



TESIS - SF 142502

**ESTIMASI *DIRECTION OF ARRIVAL* ANTENA
PATCH ARRAY DENGAN ALGORITMA MUSIC
CSV-USV**

VIRA RAHAYU
1112 201 023

Pembimbing
Dr. YONO HADI PRAMONO, M. Eng

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN OPTIK DAN MEDAN ELEKTROMAGNETIK TERAPAN
JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2015



THESIS - SF 142502

DIRECTION OF ARRIVAL ESTIMATION OF PATCH ANTENNA ARRAY USING CSV-USV MUSIC ALGORITHM

VIRA RAHAYU
1112 201 023

Supervisor
Dr. YONO HADI PRAMONO, M.Eng

**MAGISTER PROGRAM
STUDY ON OPTIC AND APPLIED ELECTROMAGNETIC
DEPARTMENT OF PHYSICS
FACULTY OF MATHEMATICS AND NATURAL SCIENCES
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA
2015**

Tesis ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Sains (M.Si)

di

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

oleh:

Vira Rahayu

NRP. 1112201023

Tanggal Ujian : 13 Januari 2015

Periode Wisuda : Maret 2015

Disetujui Oleh :

1. Dr. Yono Hadi Pramono, M.Eng
NIP: 19690904 199203.1.003

(Pembimbing)

(.....)

2. Prof. Mahmud Zaki, M.Sc

(Penguji)

(.....)

3. Endarko, M. Si, Ph. D
NIP: 19741117 199903.1.001

(Penguji)

(.....)

Direktur Program Pascasarjana



Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, MT

NIP. 19640405 199002.1.001

ESTIMASI DIRRECTION OF ARRIVAL ANTENA PATCH ARRAY DENGAN ALGORITMA MUSIC CSV-USV

Nama : Vira Rahayu

NRP : 1112201023

Pembimbing : Dr. Yono Hadi Pramono, M. Eng

ABSTRAK

Telah dikakukan estimasi direction of arrival terhadap antena array berstruktur patch. Estimasi dilakukan dengan menggunakan algoritma MUSIC. USV dan CSV digunakan dalam metode penentuan arah kedatangan dari sinyal. Metode USV yang membawa efek mutual coupling dalam estimasi dibandingkan dengan metode konvensional yang disebut CSV. Pada penelitian ini, estimasi dilakukan terhadap banyaknya elemen antena (N), banyaknya sample (L), SNR input, pengaruhnya terhadap sudut kedatangan, banyaknya sinyal yang datang (M) dan pengaruh kerapatan sudut terhadap estimasi. Estimasi dilakukan pada geometri linier dan sirkuler. Hasil estimasi menunjukkan bahwa metode esimasi MUSIC menggunakan USV lebih akurat dibanding dengan metode CSV.

Kata Kunci : antenna, direction of arrival, MUSIC, mutual coupling, steering vector.

DIRECTION OF ARRIVAL ESTIMATION OF PATCH ANTENNA ARRAY USING CSV-USV MUSIC ALGORITHM

Name : Vira Rahayu

Student Identity Number : 1112201023

Supervisor : Dr. Yono Hadi Pramono, M.Eng

ABSTRACT

Direction of arrival estimation of patch antenna array have been done. Estimation is done by MUSIC algorithm. USV and CSV is used in DOA estimation. USV that include effect of mutual coupling is compared with conventional method that is called by CSV. In this resarch, estimation is done by total of element (N), total of sample (L), SNR Input, total of signal and length of angles. Linear and circular geometry is used for this estimation. The result shows that estimation using USV more accurate than CSV method.

Keywords : antenna, direction of arrival, MUSIC, mutaual coupling, steering vector

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang telah memberikan petunjuk, kemudahan dan kekuatan kepada penulis, sehingga penulis mampu menyelesaikan tesis yang berjudul “**ESTIMASI DIRECTION OF ARRIVAL ANTENA PATCH ARRAY DENGAN ALGORITMA MUSIC CSV-USV**” guna memenuhi syarat klulusan mata kuliah TESIS (SF 142502) tingkat Magister di Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya. Selama proses persiapan, pengerjaan dan penyusunan tesis ini banyak pihak yang memberikan bantuan dan dukungan kepada penulis. Maka dengan segenap kerendahan dan ketulusan hati peulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Ayahanda Nurachman dan Ibunda Siti Sofiah yang memberikan banyak kasih sayang, dukungan, do'a dan nasihat tiada henti kepada penulis sehingga penulis mampu menyelesaikan proses studi dan Tesis.
2. Bapak Dr. Yono Hadi Pramono, M.Eng selaku dosen pembimbing serta dosen wali dari program studi Optik dan Medan Elektromagnetik Terapan, Jurusan Fisika FMIPA ITS yang selalu memberikan kesempatan, ilmu, motivasi dan nasehat kepada penulis.
3. Professor Qiang Chen selaku dosen pembimbing penulis pada program COLABS (Cooperative Laboratory Study Program), Jurusan Teknik Komunikasi dan Elektro, TOHOKU Univerisity, JAPAN yang bersedia memberikan penulis ruang untuk melakukan penelitian, memberikan bimbingan serta motivasi kepada penulis.
4. Professor Mahmud Zaki, M.Sc dan Bapak Endarko, M.Si, Ph.D selaku dosen penguji yang telah memberika ilmu kepada penulis.
5. Keluarga mas Danu Rozi, Mbak Maulani Indah Sari, kakak Airell dan Dedek Nayla yang banyak membantu, memberikan nasehat dan dukungan kepada penulis.
6. Mohamad Najib atas semua yang telah tanpa henti memotivasi penulis, mendoakan dan membantu banyak hal sehingga penulis mampu menyelesaikan proses belajarnya dengan baik.

7. Seluruh dosen dan civitas akademika jurusan Fisika ITS atas ilmu yang telah diberikan selama ini. Semoga bisa menjadi ilmu yang bermanfaat.
8. Prof.Dr.Ir. Adi Soeprijanto, MT selaku direktur pascasarjana ITS yang memberikan motivasi kepada penulis.
9. Ibu Aminah, Budhe dan Pakhe yang mendoakan penulis.
10. Ms. Ito selaku sekretaris di Chen Lab, yang banyak membantu menyiapkan segala hal selama publikasi di Japan, sharing banyak hal tentang budaya Japan Vs Indonesia.
11. Konno Sensei dan Kei Yokokawa di Chen Lab, yang membantu penulis mempelajari program V-Calar dan membimbing penulis selama studi di Chen Lab, Tohoku University.
12. Teman-teman Kepompong: Raga, Widyo, Zamil, Aris, Di'a, Afid, Barok, Ilul, Lila, Hamam yang selalu memberi semangat kepada penulis.
13. Teman-Teman PPI Sendai untuk bantuannya selama tinggal di Sendai.
14. Teman-teman lab Optik: Rizqa, Tutik, dan Rudi yang banyak membantu selama proses belajar dan menyelesaikan tesis.
15. Teman-teman Chen Lab: Maruyama Shun, Bunka, D Ito, Ito yang dengan susah paya membantu penulis untuk mempelajari segala hal di Chen Lab serta Japan.
16. Teh Hanami, Mas Rifqi dan Teh Pritta yang banyak saya ganggu ketenangan hidupnya selama saya tinggal di Sendai.
17. Siter Avivah Wahyuni, Sister Itsnaini Rahmawati Mas Bro dan bro Ridho Sahaja Badrus Ali Fahmi yang selalu ada menjaga ibu dan mendengarkan curhatanku.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam penyusunan tesis ini. Oleh karena itu, saran dan kritik yang membangun akan sangat diharapkan untuk perbaikan selanjutnya. Semoga Tesis ini dapat memberikan manfaat untuk para pembacanya. Aamiin.

Surabaya, Januari 2015

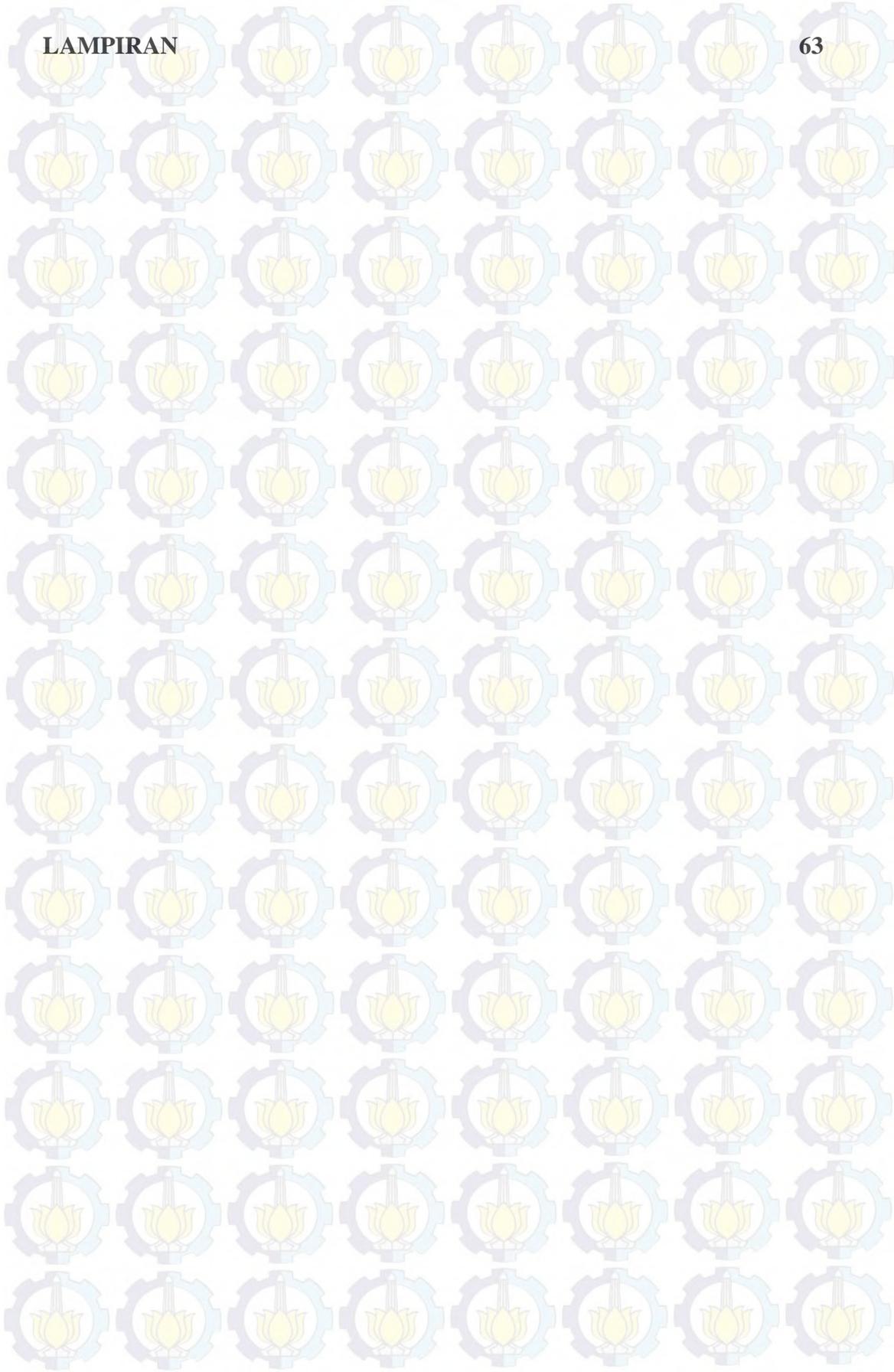
Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan masalah	2
1.3 Tujuan Peneitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 <i>Smart Antenna</i>	5
2.2 Sistem <i>Smart Antenna</i>	6
2.3 <i>Array Antenna</i>	7
2.3.1 Prinsip Kerja Antena Array	8
2.3.2 Jenis-Jenis Antena Array	8
2.3.2.1 <i>Linear Array</i>	8
2.3.2.2 <i>Planar Array</i>	8
2.3.2.3 <i>Sirkular Array</i>	9
2.3.3 Elemen <i>Pattern</i> Pada Antena	9
2.3.4 <i>Mutual Coupling</i>	9
2.4 Estimasi <i>Direction of Arrival</i> (DOA)	10
2.4.1 Metode DOA konvensional	10
2.4.2 Metode DOA <i>subspace</i>	11
2.4.3 Metode DOA dengan <i>Maximum Likelihood</i>	11
2.4.4 Metode DOA terintegrasi	11

2.5	Algoritma MUSIC	12
2.6	Mutual Admitansi	13
2.7	<i>Steering Vector</i> pada Estimasi DoA	14
2.7.1	<i>Conventional Steering Vector</i>	14
2.7.2	<i>Universal Steering Vector</i>	14
BAB III PERENCANAAN PERHITUNGAN ALGORITMA MUSIC		17
3.1	Umum	17
3.2	Parameter yang digunakan	17
3.3	Blok Diagram Perencanaan Perhitungan	18
3.4	Perencanaan Perhitungan Untuk Algoritma MUSIC	18
3.4.1	Perencanaan Perhitungan Algoritma MUSIC 1D	18
3.4.1.1	MUSIC CSV 1D	18
3.4.1.2	MUSIC USV 1D	21
3.4.1	Perencanaan Perhitungan Algoritma MUSIC 2D	24
3.4.2.1	MUSIC CSV 2D	24
3.4.2.2	MUSIC USV 2D	27
BAB IV HASIL DAN ANALISA DATA		31
4.1	Model Sistem	31
4.2	Proses Perhitungan	31
4.3	Analisa Data	31
4.3.1	Algoritma MUSIC 1D	32
4.3.1.1	Estimasi MUSIC 1D $N=1$	33
4.3.1.2	Error Estimasi Sebagai Fungsi Sudut Kedatangan	34
4.3.1.3	Error Estimasi Terhadap Perubahan Jumlah Elemen	35
4.3.1.4	<i>Error</i> Estimasi Terhadap Perubahan Jumlah Sampel	36
4.3.1.5	Error Estimasi Terhadap Perubahan Nilai SNR	37
4.3.1.6	Estimasi MUSIC 1D $N=3$ dan $N=5$	38
4.3.1.6.1	Spektrum MUSIC dengan $N=3$	38
4.3.1.6.2	Spektrum MUSIC dengan $N=5$	39
4.3.1.7	Estimasi MUSIC 1D dengan Kerapatan Sudut	40

4.3.1.7.1	Spektrum MUSIC dengan $N=3$ dan kerapatan sudut 10°	40
4.3.1.7.2	Spektrum MUSIC dengan $N=3$ dan kerapatan sudut 30°	41
4.3.1.7.3	Spektrum MUSIC dengan $N=3$ dan kerapatan sudut 50°	42
4.3.2	Algoritma MUSIC 2D	43
4.3.2.1	Estimasi MUSIC 2D $N=1$	43
4.3.2.2	<i>Error</i> Estimasi Sebagai Fungsi Sudut Kedatangan	44
4.3.2.3	<i>Error</i> Estimasi Terhadap Perubahan Jumlah Elemen	45
4.3.2.4	<i>Error</i> Estimasi Terhadap Perubahan Jumlah <i>Sampel</i>	46
4.3.2.5	<i>Error</i> Estimasi Terhadap Perubahan Nilai SNR	47
4.3.2.6	Estimasi MUSIC 2D $N=3$ dan $N=5$	48
4.3.2.6.1	Spektrum MUSIC 2D $N=3$	48
4.3.2.6.2	Spektrum MUSIC 2D $N=5$	49
4.3.2.7	Estimasi MUSIC 2D dengan Kerapatan Sudut	51
4.3.2.7.1	Spektrum MUSIC dengan $N=3$ dan kerapatan sudut 10°	51
4.3.2.7.2	Spektrum MUSIC dengan $N=3$ dan kerapatan sudut 30°	52
4.3.2.7.3	Spektrum MUSIC dengan $N=3$ dan kerapatan sudut 50°	54
4.3.3	Perbandingan Estimasi DOA <i>Patch Array</i> Dan <i>Dipole Array</i> Dengan Menggunakan Algoritma MUSIC 1D	55
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		57
5.1	Kesimpulan	57
5.2	Saran	57
DAFTAR PUSTAKA		59



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. (a) <i>Array</i> Tradisional (b) <i>Smart Antenna</i>	5
Gambar 2.2 Analogi Sistem <i>Smart Antenna</i> . (a) Sistem Pada Manusia; (b) <i>Smart Antenna</i>	6
Gambar 3.1 Blok Diagram Alur Estimasi	18
Gambar 4.1 Ilustrasi penempatan sinyal pada estimasi 1D dengan sudut kedatangan tertentu.	32
Gambar 4.2 Ilustrasi penempatan sinyal pada estimasi 2D dengan sudut kedatangan tertentu.	32
Gambar 4.3 Spektrum MUSIC1D CSV dan USV dengan $N=1$, $M=6$, $L=1000$, $\theta = 90^\circ$, SNR Input = 20dB.	33
Gambar 4.4 Error Estimasi MUSIC 1D CSV dan USV dengan dengan $N=1$, $M=6$, $L=100$, $\theta = 0^\circ, 10^\circ, 20^\circ, 30^\circ, 40^\circ, 50^\circ, 60^\circ, 70^\circ, 80^\circ, 90^\circ, 100^\circ, 110^\circ, 120^\circ, 130^\circ, 140^\circ, 150^\circ, 160^\circ, 170^\circ, 180^\circ$, SNR Input = 10dB.	34
Gambar 4.5 Error estimasi MUSIC 1D CSV dan USV terhadap jumlah elemen dengan $N=1$, $M=2, 3, 4, 5, 6$, $L=100$, $\theta = 90^\circ$, SNR Input = 10dB.	35
Gambar 4.6 Error estimasi MUSIC 1D CSV dan USV terhadap jumlah <i>sample</i> dengan $N=1$, $M=3$, $L=10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110, 120, 130, 140, 150, 200, 300, 500, 1000$ $\theta = 50^\circ$, SNR Input = 10dB.	36
Gambar 4.7 Error estimasi MUSIC 1D CSV dan USV terhadap input SNR	37
Gambar 4.8 Spektrum MUSIC 1D CSV dan USV dengan jumlah sinyal 3, $M=6$, $L=1000$, $\theta = 30^\circ, 50^\circ, 110^\circ$, SNR input = 20 dB	38
Gambar 4.9 Spektrum MUSIC 1D CSV dan USV dengan jumlah sinyal 5, $M=6$, $L=1000$, $\theta = 30^\circ, 50^\circ, 90^\circ, 110^\circ, 150^\circ$, SNR input = 20 dB	39

Gambar 4.10 Spektrum MUSIC 1D USV dan CSV dengan jumlah sinyal 3, $M = 6$, $L = 1000$, $\theta = 30^\circ, 40^\circ, 50^\circ$, $\text{SNR}_{input} = 20$ dB 40

Gambar 4.11 Spektrum MUSIC 1D USV dan CSV dengan jumlah sinyal 3, $M = 6$, $L = 1000$, $\theta = 40^\circ, 70^\circ, 100^\circ$, $\text{SNR}_{input} = 20$ dB 41

Gambar 4.12 Spektrum MUSIC 1D USV dan CSV dengan jumlah sinyal 3, $M = 6$, $L = 1000$, $\theta = 50^\circ, 100^\circ, 150^\circ$, $\text{SNR}_{input} = 20$ dB 42

Gambar 4.13 Spektrum algoritma MUSIC dengan $N=1$, $M=10$, $L=1000$, $(\theta, \phi)=(50^\circ, 50^\circ)$, dan $\text{SNR}_{Input} = 20$ dB, (a) CSV; (b) USV 44

Gambar 4.14 Error estimasi terhadap jumlah elemen dengan $N=1$, $M= 5, 6, 7, 8, 9, 10$, $L=1000$, $(\theta, \phi)=(50^\circ, 50^\circ)$ dan $\text{SNR}_{Input} = 20$ dB 45

Gambar 4.15 Error estimasi terhadap jumlah *sample* dengan $N=1$, $M= 10$, $L=10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 100$, $(\theta, \phi)=(50^\circ, 50^\circ)$ dan $\text{SNR}_{Input} = 20$ dB. 46

Gambar 4.16 Error estimasi terhadap input SNR dengan $N=1$, $M= 10$, $L=1000$, $(\theta, \phi)=(50^\circ, 50^\circ)$ dan $\text{SNR}_{Input} = 10, 12, 15, 17, 19, 20$ dB. 47

Gambar 4.17 Spektrum MUSIC2D CSV dan USV dengan jumlah sinyal 3, $M=8$, $L=1000$, $\text{SNR}=20$ teta, $\phi=30^\circ, 20^\circ; 30^\circ, 50^\circ; 30^\circ, 80^\circ$ (a) CSV, (b) USV 49

Gambar 4.18 Spektrum MUSIC2D CSV dan USV dengan jumlah sinyal 5, $M=8$, $L=1000$, $\text{SNR}=20$ (a) CSV, (b) USV 50

Gambar 4.19 Spektrum MUSIC 2D USV dan CSV dengan jumlah sinyal 3, $M = 8$, $L = 1000$, teta, $\phi = 40^\circ, 30^\circ; 40^\circ, 40^\circ; 40^\circ, 50^\circ$, $\text{SNR}_{input} = 20$ dB (a) CSV, (b) USV 52

Gambar 4.20 Spektrum MUSIC 2D USV dan CSV dengan jumlah sinyal 3, $M = 8$, $L = 1000$, teta, $\phi = 40^\circ, 30^\circ; 40^\circ, 60^\circ; 40^\circ, 90^\circ$, $\text{SNR}_{input} = 20$ dB, (a) CSV, (b) USV 53

Gambar 4.21 Spektrum MUSIC 2D USV dan CSV dengan jumlah sinyal 3,
 $M = 8, L = 1000, \theta, \phi = 40^\circ, 40^\circ; 40^\circ, 90^\circ; 40^\circ, 130^\circ, \text{SNR}$
 $\text{input} = 20 \text{ dB}$, (a) CSV, (b) USV

55

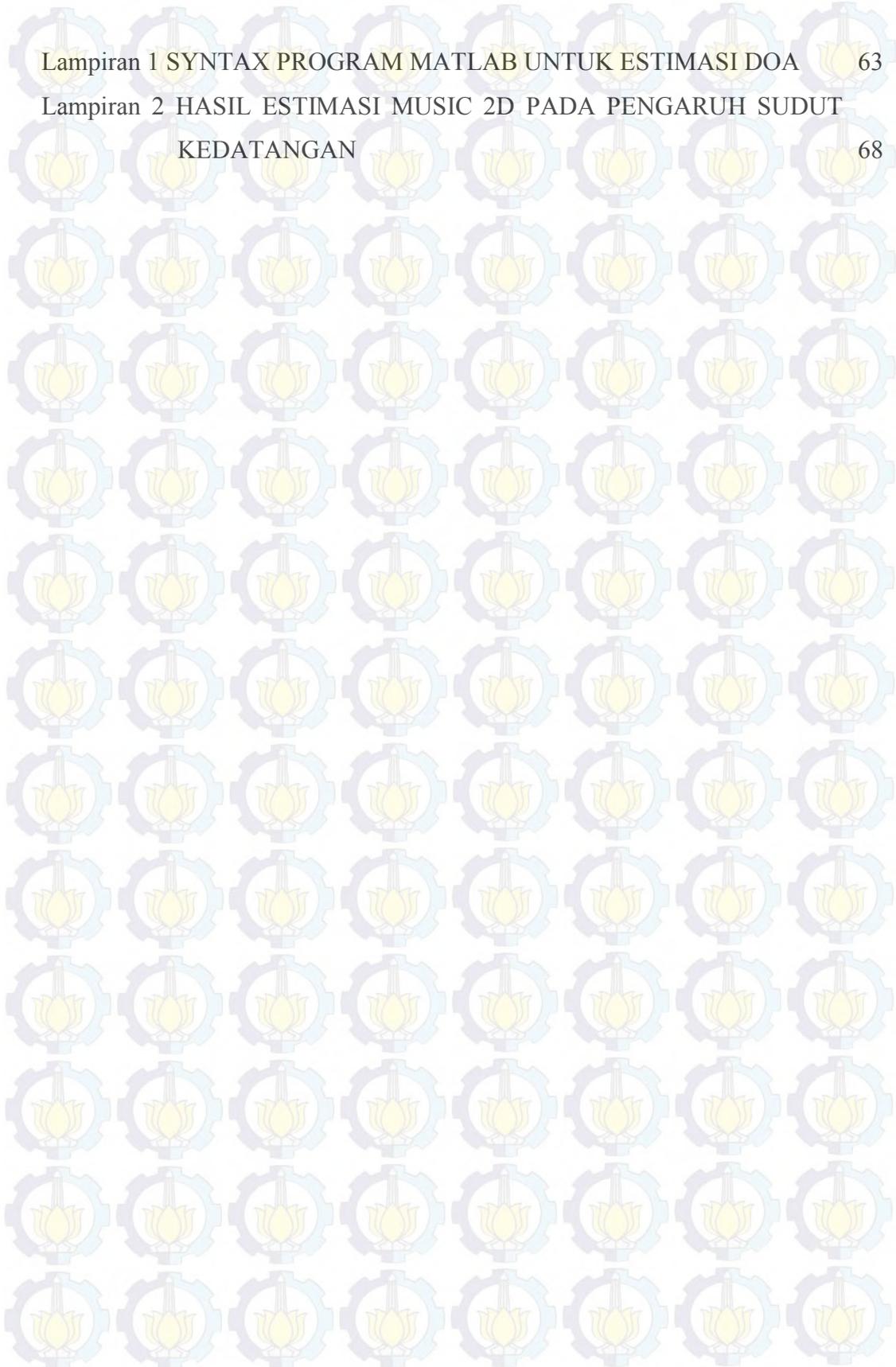
Gambar 4.22 Perbandingan Estimasi 6 Larik Antena dengan $d=0.5 \lambda$ (a)
Dipole, (b) Patch

56

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 SYNTAX PROGRAM MATLAB UNTUK ESTIMASI DOA 63

Lampiran 2 HASIL ESTIMASI MUSIC 2D PADA PENGARUH SUDUT
KEDATANGAN 68



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Komunikasi merupakan salah satu hal penting dalam bermasyarakat, baik komunikasi jarak dekat ataupun komunikasi jarak jauh. Komunikasi jarak jauh membutuhkan piranti yang mampu mendukung keperluan tersebut. Bentuk dari komunikasi jarak jauh dapat dilakukan melalui panggilan telepon (nirkabel atau berkabel) atau menggunakan koneksi internet (*email*, jejaring sosial dan *chat*). Menyadari pentingnya komunikasi di masyarakat serta banyaknya pengguna piranti komunikasi mengharuskan adanya sistem yang mampu mengatasi permasalahan-permasalahan yang dapat mengganggu proses komunikasi.

Smart antenna merupakan teknologi baru yang menjanjikan kinerja yang canggih untuk sistem komunikasi. Teknologi ini menggunakan algoritma pengolahan sinyal. Berbeda dengan teknologi antena tradisional, pada antena tradisional tidak mempunyai sistem tersebut. Algoritma pengolahan sinyal pada *smart antenna* mempunyai prinsip kerja yang memungkinkan antena mampu mengenali sinyal yang diinginkan (*signal of interest*) dan sinyal yang tidak diinginkan (*signal not of interest*). Interferensi sinyal merupakan salah satu bentuk *signal not of interest* (SNOI). Antena tanpa algoritma pengolahan sinyal tidak dapat mengenali SOI dan SNOI. Karena alasan ini, sistem *smart antenna* dibuat dan algoritma pengolahan sinyal menjadi hal terpenting pada penerapan sistem *smart antenna*.

Sebuah antena yang tersusun atas beberapa elemen yang sama disebut sebagai *array antenna* (antena larik). Tiap elemen penyusun antena larik memberikan informasi arah sinyal datang berupa *gain* dan perubahan fase. Karakteristik dari antena larik ini yang selanjutnya digunakan pada *smart antenna* yang tujuannya adalah dapat mendeteksi arah dari SOI. Pada sistem *smart antenna* hal ini disebut dengan estimasi *direction of arrival* (DOA).

Pada penelitian ini, dilakukan estimasi DOA pada antena larik. Estimasi dilakukan dengan menggunakan algoritma *multiple signal classification* (MUSIC). Algoritma ini merupakan algoritma yang akurat dan paling banyak digunakan

dalam penentuan DOA. Estimasi menggunakan algoritma MUSIC umumnya dilakukan tanpa mempertimbangkan efek dari *mutual coupling* antara elemen larik. Pada kondisi sebenarnya, efek *mutual coupling* tidak dapat diabaikan. Banyak penelitian yang terfokus pada metode kompensasi efek dari *mutual coupling* pada antenna larik. Penelitian mengenai efek *mutual coupling* menggunakan teori pendekatan arus telah dilakukan. Penelitian baru-baru ini mencoba untuk menganalisis *mutual coupling* menggunakan metode pendekatan elektromagnetik dan kalibrasi. Namun metode tersebut tidak dapat digunakan secara umum. Metode tersebut hanya dapat digunakan secara akurat pada antenna *dipole* yang kecil. Efek *mutual coupling* juga telah dilakukan menggunakan metode *current scattering*, namun permasalahannya adalah distribusi arus harus diestimasi terlebih dahulu. Estimasi distribusi arus akan sulit dilakukan saat desain dari antenna kompleks. Hal ini disebabkan distribusi arus bergantung pada arah polarisasi dari gelombang datang.

Pada penelitian sebelumnya, efek dari *mutual coupling* yang dikompensasi dari *steering vector* (USV) telah dilakukan. USV dapat digunakan untuk menghitung spektrum MUSIC secara langsung tanpa metode kompensasi dan *steering vector* telah dievaluasi menggunakan metode *of moments* (MOM) untuk antenna larik dengan *arbitrary geometry*. Penelitian ini akan membahas mengenai pengaplikasian USV untuk estimasi *direction of arrival* (DOA) pada antenna larik *patch* dengan geometri *linear* dan *circular* yang kemudian hasilnya akan dibandingkan antara penerapan MUSIC-USV dengan MUSIC-CSV (*convetional steering vector*).

1.2 Rumusan Masalah

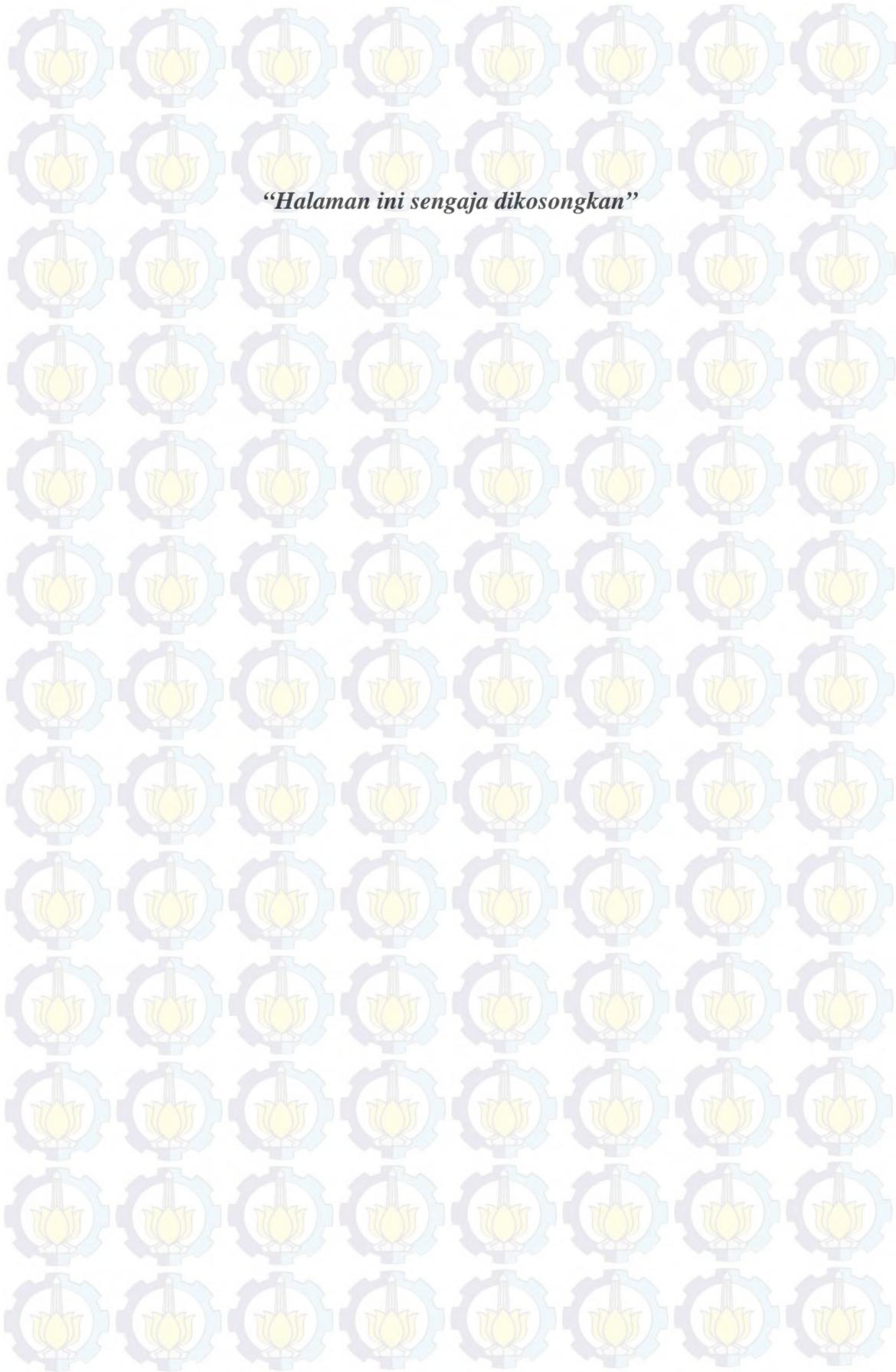
Berkaitan dengan permasalahan diatas maka diperlukan analisis DOA menggunakan algoritma MUSIC baik menggunakan USV maupun CSV. Estimasi dilakukan dengan mempertimbangkan jumlah dari elemen penyusun larik, banyaknya *sample*, arah sudut kedatangan, besarnya SNR *input*, kerapatan sinyal datang dan banyaknya sinyal datang yang menuju antenna.

1.3 Tujuan Penelitian

Pada penelitian ini akan dilakukan estimasi *direction of arrival* (DOA) dari *smart antenna* menggunakan algoritma MUSIC pada antena larik dengan geometri *linier*(1D) dan *circular*(2D). Estimasi dilakukan dengan menggunakan MUSIC-USV dan MUSIC-CSV yang kemudian akan dibandingkan hasilnya.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan mampu memberika pengetahuan bagaimana sistem *smart antenna* bekerja khususnya pada estimasi DOA, sehingga dapat digunakan untuk perancangan sitem pada *smart antenna* yang dapat meningkatkan performansi pada bidang komunikasi dan telekomunikasi.

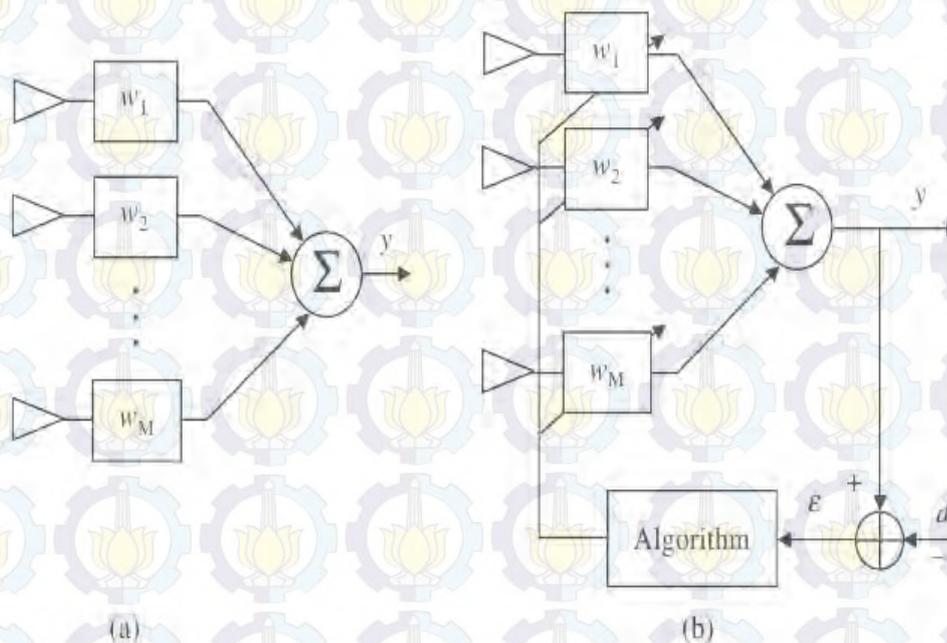


“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Smart Antenna

Smart antenna atau yang disebut dengan *adaptive array antenna* merupakan antena larik yang menggunakan algoritma pengolahan sinyal secara cerdas yang memungkinkan penyesuaian pada pola radiasi antena agar dapat ditekankan pada SOI dan untuk meminimalisir penerimaan sinyal interferensi. Gambar 2.1 menunjukkan perbedaan dari sistem pada *array* tradisional dan pada sistem *smart antenna*, perbedaannya yang dapat dilihat yaitu terdapat algoritma pengolahan sinyal pada sistem *smart antenna*. *Smart antenna* mampu mengenali tanda sinyal khusus seperti DOA dari sebuah sinyal dan dapat pula digunakan untuk memperhitungkan vektor *beamforming*, yang bertujuan untuk mengenali lokasi dari *beam* antena pada keadaan bergerak (*mobile*). *Smart antenna* menjanjikan kualitas kemampuan dalam jaringan komunikasi bergerak. *Smart antenna* pada umumnya meliputi *switch beam* dan *beam formed adaptive system*. *Switched beam system* memiliki beberapa polaketerarahan yang ditetapkan sedangkan *beam formed adaptive system* mengarahkan keterarahan kepada SOI dan menghalangi sinyal interferensi.



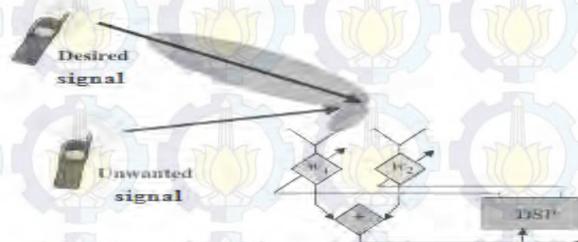
Gambar 2.1. (a) Array Tradisional (b) Smart Antenna (Gross, 2005)

2.2 Sitem *Smart Antenna*

Fungsi dari banyak sistem *engineering* lebih mudah untuk dimengerti saat sistem tersebut dihubungkan atau dianalogikan dengan sistem tubuh manusia. Hal ini juga berlaku pada sistem *smart antenna*. Sistem pada *smart antenna* dapat dimisalkan saat terdapat dua orang yang sedang melakukan percakapan di dalam ruangan tertutup, seperti pada Gambar 2.2(a). Jika terdapat seorang pendengar diantara dua orang tersebut, pendengar dapat memperkirakan dimana posisi orang yang sedang berbicara dalam ruangan tersebut, karena pendengar memiliki sensor suara, yaitu telinga. Manusia memiliki sebuah prosessor yang mampu mengolah sinyal yaitu berupa otak, otak mampu memperhitungkan atau memperkirakan arah dari pembicara pada waktu yang berbeda dari suara yang diterima oleh kedua telinga. Otak menambahkan kekuatan sinyal dari masing-masing telinga sehingga mampu untuk fokus pada suara yang ingin diperkirakan arah kedatangannya. Selain itu, jika seorang pembicara yang baru bergabung dalam percakapan, otak dapat membedakan dan menghilangkan (fokus) pada suara yang ingin didengarkan dan mengabaikan suara yang tidak diinginkan (*interferers*) pada suatu percakapan pada waktu tertentu.



(a). Sistem Pada Manusia



(b). Sistem Pada Smart Antenna

Gambar 2.2 Analogi Sistem *Smart Antenna*. (a) Sistem Pada Manusia; (b) *Smart Antenna*(Balanis 2012).

Sistem pada *smart antenna* mempunyai prinsip kerja sama seperti sistem tubuh pada manusia yang telah dianalogikan sebelumnya (Gambar 2.2 b). Namun pada *smart antenna* penerima sinyal berupa *antenna array* dan pengolahnya berupa *algorithm*. Sensor atau penerima sinyal berupa *array antenna* yang terdiri dari beberapa elemen antenna penyusun. Sehingga, saat prosesor sinyal mengukur *delay* waktu dari setiap elemen antena, selanjutnya arah kedatangan dari sinyal (DOA) dari *signal of interest* dihitung, maka akan dilakukan penyesuaian eksitasi (*gain* dan fase sinyal) untuk mendapatkan pola radiasi yang terfokus pada SOI, idealnya, sinyal yang lain akan berupa SNOI. (balanis, 2012)

2.3 Array Antenna

Beberapa antena yang disusun dengan berbagai konfigurasi geometri yang dapat menghasilkan pola radiasi yang direktif merupakan konfigurasi *array*. Dalam sebuah *array*, medan dari elemen individual menambahkan konstruksi pada satu arah tertentu dan destruktif pada arah yang lain. Pada beberapa kasus untuk mempermudah proses analitis, *array* diasumsikan terdiri dari unsur-unsur yang identik, namun dapat pula disusun dengan elemen sedemikian rupa sehingga masing-masing memiliki keunggulan pada *pattern*-nya. Keunggulan dari sistem *array* ini adalah kemampuan pemindaianya, yaitu, lobus utama dapat diarahkan menuju arah tertentu dengan cara mengubah fase arus eksitasi pada setiap elemen *array*-nya, selain itu, dengan mengatur arus eksitasinya, maka akan didapat berbagai macam pola radiasi dan karakteristik tingkat *sidelobe*. Pada antena adaptif, memiliki keunggulan lain dibanding sistem antena *array* yaitu kemampuan untuk mengarahkan lobus utama mereka ke arah yang diinginkan dan *null* dalam arah gangguan atau interferensi.

Array antena memiliki parameter-parameter utama yang dapat mempengaruhi kinerjanya, yaitu meliputi: geometri (*Linier, planar, sirkular*), jarak pemisah dari elemen-elemen yang berdekatan, amplitudo dari setiap elemen, fase eksitasi dari setiap elemen, pola radiasi dari setiap elemen (Fang 2010).

2.3.1 Prinsip Kerja Antena Array

Antena *array* pada smart antenna bekerja dengan cara menjumlahkan sinyal yang datang menuju antena penerima. Dengan mengkombinasikan output tiap-tiap elemen pada *array*, akan didapatkan *gain* dan direktifitas yang lebih tinggi. Antena *array* yang tersusun atas M elemen yang *uniform* dan memiliki jarak antar elemen sebesar $\frac{1}{2}\lambda$ dan terdapat beberapa sinyal yang menuju elemen-elemen antena tersebut, maka sinyal yang diterima oleh antena penerima adalah M kali sinyal. Saat ini sudah terdapat sistem lebih baik, sehingga dapat dilakukan optimasi untuk memperbesar kekuatan sinyal user tertentu sehingga pada saat yang bersamaan sistem *array* dapat memperkecil interferensi. Selain itu lebih dimungkinkan untuk mendapat pola radiasi seperti yang diinginkan.

2.3.2 Jenis-Jenis Antena Array

Antena *array* memiliki jenis-jenis tertentu yang mampu mendukung kinerja dari sistem penerimaan sinyal sehingga didapat performansi yang optimal. Gambar geometri antena ditunjukkan pada Gambar 2.3. Berikut adalah beberapa jenis-jenis antena *array* yang mampu mendukung kinerja dari sistem komunikasi:

2.3.2.1 Linear Array

Geometri paling sederhana dari antena array adalah geometri *lineararray*. Dimana setiap elemen-elemennya disusun segaris dan secara umum memiliki bentuk elemen yang seragam serta jarak antar elemennya juga sama. *Lineararray* merupakan geometri paling sederhana yang memiliki keunggulan mudah untuk dianalisis. Jumlah array paling sedikit adalah terdiri dari 2 elemen.

2.3.2.2 Planar Array

Geometri planar *array* ini tidak seperti geometri linear yang hanya dapat mendeteksi beam pada satu bidang sudut (θ atau ϕ), planar *array* mampu mendeteksi *beam* pada kedua sudut bidang yaitu ϕ dan juga θ . Planar *array* memiliki *gain* yang lebih tinggi dan memiliki *sidelobe* lebih sedikit jika dibandingkan dengan *lineararray*, pada penyusunan elemen yang banyak. Prinsip

dari desain antenna planar adalah elemen-elemen uniform disusun pada bidang dua dimensi.

2.3.2.3 Sirkular Array

Lineararray sangat bermanfaat dan instruktif namun antenna dengan geometri ini terkadang tidak sesuai untuk bangunan, yang menyebabkan struktur dan keadaan dari geometri ini tidak dapat terpasang. *Array* geometri lain diperlukan agar dapat mendukung *array* sirkular agar dapat digunakan sesuai dengan keperluan. Seperti keunggulan dari geometri *array* lainnya, sirkular *array* juga memiliki keuntungan dalam hal pengarahan *beam*.(Xiong 2012)

2.3.3 Elemen Pattern Pada Antena

Elemen *pattern* atau pola elemen merupakan faktor pola radiasi yang diperoleh dari karakterisasi dari setiap elemen individual dari sebuah elemen antenna *array* yang bergantung pada distribusi arus pada elemen antenna. Pola medan dari sebuah antenna *array* yang memiliki elemen sejenis merupakan hasil kali pola elemen (*array factor*). Proses untuk melakukan pemfaktoran dari sebuah antenna *array* menjadi sebuah elemen *pattern* dan *array factor* dilakukan berdasarkan proses *patternmultiplication*.(Lankin 2013).

2.3.4 MutualCoupling

Pola radiasi dari sebuah elemen antenna dapat berubah saat antenna tersebut beroperasi disekitar elemen antenna lain, hal ini dapat menyebabkan titik maksimum dari pola radiasi antenna dan titik lainnya bergeser, sehingga ketika efek intensitas dapat berkurang. Hal ini dapat menyebabkan menurunnya performansi dari sebuah antenna. Pembentukan *beam* dan estimasi *direction of arrival* (DOA) akan terganggu. Sehingga sistem mengalami kesalahan dalam mengenali arah kedatangan sinyal. Peristiwa ini disebabkan karena ada efek *mutual coupling* dari setiap elemen-elemen antenna *array*. Banyak upaya yang telah dilakukan untuk mengatasi efek dari *mutual coupling*, salah satu caranya adalah dengan *stering vector*. *Stering vector* digunakan untuk mengkomensasi vektor tegangan yang

diterima antenna *array* yang selanjutnya digunakan metode algoritma DoA.(Huang et al. 2013)

Efek *mutual coupling* dapat dikompensasi dengan metode *opencircuit* yang dilakukan dengan cara mengalikan vektor tegangan yang diterima oleh antenna dengan matrik impedansi dari elemen antenna *array* yang juga mencakup beban pada antenna (Z_l). Metode ini dapat bekerja secara maksimal saat diterapkan pada antenna *dipole* kecil namun kurang *valid* karena perlu dipertimbangkan efek *scattering* dan estimasi distribusi arus. Estimasi kompensasi efek *mutual coupling* lebih rumit jika diterapkan pada struktur yang lebih rumit. Hal ini akibat dari distribusi arus yang ada pada antenna tergantung pada arah kedatangan sinyal dan polarisasi gelombang kedatangan.(Salonen, Toropainen, and Vainikainen)(Singh, Sneha, and Jha 2013)

2.4 Estimasi Direction of Arrival (DoA)

Estimasi *direction of arrival* (DoA) dapat pula disebut dengan estimasi *spektral*, estimasi *angle of arrival* (AoA) atau estimasi *bearing*. Beberapa referensi awal mengacu pada estimasi spektral sebagai kemampuan untuk memilih berbagai komponen frekuensi dari koleksi sinyal. Kemudian konsep ini dipeluas sehingga mencakup masalah frekuensi bilangan gelombang dan estimasi AoA. Estimasi bearing merupakan istilah yang sering digunakan dalam komunitas Sonar dan estimasi AoA untuk masalah akustik. Estimasi DoA meliputi analisis *time series*, spektrum analisis, *periodograms*, metode struktur eigen, metode *parametric*, metode prediksi *linear*, *beamforming*, *array processing*, dan metode *adaptive array*.

2.4.1 Metode DOA konvensional

Metode DOA konvensional berbasis pada pembentukan *beam* dan *null steering* dan tidak mengeksploitasi bentuk asli yang diterima dari antenna atau model statistik dari sinyal dan *noise*. *Array* dapat diarahkan secara elektrik pada seluruh arah yang dimungkinkan serta mencari daya *output* yang memiliki nilai puncak. Beberapa jenis DOA konvensional adalah metode *delayandsum* dan metode *capon minimum variance*.

2.4.2 Metode DOA subspace

Meskipun metode *capon* pada DOA konvensional yang berbasis pembentukan *beamforming* secara klasik memiliki keberhasilan yang baik dalam hal mengestimasi arah kedatangan sinyal dan secara luas digunakan pada algoritma DOA, metode tersebut masih memiliki kelemahan, yaitu memiliki keterbatasan dalam segi resolusi. Kebanyakan dari kelemahan tersebut dikarenakan metode ini tidak mengeksplorasi struktur dari model input data. Ilmuan *Schmidh* serta *Bievenue* dan *Kopp* adalah ilmuan pertama yang mengeksplorasi struktur dari model data yang lebih akurat yaitu berupa sensor *array*. dengan bentuk yang bermacam-macam metode DOA dengan teknik *subspace* memberikan solusi dengan mempertimbangkan geometri dari input sinyal yang mempertimbangkan kehadirann *noise*. teknik ini dapat dikenal dengan MUSIC/ESPIRIT.

2.4.3 Metode DOA dengan Maximum Likelihood

Metode *maximum likelihood* adalah satu dari beberapa teknologi awal untuk mengestimasi DOA metode *maximum likelihood* ini memiliki keunggulan dari metode DOA dengan teknik *subspace* terutama ketika dilakukan pada sinyal kedatangan yang memiliki *signal to noise ratio* (SNR) yang rendah atau ketika jumlah *sample* yang digunakan pada sinyal rendah. Keunggulan lainnya adalah teknologi berbasis *maximul likelihood* ini dapat bekerja dengan baik pada kondisi sinyal yang berkorelasi.

2.4.4 Metode DOA terintegrasi

Metode DOA terintegrasi mengkombinasikan beberapa metode yang ada sebelumnya pada estimasi DOA. Perbaikan yang dilakukan umumnya pada nilai *matrik kovarian* dengan tujuan agar estimasi yang dilakukan mendapat hasil yang lebih akurat. Dengan mengkombinasi *iterative least square projection* (ILSP) *based* CMA dan teknik *subspace* pada MUSIC dan ESPIRT memungkinkan estimasi yang akurat dan mampu mengestimasi sinyal dari sumber yang *koheren*.

2.5 Algoritma MUSIC

MUSIC adalah kepanjangan dari *Multiple Signal Classification*. Metode ini pertama kali diperkenalkan oleh ilmuwan bernama *Schmidt* dan merupakan metode resolusi tinggi *eigenstruktur*. Metode ini menjanjikan kemampuan untuk memperkirakan jumlah sinyal, sudut kedatangan dan kekuatan dari bentuk dari sinyal. MUSIC mengasumsikan bahwa *noise* pada tiap *channel* yang tidak terhubung menyusun matrik diagonal *noise* yang berkorelasi. Terdapat beberapa sinyal yang berkorelasi dan membentuk *matrik nondiagonal*. Namun, dibawah sinyal korelasi tinggi dan algoritma MUSIC terpecahkan dan metode lain harus diimplementasikan untuk mengatasi kekurangan ini.

Parameter yang harus ditentukan terlebih dahulu adalah jumlah sinyal masuk atau dapat juga ditentukan melalui nilai eigen sehingga diketahui jumlah sinyal yang masuk. Jika jumlah sinyal yang masuk adalah sebanyak N , maka jumlah sinyal *eigenvalue* dan *eigenvector* adalah N , dan jumlah *noiseeigenvalue* dan *eigenvector*nya adalah $M-N$ (M adalah jumlah elemen *array*). Metode MUSIC memanfaatkan *noise eigenvalue subspace*, sehingga kadang disebut dengan metode *subspace*.

Pada subbab sebelumnya telah dibahas mengenai penentuan matrik korelasi berbagai asumsi noise yang tak berkorelasi dengan jenis yang sama.

$$\bar{R}_{uu} = \bar{A}\bar{R}_{ss}\bar{A}^H + \sigma_n^2\bar{I} \quad (2.1)$$

Selanjutnya dapat ditentukan *eigenvalue* dan *eigenvector* untuk \bar{R}_{uu} . Sehingga didapatkan dimensi subspace $M \times (M - N)$ dari noise *eigenvector*

$$V_n = [q_N q_{N+1} \dots q_{M-1}] \quad (2.2)$$

Noisesubspaceeigenvectororthogonal dengan terhadap *array steering vector* pada sudut kedatangan sinyal $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_N$. Analisa ini menunjukkan bahwa *eigenvector* pada matrik kovarian \bar{R}_{uu} merupakan dua *subspace* yang *ortogonal*, yang disebut dengan prinsip signal *subspace*. *Steering vector* yang berdasar pada arah sinyal tergantung kepada sinyal *subspace* dan *orthogonal* terhadap *noise subspace*. *Steering vector* pada komponen sinyal adalah *ortogonal* terhadap *noise subspace eigenvector* $V_n^H V_n^H a(\theta) = 0$ untuk θ berdasarkan komponen *multipath*.

Sehingga DOA dapat diestimasi menggunakan persamaan *pseudospectrum* sebagai berikut:

$$P_{MUSIC}(\theta) = \frac{1}{a^H(\theta)V_n V_n^H a(\theta)} \quad (2.3)$$

atau

$$P_{MUSIC}(\theta) = \frac{a^H(\theta)a(\theta)}{a^H(\theta)V_n V_n^H a(\theta)} \quad (2.4)$$

Dengan $a(\theta)$ = menyatakan *conventional steering vector*

θ = menyatakan sudut kedatangan sinyal

V_n = matrik $M \times (M-N)$ dengan kolomnya merupakan *noise subspace* dari matrik kovarian \bar{R}_{uu}

Jika digunakan *Universal steering vector*, maka persamaan *pseudospectrum* pada algoritma MUSIC adalah:

$$P_{MUSIC}(\theta) = \frac{a^{uH}(\theta)a^u(\theta)}{a^{uH}(\theta)V_n V_n^H a^u(\theta)} \quad (2.5)$$

a^{uH} menyatakan *universal steering vector (USV)*.(Ishizaki et al.)

2.6 Mutual Admitansi

Mutual admitansi merupakan salah satu komponen yang harus dilakukan estimasi sebelum dilakukan estimasi menggunakan *universal steering vektor*. Untuk mendapatkan *matrik mutual admitansi*, maka perlu dilakukan estimasi terhadap *mutual inpedance* terlebih dahulu, karena untuk menerapkan *mutual admitansi* pada *steering vector* perlu melakukan *invers* matrik dari *mutual impedansi*.

Array antenna dapat mengalami penurunan performa dikarenakan terjadi gangguan dalam penerimaan sinyal. Hal ini dapat disebabkan karenanya adanya interaksi antar elemen-elemen penyusun *array* yang menyebabkan perubahan arus yang terdapat pada antenna interaksi ini juga dapat merubah fase arus dan amplitudo tegangan dari nilai semestinya. Hal ini terjadi karena adanya efek

mutual coupling yang terjadi antara elemen *array*. Estimasi dilakukan dengan tujuan untuk mengatasi efek *mutual coupling* tersebut.

Arus pada elemen antenna tidak hanya tergantung pada sumber tegangan yang terdapat pada terminal antenna, namun tergantung pada elemen antenna lain.

2.6 Steering Vector pada Estimasi DoA

Steering vector merupakan vektor arah yang diperoleh dari *delay* waktu sinyal datang masing-masing elemen antenna *array* dimana elemen *array* pertama merupakan elemen referensi dari *steering vector* $e^{j0} = 1$ terhadap elemen yang lain untuk tiap jumlah sinyal yang datang.

2.6.1 Conventional Steering Vector

CSV pada estimasi DoA dapat dinyatakan dengan:

$$a(\theta) = e^{jk_j(r_1-r_0)} \quad (2.6)$$

dengan : r_1 = menyatakan posisi vektor i th dari elemen *array*

r_0 = menyatakan lokasi referensi dari fase sinyal datang

k_j = menyatakan nomor urutan dari vektor sinyal datang.

2.6.2 Universal Steering Vector

Universal steering vector digunakan karena terdapat efek *mutual coupling* yang dapat mempengaruhi performa dari *array* antenna. Sehingga dapat menurunkan estimasi DoA. Pada penelitian yang telah dilakukan, USV yang membawa efek *mutual coupling* diantara elemen *array*, maka kompensasi pada sinyal yang diterima untuk mengatasi efek *mutual coupling* tidak diperlukan lagi.

USV yang diterapkan pada antenna telah dievaluasi menggunakan *methods of momen* (MoM) sehingga estimasi DoA akan didapatkan dengan lebih akurat.

USV dinyatakan dengan $a^u(\theta)$ yang merupakan tegangan terima kompleks pada terminal ke i dari antenna *array*. Pada analisa MoM, elemen ke i dari *array* antenna dibagi menjadi beberapa segmen untuk dapat menghitung besarnya *mutual impedance* antar elemen. Besarnya *segment* yang diterapkan pada metode

Richmond untuk mengestimasi *mutual impeance* adalah kurang dari $\lambda/2\pi$ sehingga didapat hasil yang optimal.

Jika diasumsikan bahwa terminal *array* antenna diberikan beban sebesar Z_l , maka USV dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$[a^u(\theta)] = z_l [Y^{ter}] [V^{inc}(\theta)] \quad (2.7)$$

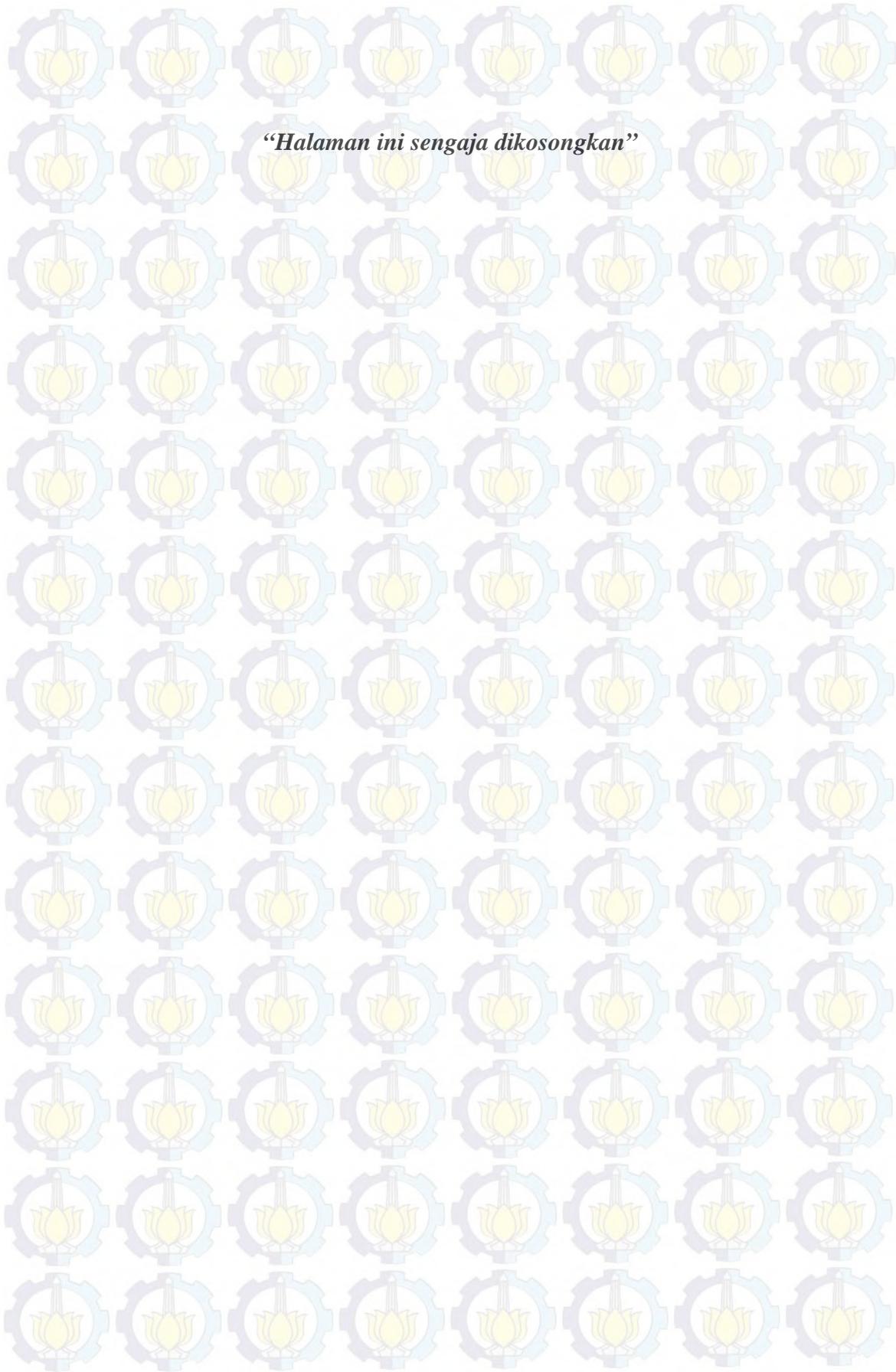
dengan : $[a^u(\theta)]$ = *universal steering vector*

z_l = beban pada terminal antenna

$[Y^{ter}]$ = Mutual admitansi terminal

$[V^{inc}(\theta)]$ = sinyal yang datang pada antenna

(Yuan, Chen, and Sawaya 2006)(Yuan, Chen, and Sawaya 2005)



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III PERENCANAAN PERHITUNGAN ALGORITMA MUSIC

3.1 Umum

Teori-teori yang melandasi pada penyusunan metode simulasi telah diuraikan pada bab sebelumnya, maka selanjutnya akan dibahas mengenai perancangan pemodelan sistem yang hendak direalisasikan agar dapat disusun program algoritma yang dimaksud. Pada tahap ini, hal yang harus diperhatikan yaitu pemodelan sinyal yang akan menjadi panduan dalam penyusunan algoritma perangkat *software*. Selanjutnya dari model sistem yang sudah ada, dapat ditentukan parameter-parameter apa saja yang akan menjadi parameter masukan sehingga dapat direncanakan proses yang akan dilakukan pada sistem dan dapat menghasilkan keluaran. Pada proses ini akan dapat direncanakan aliran program yang sesuai untuk proses tersebut.

3.2 Parameter yang digunakan

Parameter-parameter yang digunakan pada data atau sinyal yang dibangkitkan adalah sebagai berikut:

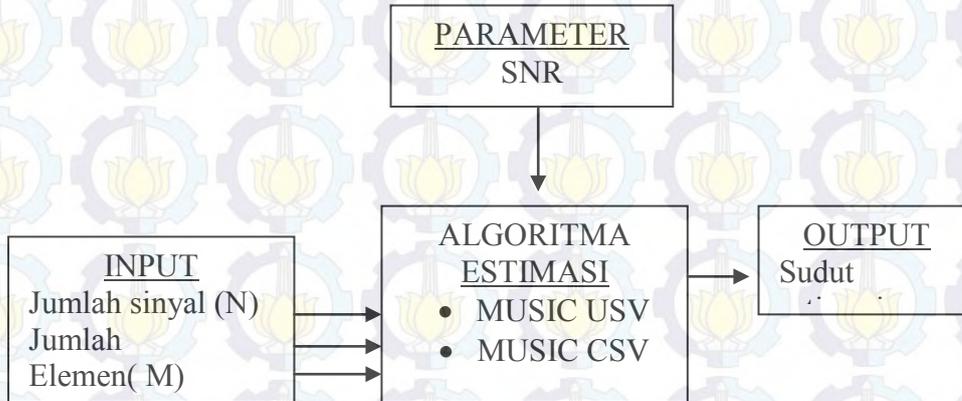
1. Input sinyal adalah random dengan banyaknya jumlah sinyal adalah sebanyak *sample data* (L) untuk masing-masing daya sinyal dan *noise*.
2. Jumlah sinyal input (N) dapat diganti-ganti, dengan persyaratan jumlah sinyal kurang dari jumlah elemen ($N < M$).
3. Amplitudo (A) dari data yang dikirim adalah 1.
4. SNR untuk *noise* bervariasi antara 0 sampai 20 dB.
5. Sudut θ berkisar antara 1° sampai 180° untuk estimasi 1D.
6. Sudut θ berkisar antara 1° sampai 90° dan ϕ berkisar antara 1° sampai 180° untuk estimasi 2D.

Sedangkan parameter-parameter yang digunakan pada antenna *array* adalah sebagai berikut:

1. Jumlah elemen (M) antenna dapat dapat diganti-ganti, dengan persyaratan jumlah sinyal kurang dari jumlah elemen ($N < M$).
2. Jumlah sumber sinyal (N) berupa titik pada bidang.
3. Jumlah *sample* (L).
4. Jarak antar elemen *array* (d) untuk linier *array*.

3.3 Blok Diagram Perencanaan Perhitungan

Langkah-langkah dalam perencanaan perhitungan dapat dilihat pada blok diagram berikut:



Gambar 3.1 Blok Diagram Alur Estimasi

3.4 Perencanaan Perhitungan Untuk Algoritma MUSIC

Perencanaan simulasi untuk algoritma MUSIC dilakukan dengan menggunakan metode *conventional steering vector* (CSV) dan metode *universal steering vector* (USV). Kedua metode tersebut akan digunakan untuk mengestimasi sudut kedatangan satu dimensi (*azimut*) dan dua dimensi (*azimut, elevation*).

3.4.1 Perencanaan Perhitungan Algoritma MUSIC 1D

Pada perancangan simulasi algoritma MUSIC 1D akan digunakan 2 metode, yaitu CSV dan USV. Pada perhitungan ini digunakan *linear array* dengan elemen penyusun berupa *patch antenna*. Berikut adalah langkah-langkah pada dua metode tersebut.

3.4.1.1 MUSIC CSV 1D

Perencanaan simulasi untuk algoritma MUSIC CSV 1D ini dilakukan dengan menentukan beberapa matrik, berikut adalah langkah-langkah untuk algoritma MUSIC CSV:

1. Menentukan Random Sinyal.

Random sinyal yang akan diterima oleh antena *array*. Random sinyal ini dapat dirumuskan sebagai:

$$s(t) = A_1 e^{j\phi} \quad (3.1)$$

dengan: A_1 = Amplitudo, ditentukan sama dengan satu

$$\phi = \beta d \cos \theta$$

random sinyal tergantung dari banyaknya sinyal yang datang yang mengenai antena dengan sudut kedatangan yang berbeda-beda. Selain itu bergantung pada L yang digunakan. Jika $N = 1$ yang mengenai antena *array* maka matrik untuk $s(t)$ adalah:

$$s(t) = [s_1 \ s_2 \ \dots \ s_L] \quad (3.2)$$

jika terdapat $N=1$ maka jumlah baris dan kolom pada $s(t)$ adalah satu kali L . Jika $N > 1$ maka matrik $s(t)$ -nya adalah:

$$s(t) = \begin{bmatrix} s_{11} & \dots & s_{1L} \\ s_{21} & \ddots & s_{2L} \\ \dots & \dots & \dots \\ s_{N1} & \dots & s_{NL} \end{bmatrix} \quad (3.3)$$

jumlah baris pada matrik $s(t)$ sama dengan N yang mengenai elemen *array*, dan jumlah kolom sama dengan L .

2. Mencari *Steering Vector*

Selanjutnya mencari matrik *steering vector* yang digunakan untuk menentukan dari mana sumber sinyal berasal. Persamaannya dapat dirumuskan dengan:

$$A(t) = e^{j\beta d \cos(\theta_i)} \quad (3.4)$$

dengan $N=1$ maka matrik arahnya adalah:

$$A(t) = \begin{bmatrix} 1 \\ e^{j\beta d \cos(\theta_1)} \\ \dots \\ e^{j\beta M \cos(\theta_1)} \end{bmatrix} \quad (3.5)$$

Jumlah baris dari matrik A tergantung dari M antena *array*.

Jika $N = 2$ yang mengenai antena *array* linier maka, matrik arahnya pada adalah sebagai berikut:

$$A(t) = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ e^{j\beta d \cos(\theta_1)} & e^{j\beta \cos(\theta_2)} \\ \dots & \dots \\ e^{j\beta M \cos(\theta_1)} & e^{j\beta M \cos(\theta_2)} \end{bmatrix} \quad (3.6)$$

Jumlah kolom dari matrik A tergantung pada N yang datang, dengan θ sama dengan sudut kedatangan dari masing-masing sinyal.

3. Menentukan matrik Noise.

Persamaan matrik dari noise adalah sebagai berikut:

$$n(t) = \begin{bmatrix} n_{11} & \dots & n_{1L} \\ \dots & \dots & \dots \\ n_{M1} & \dots & n_{ML} \end{bmatrix} \quad (3.7)$$

pada noise, jumlah matrik kolomnya tergantung pada L yang digunakan, dan jumlah matrik barisnya tergantung dari jumlah elemen M pada antena array.

4. Menentukan matrik sinyal pada array

Persamaan sinyal pada array adalah sebagai berikut:

$$u(t) = A(t)s(t) + n(t) \quad (3.8)$$

$$A = \begin{bmatrix} A_1 \\ \dots \\ A_{(M-1)} \end{bmatrix} \quad (3.9)$$

jika $N = 1$ yang datang maka matrik dari persamaan sinyal pada array dinyatakan sebagai berikut:

$$u(t) = \begin{bmatrix} A_1 \\ \dots \\ A_{(M-1)} \end{bmatrix} [s_1 \ s_2 \ \dots \ s_L] + \begin{bmatrix} n_{11} & \dots & n_{1L} \\ \dots & \dots & \dots \\ n_{(M-1)1} & \dots & n_{(M-1)L} \end{bmatrix} \quad (3.10)$$

Jumlah matrik kolom pada $u(t)$ tergantung pada L , sedangkan matrik barisnya tergantung pada $(M-1)$ antena array.

5. Menentukan kovarian matrik dari matrik sinyal

Setelah diketahui matrik $u(t)$, selanjutnya adalah mencari covarian matrik $u(t)$, persamaannya adalah sebagai berikut:

$$\hat{R}_{uu} = \frac{1}{L} \sum_{l=0}^{L-1} u_1 u_1^H \quad (3.11)$$

Jumlah baris dan kolom pada R_{uu} sama dengan jumlah sinyal x jumlah elemen.

6. Mencari nilai *eigenvalue* dan *eigenvector*

Nilai R_{uu} dapat digunakan untuk mencari nilai *eigenvalue* dan *eigenvector*.

Matrik *eigenvalue* dinyatakan sebagai:

$$D = \begin{bmatrix} d_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & d_2 & & 0 \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ 0 & \dots & & d_{2(M-1)} \end{bmatrix} \quad (3.12)$$

Jumlah baris dan kolom D sama dengan jumlah baris dan kolom pada R_{uu} .

Matrik *eigenvector* dinyatakan dengan:

$$V = \begin{bmatrix} V_{11} & \dots & V_{12(M-1)} \\ V_{21} & \dots & V_{22(M-1)} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ V_{2(M-1)1} & \dots & V_{2(M-1)2(M-1)} \end{bmatrix} \quad (3.13)$$

Jumlah baris dan kolom pada V sama dengan jumlah baris dan kolom pada D.

7. Menentukan *noise subspace*

Langkah selanjutnya adalah dengan mencari nilai V_n yaitu berasal dari nilai *eigenvalue* dengan jumlah kolom sesuai dengan N. Jika terdapat 1 sinyal maka matrik V_n adalah sebagai berikut:

$$V_n = \begin{bmatrix} V_{11} & V_{21} & \dots & V_{1N} \\ V_{21} & V_{22} & \ddots & V_{2N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ V_{M1} & V_{M2} & \dots & V_{MN} \end{bmatrix} \quad (3.14)$$

8. Plot spectrum MUSIC

Kemudian menghitung spectrum MUSIC dengan menggunakan teta dari 1° hingga 180° menggunakan persamaan:

$$\hat{P}_{\text{MUSIC}}(\theta) = \frac{a^H(\theta)a(\theta)}{a^H(\theta)V_n V_n^H a(\theta)} \quad (3.15)$$

Dari persamaan tersebut akan diketahui nilai dari *spectrum* tiap sudut. Selanjutnya dilihat nilai *spectrum* MUSIC yang paling tinggi.

3.4.1.2 MUSIC USV 1D

Pada metode ini, langkah-langkah yang digunakan dalam penyusunan algoritma hampir sama seperti pada penyusunan metode MUSIC menggunakan CSV. Yang membedakan adalah terdapat pada *steering vector*nya. Berikut adalah langkah-langkahnya:

1. Menentukan Random Sinyal.

Random sinyal yang akan diterima oleh antena *array*. Random sinyal ini dapat dirumuskan sebagai:

$$s(t) = A_1 e^{j\phi} \quad (3.16)$$

dengan: A_1 = Amplitudo, ditentukan sama dengan satu

$$\phi = \beta d \cos \theta$$

random sinyal tergantung dari banyaknya sinyal yang datang yang mengenai antena dengan sudut kedatangan yang berbeda-beda. Selain itu bergantung pada L yang digunakan. Jika $N = 1$ yang mengenai antena *array* maka matrik untuk $s(t)$ adalah

$$s(t) = [s_1 \ s_2 \ \dots \ s_L] \quad (3.17)$$

jika terdapat $N=1$ maka jumlah baris dan kolom pada $s(t)$ adalah satu kali L . Jika $N > 1$ maka matrik $s(t)$ -nya adalah:

$$s(t) = \begin{bmatrix} s_{11} & \dots & s_{1L} \\ s_{21} & \dots & s_{2L} \\ \dots & \dots & \dots \\ s_{N1} & \dots & s_{NL} \end{bmatrix} \quad (3.18)$$

jumlah baris pada matrik $s(t)$ sama dengan N yang mengenai elemen *array*, dan jumlah kolom sama dengan L .

2. Mencari *Steering Vector*

Selanjutnya mencari matrik *steering vector* yang digunakan untuk menentukan dari mana sumber sinyal berasal. Berbeda dengan metode CSV, metode ini memperhitungkan adanya mutual impedansi antara elemen antena. Sehingga persamaan untuk *steering vectornya* adalah sebagai berikut:

$$[a^u(\theta)] = Z_l [Y^{Ter}] [V_{inc}] \quad (3.19)$$

Dengan: $[a^u(\theta)] = \text{Universal steering vector}$

$Z_l = \text{Impedansi saluran antena}$

$[Y^{Ter}] = \text{Mutual admitasi pada terminal antena}$

$[V_{inc}] = \text{Matrik sinyal datang pada antena} = A(t) = e^{j\beta d \cos(\theta)}$

$[Y^{Ter}]$ dihitung menggunakan MoM (*methode of moments*) dengan program V-CALAR.

Matrik $[Y^{Ter}]$ memiliki ukuran $N \times (N \times Sg)$.

3. Menentukan matrik *Noise*.

Persamaan matrik dari noise adalah sebagai berikut:

$$n(t) = \begin{bmatrix} n_{11} & \dots & n_{1L} \\ \dots & \dots & \dots \\ n_{M1} & \dots & n_{ML} \end{bmatrix} \quad (3.20)$$

pada *noise*, jumlah matrik kolomnya tergantung pada L yang digunakan, dan jumlah matrik barisnya tergantung dari jumlah elemen M pada antena *array*.

4. Menentukan matrik sinyal pada *array*

Persamaan sinyal pada *array* adalah sebagai berikut:

$$u(t) = A(t)s(t) + n(t) \quad (3.21)$$

5. Menentukan *covarian* matrik dari matrik sinyal

Setelah diketahui matrik $u(t)$, selanjutnya adalah mencari *covarian* matrik $u(t)$, persamaannya adalah sebagai berikut:

$$\hat{R}_{uu} = \frac{1}{L} \sum_{l=0}^{L-1} u_1 u_1^H \quad (3.22)$$

Jumlah baris dan kolom pada R_{uu} sama dengan jumlah sinyal x jumlah elemen.

6. Mencari nilai *eigenvalue* dan *eigenvector*

Nilai R_{uu} dapat digunakan untuk mencari nilai *eigenvalue* dan *eigenvector*.

Matrik *eigenvalue* dinyatakan sebagai:

$$D = \begin{bmatrix} d_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & d_2 & & 0 \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ 0 & \dots & & d_{2(M-1)} \end{bmatrix} \quad (3.23)$$

Jumlah baris dan kolom D sama dengan jumlah baris dan kolom pada R_{uu} .

Matrik *eigenvector* dinyatakan dengan:

$$V = \begin{bmatrix} V_{11} & \dots & V_{12(M-1)} \\ V_{21} & \dots & V_{22(M-1)} \\ \vdots & \dots & \vdots \\ V_{2(M-1)1} & \dots & V_{2(M-1)2(M-1)} \end{bmatrix} \quad (3.24)$$

Jumlah baris dan kolom pada V sama dengan jumlah baris dan kolom pada D .

7. Menentukan *noise supspace*

Langkah selanjutnya adalah dengan mencari nilai V_n yaitu berasal dari nilai *eigenvalue* dengan jumlah kolom sesuai dengan N . Jika terdapat 1 sinyal maka matrik

V_n adalah sebagai berikut:

$$V_n = \begin{bmatrix} V_{11} & V_{21} & \dots & V_{1N} \\ V_{21} & V_{22} & \dots & V_{2N} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ V_{M1} & V_{M2} & \dots & V_{MN} \end{bmatrix} \quad (3.25)$$

8. Plot *spectrum* MUSIC

Kemudian menghitung *spectrum* MUSIC dengan menggunakan teta dari 1° hingga 180° menggunakan persamaan:

$$\hat{P}_{\text{MUSIC}}(\theta) = \frac{a^{uH}(\theta)a^u(\theta)}{a^{uH}(\theta)V_n V_n^H a^u(\theta)} \quad (3.26)$$

Dari persamaan tersebut akan diketahui nilai dari *spectrum* tiap sudut. Selanjutnya dilihat nilai *spectrum* MUSIC yang paling tinggi.

3.4.1 Perencanaan Perhitungan Algoritma MUSIC 2D

Pada perancangan simulasi Algoritma MUSIC 1D akan digunakan 2 metode, yaitu CSV dan USV. Pada perhitungan ini digunakan *Circular array* dengan elemen penyusun berupa *patch antenna*. Berikut adalah langkah-langkah pada dua metode tersebut.

3.4.2.1 MUSIC CSV 2D

Perencanaan simulasi untuk algoritma MUSIC CSV 2D ini dilakukan dengan menentukan beberapa matrik, berikut adalah langkah-langkah untuk algoritma MUSIC CSV:

1. Menentukan Random Sinyal.

Random sinyal yang akan diterima oleh antenna array. Random sinyal ini dapat dirumuskan sebagai:

$$s(t) = A_1 e^{j\phi} \quad (3.27)$$

dengan: A_1 = Amplitudo, ditentukan sama dengan satu

$$\phi = \beta d \cos \theta$$

random sinyal tergantung dari banyaknya sinyal yang datang yang mengenai antenna dengan sudut kedatangan yang berbeda-beda. Selain itu bergantung pada L yang digunakan. Jika $N = 1$ yang mengenai antenna array maka matrik untuk $s(t)$ adalah

$$s(t) = [s_1 \ s_2 \ \dots \ s_L] \quad (3.28)$$

jika terdapat $N=1$ maka jumlah baris dan kolom pada $s(t)$ adalah satu kali L . Jika $N > 1$ maka matrik $s(t)$ -nya adalah:

$$s(t) = \begin{bmatrix} s_{11} & \dots & s_{1L} \\ s_{21} & \ddots & s_{2L} \\ \dots & & \dots \\ s_{N1} & & s_{NL} \end{bmatrix} \quad (3.29)$$

jumlah baris pada matrik $s(t)$ sama dengan N yang mengenai elemen *array*, dan jumlah kolom sama dengan L .

2. Mencari *Steering Vector*

Selanjutnya mencari matrik *steering vector* yang digunakan untuk menentukan dari mana sumber sinyal berasal. Persamaannya dapat dirumuskan dengan:

$$A(\emptyset, \theta) = e^{j2\pi f \Delta M(\emptyset, \theta)} \quad (3.30)$$

dengan $N = 1$ maka matrik arahnya adalah:

$$A(\varnothing, \theta) = \begin{bmatrix} 1 \\ e^{j\beta d \cos(\varnothing, \theta_1)} \\ \dots \\ e^{j\beta M \cos(\varnothing, \theta_1)} \end{bmatrix} \quad (3.31)$$

Jumlah baris dari matrik A tergantung dari M antena array.

Jika $N=2$ yang mengenai antena *array linier* maka, matrik arahnya pada adalah sebagai berikut:

$$A(\varnothing, \theta) = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ e^{j\beta d \cos(\varnothing, \theta_1)} & e^{j\beta d \cos(\varnothing, \theta_2)} \\ \dots & \dots \\ e^{j\beta M \cos(\varnothing, \theta_1)} & e^{j\beta M \cos(\varnothing, \theta_2)} \end{bmatrix} \quad (3.32)$$

Jumlah kolom dari matrik A tergantung pada N yang datang, dengan θ sama dengan sudut kedatangan dari masing-masing sinyal.

3. Menentukan matrik *Noise*.

Persamaan matrik dari *noise* adalah sebagai berikut:

$$n(t) = \begin{bmatrix} n_{11} & \dots & n_{1L} \\ \dots & \dots & \dots \\ n_{M1} & \dots & n_{ML} \end{bmatrix} \quad (3.33)$$

pada *noise*, jumlah matrik kolomnya tergantung pada L yang digunakan, dan jumlah matrik barisnya tergantung dari jumlah elemen M pada antena *array*.

4. Menentukan matrik sinyal pada *array*

persamaan sinyal pada *array* adalah sebagai berikut:

$$u(t) = A(\varnothing, \theta)s(t) + n(t) \quad (3.34)$$

$$A = \begin{bmatrix} A_1 \\ \dots \\ A_{(M-1)} \end{bmatrix} \quad (3.35)$$

jika $N = 1$ yang datang maka matrik dari persamaan sinyal pada *array* dinyatakan sebagai berikut:

$$u(t) = \begin{bmatrix} A_1 \\ \dots \\ A_{(M-1)} \end{bmatrix} [s_1 \ s_2 \ \dots \ s_L] + \begin{bmatrix} n_{11} & \dots & n_{1L} \\ \dots & \dots & \dots \\ n_{(M-1)1} & \dots & n_{(M-1)L} \end{bmatrix} \quad (3.36)$$

Jumlah matrik kolom pada $u(t)$ tergantung pada L , sedangkan matrik barisnya tergantung pada $(M-1)$ antena *array*.

5. Menentukan *covarian* matrik dari matrik sinyal

Setelah diketahui matrik $u(t)$, selanjutnya adalah mencari *covarian* matrik $u(t)$, persamaannya adalah sebagai berikut:

$$\hat{R}_{uu} = \frac{1}{L} \sum_{l=0}^{L-1} u_1 u_1^H \quad (3.37)$$

Jumlah baris dan kolom pada R_{uu} sama dengan jumlah sinyal x jumlah elemen.

6. Mencari nilai *eigenvalue* dan *eigenvector*

Nilai R_{uu} dapat digunakan untuk mencari nilai *eigenvalue* dan *eigenvector*. Matrik *eigenvalue* dinyatakan sebagai:

$$D = \begin{bmatrix} d_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & d_2 & & 0 \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ 0 & \dots & & d_{2(M-1)} \end{bmatrix} \quad (3.38)$$

Jumlah baris dan kolom D sama dengan jumlah baris dan kolom pada R_{uu} .

Matrik *eigenvector* dinyatakan dengan:

$$V = \begin{bmatrix} V_{11} & \dots & V_{12(M-1)} \\ V_{21} & & V_{22(M-1)} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ V_{2(M-1)1} & \dots & V_{2(M-1)2(M-1)} \end{bmatrix} \quad (3.39)$$

Jumlah baris dan kolom pada V sama dengan jumlah baris dan kolom pada D .

7. Menentukan *noise subspace*

Langkah selanjutnya adalah dengan mencari nilai V_n yaitu berasal dari nilai *eigenvalue* dengan jumlah kolom sesuai dengan N . Jika terdapat 1 sinyal maka matrik V_n adalah sebagai berikut:

$$V_n = \begin{bmatrix} V_{11} & V_{21} & \dots & V_{1N} \\ V_{21} & V_{22} & \dots & V_{2N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ V_{M1} & V_{M2} & \dots & V_{MN} \end{bmatrix} \quad (3.40)$$

8. *Plot spectrum MUSIC*

Kemudian menghitung spectrum MUSIC dengan menggunakan teta dari 1° hingga 180° menggunakan persamaan:

$$\hat{P}_{MUSIC}(\theta, \theta) = \frac{a^{uH}(\theta, \theta) a^u(\theta, \theta)}{a^{uH}(\theta, \theta) V_n V_n^H a^u(\theta, \theta)} \quad (3.41)$$

Dari persamaan tersebut akan diketahui nilai dari spectrum tiap sudut. Selanjutnya dilihat nilai spectrum MUSIC yang paling tinggi.

3.4.2.2 MUSIC USV 2D

Pada metode ini, langkah-langkah yang digunakan dalam penyusunan algoritma hampir sama seperti pada penyusunan metode MUSIC menggunakan CSV. Yang membedakan adalah terdapat pada *steering vector*-nya. Berikut adalah langkah-langkahnya:

1. Menentukan Random Sinyal.

Random sinyal yang akan diterima oleh antena *array*. Random sinyal ini dapat dirumuskan sebagai:

$$s(t) = A_1 e^{j\phi} \quad (3.42)$$

dengan: A_1 = Amplitudo, ditentukan sama dengan satu

$$\phi = \beta d \cos \theta$$

random sinyal tergantung dari banyaknya sinyal yang datang yang mengenai antena dengan sudut kedatangan yang berbeda-beda. Selain itu bergantung pada L yang digunakan. Jika $N = 1$ yang mengenai antena array maka matrik untuk $s(t)$ adalah

$$s(t) = [s_1 \ s_2 \ \dots \ s_L] \quad (3.43)$$

jika terdapat $N=1$ maka jumlah baris dan kolom pada $s(t)$ adalah satu kali L . Jika $N > 1$ maka matrik $s(t)$ -nya adalah:

$$s(t) = \begin{bmatrix} s_{11} & \dots & s_{1L} \\ s_{21} & \ddots & s_{2L} \\ \dots & \dots & \dots \\ s_{N1} & \dots & s_{NL} \end{bmatrix} \quad (3.44)$$

jumlah baris pada matrik $s(t)$ sama dengan N yang mengenai elemen *array*, dan jumlah kolom sama dengan L .

2. Mencari *Steering Vector*

Selanjutnya mencari matrik *steering vector* yang digunakan untuk menentukan dari mana sumber sinyal berasal. Berbeda dengan metode CSV, metode ini memperhitungkan adanya mutual impedansi antara elemen antena. Sehingga persamaan untuk *steering vector*-nya adalah sebagai berikut:

$$[a^u(\theta)] = Z_1 [Y^{Ter}] [V_{inc}] \quad (3.45)$$

Dengan: $[a^u(\theta)]$ = *Universal steering vector*

Z_1 = Impedansi saluran antena

$[Y^{Ter}]$ = Mutual admitansi pada terminal antena

$[V_{inc}]$ = Matrik sinyal datang pada antena = $A(t) = e^{j2\pi f \Delta M(\theta, \theta)}$

$[Y^{Ter}]$ dihitung menggunakan MoM (*methode of moments*) dengan program V-CALAR. Matrik $[Y^{Ter}]$ memiliki ukuran $N_x(N_x S_g)$.

3. Menentukan matrik *Noise*.

Persamaan matrik dari *noise* adalah sebagai berikut:

$$n(t) = \begin{bmatrix} n_{11} & \dots & n_{1L} \\ \dots & \dots & \dots \\ n_{M1} & \dots & n_{ML} \end{bmatrix} \quad (3.46)$$

pada *noise*, jumlah matrik kolomnya tergantung pada L yang digunakan, dan jumlah matrik barisnya tergantung dari jumlah elemen M pada antena *array*.

4. Menentukan matrik sinyal pada *array*

Persamaan sinyal pada *array* adalah sebagai berikut:

$$u(t) = A(\theta, \theta) s(t) + n(t) \quad (3.47)$$

5. Menentukan *covarian* matrik dari matrik sinyal

Setelah diketahui matrik $u(t)$, selanjutnya adalah mencari *covarian* matrik $u(t)$, persamaannya adalah sebagai berikut:

$$\hat{R}_{uu} = \frac{1}{L} \sum_{l=0}^{L-1} u_l u_l^H \quad (3.48)$$

Jumlah baris dan kolom pada R_{uu} sama dengan jumlah sinyal x jumlah elemen.

6. Mencari nilai *eigenvalue* dan *eigenvector*

Nilai R_{uu} dapat digunakan untuk mencari nilai *eigenvalue* dan *eigenvector*. Matrik *eigenvalue* dinyatakan sebagai:

$$D = \begin{bmatrix} d_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & d_2 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ 0 & \dots & \dots & d_{2(M-1)} \end{bmatrix} \quad (3.49)$$

Jumlah baris dan kolom D sama dengan jumlah baris dan kolom pada R_{uu} .

Matrik *eigenvector* dinyatakan dengan:

$$V = \begin{bmatrix} v_{11} & \dots & v_{12(M-1)} \\ v_{21} & \dots & v_{22(M-1)} \\ \vdots & \dots & \vdots \\ v_{2(M-1)1} & \dots & v_{2(M-1)2(M-1)} \end{bmatrix} \quad (3.50)$$

Jumlah baris dan kolom pada V sama dengan jumlah baris dan kolom pada D .

7. Menentukan *noise supspace*

Langkah selanjutnya adalah dengan mencari nilai V_n yaitu berasal dari nilai eigenvalue dengan jumlah kolom sesuai dengan N . Jika terdapat 1 sinyal maka matrik V_n adalah sebagai berikut:

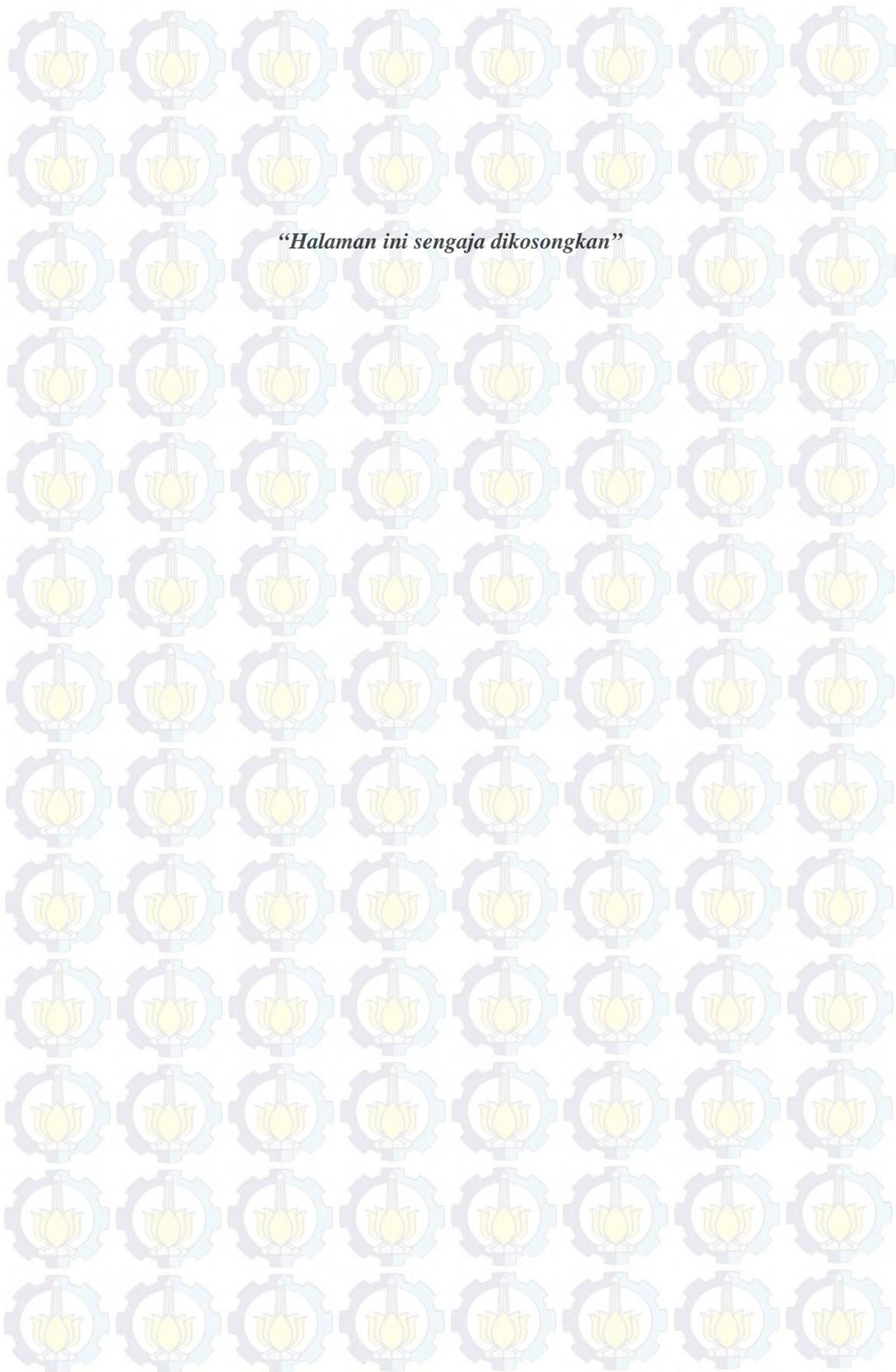
$$V_n = \begin{bmatrix} V_{11} & V_{21} & \dots & V_{1N} \\ V_{21} & V_{22} & \ddots & V_{2N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ V_{M1} & V_{M2} & \dots & V_{MN} \end{bmatrix} \quad (3.51)$$

8. *Plot spectrum MUSIC*

Kemudian menghitung spectrum MUSIC dengan menggunakan teta dari 1° hingga 180° dan phi 1° hingga 360° dengan persamaan:

$$\hat{P}_{\text{MUSIC}}(\phi, \theta) = \frac{a^{uH}(\phi, \theta) a^u(\phi, \theta)}{a^{uH}(\phi, \theta) V_n V_n^H a^u(\phi, \theta)} \quad (3.52)$$

Dari persamaan tersebut akan diketahui nilai dari *spectrum* tiap sudut. Selanjutnya dilihat nilai *spectrum* MUSIC yang paling tinggi.



BAB IV HASIL DAN ANALISA DATA

4.1 Model Sistem

Dalam sistem komunikasi penentuan sumber kedatangan sinyal sangat bermanfaat untuk menentukan *beam* pada daerah yang diinginkan. Metode ini bermanfaat untuk menyelesaikan permasalahan nyata, khususnya pada penentuan sumber lokasi *radar* dan *sonar*, sehingga antena dapat diarahkan tepat pada daerah sumber sinyalnya. Sumber sinyal dalam simulasi ini dapat diketahui dari besar sudut kedatangannya yang sampai pada kedua jenis antena *array* (*linear* dan *circular*). Sumber sinyal diasumsikan terletak pada medan jauh dari antena *array*.

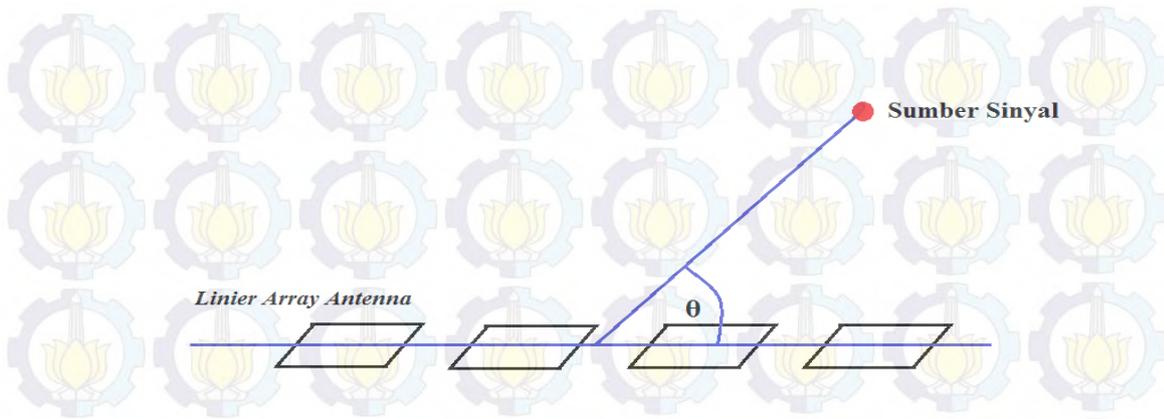
4.2 Proses Perhitungan

Perhitungan pada algoritma ini dilakukan dengan menentukan sumber kedatangan sinyal pada arah tertentu. Algoritma ini menggunakan dua jenis geometri antena, yaitu *linear* untuk estimasi 1D dan *circular* untuk estimasi 2D, dengan N yang berbeda-beda dan M yang berbeda-beda pula. Dengan menentukan d (jarak) tiap elemen sebesar $\lambda/4$ pada estimasi 1D dan untuk estimasi 2D tergantung dari banyaknya elemen. Ini digunakan untuk memperkirakan sudut kedatangan sinyal tersebut. Berikut merupakan langkah-langkah untuk melakukan simulasi:

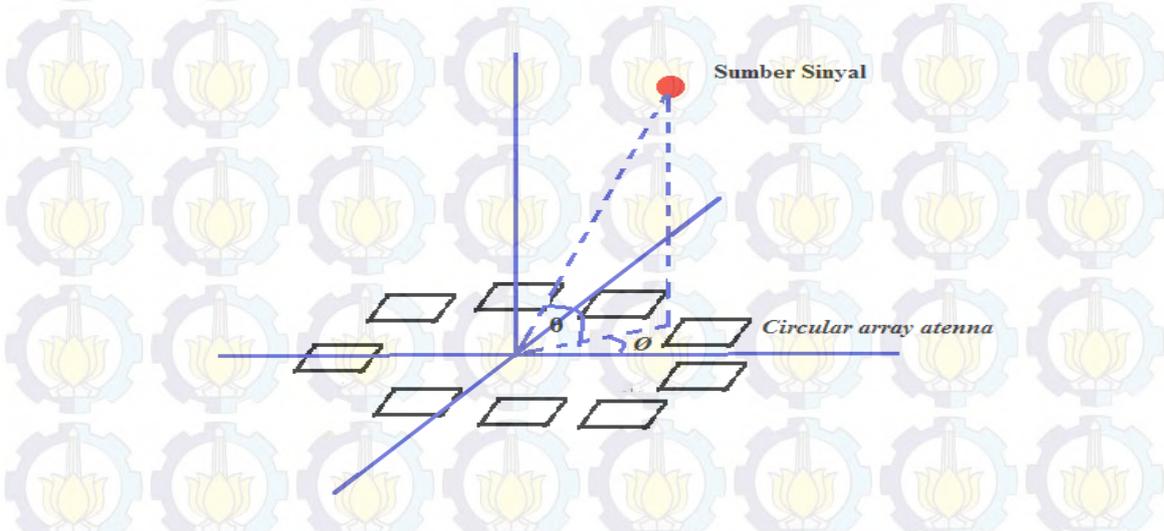
1. Menentukan N jumlah sinyal yang mengenai antena *array*.
2. Menentukan posisi sumber sinyal pada sudut θ (1D) dan pada sudut (ϕ, θ) (2D).
3. Menentukan M jumlah elemen antenna yang akan digunakan.
4. Menentukan random sinyal dengan jumlah L jumlah sample dapat diubah-ubah.

4.3 Analisa Data

Simulasi ini dilakukan dengan menentukan sudut kedatangan pada posisi tertentu, yang dapat diilustrasikan seperti pada gambar di bawah ini.



Gambar 4.1 Ilustrasi penempatan sinyal pada estimasi 1D dengan sudut kedatangan tertentu.



Gambar 4.2 Ilustrasi penempatan sinyal pada estimasi 2D dengan sudut kedatangan tertentu.

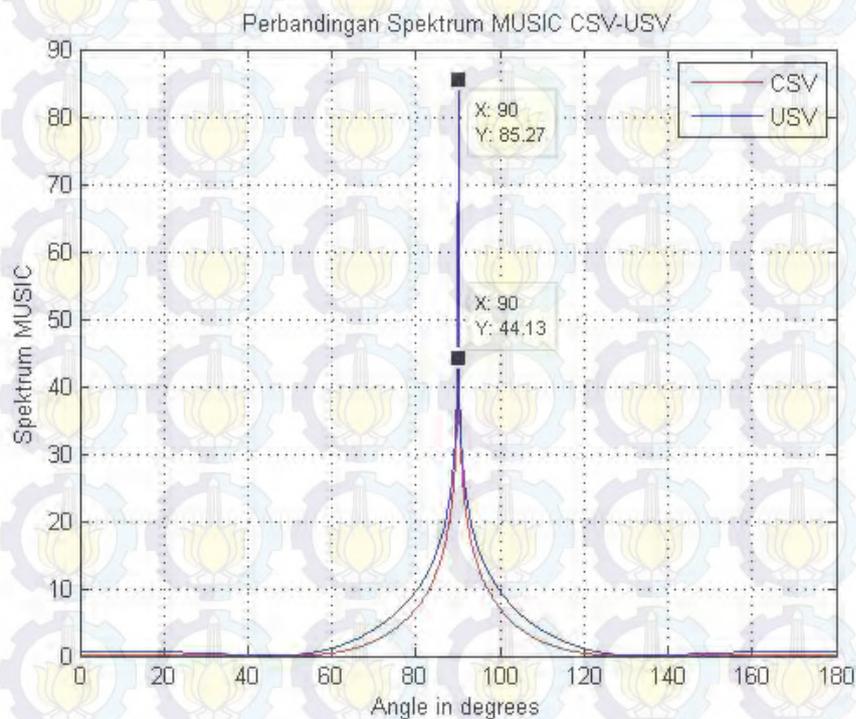
4.3.1 Algoritma MUSIC 1D

Pada simulasi diasumsikan bahwa sekelompok sumber sinyal dengan sudut kedatangan sinyal yang berbeda-beda, simulasi dilakukan hanya pada *elevation* saja, oleh karena itu estimasi ini disebut dengan estimasi MUSIC 1D, dapat ditentukan posisi sumber sinyal tersebut dengan sudut kedatangan tertentu(θ), selanjutnya di sini akan dijelaskan variabel apa saja yang digunakan untuk menganalisis sudut kedatangan tersebut, variabelnya adalah sebagai berikut:

- θ = sudut kedatangan.
- θ_i = estimasi sudut kedatangan.
- L = jumlah sample.
- N = jumlah elemen.
- M = jumlah sinyal.

4.3.1.1 Estimasi MUSIC 1D $N=1$

Gambar 4.3 menunjukkan spektrum MUSIC dari estimasi menggunakan metode CSV dan USV., dimana metode USV memperhitungkan efek mutual coupling dari elemen *array* antena. Estimasi sudut kedatangan dilakukan pada $N=1, M=6, L=1000, \theta = 90^\circ$ dan SNR Input = 20dB.



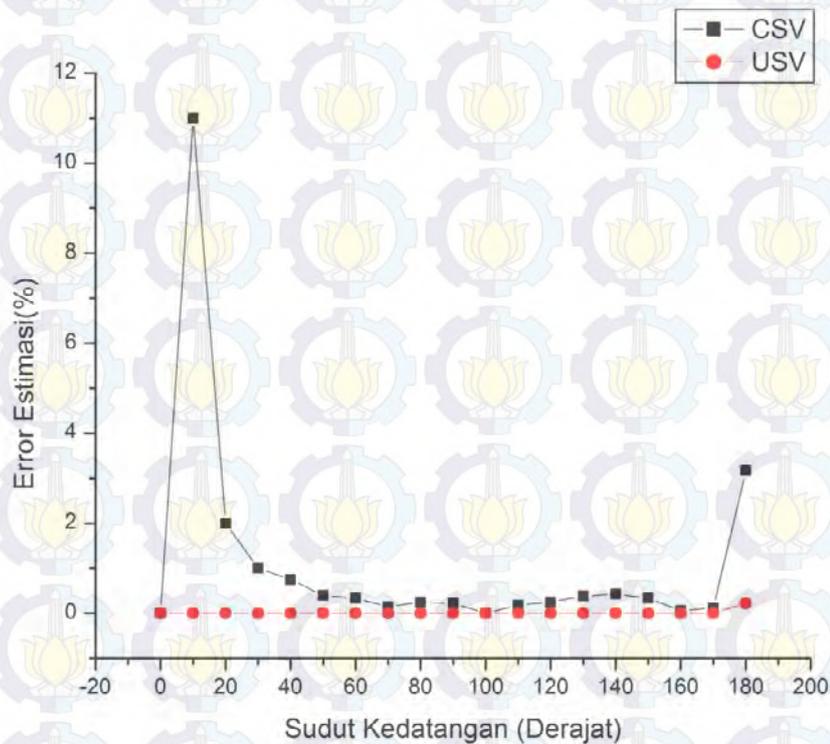
Gambar 4.3 Spektrum MUSIC1D CSV dan USV dengan $N=1, M=6, L=1000, \theta = 90^\circ$, SNR Input = 20dB. X= Sudut, Y=Spektrum.

Kedua simulasi menunjukkan hasil yang sama-sama tajam. Hal ini disebabkan jumlah sinyal yang datang atau sinyal yang diestimasi adalah sebesar satu, $N=1$. Sehingga estimasi dapat dilakukan dengan baik pada sudut kedatangan 90° . Namun hasil USV menunjukkan nilai spektrum yang lebih tajam jika

dibandingkan dengan hasil menggunakan metode CSV. Semua estimasi MUSIC 1D dilakukan dengan ketelitian sebesar 0.1 derajat.

4.3.1.2 Error Estimasi Sebagai Fungsi Sudut Kedatangan

Estimasi dilanjutkan dengan mencari error terhadap fungsi sudut kedatangan (teta). Gambar 4.4 menunjukkan error estimasi terhadap teta dengan $N=1$, $M=6$, $L=100$, $\theta = 0^\circ, 10^\circ, 20^\circ, 30^\circ, 40^\circ, 50^\circ, 60^\circ, 70^\circ, 80^\circ, 90^\circ, 100^\circ, 110^\circ, 120^\circ, 130^\circ, 140^\circ, 150^\circ, 160^\circ, 170^\circ, 180^\circ$, SNR Input = 10 dB.



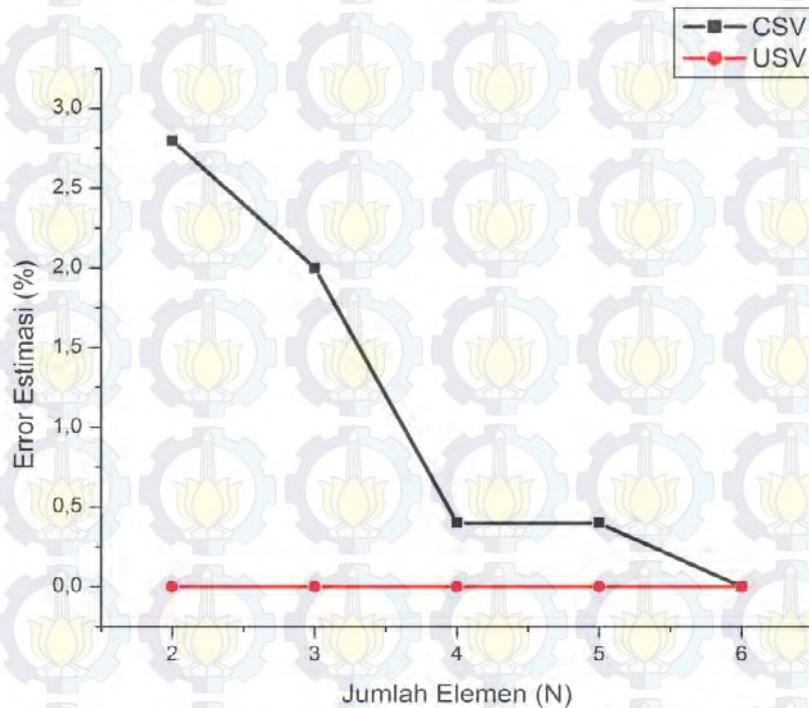
Gambar 4.4 Error Estimasi MUSIC 1D CSV dan USV dengan dengan $N=1$, $M=6$, $L=100$, $\theta = 0^\circ, 10^\circ, 20^\circ, 30^\circ, 40^\circ, 50^\circ, 60^\circ, 70^\circ, 80^\circ, 90^\circ, 100^\circ, 110^\circ, 120^\circ, 130^\circ, 140^\circ, 150^\circ, 160^\circ, 170^\circ, 180^\circ$, SNR Input = 10dB.

Metode USV menunjukkan *error* estimasi hampir mendekati 0 (nol) kecuali pada sudut kedatangan 180° menunjukkan nilai *error* sebesar 0,2 %. Pada metode CSV *error* estimasi terbesar adalah pada sudut 10° dan selanjutnya pada sudut 180° ,

selain sudut tersebut, *error* yang terjadi adalah hampir mendekati nol persen. Ini menunjukkan bahwa estimasi MUSIC CSV 1D pada sudut 10° dan 180° pendeteksian sudut kedatangan kurang baik.

4.3.1.3 Error Estimasi Terhadap Perubahan Jumlah Elemen

Pengaruh jumlah elemen dapat dilihat pada Gambar 4.5 pada *error* estimasi dengan metode CSV dan USV, dengan ketentuan $N=1, 2, 3, 4, 5, 6$, $L=100$, $\theta = 90^\circ$, SNR Input = 10dB.



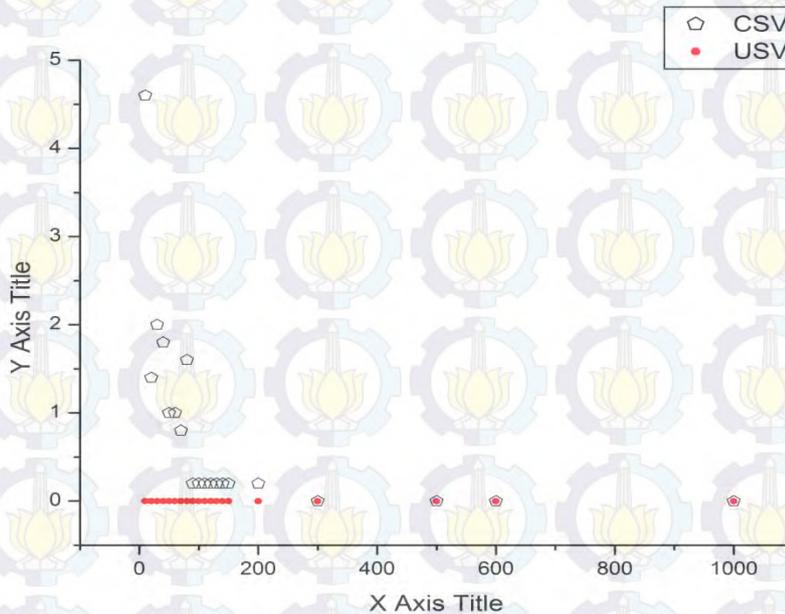
Gambar 4.5 *Error* estimasi MUSIC 1D CSV dan USV terhadap jumlah elemen dengan $N=1, 2, 3, 4, 5, 6$, $L=100$, $\theta = 50^\circ$, SNR Input = 10dB.

Gambar tersebut menunjukkan bahwa semakin banyak jumlah elemen yang digunakan, maka semakin kecil *error* yang terjadi. Karena jumlah elemen yang semakin banyak mampu memberikan informasi lebih baik dan lebih teliti. Namun, pada estimasi menggunakan metode USV nilai *error* adalah 0 % disetiap jumlah elemen. Estimasi ini menunjukkan bahwa kompensasi efek *mutual coupling* dari

elemen-elemen antenna mampu memberikan informasi yang lebih teliti. Dari gambar tersebut juga dapat dilihat bahwa estimasi menggunakan metode USV lebih stabil dan *error* lebih kecil daripada metode CSV.

4.3.1.4 Error Estimasi Terhadap Perubahan Jumlah Sampel

Selain jumlah elemen, dianalisis juga pengaruh perubahan jumlah *sample* pada estimasi DOA MUSIC 1D dengan menggunakan metode CSV dan USV. Analisis dilakukan pada jumlah elemen $M=3$, sinyal datang $N=1$, variasi jumlah *sample* mulai dari 10 sampai dengan 1000 dengan, SNR input = 10 dB.



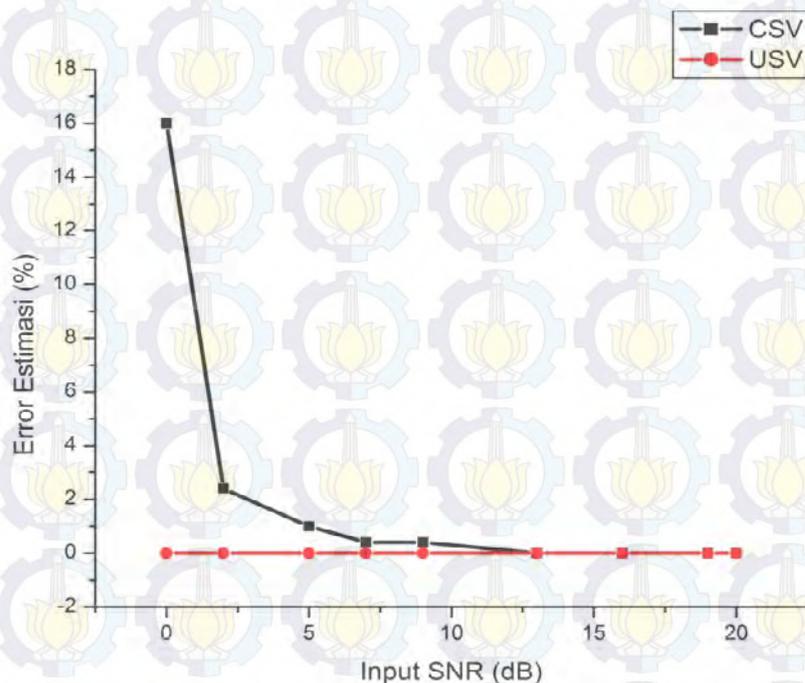
Gambar 4.6 Error estimasi MUSIC 1D CSV dan USV terhadap jumlah *sample* dengan $N=1$, $M=3$, $L=10$, 20 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110, 120, 130, 140, 150, 200, 300, 500, 1000 $\theta = 50^\circ$, SNR Input = 10dB.

Pada metode USV memberikan hasil yang stabil, seperti halnya pada analisis pengaruh jumlah elemen terhadap estimasi. *Error* estimasi metode USV menunjukkan nilai nol pada perubahan jumlah *sample*. Sedangkan metode CSV menunjukkan nilai yang tidak stabil mulai dari jumlah sampel 0 hingga 80, *error* estimasi pada CSV mulai stabil pada jumlah sample 90-1000. Dapat dilihat bahwa

USV lebih tepat dalam estimasi sudut kedatangan. Sedangkan CSV dapat memberikan estimasi yang baik jika jumlah *sample* yang digunakan semakin banyak.

4.3.1.5 Error Estimasi Terhadap Perubahan Nilai SNR

Berikut adalah hasil estimasi sudut kedatangan terhadap perubahan nilai SNR ditunjukkan oleh Gambar 4.7 berikut:



Gambar 4.7 Error estimasi MUSIC 1D CSV dan USV terhadap input SNR

dengan $N=1$, $M=5$, $L=100$, $\theta = 50^\circ$, $SNR_{Input} = 0, 2, 5, 7, 9, 13, 16, 20$ dB

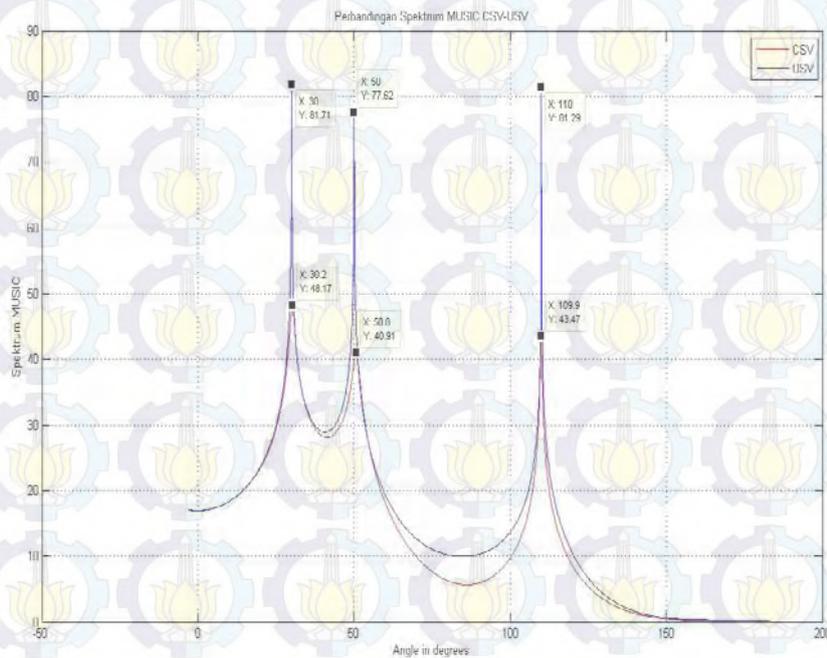
SNR_{input} juga merupakan salah satu bagian yang perlu dianalisis pada estimasi DOA. *Error* estimasi terhadap SNR_{input} dilakukan dengan $N=1$, $M=5$, $L=100$, $\theta = 90^\circ$, $SNR_{Input} = 0, 2, 5, 7, 9, 13, 16, 20$ dB. USV memberikan nilai yang baik dan *error* mendekati nol, sehingga estimasi menggunakan metode ini dengan akan menghasilkan estimasi yang akurat. Sedangkan metode CSV menunjukkan nilai *error* yang semakin turun dengan naiknya SNR. Saat SNR 16 dB estimasi *error* estimasi sudah menunjukkan nilai nol hingga SNR 20 dB. Jika dibandingkan

sesuai dengan Gambar 4.7 sudah dapat dilihat bahwa estimasi menggunakan USV lebih memberikan hasil yang akurat.

4.3.1.6 Estimasi MUSIC 1D $N=3$ dan $N=5$

4.3.1.6.1 Spektrum MUSIC dengan $N=3$

Untuk memperoleh spektrum estimasi sudut kedatangan dengan ketentuan sebagai berikut $N=3$, $M=6$, $L=1000$, $\theta = 30^\circ, 50^\circ, 110^\circ$ dan $SNR_{input} = 20$ dB. berikut adalah gambar hasil estimasi dengan USV dan CSV ditunjukkan oleh Gambar 4.8:



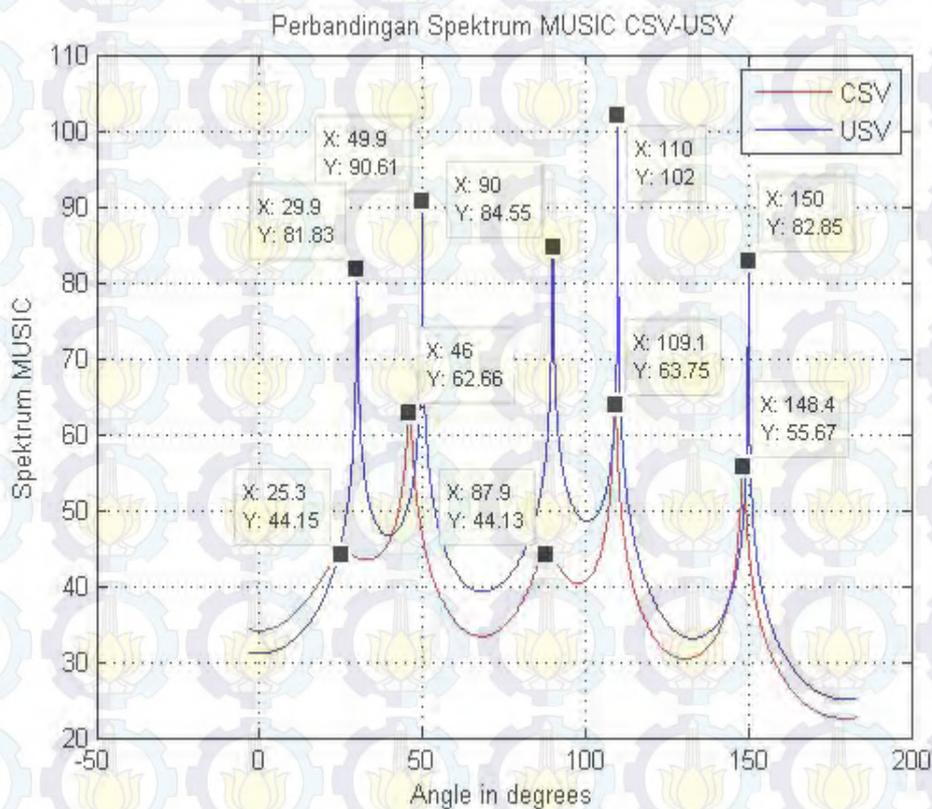
Gambar 4.8 Spektrum MUSIC 1D CSV dan USV dengan jumlah sinyal 3, $M=6$, $L=1000$, $\theta = 30^\circ, 50^\circ, 110^\circ$, $SNR_{input} = 20$ dB, X = Sudut, Y =Spektrum..

Spektrum USV dan CSV dapat dilihat dari gambar di atas, jumlah sinyal yang diestimasi adalah 3. USV dapat mendeteksi semua sudut kedatangan sinyal dengan tepat yaitu pada $30^\circ, 50^\circ, 110^\circ$ ditunjukkan dengan garis biru. sedangkan metode CSV juga mampu mendeteksi sudut kedatangan namun terdapat sedikit *error* ditunjukkan dengan garis merah. Spektrum USV menunjukkan hasil yang

lebih baik dan lebih tajam, ini menunjukkan bahwa estimasi MUSIC dengan efek kompensasi *mutual coupling* menghasilkan nilai yang lebih tepat dan tajam.

4.1.3.6.2 Spektrum MUSIC dengan $N=5$

Untuk memperoleh spektrum estimasi sudut kedatangan dengan ketuntasan sebagai berikut $N=5$, $M=6$, $L=1000$, $\theta = 30^\circ, 50^\circ, 90^\circ, 110^\circ, 150^\circ$, dan $\text{SNR}_{\text{input}} = 20 \text{ dB}$. Berikut adalah gambar hasil estimasi dengan USV dan CSV ditunjukkan oleh Gambar 4.9:



Gambar 4.9 Spektrum MUSIC 1D CSV dan USV dengan jumlah sinyal 5, $M=6$, $L=1000$, $\theta = 30^\circ, 50^\circ, 90^\circ, 110^\circ, 150^\circ$, $\text{SNR}_{\text{input}} = 20 \text{ dB}$, $X = \text{Sudut}$, $Y = \text{Spektrum}$.

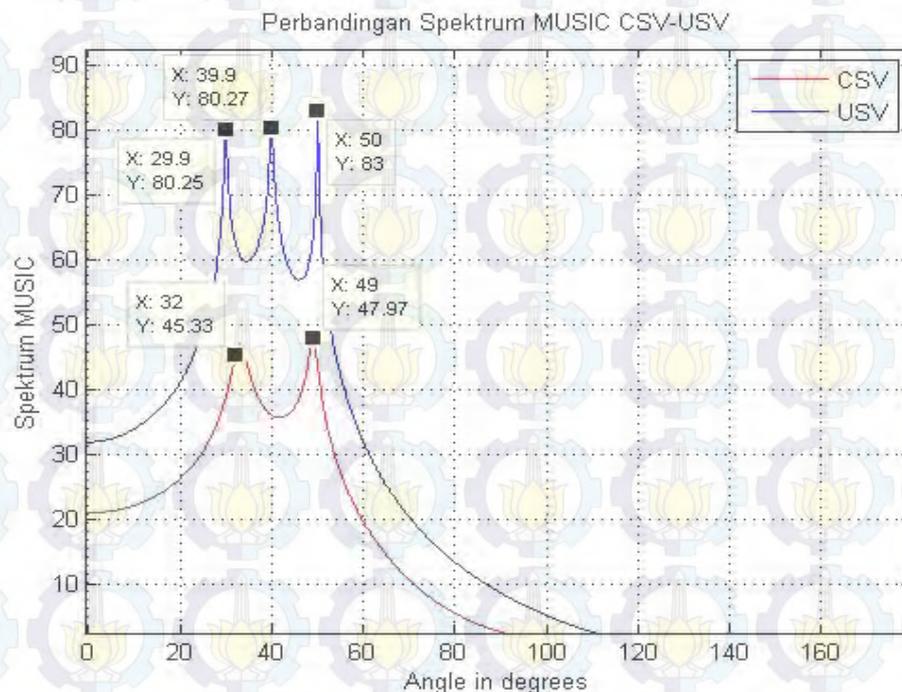
Gambar 4.9 di atas menunjukkan hasil dari estimasi MUSIC dengan metode USV dan CSV dengan jumlah sinyal datang adalah 5. USV memberikan hasil yang tajam dan hanya terdapat sedikit *error* estimasi pada sudut kedatangan 30° dan

50° sedangkan pada estimasi menggunakan CSV memberikan *error* pada semua sudut kedatangan, *error* yaitu sebesar 0,8 % - 9,4%, sedangkan pada USV *error* terbesar untuk estimasi dengan jumlah elemen 6 dan jumlah sinyal datang 5 adalah sebesar 0,3 %. Spektrum MUSIC yang dihasilkan pada estimasi USV juga lebih tajam dibanding dengan estimasi menggunakan metode konvensional.

4.3.1.7 Estimasi MUSIC 1D dengan Kerapatan Sudut

4.3.1.7.1 Spektrum MUSIC dengan $N=3$ dan kerapatan sudut 10°

Dilakukan pula estimasi jika kerapatan sudut kedatangan adalah sebesar 10° . Dengan ketentuan sebagai berikut $N=3$ dengan kerapatan 10° , $M=6$, $L=1000$, SNR *input* 20 dB. berikut adalah hasilnya:



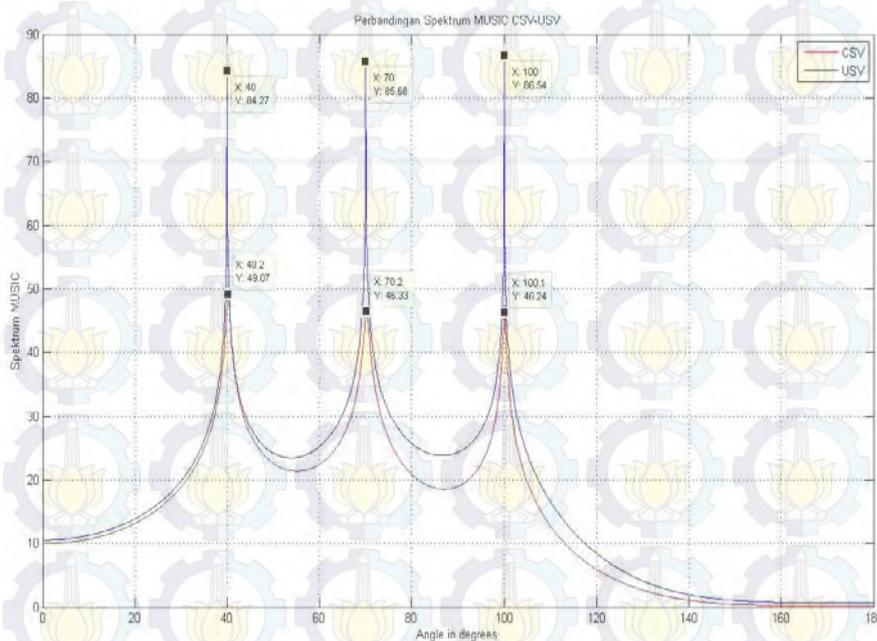
Gambar 4.10 Spektrum MUSIC 1D USV dan CSV dengan jumlah sinyal 3, $M=6$, $L=1000$, $\theta=30^\circ, 40^\circ, 50^\circ$, SNR *input* = 20 dB, X= Sudut, Y=Spektrum..

Gambar 4.10 menunjukkan estimasi MUSIC 1D untuk mengetahui pengaruh kerapatan sudut kedatangan terhadap hasil estimasi menggunakan dua metode yaitu CSV dan USV. Hasil dari estimasi menunjukkan bahwa kerapatan sudut

10° menunjukkan bahwa metode CSV tidak mampu mendeteksi sinyal yang memiliki kerapatan sudut 10°. CSV hanya mampu mendeteksi 2 sinyal dari 3 sinyal datang yang memiliki kerapatan sudut 10°. Sinyal datang dari arah 30°, 40° dan 50°, 2 sinyal yang terdeteksi oleh metode CSV adalah pada 32° dan 49°. USV yang mengikutkan efek *mutual coupling* pada estimasinya mampu mendeteksi sudut kedatangan dengan *error* yang kecil, serta mampu mendeteksi ketiga sudut kedatangan. USV juga memberikan estimasi yang tajam serta spektrum yang lebih tinggi.

4.3.1.7.2 Spektrum MUSIC dengan $N=3$ dan kerapatan sudut 30°

Estimasi MUSIC untuk kerapatan sudut 30° dengan jumlah sinyal $N=3$, $M=6$, $L=1000$ dan SNR input adalah sebesar 20 dB. Sudut yang ingin dideteksi arah kedatangannya adalah pada $\theta = 40^\circ, 70^\circ, 100^\circ$. Berikut adalah hasil dari estimasinya:

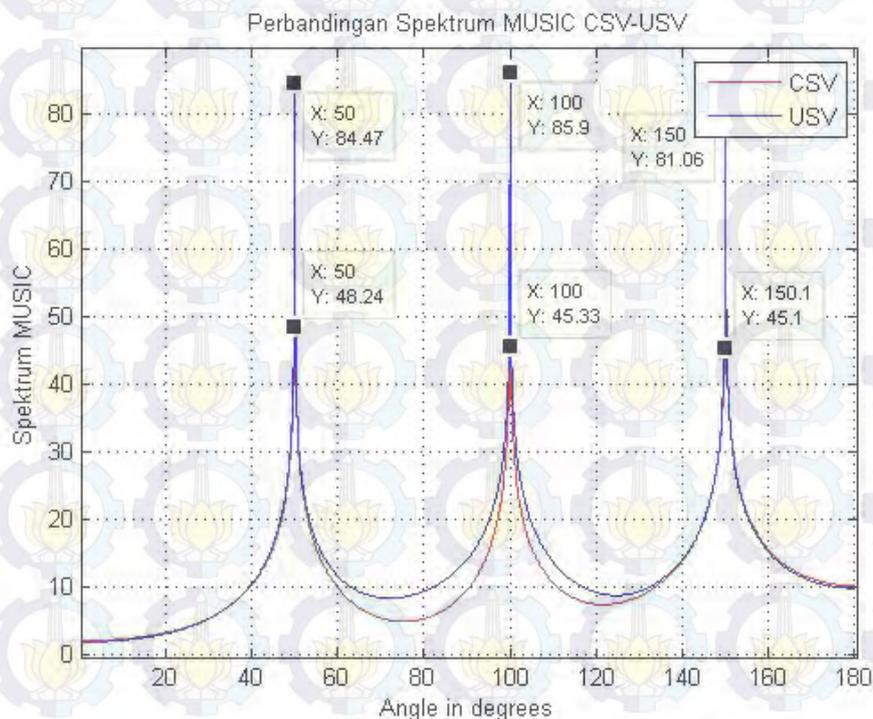


Gambar 4.11 Spektrum MUSIC 1D USV dan CSV dengan jumlah sinyal 3, $M=6$, $L=1000$, $\theta = 40^\circ, 70^\circ, 100^\circ$, SNR *input* = 20 dB, X= Sudut, Y=Spektrum.

Hasil estimasi menunjukkan bahwa kedua metode mampu mendeteksi dengan baik sudut kedatangan dengan kerapatan sudut sebesar 30° . CSV mampu mendeteksi sudut-sudut kedatangan dengan hasil $40,2^\circ$, $70,2^\circ$, dan $100,1^\circ$. Sedangkan USV mendeteksi sudut kedatangan tepat pada sudut yang ingin diestimasi dengan nilai spektrum yang lebih baik dan lebih tajam dari metode CSV. Ketajaman dan ketepatan estimasi USV menunjukkan bahwa metode ini dapat dengan tepat mendeteksi sudut kedatangan daripada metode konvensional.

4.3.1.7.3 Spektrum MUSIC dengan $N=3$ dan kerapatan sudut 50°

Estimasi MUSIC untuk kerapatan sudut 30° dengan jumlah sinyal $N=3$, $M=6$, $L=1000$ dan SNR *input* adalah sebesar 20 dB. Sudut yang ingin dideteksi arah kedatangannya adalah pada $\theta = 40^\circ, 70^\circ, 100^\circ$. Berikut adalah hasil dari estimasi:



Gambar 4.12 Spektrum MUSIC 1D USV dan CSV dengan jumlah sinyal 3, $M = 6$, $L = 1000$, $\theta = 50^\circ, 100^\circ, 150^\circ$, SNR *input* = 20 dB, X= Sudut, Y=Spektrum.

Hasil dari estimasi untuk kerapatan sudut 30° telah menunjukkan hasil yang baik. Untuk memastikan bahwa kerapatan sudut berpengaruh terhadap estimasi, dilakukan pula estimasi dengan kerapatan sudut 50° . Gambar 4.12 menunjukkan hasil estimasinya, dapat dilihat bahwa kedua estimasi hampir tepat dapat mendeteksi tiga sinyal datang, hanya terdapat *error* kecil pada pendeteksian menggunakan metode CSV pada sudut kedatangan 150° , selain sudut tersebut, estimasi dapat dilakukan dengan baik dan menunjukkan hasil yang tajam. Pada estimasi ini pula didapatkan hasil bahwa estimasi menggunakan metode USV memberikan hasil yang lebih baik, hal ini ditunjukkan dari tajamnya spektrum yang terbentuk pada masing-masing sudut yang diestimasi kedatangannya.

4.3.2 Algoritma MUSIC 2D

Pada simulasi diasumsikan bahwa sekelompok sumber sinyal dengan sudut kedatangan sinyal yang berbeda-beda, dapat ditentukan posisi sumber sinyal tersebut dengan sudut kedatangan tertentu, selanjutnya di sini akan dijelaskan variabel apa saja yang digunakan untuk menganalisis sudut kedatangan tersebut, variabelnya adalah sebagai berikut:

(\varnothing, θ) = sudut kedatangan.

$(\varnothing_i, \theta_i)$ = estimasi sudut kedatangan.

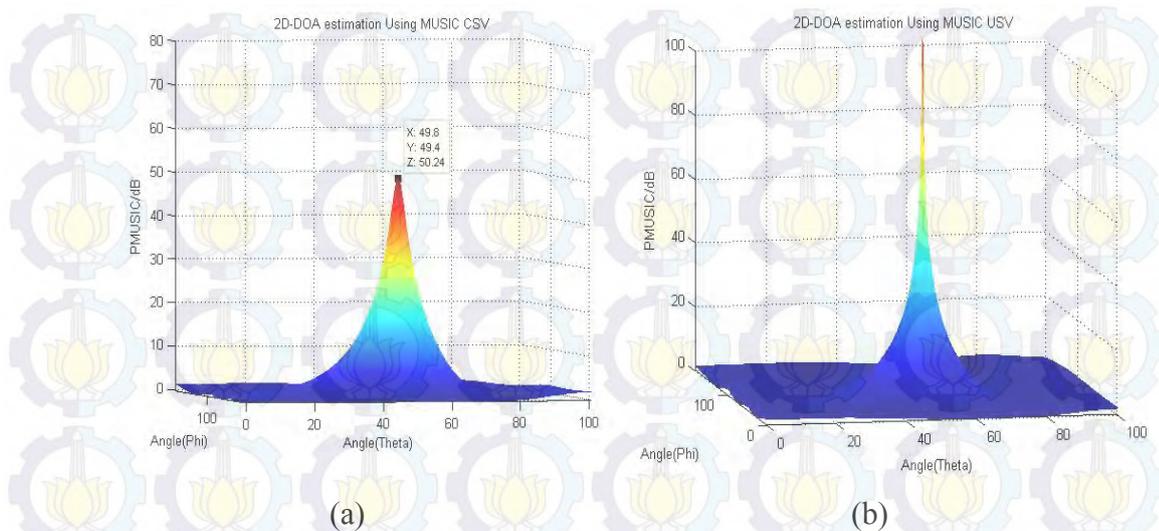
L = jumlah *sample*.

N = jumlah elemen.

M = jumlah sinyal.

4.3.2.1 Estimasi MUSIC 2DN=1

Pada algoritma MUSIC ini (\varnothing) hasil estimasi dapat diketahui dengan melihat puncak spektrumnya. Untuk menganalisis hasil sudut estimasi, diasumsikan $N = 1$, $M = 10$, $L = 1000$ dan *input* SNR = 20 dB, maka hasil estimasi dapat dilihat pada Gambar 4.3 berikut:



Gambar 4.13 Spektrum algoritma MUSIC dengan $N=1$, $M=10$, $L=1000$, $(\theta, \phi) = (50^\circ, 50^\circ)$, dan $SNR_{Input} = 20$ dB, (a) CSV; (b) USV, $X = \theta$, $Y = \phi$, $Z = \text{Spektrum}$.

Dari Gambar 4.3 dapat dilihat bahwa untuk sinyal yang berjumlah 1 hasil estimasi menunjukkan spektrum yang tajam. Pembacaan dan pendeteksian sinyal juga bagus. Hal ini dikarenakan jumlah sinyal yang dideteksi jauh lebih sedikit jika dibandingkan dengan elemen penyusun antena *array*, dan estimasi ini memiliki tingkat ketelitian 0,1 derajat. Jika dibandingkan antara metode CSV dan USV spektrum hasil estimasi dari USV memberikan hasil lebih tajam dibanding dengan metode CSV. Hal ini membuktikan bahwa kompensasi efek dari *mutual coupling* pada estimasi MUSIC memberikah hasil yang lebih baik, lebih teliti dan lebih tajam.

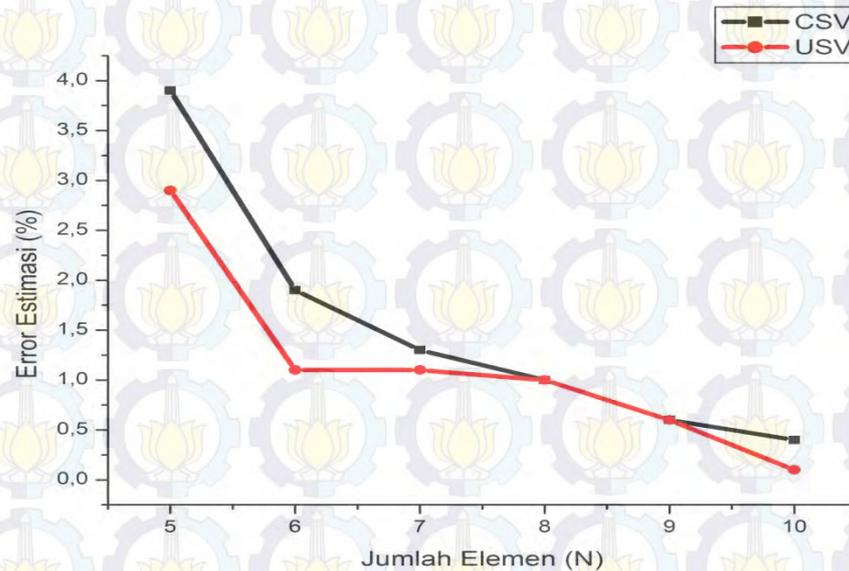
4.3.2.2 Error Estimasi Sebagai Fungsi Sudut Kedatangan

Subbab ini menjelaskan mengenai hasil error estimasi sebagai fungsi sudut kedatangan, estimasi dilakukan pada sudut kedatangan $\theta = 0^\circ$ hingga 90° dan $\phi = 0^\circ$ hingga 180° , estimasi dilakukan setiap 10° untuk elevation dan azimuth. komponen-komponen yang diperlukan dalam estimasi memiliki ketentuan sebagai berikut: $M=1$, $N=8$, $L=1000$, $SNR_{Input} = 20$ dB. hasil dari estimasi dapat dilihat pada Lampiran 2. Dari tabel hasil pengukuran dapat dilihat bahwa metode USV memiliki error yang kecil dibanding dengan metode CSV. Pada metode USV untuk

estimasi terdapat error pada sudut seluruh sudut kedatangan $\theta = 90^\circ$ dari $\theta = 0^\circ$ hingga 180° , sedangkan pada CSV terdapat error pada sudut $\theta = 0^\circ$ dan 90° serta beberapa sudut tertentu. Estimasi sudut paing baik terjadi pada sudut $\theta = 40^\circ$ pada semua θ baik itu dengan metode USV maupun CSV, namun USV memberikah hasil yang lebih baik, hal ini dapat dilihat bahwa error metode USV lebih kecil dibanding dengan metode CSV. Selain data error estimasi, data spektrum estimasi juga dilampirkan pada Lampiran 2 untuk dapat membandingkan hasil dari USV dan CSV. Spektrum estimasi menunjukkan bahwa spektrum estimasi USV lebih tajam dibandingkan dengan spektrum CSV.

4.3.2.3 Error Estimasi Terhadap Perubahan Jumlah Elemen

Untuk menganalisa perubahan *error* estimasi terhadap perubahan jumlah elemen dengan mengasumsikan $(\theta) = (50^\circ, 50^\circ)$, $M = 5, 6, 7, 8, 9, 10$ $L = 1000$ dan $\text{SNR}_{\text{Input}} = 20$ dB. Gambar 4.14 menunjukkan *error* estimasi terhadap perubahan jumlah elemen.



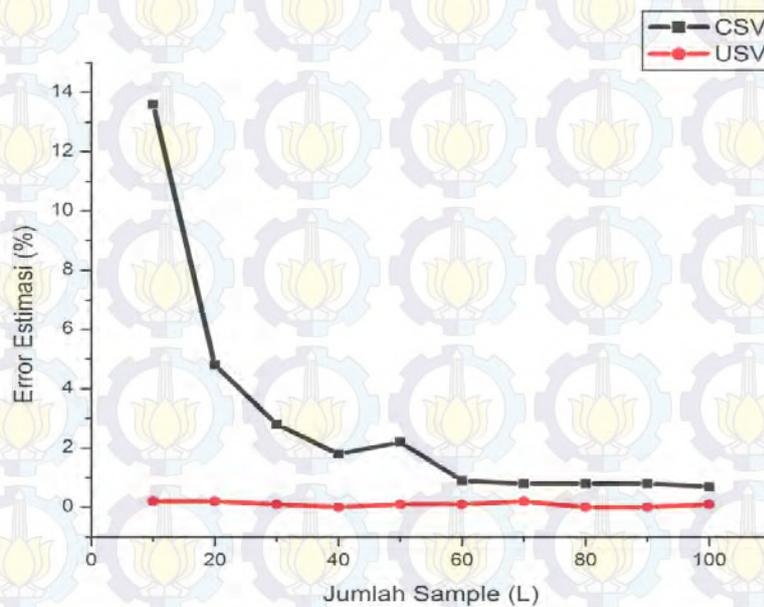
Gambar 4.14 *Error* estimasi terhadap jumlah elemen dengan $N=1, M= 5, 6, 7, 8, 9, 10, L=1000, (\theta, \theta) = (50^\circ, 50^\circ)$ dan $\text{SNR}_{\text{Input}} = 20$ dB.

Dari gambar di atas ditunjukkan bahwa perubahan jumlah elemen berpengaruh terhadap *error* estimasi. Semakin banyak jumlah elemen, semakin kecil

errorestimasi. Hal ini menunjukkan bahwa pendeteksian terhadap sudut datang lebih teliti sebanding dengan banyaknya jumlah elemen. Metode USV menunjukkan bahwa *error* estimasi yang terjadi lebih kecil dibanding dengan metode CSV.

4.3.2.4 Error Estimasi Terhadap Perubahan Jumlah Sampel

Untuk menganalisa perubahan *error* estimasi terhadap perubahan jumlah elemen dengan mengasumsikan $(\theta) = (50^\circ, 50)$, $M = 10$, $L = 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100$, dan n SNR *Input* = 20 dB. Gambar 4.5 menunjukkan *error* estimasi terhadap perubahan jumlah *sample*.



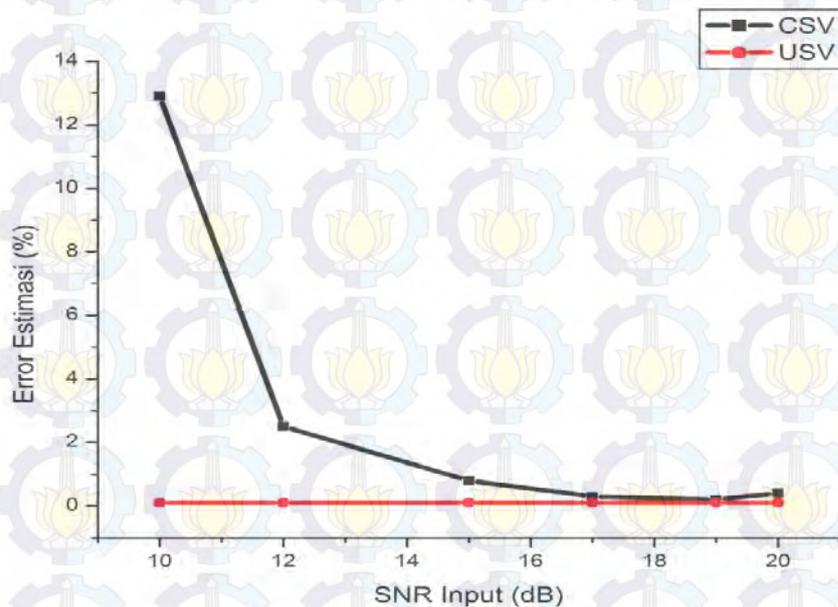
Gambar 4.15 Error estimasi terhadap jumlah *sample* dengan $N=1$, $M= 10$, $L=10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 100$, $(\theta) = (50^\circ, 50^\circ)$ dan SNR *Input* = 20 dB.

Gambar 4.15 menunjukkan grafik estimasi algoritma MUSIC dengan CSV dan USV. Pada CSV penambahan jumlah *sample* data memberikan hasil pendeteksian yang lebih teliti, hal ini ditunjukkan dari menurunnya jumlah *error* estimasi seiring dengan penambahan jumlah *sample* data. Pada metode USV

memberikan hasil yang lebih stabil. *Error* estimasi terhadap perubahan *sample* data memberikan nilai mendekati 0 %.

4.3.2.5 Error Estimasi Terhadap Perubahan Nilai SNR

Untuk menganalisa perubahan *error* estimasi terhadap perubahan jumlah elemen dengan mengasumsikan $(\phi, \theta) = (50^\circ, 50^\circ)$, $M = 10$, $L = 1000$ dan n SNR $Input = 10, 12, 15, 17, 19, 20$ dB. Gambar 4.6 menunjukkan *error* estimasi terhadap perubahan *input* SNR.



Gambar 4.16 *Error* estimasi terhadap input SNR dengan $N=1$, $M= 10$, $L=1000$, $(\phi, \theta) = (50^\circ, 50^\circ)$ dan SNR $Input = 10, 12, 15, 17, 19, 20$ dB.

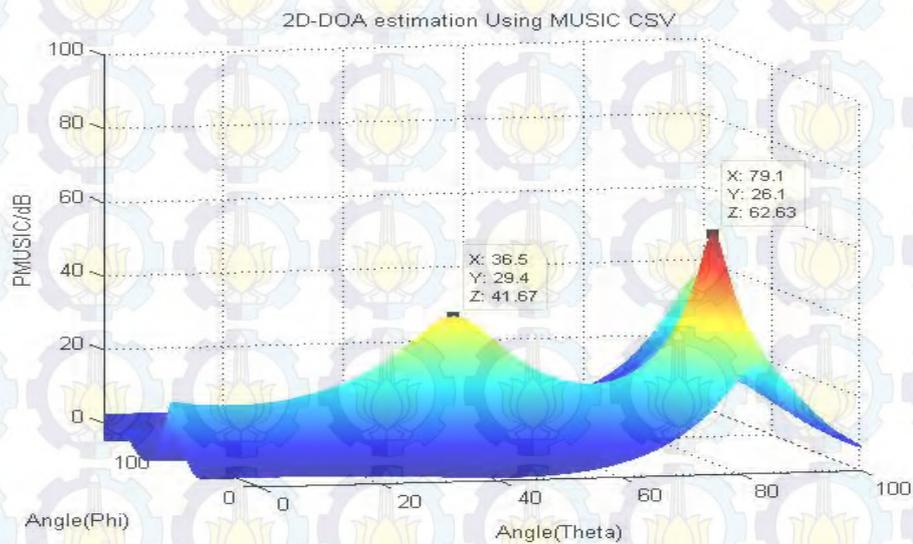
Perubahan input SNR terhadap *error* estimasi ditunjukkan pada gambar 4.16. dari dua metode menunjukkan bahwa CSV memberikan hasil yang lebih bagus jika *input* SNR lebih tinggi. Sedangkan pada USV memberikan nilai yang lebih stabil jika $SNR \geq 10$ dB dengan nilai estimasi mendekati 0 %. Pada SNR kurang dari 10 dB *error* yang didapatkan cukup besar bahkan pedeteksiian sinyal tidak dapat dilakukan antar rentang 0-9 dB, baik itu menggunakan metode CSV maupun USV.

Semakin besar nilai SNR maka semakin baik pula tingkat ketelitian pendeteksian sinyalnya.

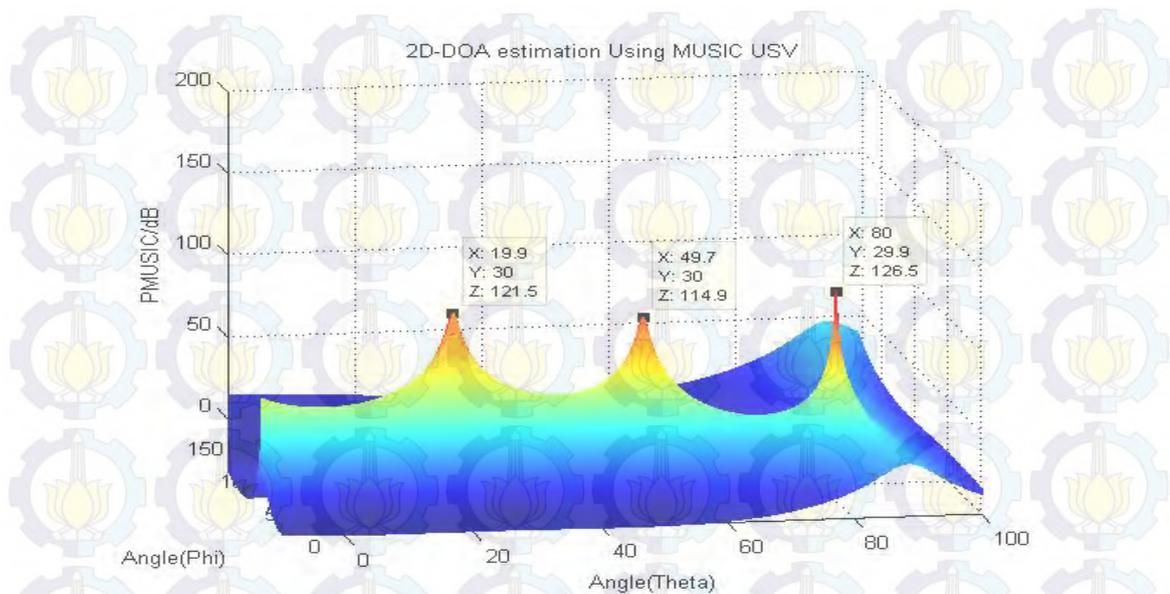
4.3.2.6 Estimasi MUSIC 2D $N=3$ dan $N=5$

4.3.2.6.1 Spektrum MUSIC 2D $N=3$

Estimasi terhadap banyanyak jumlah sinyal datang dilakukan terhadap antenna larik sirkuler. Dengan banyaknya sinyal yang datang adalah 3 $M=8$, $L=1000$, $SNR=20$ teta,phi= $30^\circ, 20^\circ, 30^\circ, 50^\circ, 30^\circ, 80^\circ$. Gambar 4.17 (a) menunjukkan estimasi hasil dari metode CSV sedangkan Gambar 4.18 (b) menunjukkan hasil estimasi menggunakan metode USV. Jika dilihat dan dibandingkan hasil dari kedua gambar, USV memerikan hasil yang lebih baik jika dibandingkan dengan metode CSV. Dikatakan hasil menggunakan USV lebih baik karena pada metode ini mampu mengestimasi 3 sinyal yang datang dengan error cukup kecil. Sedangkan metode CSV hanya mampu mengestimasi 2 sinyal datang dengan *error* yang cukup besar. Spektrum yang ditunjukkan oleh metode USV juka lebih tajam jika dibandingkan dengan estimasi menggunakan metode CSV. Dari perbandingan tersebut dapat diketahui bahwa estimasi menggunakan metode USV lebih akurat.



(a)

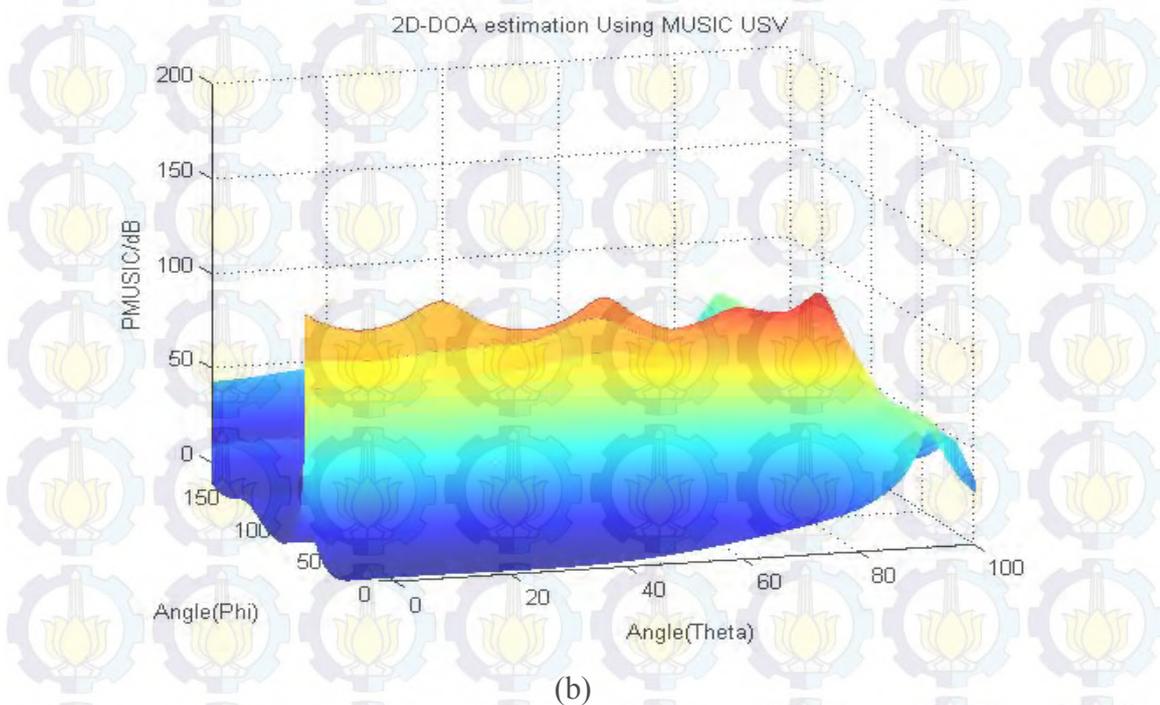
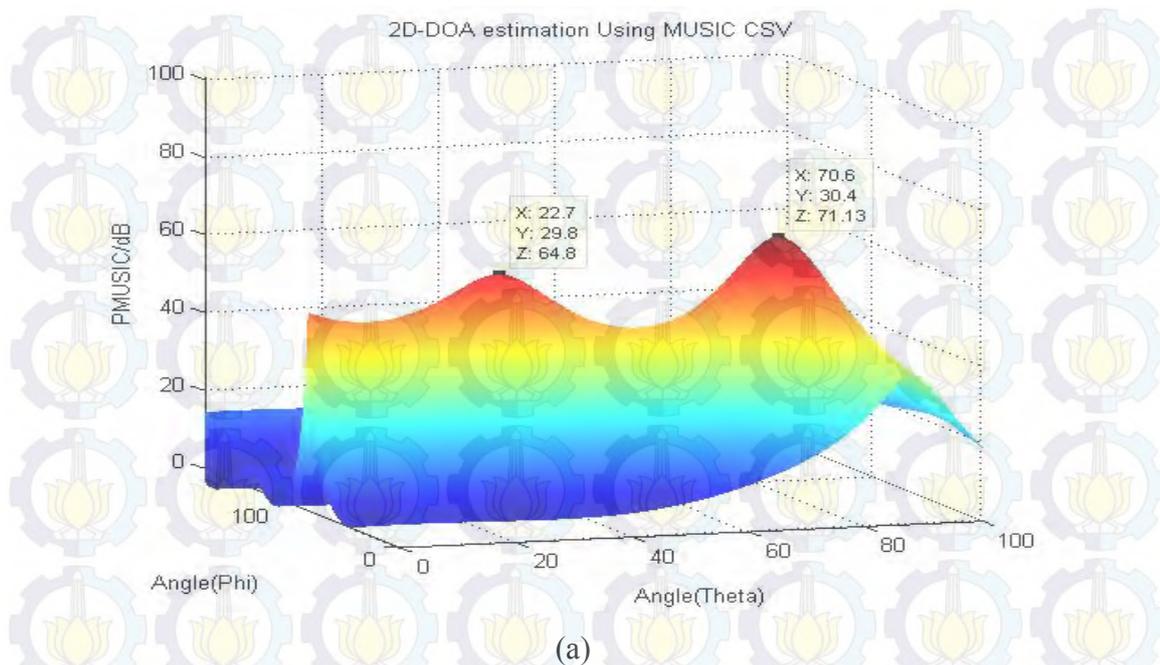


(b)

Gambar 4.17 Spektrum MUSIC 2D CSV dan USV dengan jumlah sinyal 3, $M=8$, $L=1000$, $SNR=20$ teta, $\phi=30^\circ, 20^\circ, 30^\circ, 50^\circ, 30^\circ, 80^\circ$ (a) CSV, (b) USV, $X=Teta$, $Y=Phi$, $Z= Spektrum$

4.3.2.6.2 Spektrum MUSIC 2D $N=5$

Estimasi dengan jumlah sinyal sebanyak 5 juga dilakukan. Dengan ketentuan $M=8$, $L=1000$, $SNR=20$. Namun hasil yang didapatkan tidak sebaik saat estimasi dilakukan pada jumlah sinyal sebanyak 3. Pada metode CSV didapatkan bahwa estimasi memberikan *error* yang sangat besar dan hanya mampu mengestimasi 2 s udut datang. Pada estimasi menggunakan metode USV didapatkan bahwa estimasi memberikan hasil yang kurang baik dan hanya mampu mengestimasi 4 sinyal datang. Dapat disimpulkan bahwa estimasi 2D dengan banyaknya jumlah sinyal datang sebanyak 5 menggunakan algoritma MUSIC susah dilakukan baik itu menggunakan metode USV maupun CSV. Hal ini disebabkan oleh kerapatan sinyal yang datang. Gambar estimasi pada jumlah sinyal kedatangan sebanyak 5 dapat dilihat pada Gambar 4.18 berikut:

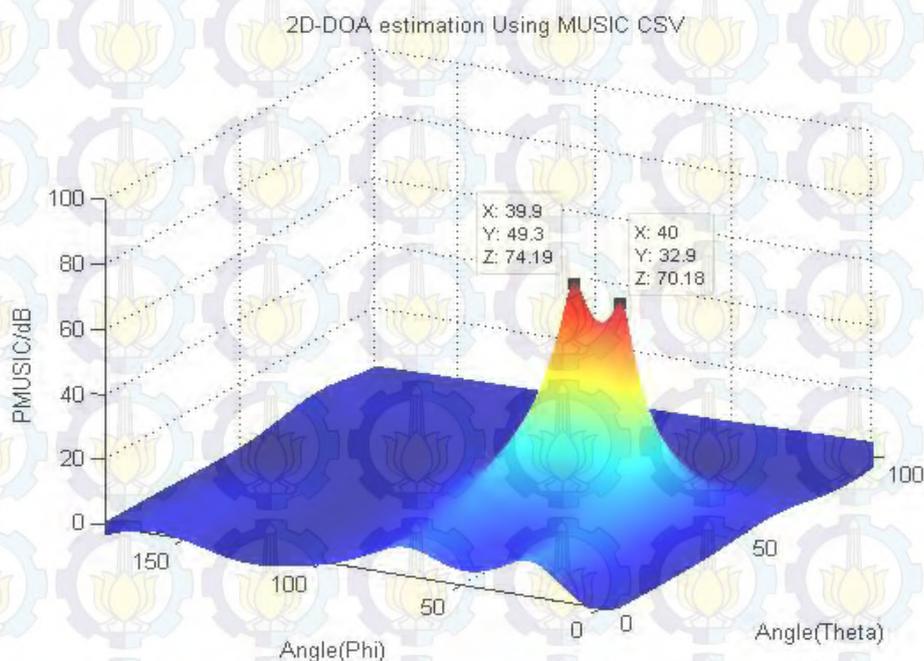


Gambar 4.18 Spektrum MUSIC 2D CSV dan USV dengan jumlah sinyal 5, $M=8$, $L=1000$, $SNR=20$ (a) CSV, (b) USV, $X=Theta$, $Y=Phi$, $Z=$ Spektrum

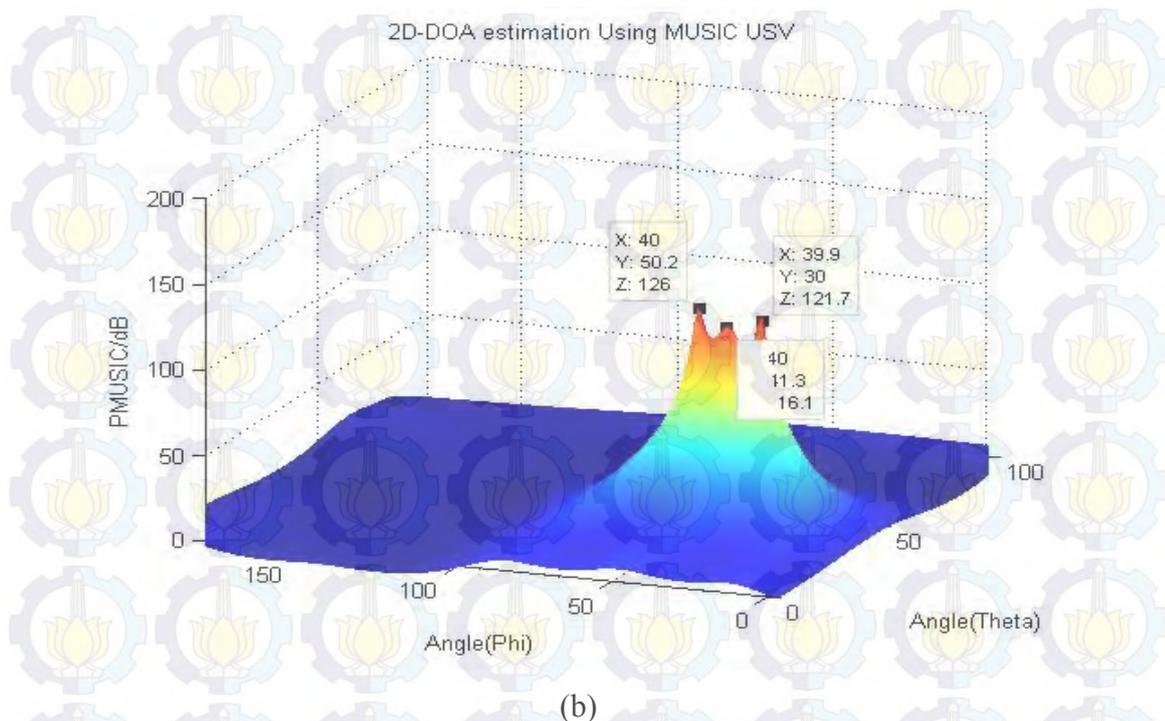
4.3.2.7 Estimasi MUSIC 2D dengan Kerapatan Sudut

4.3.2.7.1 Spektrum MUSIC dengan $N=3$ dan kerapatan sudut 10°

Pada estimasi 1D dilakukan pula estimasi dengan kerapatan sudut. Dilakukan juga estimasi dengan kerapatan sudut. Pada subbab ini dilakukan estimasi terhadap sudut 10° . Dengan ketentuan sebagai berikut jumlah sinyal 3, $M = 8$, $L = 1000$, teta, phi = $40^\circ, 30^\circ$; $40^\circ, 40^\circ$; $40^\circ, 50^\circ$, SNR *input* = 20 dB. hasil dari estimasi menggunakan metode CSV menunjukkan bahwa metode CSV hanya mampu mengestimasi 2 sudut kedatangan, sedangkan metode USV mampu mengestimasi sudut kedatangan yang berjumlah 3 dengan error yang cukup kecil. Error estimasi metode CSV juga cukup besar. Dapat dibandingkan bahwa metode USV lebih akurat untuk mengestimasi 3 sudut datang yang memiliki kerapatan sudut sebesar 10° .



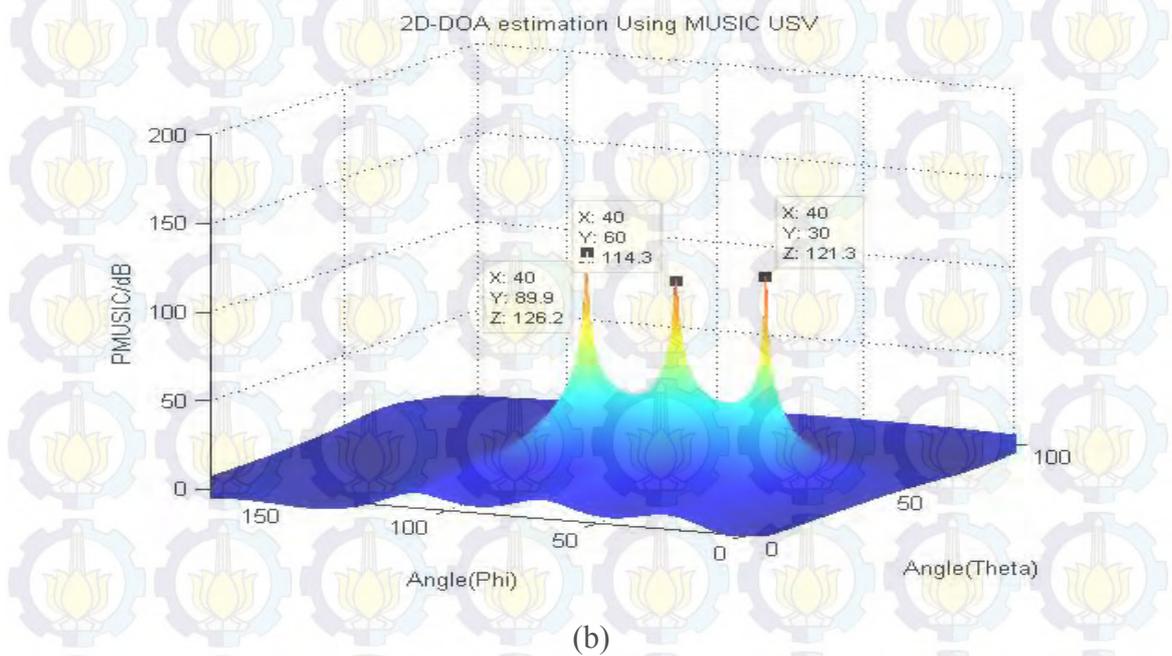
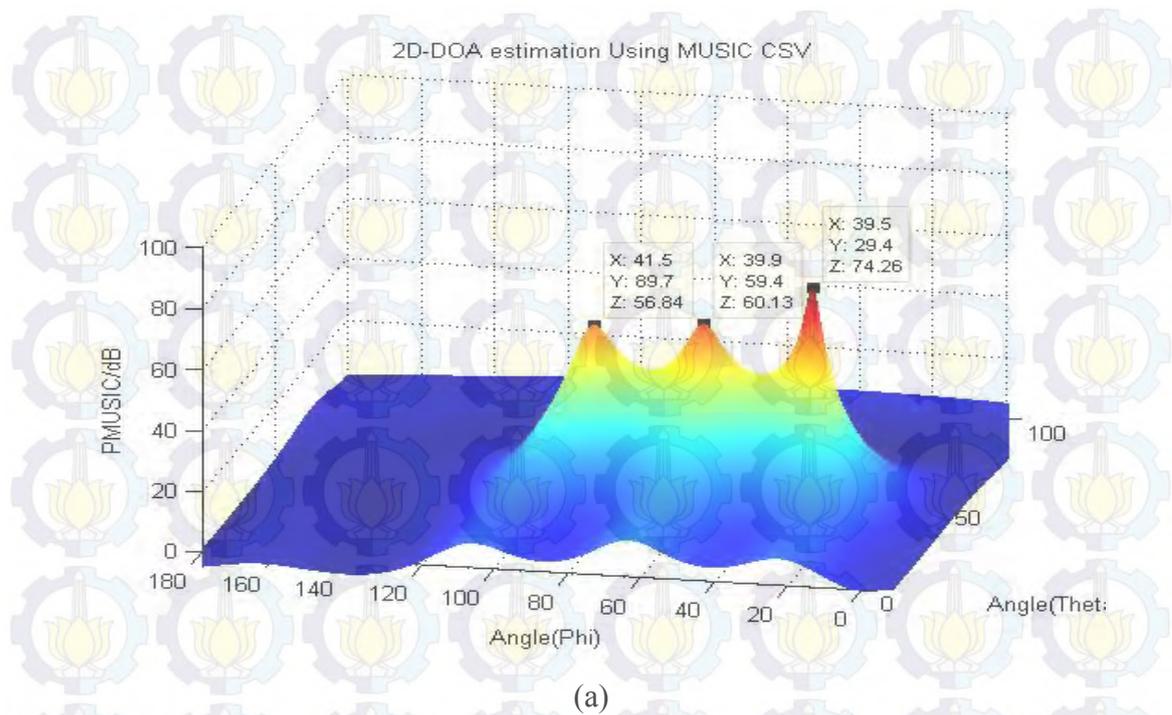
(a)



Gambar 4.19 Spektrum MUSIC 2D USV dan CSV dengan jumlah sinyal 3, $M = 8$, $L = 1000$, teta,phi = $40^\circ, 30^\circ$; $40^\circ, 40^\circ$; $40^\circ, 50^\circ$, $SNR_{input} = 20$ dB (a) CSV, (b) USV, $X = \text{Teta}$, $Y = \text{Phi}$, $Z = \text{Spektrum}$

4.3.2.7.2 Spektrum MUSIC dengan $N=3$ dan kerapatan sudut 30°

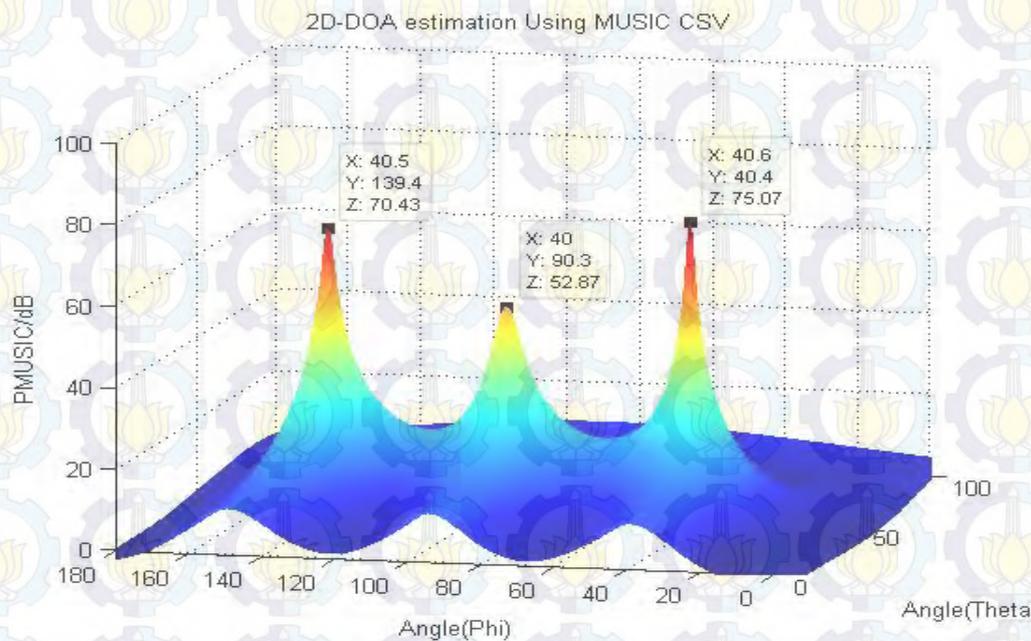
Estimasi pada kerapatan sudut datang 30° ditunjukkan pada Gambar 4.20. Estimasi dilakukan dengan ketentuan jumlah sinyal 3, $M = 8$, $L = 1000$, teta,phi = $40^\circ, 30^\circ$; $40^\circ, 60^\circ$; $40^\circ, 90^\circ$, $SNR_{input} = 20$ dB. Baik menggunakan metode USV maupun CSV, estimasi ketiga sudut kedatangan dapat dilakukan, namun pada CSV didapatkan *error* yang lebih besar jika diamati dari sudut hasil estimasi jika dibandingkan dengan metode USV. Spektrum yang hasil estimasi menggunakan metode USV juka lebih tinggi. Berikut adalah gambar dari hasil estimasi menggunakan kedua metode:



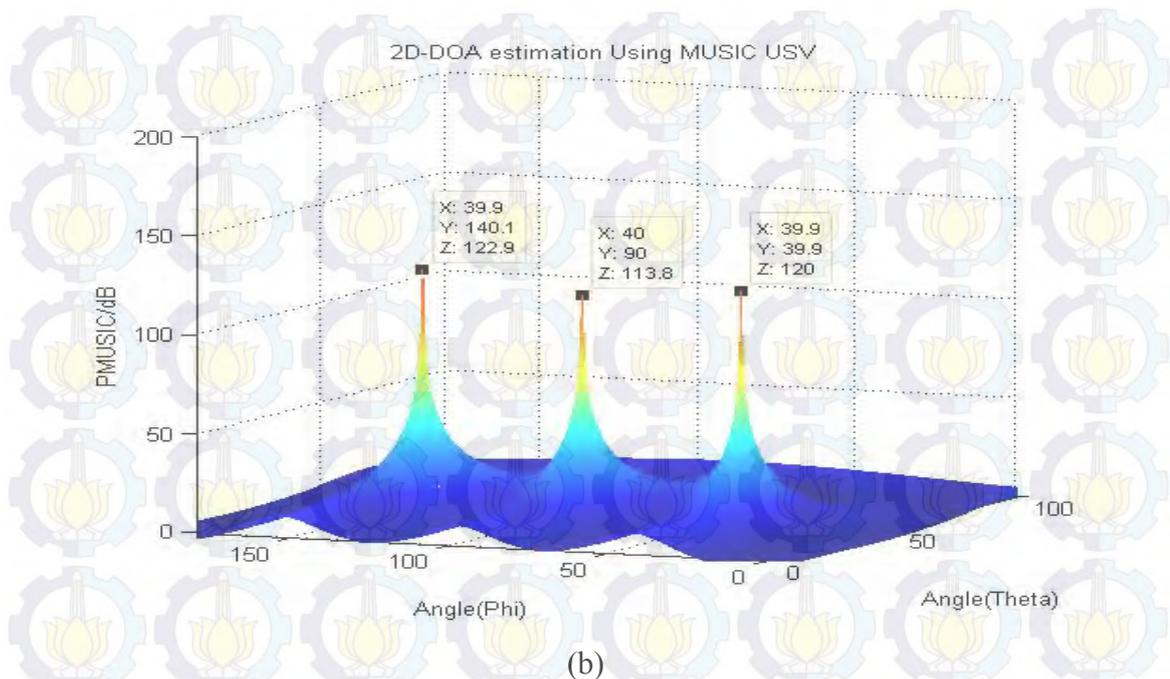
Gambar 4.20 Spektrum MUSIC 2D USV dan CSV dengan jumlah sinyal 3, $M = 8$, $L = 1000$, $teta, phi = 40^{\circ}, 30^{\circ}; 40^{\circ}, 60^{\circ}; 40^{\circ}, 90^{\circ}$, $SNR_{input} = 20$ dB, (a) CSV, (b) USV, X=Teta, Y=Phi, Z= Spektrum

4.3.2.7.3 Spektrum MUSIC dengan N=3 dan kerapatan sudut 50°

Untuk menunjukkan bahwa kerapatan sudut berpengaruh terhadap estimasi, dilakukan estimasi dengan kerapatan sudut yang lebih jauh yaitu sebesar 50°. Dengan ketentuan estimasi adalah dengan jumlah sinyal 3, $M = 8$, $L = 1000$, $\theta, \phi = 40^\circ, 40^\circ; 40^\circ, 90^\circ; 40^\circ, 130^\circ$, $SNR_{input} = 20$ dB. Hasil dari estimasi ini menunjukkan bahwa estimasi dapat dilakukan untuk ketiga sudut kedatangan baik USV maupun CSV. Dengan error estimasi lebih kecil dibandingkan dengan kerapatan sudut yang lebih kecil. Berikut adalah gambar hasil estimasi:



(a)

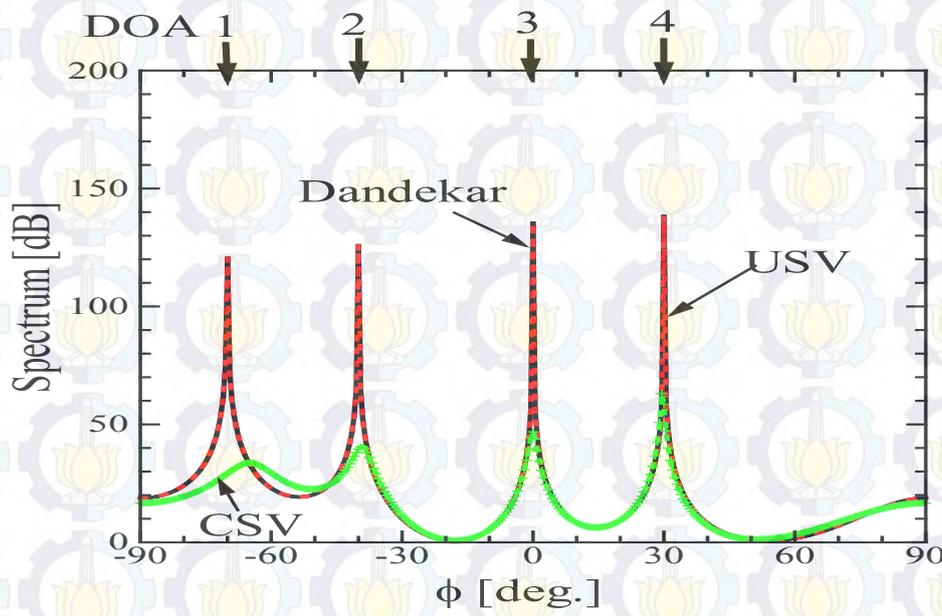


Gambar 4.21 Spektrum MUSIC 2D USV dan CSV dengan jumlah sinyal 3, $M = 8$, $L = 1000$, $teta, phi = 40^{\circ}, 40^{\circ}; 40^{\circ}, 90^{\circ}; 40^{\circ}, 130^{\circ}$, SNR $input = 20$ dB, (a) CSV, (b) USV, X=Teta, Y=Phi, Z= Spektrum

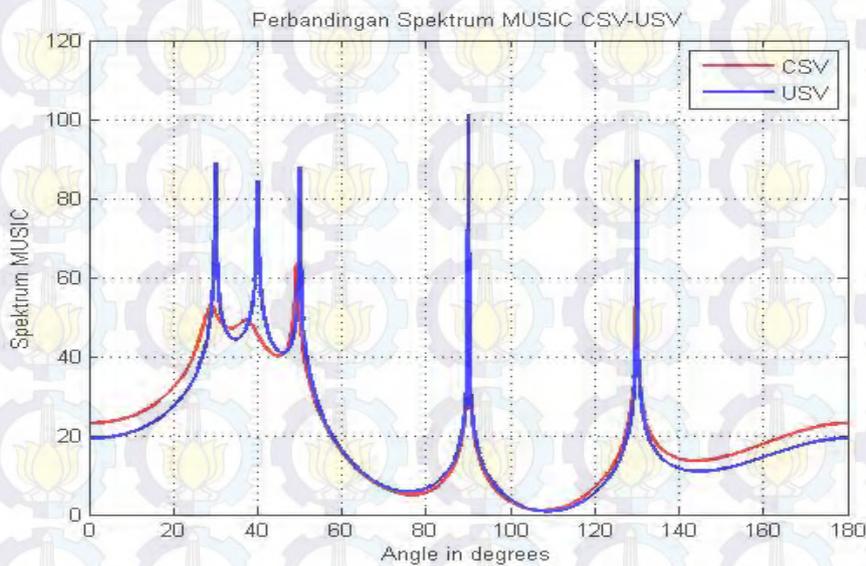
4.3.3 Perbandinga Estimasi DOA Patch Array Dan Dipole Array Dengan Menggunakan Algoritma MUSIC 1D

Gambar 4.22 menunjukkan perbandingan dari estimasi menggunakan algoritma MUSIC USV dan CSV. Estimasi dilakukan masing-masing terhadap 6 elemen antenna yang memiliki jarak $d=0.5\lambda$. Gambar 4.22 (a) merupakan gambar dari hasil estimasi yang dilakukan oleh Proffesor Qiang Chen pada penelitiannya pada tahun 2005, pada penelitian beliau dilakukan estimasi menggunakan elemen penyusun larik berupa *dipole*. Gambar 4.22 (b) menunjukkan peneitian sekarang yang menggunakan elemen antenna berbentuk *microstrippatch*. Hasil dari penelitian yang dilakukan tahun 2005 m enunjukkan bahwa estimasi dapat dilakukan dengan jumlah sinyal datang sebanyak 4. Sedangkan pada penelitian ini dapat diestimasi 6 sudut datang dari sinyal. Penggunaan elemen penyusun berupa patch antenna mampu menghasilkan estimasi dengan jumlah sinyal datang lebih bayak dibanding dengan penelitian sebelumnya. Ini menunjukkan penggunaan elemen penyusun *array* berupa *patch* dapat memperbaiki performa dari estimasi

MUSIC USV. Berikut adalah gambar dari perbandingan estimasi berupa antenna patch dan dipole :



(a)



(b)

Gambar 4.22 Perbandingan Estimasi 6 Larik Antena dengan $d=0.5 \lambda$ (a) Dipole, (b) Patch, X= Sudut, Y= Spektrum.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

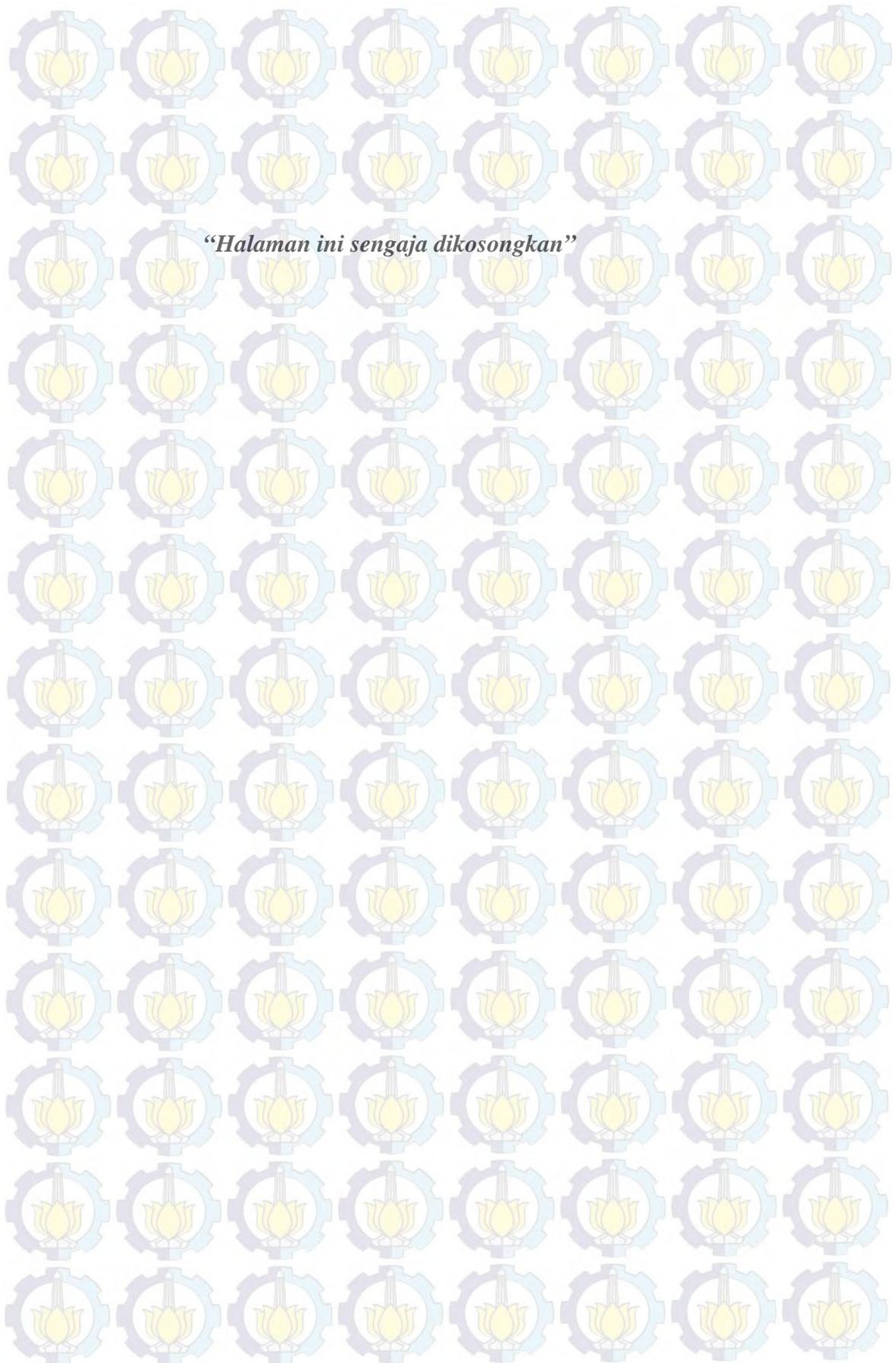
Dari analisis hasil estimasi didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Estimasi DOA 1D CSV dipengaruhi oleh banyaknya jumlah elemen, perubahan jumlah sinyal, perubahan SNR Input, banyaknya jumlah sinyal dan kerapatan sinyal.
2. Estimasi DOA 1D USV memberikah hasil yang lebih akurat dengan error kecil dan mendekati nol persen.
3. Estimasi DOA 2D CSV dipengaruhi oleh banyaknya jumlah elemen, perubahan jumlah sinyal, perubahan SNR Input, banyaknya jumlah sinyal dan kerapatan sinyal.
4. Estimasi DOA 2D dipengaruhi oleh banyaknya jumlah elemen yang digunakan, perubahan dan jumlah sinyal dengan hasil yang lebih stabil dan akurat dengan error lebih kecil.
5. Dari kedua metode didapatkan bahwa estimasi dengan menggunakan metode USV memberikan hasil yang lebih baik dan akurat baik itu pada estimasi 1D dan estimasi 2D.

5.2 Saran

Beberapa hal yang dapat disarankan untuk kelanjutan penelitian tentang estimasi sudut kedatangan sinyal ini adalah:

1. Dalam estimasi sudut kedatangan ini dapat dibandingkan dengan algoritma yang lain sehingga dapat didapatkan estimasi DOA yang lebih akurat.
2. Penelitian ini dapat diterapkan pada penentuan sumber lokasi sinyal yang mengenai antena *array*, sehingga dapat diterapkan untuk penentuan *beam* antena.
3. Pada aplikasi selanjutnya dapat digunakan untuk menentukan kepadatan pengguna pada komunikasi seluler, sehingga antena dapat diarahkan tepat pada sasaran.



DAFTAR PUSTAKA

Balanis, Constantine A. 2008. *Modern Antenna Handbook*. United States: John Wiley & Sons, Inc.

———. 2012. *Antenna Theory and Design*. 3rd ed. Wiley-Interscience.

Birinci, Toygar, and Yalç N. Tan K. *Optimization of Nonuniform Planar Array Geometry for Direction of Arrival Estimation*.

F. Gao and A. B. Gershman, “A generalized ESPRIT approach to direction-of-arrival estimation,” *IEEE Signal Processing Letters*, vol. 12, no. 3, p. 254–257, Mar. 2005.

Fang, D. G. 2010. *Antenna Theory and Microstrip Antennas*. Boca Raton, FL: CRC Press/Taylor & Francis.

Gross, Frank. 2005. *Antenna for Wireless Communication with Matlab*. 1st ed. McGraw-Hill Professional.

H. S. Lui and H. T. Hui, “Mutual Coupling Compensation for Direction-of-Arrival Estimations Using the Receiving-Mutual-Impedance Method,” *International Journal of Antennas and Propagation*, vol. 2010, p. e373061, Mar. 2010.

Huang, Qiulin, Hongxing Zhou, Jianhui Bao, and Xiaowei Shi. 2013. “Accurate DOA Estimations Using Microstrip Adaptive Arrays in the Presence of Mutual Coupling Effect.” *International Journal of Antennas and Propagation Volume 2013 (2013), Article ID 919545*.

I. J. Gupta and A. A. Ksienski, “Effect of mutual coupling on the performance of adaptive arrays,” *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 31, no. 5, pp. 785–791, Sep. 1983.

Ishizaki, Ryota, Nobuyoshi Kikuma, Hiroshi Hirayama, and Kunio Sakakibara.

“2-D DOA Estimation with Arbitrary Planar Antenna Array Using MS Technique in Combination with EM Algorithm.”

M. M. Abdalla, M. B. Abuitbel, and M. A. Hassan, “Performance evaluation of direction of arrival estimation using MUSIC and ESPRIT algorithms for mobile communication systems,” in *Wireless and Mobile Networking Conference (WMNC), 2013 6th Joint IFIP*, 2013, pp. 1–7.

O’Donnell, and Larkin Lankin. 2013. “New Approach to Finding Active Element Patterns for Large Arrays.” *NSWCDD-MP-13-00252; Distribution Statement A: Approved for Public Release; Distribution Unlimited PUBLIC RELEASE ID # 384*.

Q. Huang, H. Zhou, J. Bao, and X. Shi, “Accurate DOA Estimations Using Microstrip Adaptive Arrays in the Presence of Mutual Coupling Effect,” *International Journal of Antennas and Propagation*, vol. 2013, p. e919545, Nov. 2013.

Q. Bao, C. C. Ko, and W. Zhi, “DOA estimation in the presence of unknown mutual coupling and multipath propagation in a frequency hopping system,” in *2004 IEEE International Conference on Communications*, 2004, vol. 5, pp. 2502–2506 Vol.5.

R. Goossens and H. Rogier, “A Hybrid UCA-RARE/Root-MUSIC Approach for 2-D Direction of Arrival Estimation in Uniform Circular Arrays in the Presence of Mutual Coupling,” *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 55, no. 3, pp. 841–849, Mar. 2007.

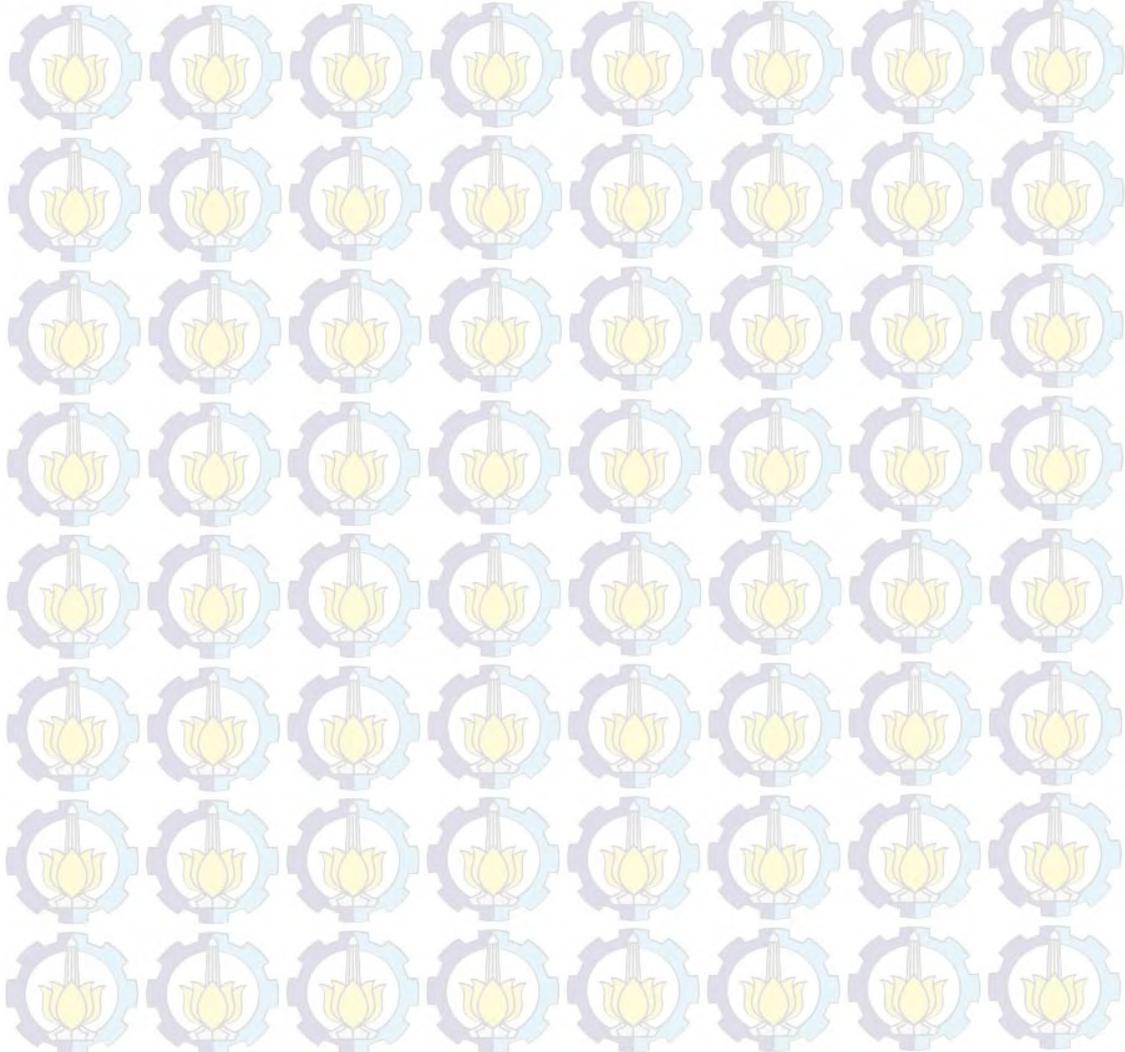
Salonen, Ilkka, Anssi Toropainen, and Pertti Vainikainen. “Effect of Mutual Coupling in Adaptive Array.” *URSI/IEEE XXIV National Convention on Radio Science*.

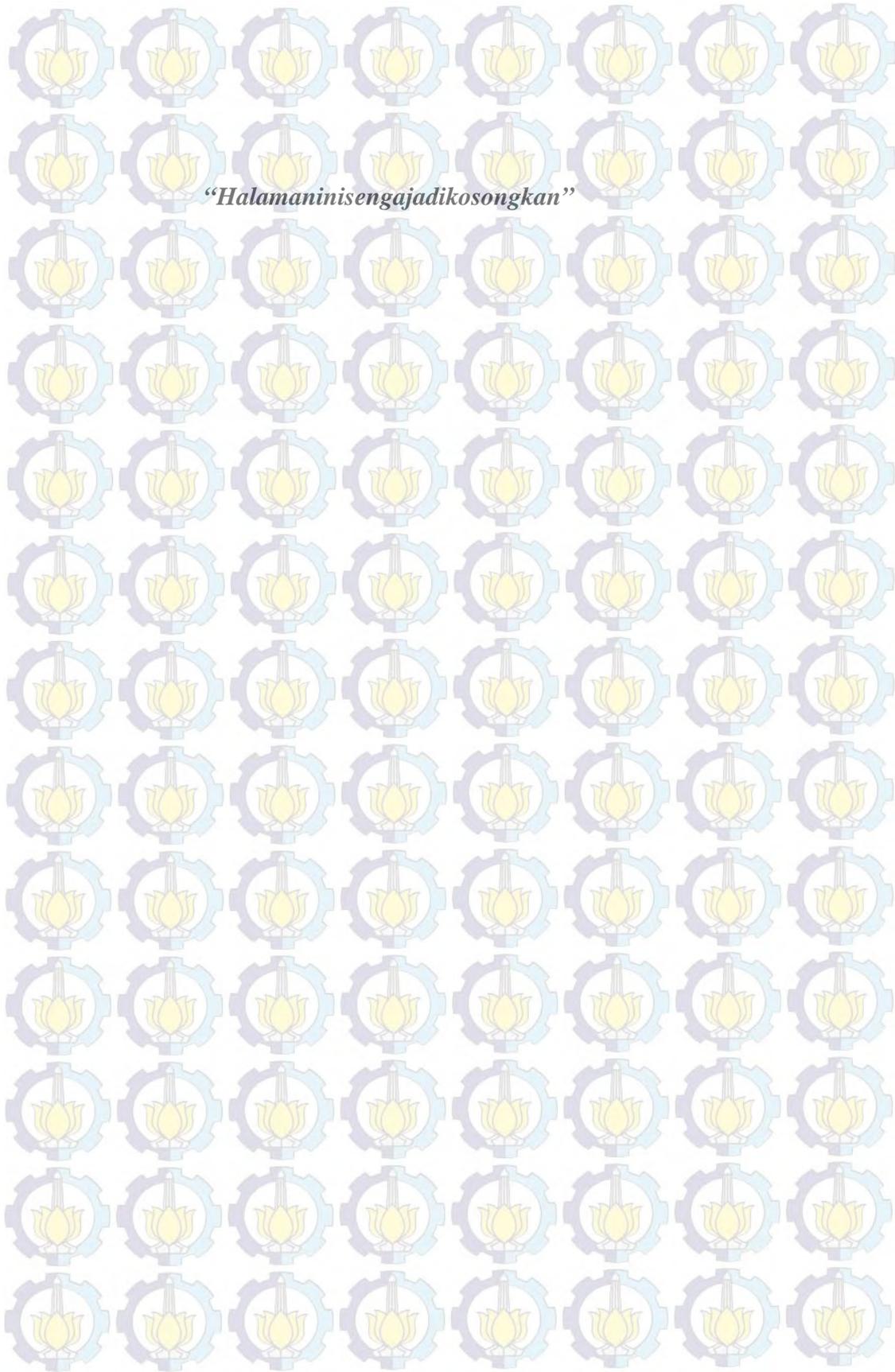
Singh, Hema, H.L Sneha, and R.M Jha. 2013. “Mutual Coupling in Phased Array: Review.” *International Journal of Antennas and Propagation, Hindawi Publishing Cooperatioan* 2013 (ID 348123): 23.

Xiong, Hao. 2012. “Antenna Array Geometries and Algorithms for Direction of Arrival Estimation”. Department of Electrical And Electronic Enggining.

Yuan, Qiaowei, Qiang Chen, and K. Sawaya. 2005. “Accurate DOA Estimation Using Array Antenna with Arbitrary Geometry.” *IEEE Transactions on Antennas and Propagation* 53 (4) (April): 1352–1357. doi:10.1109/TAP.2005.844409.

_____. 2006. “Performance of Adaptive Array Antenna with Arbitrary Geometry in the Presence of Mutual Coupling.” *IEEE Transactions on Antennas and Propagation* 54 (7) (July): 1991–1996. doi:10.1109/TAP.2006.877158.





LAMPIRAN 1 SYNTAX PROGRAM MATLAB UNTUK ESTIMASI DOA

Syntax ESTIMASI MUSIC CSV 1D

```

clear all;
clc;
M=6;           %Elemen
L=1000;       %sample
N= 3;         %jumlah sinyal datang
doas=[30 50 110]*pi/180;
SNRdb=20;
SNR=10^(SNRdb/10);
f=2.4*10^9;
c=3*10^8;
lamda=(c/f)*10^3;
d=lamda/4;
tetal=(-5:0.1:180);
A=exp(-j*((2*pi)/lamda)*d*(0:M-1)'*cos([doas(:).']));
S=exp(j*rand(N,L)*((2*pi)/lamda)*d);
Noise=(1/(sqrt(2)*SNR))*(randn(M,L)+j*randn(M,L));
fm=xlsread('Element Pattern Patch.xlsx');
fm1=fm([51],:);
%f1=reshape(fm1,4,4)';
f1=fm1;
%CSV
X=A*f1*S+Noise;
R=1/K*X*X';
[Q ,D]=eig(R);
[D,I]=sort(diag(D),1,'descend');
Q=Q(:,I);
Qs=Q(:,1:N);
Qn=Q(:,N+1:M);
A1= exp(-j*((2*pi)/lamda)*d*(0:M-1)'*cos([tetal(:).'])*pi/180));
for k=1:length(tetal)
Pc(k)=(A1(:,k)'*A1(:,k))/(A1(:,k)'*Qn*Qn'*A1(:,k));
end
Pc=10*log10(abs(Pc));

plot(tetal,Pc,'red')
grid on
title('MUSIC Spectrum')
xlabel('Angle in degrees')
h=legend('CSV',1);

```

Syntax ESTIMASI MUSIC USV 1D

```

clear all;
clc;
M=6;           %Elemen
L=1000;       %sample
Sg=168;       %segmen
N= 1;         %jumlah sinyal datang
doas=[90]*pi/180;
SNRdb=10;
SNR=20^(SNRdb/10);
f=2.4*10^9;

```

```

c=3*10^8;
lamda=(c/f)*10^3;
d=lamda/4;
tetal=(-3:0.1:183);
A=exp(-j*((2*pi)/lamda)*d*(0:M-1)'*cos([doas(:).']));
S=exp(j*rand(N,L)*((2*pi)/lamda)*d);
Noise=(1/(sqrt(2)*SNR))*(randn(M,L)+j*randn(M,L));
a=xlsread('patch 6elemen 0.25lamda.xlsx');
Z=reshape(a',Sg*M,Sg*M);
Y=inv(Z);
Yter=Y(58:168:M*Sg,58:168:M*Sg);
Zl=50;
Vinc1=A;
Ausv=Zl*Yter*Vinc1;
%USV
X2=Ausv*S+Noise;
R2=1/L*X2*X2';
[Q2 ,D2]=eig(R2);
[D2,I]=sort(diag(D2),1,'descend');
Q2=Q2(:,I);
Qs2=Q2(:,1:N);
Qn2=Q2(:,N+1:M);
%Mutual Coupling
%USV
a=xlsread('patch 6elemen 0.25lamda.xlsx');
Z=reshape(a',Sg*M,Sg*M);
Y=inv(Z);
Yter=Y(58:168:M*Sg,58:168:M*Sg);
Zl=50;
A2= exp(-j*((2*pi)/lamda)*d*(0:M-1)'*cos([tetal(:).']*pi/180));
Vinc=A2;
Ac=Zl*Yter*Vinc;
for k=1:length(tetal)
Pu(k)=(Ac(:,k)'*Ac(:,k))/(Ac(:,k)'*Qn2*Qn2'*Ac(:,k));
end

Pu=10*log10(abs(Pu));
plot(tetal,Pu,'blue')
grid on
title('MUSIC Spectrum')
xlabel('Angle in degrees')
h=legend('USV',1);

```

Syntax ESTIMASI MUSIC CSV 2D

```

%2D-DOA Estimation UCA Using MUSIC_CSV
function Circle_Azimet_Elevation
clear all;
clc;
close all;

L=100;           %%Sample
fs=1000;
t=[0:L-1]/fs;   %%Time
M=10;           %%Number of Elements
N=1;            %%Number of Source signals
f=2.4e9;        %%Frequency
K=0:M-1;

```

```

R=1/(4*sin(pi/M));
W=38;
Lg=32;
ka=2*pi*f;
c=3e8;
lamda=(c/f)*1000;
SNR=20;
XXX=X(t,M,N,c,W,Lg,lamda,ka,L,R,[50,50],SNR,f); %Matrix
Correlation
%=====
RR=XXX*XXX'/L;
[Q ,D]=eig(RR);
[D,I]=sort(diag(D),1,'descend');
Q=Q(:,I);
Qs=Q(:,1:N);
Qn=Q(:,N+1:M);
theta=0:0.1:180;
phi=0:0.1:100;
%=====
for ii=1:length(phi)
    for iii=1:length(theta)
        a_theta=exp(j*2*pi*R*cos(2*pi*K'/M-
theta(iii)*pi/180)*cos(phi(ii)*pi/180));
        p(ii,iii)=a_theta'*a_theta/(a_theta'*Qn*Qn'*a_theta);
    end
end
p_MUSIC=10*log(abs(p));
[X,Y]=meshgrid(phi,theta);
figure(1);
mesh(X,Y,p_MUSIC');grid
on;xlabel('Angle(Theta)');ylabel('Angle(Phi)');zlabel('PMUSIC/dB')
; title('2D-DOA estimation Using MUSIC CSV');
axis([0,100,0,180,0,35]);
return
%=====
=
%Steering Vector
function out=X(t,M,N,c,W,Lg,lamda,ka,L,R,theta,SNR,f)
a=[0:(M-1)]';
for ii=1:N
    rand('state',ii)
    s(ii,:)=exp(j*2*pi*(f*t+0.5*5*2^(ii-1)*t.^2));
end
for ii=1:N
    A(:,ii)=((exp(j*2*pi*R*cos(2*pi*a/M-
(theta(ii,1)*pi/180))*cos(theta(ii,2)*pi/180)))*(sin(theta(ii,1))
*sin(c)*((pi*W)*(cos(theta(ii,1)))/lamda)*cos((ka*Lg/2)*sin(theta(
ii,1))*cos(theta(ii,2))));
end
S=s;
X0=A*S;
randn('state',0);
real_noise=randn(size(X0));
randn('state',3);
imag_noise=randn(size(X0));
noise0=(real_noise+j*imag_noise)/2^0.5;
noise=10^(-SNR/20)*noise0;
out=X0+noise;

```

```
return
```

Syntax ESTIMASI MUSIC USV 2D

```
%2D-DOA Estimation UCA Using MUSIC_USV
```

```
function Circle_Azimuth_Elevation
```

```
clear all;
```

```
clc;
```

```
close all;
```

```
L=100; %Sample
```

```
fs=1000;
```

```
t=[0:L-1]/fs; %Time
```

```
M=10; %Number of Elements
```

```
N=1; %Number of Source signals
```

```
f=2.4e9; %Frequency
```

```
K=0:M-1;
```

```
Sg=168;
```

```
R=1/(4*sin(pi/M));
```

```
ka=2*pi*f;
```

```
c=3e8;
```

```
lamda=(c/f)*1000;
```

```
SNR=20;
```

```
XXX=X(t,M,N,c,lamda,ka,L,R,[50,50],SNR,f); %Matrix Correlation
```

```
%=====
```

```
%USV
```

```
a1=xlsread('1-940800.xlsx');
```

```
a2=xlsread('940801-1881600.xlsx');
```

```
a3=xlsread('1881601-2822400.xlsx');
```

```
ae=[a1;a2;a3];
```

```
Z=reshape(ae',Sg*M,Sg*M);
```

```
Y=inv(Z);
```

```
Yter=Y(58:168:Sg*M,58:168:Sg*M);
```

```
Zl=50;
```

```
%=====
```

```
RR=XXX*XXX'/L;
```

```
[Q ,D]=eig(RR);
```

```
[D,I]=sort(diag(D),1,'descend');
```

```
Q=Q(:,I);
```

```
Qs=Q(:,1:N);
```

```
Qn=Q(:,N+1:M);
```

```
theta=0:0.1:180;
```

```
phi=0:0.1:100;
```

```
%=====
```

```
for ii=1:length(phi)
```

```
    for iii=1:length(theta)
```

```
        a_theta=exp(j*2*pi*R*cos(2*pi*K'/M-  
theta(iii)*pi/180)*cos(phi(ii)*pi/180));
```

```
        Vinc=a_theta;
```

```
        Au=Zl*Yter*Vinc;
```

```
        p(ii,iii)=a_theta'*a_theta/(a_theta'*Qn*Qn'*a_theta);
```

```
    end
```

```
end
```

```
p_MUSIC=10*log(abs(p));
```

```
[X,Y]=meshgrid(phi,theta);
```

```
figure(1);
```

```

mesh(X,Y,p_MUSIC');grid
on;xlabel('Angle(Theta)');ylabel('Angle(Phi)');zlabel('PMUSIC/dB')
; title('2D-DOA estimation Using MUSIC USV');
axis([0,100,0,180,0,100]);
return
%-----
=
%Steering Vector
function out=X(t,M,N,c,lamda,ka,L,R,theta,SNR,f)
a=[0:(M-1)]';
for ii=1:N
    rand('state',ii)
    s(ii,:)=exp(j*2*pi*(f*t+0.5*5*2^(ii-1)*t.^2));
end
for ii=1:N
    A(:,ii)=(exp(j*2*pi*R*cos(2*pi*a/M-
(theta(ii,1)*pi/180))*cos(theta(ii,2)*pi/180)));
end
S=s;
X0=A*S;
randn('state',0);
real_noise=randn(size(X0));
randn('state',3);
imag_noise=randn(size(X0));
noise0=(real_noise+j*imag_noise)/2^0.5;
noise=10^(-SNR/20)*noise0;
out=X0+noise;
return

```

LAMPIRAN 2
HASIL ESTIMASI MUSIC 2D PADA PENGARUH SUDUT
KEDATANGAN

θ	0°		10°		20°		30°		40°		50°		60°		70°		80°		90°	
	USV	CSV	USV	CSV	USV	CSV	USV	CSV	USV	CSV	USV	CSV	USV	CSV	USV	CSV	USV	CSV	USV	CSV
0°	0,50	29,90	0	11,90	0	error	0	error	0	error	0	error	0	error	0,05	error	0,05	error	error	error
10°	0,50	error	0,50	1,50	0	0,25	0	22,17	0	1,13	0	1,30	0,50	1,58	0,50	4,57	1	24,13	error	error
20°	0,10	error	0,50	3,00	0	8,75	0	0,58	0	1,38	0	0,95	0,25	1,17	0,25	error	0,50	4,50	error	error
30°	0,10	error	0,50	23,17	0,25	12,25	0	2,00	0	1,67	0,17	22,35	0,17	4,67	0,17	2,33	0,17	4,02	error	error
40°	0,10	error	0,50	14,13	0,25	1,25	0	0,87	0	0,88	0,13	1,83	0,13	1,67	0,13	0,88	0,13	1,94	error	error
50°	0,05	error	0,50	2,70	0,25	3,80	0	1,37	0	0,65	0	0,90	0	1,07	0,10	0,67	0,10	0,83	error	error
60°	0,05	error	0,50	22,67	0,25	2,00	0	0,42	0	0,42	0	0,83	0	0,25	0	0,00	0,08	1,35	error	error
70°	0,15	error	0,50	2,57	0,25	0,75	0	0,57	0	0,57	0	0,10	0	0,15	0	error	0	0,83	error	error
80°	0,15	error	0,50	27,19	0	3,00	0	3,21	0	1,75	0	0,97	0	7,27	0	0,46	0	1,56	error	error
90°	0,15	error	1	8,11	0,25	3,72	0,17	4,56	0	2,39	0	0,31	0	0,25	0	0,33	0,06	0,17	error	error
100°	0,10	error	1	4,05	0,25	1,60	0,17	1,87	0	0,73	0	0,30	0,05	0,23	0,05	0,20	0,05	0,46	error	error
110°	0,15	error	0,50	33,91	0,25	9,98	0	18,26	0	9,72	0	error	0,05	1,83	0,05	0,44	0,05	2,89	error	error
120°	0,25	error	0,50	7,04	0	0,75	0	error	0	0,29	0	0,24	0	error	0,04	0,20	0,04	0,90	error	error
130°	0,30	error	0	0,58	0	0,29	0	0,50	0	0,66	0	0,24	0	0,24	0,04	0,30	0,04	0,42	error	error
140°	0,45	error	0	0,57	0	error	0	2,86	0	0,41	0	0,61	0	0,20	0,04	0,25	0,04	0,82	error	error
150°	0,50	error	0	2,00	0	0	0	1,23	0	0,13	0	0,53	0	0,43	0,03	0,17	0,03	0,23	error	error
160°	0,50	error	0,50	8,06	0	0,81	0	0,50	0	0,34	0	0,53	0	0,28	0	2	0,03	0,78	error	error
170°	0,50	error	0	3,03	0,25	3,25	0	error	0	0,81	0	0,30	0	0,08	0	0,56	0,03	0,36	error	error
180°	0,65	error	0	4,03	0	0,28	0	0,25	0	0,00	0	0,10	0	0,08	0	0,07	0	0,23	error	error

BIOGRAFI PENULIS



Vira Rahayu dilahirkan di Badung, 19 Februari 1990 dan merupakan anak kedua dari dua bersaudara. Penulis memulai pendidikan di MIMuhammadiyah 04 Moropelang (1996-2002) dilanjutkan di SMPNegeri 1 Babat (2002-2005), lalu menuntut ilmu di SMAN 2 Lamongan (2005-2008) . Melanjutkan studi S1 di jurusan Fisika FMIPA (2008-2012). Melanjutkan studi S2 di Jurusan Fisika FMIPA ITS. Selama menempuh program magister, penulis mengikuti program *Exchange student* selama semester di School of Engineering, TOHOKU University, Japan, guna mempelajari tentang *smart antenna system*.