i>Spectral Estimation Method</i>	11
2.3.2	<i>Eigen-structure DoA Method</i>	11
2.4	Estimasi DoA dengan MUSIC	11
2.4.1	<i>Steering Vector</i>	12
2.4.2	<i>Universal Steering Vector (USV)</i>	12
2.4.3	<i>Mutual Admittance</i>	13
2.5	Estimasi DoA dengan ESPRIT.....	13
BAB III METODE PENELITIAN.....		14
3.1	Alat dan Bahan	14
3.2	Alur Penelitian.....	14
3.3	Skenario Penelitian.....	14
3.4	Rancangan Sistem	16
3.4.1	Rancangan dan Perhitungan Algoritma MUSIC-USV	16
3.4.2	Rancangan dan Perhitungan Algoritma ESPRIT	19
3.5	Jadwal Penelitian.....	21
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		22
4.1	Analisa Data	22
4.2	Estimasi MUSIC USV dan ESPRIT	23
4.3	Akurasi Algoritma MUSIC-USV dan ESPRIT.....	23
4.3.1	Pengaruh Sudut Kedatangan pada Performasi DoA	24
4.3.2	Pengaruh Jumlah Sampel pada Performasi DoA	25
4.3.3	Pengaruh Perubahan Nilai SNR pada Performasi DoA.....	26
BAB V SIMPULAN, IMPLIKASI DAN REKOMENDASI		28
5.1	Simpulan.....	28
5.2	Implikasi.....	29
5.3	Rekomendasi	29
DAFTAR PUSTAKA		30

LAMPIRAN.....	34
RIWAYAT HIDUP.....	52

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Sistem <i>Switched Beam Antenna</i> , direproduksi dari (C.A., 2005)	7
Gambar 2. 2 (a) Skema <i>Switched</i> (b) Skema <i>Adaptive</i> , direproduksi dari (C.A., 2005).	8
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian	14
Gambar 3. 2 Perencanaan Perhitungan dengan Algoritma MUSIC-USV	16
Gambar 3. 3 Perencanaan Perhitungan dengan Algoritma ESPRIT	19
Gambar 4. 1 Ilustrasi Penempatan Sinyal pada Estimasi dengan Sudut Kedatangan Tertentu, direproduksi dari (Rahayu, 2015).....	22
Gambar 4. 2 MUSIC USV dengan $N=1$, $M=6$, $L=1000$, $\theta = 90^\circ$, dan SNR input=20dB. X=Sudut, Y=Spektrum	23
Gambar 4. 3 Grafik <i>error</i> estimasi MUSIC-USV dan ESPRIT pada skenario pertama melihat fungsi perubahan sudut kedatangan	24
Gambar 4. 4 Grafik <i>error</i> estimasi MUSIC-USV dan ESPRIT pada skenario kedua melihat fungsi jumlah sampel	26
Gambar 4. 5 Grafik <i>error</i> estimasi MUSIC-USV dan ESPRIT pada skenario ketiga melihat fungsi perubahan nilai SNR	27

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Skenario Pertama Melihat Fungsi Kedatangan Sudut.....	15
Tabel 3. 2 Skenario Kedua Melihat Fungsi Jumlah Sampel	15
Tabel 3. 3 Skenario Ketiga Melihat Fungsi Perubahan Nilai SNR	16
Tabel 3. 4 Waktu Kegiatan Penelitian.....	21

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Skenario Pertama Melihat Fungsi Perubahan Sudut Kedatangan	34
Lampiran 2. Skenario Kedua Melihat Fungsi Jumlah Sampel.....	40
Lampiran 3. Skenario Ketiga Melihat Fungsi Perubahan Nilai SNR	44
Lampiran 4. Program Matlab Algoritma MUSIC-USV dan ESPRIT.....	47

NOMENKLATUR

A	: Amplitudo
dB	: <i>Decibel</i>
e	: <i>Natural logarithm (approximately 2,71828)</i>
E_1	: <i>Signal subspace first subarray</i>
E_2	: <i>Signal subspace second subarray</i>
E_N	: <i>Noise eigenvector</i>
j	: <i>Imaginary unit</i>
L	: Jumlah bit sampel
M	: Jumlah elemen
N	: Jumlah sumber sinyal
P	: <i>Power spectrum</i>
P_{MU}	: <i>MUSIC pseudospectrum</i>
R_{xx}	: <i>Matrix array correlation</i>
$s(t)$: <i>Complex valued signal function of time</i>
V_{inc}	: Matriks sinyal datang pada antena
Y^{Ter}	: <i>Mutual admittance terminal pada antena</i>
Z_I	: Impedansi saluran antena

Greek Symbol

λ	: Panjang Gelombang
d	: <i>Inter element spacing</i>
θ	: Sudut kedatangan
θ_i	: Sudut kedatangan estimasi
$a(\theta)$: <i>Conventional Steering Vector</i>
$a^u(\theta)$: <i>Universal Steering Vector</i>
Ψ	: <i>Operator Subspace Rotation</i>
ϕ	: <i>Matrix diagonal unitary dengan pergeseran fasa antara doublet untuk masing-masing DoA</i>

Farah Wardatul Zanah, 2023

ANALISIS PERBANDINGAN PERFORMASI DIRECTION OF ARRIVAL PADA SMART ANTENNA UNIFORM LINEAR ARRAY DENGAN ALGORITMA MUSIC-USV DAN ESPRIT

Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | Perpustakaan.upi.edu

Abbreviations

AoA	: <i>Angle of Arrival</i>
BER	: <i>Bit Error Rate</i>
CSV	: <i>Conventional Steering Vector</i>
DF	: <i>Direction Finding</i>
DoA	: <i>Direction of Arrival</i>
ESPRIT	: <i>Estimation Signal Parameters via Rotational Invariance Technique.</i>
MA	: <i>Mutual Admitansi</i>
MC	: <i>Mutual Coupling</i>
MATLAB	: <i>Matrix Laboratory</i>
MOM	: <i>Metode of moments</i>
MUSIC	: <i>Multiple Signal Classification</i>
MVDR	: <i>Minimum Variance Distortionless Response</i>
RF	: <i>Radio Frequency</i>
RI	: <i>Rotational Invariant</i>
SINR	: <i>Signal to Interference plus Noise Ratio</i>
SNR	: <i>Signal to Noise Ratio</i>
SNOI	: <i>Signal Not of Interest</i>
SV	: <i>Steering Vector</i>
USV	: <i>Universal Steering Vector</i>
ULA	: <i>Uniform Linear Array</i>

DAFTAR PUSTAKA

- Aliefananda, H. A. (2020). Estimasi DoA Menggunakan Sparse Ruler Non-Uniform Linear Array Berbasis Minimum Variance Distortionless Response. *Skripsi*.
- Amaelia, F. Y., & Hugeng. (2013). Sistem Antena Array Paralel untuk Menghasilkan Lobe Radiasi Utama dalam Arah Bervariasi. *TESLA*, 15(2). <https://media.neliti.com/media/publications/271516-sistem-antena-array-paralel-untuk-mengha-f60d3984.pdf>
- ARSI. (2021, May 4). What is the Significance of $\lambda/4$. *Arsiconsultants*. <https://arsiconsultants.com/2021/05/04/what-is-the-significance-of-lambda-4/>
- Bellofiore, S., Balanis, C. A., Foutz, J. A., & Spanias, A. (2002). Smart-antenna systems for mobile communication networks. Part 1. Overview and antenna design. *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, 44(3), 145–154.
- C.A., B. (2005). *Antenna Theory, analysis and Design* (3rd Edition). John Wiley & Sons.
- Dakulagi, V. (2020). Robust Modified Multiple Signal Classification Algorithm for Direction of Arrival Estimation. *Wireless Personal Communications*, 115(3), 2535–2550. <https://doi.org/10.1007/s11277-020-07695-3>
- Durgin, G. D. (2002). *Space-Time Wireless Channels*. Prentice Hall.
- Eranti, P. K., & Barkana, B. D. (2022). An Overview of Direction-of-Arrival Estimation Methods Using Adaptive Directional Time-Frequency

Farah Wardatul Zanah, 2023

ANALISIS PERBANDINGAN PERFORMASI DIRECTION OF ARRIVAL PADA SMART ANTENNA UNIFORM LINEAR ARRAY DENGAN ALGORITMA MUSIC-USV DAN ESPRIT

Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | [Perpustakaan.upi.edu](https://perpustakaan.upi.edu)

- Distributions. *Electronics*, 11(9), 1321.
<https://doi.org/10.3390/electronics11091321>
- Ertan, S., Griffiths, H., Wicks, M., Antonik, P., Weiner, D., Adve, R., & Fotinopoulos, I. (2002). Bistatic Radar Denial by Spatial Waveform Diversity. *RADAR* 2002, 17–21.
<https://doi.org/10.1109/RADAR.2002.1174645>
- Fishler, E., Haimovich, A., & Blum, R. (2004). MIMO Radar: An Idea Whose Time Has Come. *Proceedings of the IEEE Radar Conference*, 71–78.
- Gross, F. (2005). *Smart ANTennas for Wireless Communications with MATLAB*.
- Gupta, P., Verma, V. K., & Senapati, V. (2017). Angle of Arrival Detection by ESPRIT Method. *2017 International Conference on Communication and Signal Processing (ICCSP)*. <https://doi.org/10.1109/ICCSP.2017.8286556>
- Hui, H. T. (2011). *Direction-of-arrival (DOA) estimation in the presence of array signal coupling*. Department of Electrical and Computer Engineering.
- Ishizaki, R., Kikuma, N., Hirayama, H., & Sakakibara, K. (2008). 2-D DOA Estimation with Arbitrary Planar Antenna Array Using MS Technique in Combination with EM Algorithm. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*. <https://doi.org/10.1109/TAP.2008.929446>
- Kharel, S. (2013). *Performance Comparison Between Music And Esprit Algorithms For Direction Estimation Of Arrival Signals* [Theses and Dissertations]. UND Scholarly Commons.
- Muhammad, C. B., Wijanto, H., & Setiawan, A. D. (2018). Analisis Pencarian Sudut Kedatangan menggunakan Algoritma MUSIC untuk Adaptive

Beamforming. *Jurnal TEKTRIKA*, 3(2).
<https://journals.telkomuniversity.ac.id/tektrika/article/download/2227/1076/>

Mundzir. (2017). Azimuth Elevation Calculator Berbasis Ponsel. *METIK Jurnal*, 1(2), 41–46.

Rabideau, D., & Parker, P. (2003). Ubiquitous MIMO Multifunction Digital Array Radar. *IEEE Signals, System, and Computers, 37th Asilomar Conference*, 1, 1057–1064.

Rahayu, V. (2015). *Estimasi Direction of arrival Antena Patch Array dengan Algoritma MUSIC CSV-USV*. Thesis Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Rahayu, V., Yokokawa, K., Chen, Q., & Pramono, Y. (2014). DOA Estimation of Linear Patch Antenna Array Using USV - MUSIC Algorithm. *Asia-Pacific Microwave Conference*, 122–124.

Roy, R., & Kailath, T. (1989). ESPRIT-Estimation of Signal Parameters via Rotational Invariance Techniques. *IEEE Trans on Acoustics Speech and Signal Processing*, 37(7), 984–995.

Schmidt, R. O. (1986). Multiple Emitter Location and Signal Parameter Estimation. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 34(3), 276–280.
<https://doi.org/10.1109/TAP.1986.1143830>

Talwar, S., Viberg, M., & Paulraj, A. (1994). Blind Estimation of Multiple Co-Channel Digital Signals Using an Atnenna Array. *IEEE Signal Processing Letters*, 1(2), 29–31. <https://doi.org/10.1109/97.300310>

- Wibowo, E. A., Wijanto, H., & Hidayat, I. (2018). Analisis Estimasi Sudut Kedatangan Menggunakan Algoritma ESPRIT pada Komunikasi Millimeter-Wave untuk Hybrid Beamforming. *TEKTRIKA - Jurnal Penelitian dan Pengembangan Telekomunikasi, Kendali, Komputer, Elektrik, dan Elektronika*, 2(1). <https://doi.org/10.25124/tektrika.v2i1.1657>
- Yang, Z., Li, J., Stoica, P., & Xie, L. (2017). *Sparse Methods for Direction-of-Arrival Estimation* (arXiv:1609.09596). arXiv. <http://arxiv.org/abs/1609.09596>
- Yuan, Q., Chen, Q., & Sawaya, K. (2004). DoA estimation using array antenna wirh arbitrary geometry. *2004 IEEE 15th International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC)*. <https://doi.org/10.1109/PIMRC.2004.1373838>

