



TUGAS AKHIR - TE 141599

**Analisa Teknik Dua Polinomial untuk Penekanan
*Sidelobe***

Andi Yahya Lubis
NRP 0711134000033

Dosen Pembimbing
Eko Setijadi, ST., MT., Ph.D
Dr. Ir. Puji Handayani, M.T.

Departemen TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

Halaman ini sengaja dikosongkan



Final Project - TE 141599

***Analysis of Two Polynomial Technique for
Sidelobe Suppression***

Andi Yahya Lubis

NRP 0711134000033

Advisor

Eko Setijadi, ST., MT., Ph.D

Dr. Ir. Puji Handayani, M.T.

Electrical Engineering Department
Faculty of Electrical Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

Halaman ini sengaja dikosongkan

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul “**Analisa Teknik Dua Polinomial untuk Penekanan Sidelobe**” adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Desember 2017

Andi Yahya Lubis
NRP. 0711134000033

Halaman ini sengaja dikosongkan

Analisa Teknik Dua Polinomial untuk Penekanan Sidelobe

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Pada

Bidang Studi Telekomunikasi Multimedia Departemen Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Menyetujui:

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Eko Setijadi, ST., MT., Ph.D
NIP : 1966050199203200

Dr. Ir. Puji Handayani, MT.
NIP:197210012003121002



Halaman ini sengaja dikosongkan

Analisa Teknik Dua Polinomial untuk Penekanan *Sidelobe*

Nama : Andi Yahya Lubis
NRP : 0711134000033
Dosen Pembimbing 1 : Eko Setijadi, ST., MT., Ph.D
Dosen Pembimbing 2 : Dr. Ir. Puji Handayani, M.T.

ABSTRAK

Dalam radar, antena *array* sangat umum digunakan karena memiliki nilai *gain* yang besar dan semakin banyaknya elemen yang digunakan nilai puncak *sidelobe* yang dihasilkan semakin rendah. Namun jumlah *sidelobe* akan semakin banyak dan sistem akan semakin kompleks. Untuk membatasi jumlah elemen, diperlukan metode yang menghasilkan nilai puncak *sidelobe* yang rendah. Metode *sidelobe suppression* (SLS) dengan teknik dua polinomial merupakan metode penekanan nilai *sidelobe* dengan cara mengalikan dua faktor *array*. Dengan jumlah elemen dan *null* yang ditentukan, pola radiasi yang didapat pada polinomial pertama digunakan untuk mencari posisi *null* kanan dan kiri yang berdekatan dengan *mainlobe*. Daerah diluar *null* tersebut dimanfaatkan untuk wilayah *sidelobe* serta digunakan untuk mencari *weight* dari polinomial kedua yang ditujukan untuk penekanan *sidelobe*. Dalam penelitian ini, metode dua polinomial dibuat berdasarkan rumus dan masukan data yang diberikan pada literatur penelitian Zafar-Ullah, Aqdas dan Fahad yang berjudul “*Efficient Sidelobe Suppression by Matching Beam in Two Polynomial Technique*”. Hasil simulasi kemudian dibandingkan dengan pola radiasi antena *array uniform* linier dengan 9 elemen dan jarak antar elemennya sebesar $\lambda / 2$. Berdasarkan hasil simulasi, puncak *sidelobe level* (PSLL) yang dihasilkan pada antena *array* dengan metode dua polinomial sebesar -21,07 dB dan lebih rendah dibandingkan dengan PSLL pada antena *array* tanpa metode yaitu sebesar -11,92 dB.

Kata Kunci: *Sidelobe suppression, array factor, null steering, adaptive beamforming, uniform linear array.*

Halaman ini sengaja dikosongkan

Analysis Two Polynomial Technique for *Sidelobe* Suppression

Name : Andi Yahya Lubis
NRP : 07111340000033
Counsellor Lecturer 1 : Eko Setijadi, ST., MT., Ph.D
Counsellor Lecturer 2 : Dr. Ir. Puji Handayani, M.T.

ABSTRACT

On RADAR, an antenna array is usually used because it has high gain and it's sidelobe level getting lower as the more elements were used. But it also will increase the number of sidelobes and the system will be more complex. To limit the number of sidelobes, a method is needed to achieve lower of peak sidelobe level. Sidelobe suppression method with two polynomial technique is a method to suppress sidelobe by multiply two array factor. With the desired number of element and null, the radiation pattern which is got from the first polynomial is used for searching the position of right and left null, which is close to the main lobe. The region outside that null is called sidelobe region and used to search the weight of the second polynomial and that weight is used for sidelobe suppression. The result of this research is the analysis of two polynomial methods on suppressing sidelobe. On this research, this two polynomial technique was made based on the formulation and data input which was given on the Zafar-Ullah, Aqdas and Fahad research literature by title "Efficient Sidelobe Suppression by Matching Beam in Two Polynomial Technique". The result of the simulation then being compared to the radiation pattern of the antenna array with 9 elements and space between element is $\lambda/2$. Based on the simulation, the result of peak sidelobe level (PSLL) of the antenna array with two polynomial technique is -21,07 dB and that is lower than PSLL of antenna array without that technique is -11,92 dB.

Keyword: *Sidelobe suppression, array factor, null steering, adaptive beamforming, uniform linear array.*

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji syukur Alhamdulillah senantiasa saya panjatkan kehadiran Allah ‘Azza Wa Jalla. Karena atas limpahan barokah,rahmat dan hidayah-Nya, saya dapat menyelesaikan buku tugas akhir ini dengan judul “**Analisa Teknik Dua Polinomial untuk Penekanan Sidelobe**”. Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan dalam menyelesaikan studi pada bidang studi Telekomunikasi Multimedia di jurusan Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Selama pengerjaan penelitian ini banyak pihak-pihak yang membantu baik berupa doa, bimbingan dan jasa dalam menyelesaikan penelitian ini dan tidak lupa saya mengucapkan terima kasih kepada :

1. Ibu saya dan ayah saya, serta adik saya yang selalu setia memotivasi
2. Bapak Eko Setijadi, ST., MT., Ph.D dan Ibu Dr. Ir. Puji Handayani, M.T. selaku dosen pembimbing yang telah banyak memberikan masukan serta arahan sehingga buku penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik.
3. Teman-teman anggota Laboratorium Antena dan Propagasi yang setiap hari menemani.
4. Dan semua pihak yang tidak bisa disebutkan satu persatu.

Penulis mengucapkan terima kasih atas segala doa dan dukungan yang telah diberikan selama ini. Penulis pun memohon maaf atas segala kekurangan pada penelitian ini. Semoga penelitian ini dapat memberikan informasi dan manfaat bagi mahasiswa Teknik Elektro ITS pada khususnya dan seluruh pembaca pada umumnya.

Surabaya, Desember 2017

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan	2
1.5 Metodologi	2
1.6 Sistematika Penulisan	3
1.7 Relevansi	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Terminologi Antena	5
2.2 Pola Radiasi Antena	6
2.2.1 Parameter Pola Radiasi	8
2.3 Antena <i>Array</i>	13
2.3.1 Antena linier <i>array</i>	14
2.4 Sintesis Antena	16
2.4.1 Metode Polinomial Schelkunoff	17
2.5 Teori Matematis <i>Array</i> Linear Schelkunoff	19
BAB III PEMODELAN SISTEM SIMULASI	23
3.1 Pemodelan Sistem Simulasi	23
3.2 Prosedur Simulasi	23

3.2.1	Penginputan Data	24
3.2.2	Memplot Faktor <i>Array</i> Pertama	24
3.2.3	Memplot Faktor <i>Array</i> Kedua.....	25
3.3	Struktur Antena Berdasarkan Simulasi.....	28
BAB IV ANALISA HASIL SIMULASI		31
4.1	Hasil penelusuran ulang sistem sesuai dengan literatur dan perbandingannya.....	31
4.2	Hasil Simulasi dengan Membandingkan Faktor <i>Array</i> Hasil Optimasi dengan Tanpa Optimasi.....	37
4.2.1	Hasil Simulasi Perbandingan dengan Jumlah Elemen yang Sama	38
4.2.2	Hasil Simulasi Perbandingan dengan Lebar <i>Main Beam</i> yang Sama	39
4.3	Hasil Simulasi dengan Mengubah Banyaknya Elemen	40
4.3.1	Hasil Simulasi dengan Mengubah N_1	40
4.3.2	Hasil Simulasi dengan Mengubah N_2	42
4.4	Hasil Simulasi dengan Mengubah Arah <i>Main Lobe</i> θ_s	44
4.5	Hasil Simulasi dengan Mengubah Lebar <i>Main Beam</i> θ_{mb}	49
4.6	Hasil Simulasi dengan Mengubah Banyaknya Sampel p dan Jarak Antar Sampel $\delta\theta$	51
4.7	Sintesis	54
BAB V PENUTUP.....		55
5.1	Kesimpulan.....	55
5.2	Saran.....	55
DAFTAR PUSTAKA		57
LAMPIRAN A.....		59
LAMPIRAN B		61
LAMPIRAN C		65
BIOGRAFI.....		67

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Pola Radiasi	9
Gambar 2.2 Pola Radiasi (A) <i>Broadside</i> Dan (B) <i>Endfire</i>	11
Gambar 2.3 Pola Directional	12
Gambar 2.4 Pola Ominidirectional	12
Gambar 2.5 Antena <i>Array</i> Linier dengan Jarak Antar Elemen Sama	14
Gambar 2.6 Batas Daerah Terlihat (VR) dan Daerah Tak Terlihat (IR) untuk Variabel Kompleks Z ketika $B = 0$	19
Gambar 2.7 <i>Array</i> pada <i>Array</i>	21
Gambar 3.1 Diagram Alir Metode Dua Polinomial dengan <i>Software</i> MATLAB	23
Gambar 3.2 Sebuah N Elemen ULA dengan N-1 <i>Null</i> yang Dapat Diatur	25
Gambar 3.3 Struktur Untuk Metode Dua Polinomial	30
Gambar 4.1 Hasil Faktor <i>Array</i> Pertama (Magenta) dengan $N_1 = 4$ dan Hasil Faktor <i>Array</i> Kedua dengan $N_2 = 5$ (Merah ($\Theta_{mb} = 30^\circ$), Biru($\Theta_{mb} 40^\circ$), Hitam ($\Theta_{mb}=50^\circ$))	32
Gambar 4.2 Hasil Faktor <i>Array</i> Pertama (Magenta) dengan $N_1 = 5$ Dan Faktor <i>Array</i> Kedua Dengan $N_2 = 6$ (Merah ($\Theta_{mb} = 30^\circ$), Biru ($\Theta_{mb} 40^\circ$), Hitam ($\Theta_{mb}=50^\circ$)).....	33
Gambar 4.3 Hasil Simulasi Faktor <i>Array</i> Keseluruhan	34
Gambar 4.4 Hasil Perbandingan Keseluruhan	35
Gambar 4.5 Hasil Simulasi Perbandingan Keseluruhan dengan Axis X (AF) hingga -100 dB.....	36
Gambar 4.6 Hasil Simulasi Perbandingan AF ₁ , AF ₂ , Dan AF.....	37
Gambar 4.7 Hasil Simulasi Perbandingan AF (Biru) Teroptimasi Dengan AF Tanpa Optimasi (Merah)	38
Gambar 4.8 Hasil Simulasi Perbandingan AF Optimasi (N=9) Dengan AF Tanpa Optimasi (N=5,6, Dan 7).....	40
Gambar 4.9 Hasil Simulasi AF dan AF ₂ pada Perubahan $N_1 = 3,4,$ dan 5	41
Gambar 4.10 Hasil Simulasi AF dan AF ₂ dengan Pada $N_2 = 4,6$ Dan 7	43
Gambar 4.11 Hasil Simulasi Perubahan $\theta_s = 45^\circ, 90^\circ, 100^\circ$	45
Gambar 4.12 Hasil AF Pada Simulasi dengan Arah <i>Main Beam</i> $\theta_s = 0^\circ$	46
Gambar 4.13 Hasil Simulasi Tanpa Metode untuk Mencari Sudut <i>Steering</i> Pada Pola <i>Endfire</i>	47

Gambar 4.14 Hasil Simulasi dengan Parameter Sudut <i>Steering</i> yang Baru	48
Gambar 4.15 Hasil Simulasi Perbandingan pada Antena <i>Array</i> dengan Pola Endfire	49
Gambar 4.16 Hasil Simulasi Untuk AF dan AF ₂ pada Saat Lebar <i>Beam</i> $\theta_{mb} = 20^{\circ}, 70^{\circ}, 90^{\circ}$	50
Gambar 4.17 Hasil Simulasi pada θ_{mb} diinginkan Sebesar 100°	51
Gambar 4.18 Hasil Simulasi Terhadap Perubahan Sampel $P = 10, 100, 200$	52

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Parameter Simulasi Perubahan θ_{mb}	31
Tabel 4.2 Parameter Simulasi untuk Faktor <i>Array</i> dengan Metode Dua Polinomial	37
Tabel 4.3 Hasil Simulasi pada Perubahan N_1	41
Tabel 4.4 Hasil Simulasi pada Perubahan N_2	44
Tabel 4.5 Hasil Simulasi pada Perubahan Arah <i>Main Beam</i>	45
Tabel 4.6 Hasil Simulasi pada Perubahan Lebar <i>Main Beam</i>	51
Tabel 4.7 Hasil Simulasi pada Perubahan Banyaknya Sampel.....	53
Tabel 4.8 Hasil Simulasi pada Perubahan Jarak antar Sampel	53

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Dalam radar, antenna *array* sangat umum digunakan karena keunggulannya seperti memiliki nilai *gain* yang besar dan bagus dalam menerima sinyal yang datang pada sudut 90 derajat atau tergolong memiliki pola radiasi *directional*. Namun antenna *array* memiliki kelemahan yaitu semakin banyak antena yang disusun semakin banyak *sidelobe* yang dihasilkan dan lebar *main lobe* akan semakin kecil.

Hal ini sangat merugikan sebab pada sinyal, *main lobe* merupakan *lobe* radiasi yang memiliki informasi utama sedangkan *sidelobe* merupakan *lobe* radiasi yang bocor dalam pola radiasi *directional* sehingga *sidelobe* juga memiliki informasi yang ada pada *main lobe*. Akibatnya jika ada perangkat atau antena terdekat dengan *sidelobe* akan terjadi interferensi pada kanalnya. Oleh karena itu diperlukan metode untuk menekan *sidelobe* hasil dari antenna *array*.

Pada beberapa penelitian ada yang menggunakan beberapa tahapan dalam menekan *sidelobe*. Seperti pada penelitian Vinod dan Ajit, "*Grating lobe and Suppression using Multi-Objective Optimization Techniques* [1]" dimana mereka menggunakan SFPT untuk mendapatkan sinyal LFM kemudian hasilnya akan dikelola untuk menekan *sidelobe* dengan memakai algoritma *Multiple-Objective Optimization*. Pada penelitian lain yang dilakukan oleh Shafqat, Ijaz, Fawad dan Aqdas dalam "*Null Placement and Sidelobe Suppression in Failed Array Using Symmetrical Element Failure Technique and Hybrid Heuristic Computation*"[2], mereka menggunakan *Genetic Algorithm* untuk menekan *null* dan *Pattern Search* untuk menentukan *null* mana yang akan ditekan. Contoh lainnya pada penelitian Zafar-Ullah, Aqdas dan Fahad "*Efficient Sidelobe Suppression by Matching Beam in Two Polynomial Technique*"[3], mereka mengalikan dua *array factor polynomial* dimana faktor *array* yang pertama untuk steering *null* dan faktor *array* kedua untuk *sidelobe* suppression.

Jika dilihat dari kompleksitasnya, penelitian [1][2] lebih rumit dan kompleks karena menggunakan algoritma dalam sistemnya dibandingkan dengan penelitian Zafar-Ullah, Aqdas dan Fahad[3][4] yang hanya memanfaatkan struktur antena *array* dalam metodenya.

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan yang dibahas dalam tugas akhir ini adalah :

1. Bagaimana cara kerja teknik penekanan *sidelobe* dengan metode dua polinomial pada antena *uniform linear array* ?
2. Bagaimana hasil optimasi penekanan *sidelobe* dengan teknik dua polinomial dibandingkan dengan tanpa optimasi ?
3. Bagaimana hasil penekanan *sidelobe* dengan teknik dua polinomial jika parameter yang digunakan diubah-ubah ?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dari tugas akhir ini adalah:

1. Antena yang digunakan yaitu antena *array* linier dengan elemen *uniform*.
2. Program optimasi yang digunakan adalah Second Order Cone Programming (SOCP).
3. Desain keseluruhan sistem hanya dilakukan dengan menggunakan simulasi.

1.4 Tujuan

Tujuan penulisan tugas akhir ini adalah:

1. Mendapatkan desain antena *array* dengan *sidelobe level* yang rendah.
2. Mengetahui level *sidelobe* yang dapat dicapai pada antena *array* linier *uniform* dengan metode dua polinomial.
3. Mendapatkan batasan-batasan parameter baru dalam metode dua polinomial.

1.5 Metodologi

Penelitian ini akan dilakukan dalam beberapa langkah yaitu sebagai berikut:

1. Studi literatur antena *array* linier *uniform* dan metode polinomial schelkunoff.
2. Mensimulasikan desain pola radiasi antena *array* linier *uniform* dengan metode dua polinomial.
3. Menganalisa hasil simulasi metode dua polinomial.
4. Menyusun tugas akhir.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan laporan Tugas Akhir ini terbagi atas lima bagian dan masing-masing bab terurai sebagai berikut:

BAB 1 PENDAHULUAN

Bab ini berisi penjelasan tentang latar belakang, permasalahan, tujuan, metodologi, sistematika penulisan, dan relevansi tugas akhir ini.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi teori penunjang yang membahas tentang antena dan metode polynomial schelkunoff

BAB 3 METODE SIMULASI

Bab ini berisi langkah-langkah pemodelan metode penekanan *sidelobe* dengan teknik dua polinomial.

BAB 4 PENGUJIAN DAN ANALISIS DATA

Bab ini berisi pengujian dan analisis data terhadap hasil simulasi metode penekanan *sidelobe* dengan teknik dua polinomial.

BAB 5 Kesimpulan dan Saran

Bab ini berisi kesimpulan dari analisis yang dilakukan dan saran untuk pengembangan selanjutnya.

1.7 Relevansi

Penelitian diharapkan dapat memberikan manfaat, sebagai berikut:

1. Menjadi referensi dalam mendesain antena *array uniform linier* dengan level *sidelobe* rendah.
2. Menjadi referensi untuk metode penekanan *sidelobe* bagi penelitian antena *array uniform linier*.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Terminologi Antena

Dalam bidang komunikasi, terutama telekomunikasi nirkabel. Antena didefinisikan sebagai perangkat komunikasi jarak jauh yang digunakan untuk bertukar pesan. Antena juga didefinisikan sebagai alat elektronik yang dapat mengkonversi tenaga listrik menjadi gelombang radio dan sebaliknya. Antena bertindak sebagai transformer antara gelombang konduksi dan gelombang elektromagnetik yang tersebar bebas di ruang bebas. Umumnya antena terdiri dari sebuah susunan konduktor logam (“elemen”) dihubungkan secara elektrik dengan kabel transmisi (berupa kabel coaxial atau *waveguide*) ke *transmitter* atau *receiver*.

Fungsi antena berbeda-beda tergantung tujuannya. Beberapa fungsinya seperti:

1. Antena untuk *broadcasting*, yaitu antena yang digunakan untuk kebutuhan penyiaran maupun untuk daerah yang sangat luas dalam penyebaran sinyalnya. Contohnya antena pemancar radio modulasi frekuensi, antena pemancar televisi, antena sistem posisi global dan lain-lain.
2. Antena untuk komunikasi, yaitu antena yang dimanfaatkan dalam pertukaran informasi antar dua tempat atau lebih. Misalnya antena satelit, antena sistem terrestrial dan lain-lain.
3. Antena untuk kebutuhan khusus, yaitu antena yang pemakaiannya terhubung dengan perangkat tertentu untuk tujuan tertentu. Seperti antena untuk perangkat *wireless* (*mouse, microphone, headset* dan lain-lain), RFID, radar, dan lain-lain.

Antena juga terbagi menjadi beberapa tipe berdasarkan karakteristik kinerja utamanya. Tipe-tipe antena tersebut adalah antena kabel, antena aperture, antena *microstrip*, antena *array*, antena *reflector*, dan antena *lens* [5].

Antena *wire* sering digunakan dalam aplikasi personal, *automobile*, bangunan dan lain-lain. Antena ini memiliki beberapa jenis seperti antena dipole, monopole, helix, dan antena loop.

Antena aperture umumnya digunakan dalam aplikasi pesawat dan pesawat luar angkasa karena dapat dengan mudah ditaruh pada bagian luar pesawat atau pesawat luar angkasa. Dan antena aperture dapat

ditutupi dengan bahan dielectric untuk melindungi antena dari kondisi lingkungan yang berbahaya. Salah satu contoh antena aperture adalah antena horn.

Antena *microstrip* merupakan antena yang digunakan untuk aplikasi komersil dan pemerintahan. Antena ini terdiri dari sebuah *patch* logam pada sebuah *grounded substrat*. Antena *microstrip* merupakan antena yang murah dan simpel karena dibuat menggunakan teknologi *modern printed-circuit*.

Antena *array* dibuat dengan tujuan radiasi karakteristiknya. Dimana susunan *array* dari elemen ditambah untuk memberikan radiasi maksimum untuk arah tertentu. Antena *array* digunakan untuk aplikasi dengan *gain* tinggi dengan penambahan keuntungan tertentu seperti pola radiasi yang dapat diatur. Contoh antena *array* adalah antena *yagi-uda*, *microstrip patch array*, *aperture array* dan lain-lain.

Antena *reflector* umumnya digunakan untuk mentransmisikan dan menerima sinyal yang akan dikirim atau diterima dari jarak jutaan mil. Hal ini karena karakteristik antena *reflector* yang memiliki dimensi yang lebar untuk mencapai *gain* yang sangat tinggi. Contoh antena *reflector* adalah antena parabola, *corner reflector* dan lain-lain.

Antena lens merupakan antena yang umumnya bekerja pada frekuensi tinggi. Dengan mengatur geometri dan bahan antena yang sesuai, antena lens dapat mengubah bermacam-macam bentuk energi yang berbeda-beda menjadi gelombang datar. Contoh bentuk antena lens yaitu *convex-plane*, *convex-convex plane*, *convex-concave* dan *concave-plane lenses*.

2.2 Pola Radiasi Antena

Antena memiliki sifat *directional*, yaitu kerapatan daya elektromagnetik yang diradiasikan dari sebuah antena transmisi dengan intensitas yang berbeda-beda disekitar antena. Variasi radiasi sudut disekitar antena transmisi merupakan konsep pola radiasi. Pola radiasi merupakan representasi sebuah grafis dari sifat radiasi sebuah antena. Daerah radiasi pada sebuah antena berbanding terbalik dengan jarak. Hal ini merupakan sifat umum pada semua tipe antena.

Pola radiasi dapat diartikan sebagai pola medan (*field pattern*) jika kuat radiasi yang direpresntasikan adalah kuat medannya. Namun jika kuat radiasi yang direpresentasikan adalah vektor ponyting, pola radiasi diartikan sebagai pola daya (*power pattern*)[6].

Umumnya pola medan yang sudah ternormalisasi dapat ditulis dengan

$$F(\theta, \phi) = g(\theta, \phi)f(\theta, \phi) \quad (2.1)$$

dimana $g(\theta, \phi)$ adalah faktor elemen dan $f(\theta, \phi)$ merupakan faktor pola. Faktor pola didapat dari integral dari arus dan dibatasi akibat dari distribusi arus pada ruang. Faktor elemen merupakan pola dari sebuah arus elemen yang sangat kecil pada arus distribusi. Misalkan, sebuah arus elemen pada arah z adalah $F(\theta) = \sin \theta$. Nilai tersebut juga merupakan faktor elemen, sehingga $g(\theta) = \sin \theta$ [6].

Untuk menentukan pola radiasi, daerah far field harus diketahui.

$$\text{Syarat daerah far - field adalah jika } r > \frac{2 D^2}{\lambda} \quad (2.2)$$

, $r \gg D$ dan $r \gg \lambda$

dengan

D = panjang antena

r = jarak antara titik pusat ke suatu titik observasi

λ = panjang gelombang

Pada koordinat bola, medan listrik E dan medan magnet H , masing masing memiliki unit vektor θ , sudut elevasi dan ϕ , sudut azimuth. Sedangkan vektor *ponyting* dalam koordinat tersebut hanya memiliki unit radial dan dirumuskan dengan:

$$P_r = \frac{|E|^2}{2 \eta} \quad (2.3)$$

dengan

$$|E| = \sqrt{E_\theta^2 + E_\phi^2} = \text{resultan magnitude gelombang listrik}$$

E_θ = unit medan listrik pada arah θ

E_ϕ = unit medan listrik pada arah ϕ

η = impedansi intrinsic ruang bebas (377 Ω)

Pola radiasi yang direpresentasi dalam bentuk grafis, harus dalam bentuk relatif, yaitu pola radiasi yang telah dinormalisasi. Dimana nilai dari setiap pola radiasi (pola medan) yang terbentuk dibagikan dengan nilai maksimum dari keseluruhan nilai yang telah diukur. Direpresentasikan dalam rumus:

$$P(\phi, \theta) = \frac{E(\phi, \theta)}{E(\phi, \theta)_{max}} \quad (2.4)$$

Pola vektor *ponyting* hanya memiliki unit radial dan berbanding lurus dengan kuadrat dari magnitudo kuat medannya, sehingga pola daya jika digambarkan dengan pola normalisasinya akan serupa dengan kuadrat dari pola medan ternormalisasi.

$$P(\phi, \theta) = |F(\phi, \theta)|^2 \quad (2.5)$$

Jika pola radiasi antenna dinyatakan dalam unit *decibel* (dB), maka pola medan dirumuskan kembali menjadi:

$$F(\phi, \theta)_{dB} = 20 \log|F(\phi, \theta)| \quad (2.6)$$

Sedangkan pola dayanya menjadi:

$$P(\phi, \theta)_{dB} = 10 \log|P(\phi, \theta)| \quad (2.7)$$

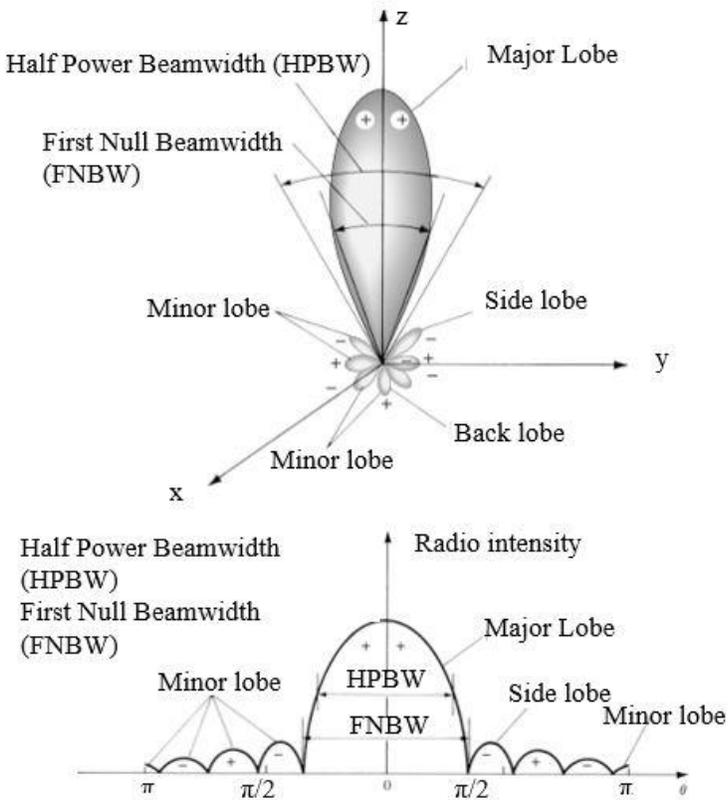
atau

$$P(\phi, \theta)_{dB} = 20 \log|F(\phi, \theta)| \quad (2.8)$$

Dari persamaan (2.6) dan (2.7) dapat dikatakan pola daya sama dengan pola medannya pada satuan desibel.

2.2.1 Parameter Pola Radiasi

Dalam pola radiasi terdapat empat bagian yang didefinisikan sebagai *lobe*. Bagian-bagian tersebut adalah *main, minor, side* dan *back lobes*. Sebuah *lobe* radiasi merupakan sebagian dari pola radiasi yang diapit oleh bagian yang besaran radiasinya lebih rendah [5]. Ilustrasi tiga dimensi pola radiasi dalam unit polar dan dalam dua dimensi digambarkan pada Gambar 2.1[5]:



Gambar 2.1 Pola radiasi

2.2.1.1 Sidelobe Level

Major/Main lobe (main beam) didefinisikan sebagai *lobe* radiasi yang berisi arah radiasi maksimum. Pada Gambar 2.1, *main lobe* menunjuk ke arah $\theta = 0^\circ$. *Minor lobe* merupakan *lobe* lain selain *main lobe*. *Side lobe* adalah sebuah *lobe* radiasi dalam arah lain selain *main lobe* yang diinginkan. Umumnya *side lobe* berdekatan dengan *main lobe* dan berada pada setengah bola dalam arah *main lobe*. *Back lobe* merupakan sebuah *lobe* radiasi dengan sumbu z yang berbeda sudut 180° atau bertolak belakang dengan *main lobe*. *Side lobe* dapat digolongkan sebagai *minor lobe* terbesar. Besaran tingkatan pada *minor*

lobe umumnya dinyatakan sebagai rasio besar puncak *side lobe* dengan nilai maksimum *main lobe*. Rasio tersebut umumnya dikatakan juga dengan *side lobe level* (SLL)[6]. SLL dinyatakan dalam satuan desibel dan dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$SLL_{db} = 20 \log \frac{|F(SLL)|}{|F(max)|} \quad (2.9)$$

dimana

$|F(SLL)|$ = nilai maksimum dari *side lobe* paling besar

$|F(max)|$ = nilai maksimum dari *main lobe*

Pola radiasi pada antenna sebagian besar menunjukkan pola *lobe* dalam berbagai arah sudut, dimana arah tersebut merupakan kekuatan maksimum sinyal yang terpancar, dan dipisahkan oleh *nulls*, yaitu sudut dimana kekuatan sinyal terpancar bernilai nol. Adanya *main lobe* dan *side lobe* pada pola radiasi merupakan sifat yang umum pada semua tipe antenna terutama antenna *directional*. Pada antenna *directional*, gelombang radio difokuskan pada satu arah tertentu sehingga kekuatan medan pada arah tersebut akan lebih besar daripada yang lain; hal ini dinamakan *major/main lobe*. Adanya *sidelobe* yang berlebihan pada antenna baik pengirim maupun penerima dapat meningkatkan tingkat interferensi pada antenna.

Karena pola radiasi *far-field* antenna secara umum adalah transformasi fourier dari ukuran aperturnya, adanya *side lobe* tidak dapat dihindari, kecuali jika distribusi aperturnya berupa *gaussian* atau dimensi. Semakin besar dimensi dan ukuran antenna semakin besar *side lobe* yang terlihat.

2.2.1.2 Half-power Beamwidth (HPBW)

HPBW merupakan sudut antara dua poin dari pola radiasi bila dayanya turun sebesar 3 dB atau setengah daya maksimalnya[6].

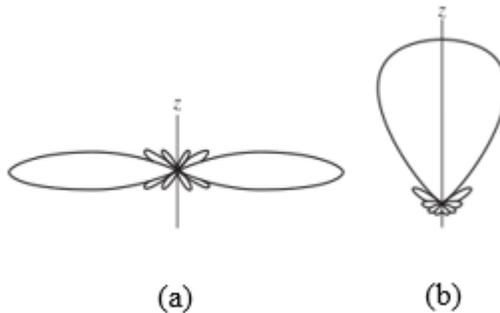
HPBW dirumuskan dengan:

$$HPBW = |\theta_{HPBWleft} - \theta_{HPBWright}| \quad (2.10)$$

Dengan $\theta_{HPBWleft}$ dan $\theta_{HPBWright}$ adalah poin-poin pada sisi kiri dan kanan dari *main lobe* yang pola dayanya setengah nilai daya maksimumnya.

Dalam pola radiasi antenna terdapat istilah seperti antenna *broadside* dan *endfire*. Arti dari istilah tersebut yaitu suatu antenna dikatakan *broadside*, jika arah maksimum pada *main lobe* berada di arah normal (tegak lurus) bidang antenna. Sedangkan suatu antenna dikatakan antenna *endfire*, jika arah maksimum *main lobe* antenanya terdapat pada sepanjang arah bidang antenna.

Jika antenna *array* linier yang berada di sepanjang sumbu z , *broadside* memiliki arah maksimum pada $\theta = 90^\circ$ dan jika *endfire* arah maksimumnya pada sudut 0° atau 180° . Gambar 2.2 mengilustrasikan pola radiasi antenna *broadside* dan *endfire*:

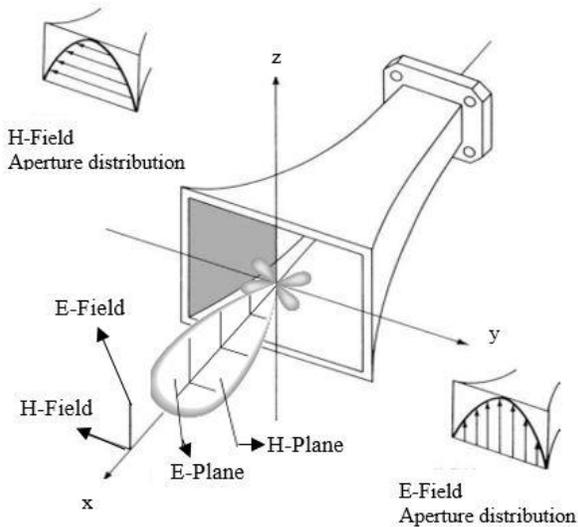


Gambar 2.2 Pola radiasi (a) *broadside* dan (b) *endfire*

2.2.1.3 Pola isotropic, directional, dan omnidirectional

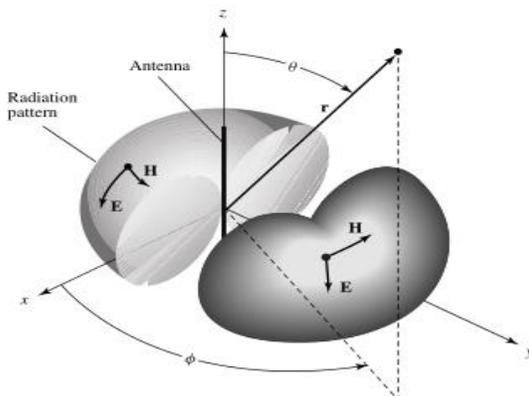
Antena pemancar isotropis didefinisikan sebagai antenna yang mentransmisikan atau menangkap gelombang elektromagnetik yang setara dalam segala arah.

Antena directional merupakan antenna yang memiliki sifat transmisi atau menerima gelombang elektro yang lebih efektif pada arah tertentu dibandingkan arah yang lain. Hal ini ditujukan pada antenna yang nilai maksimum directivitasnya lebih besar daripada antenna dipole setengah gelombang, salah satu contoh antenna yang memiliki pola radiasi directional adalah antenna horn (Gambar 2.3).



Gambar 2.3 Pola Directional

Sedangkan pola omnidirectional pada antenna merupakan pola tidak directional pada permukaan tertentu dan pola permukaan lain yang tegak lurus dengan permukaan tersebut. Pola omnidirectional ditunjukkan pada gambar berikut:



Gambar 2.4 Pola Ominidirectional

2.3 Antena Array

Nilai gain pada antena merupakan hal yang penting sebab semakin tinggi gain suatu antena semakin jauh jarak komunikasi yang dapat dilakukan antena tersebut. Namun untuk mencapai hal tersebut, hanya dapat dilakukan dengan memperbesar ukuran antena. Dengan memperbesar dimensi satu element dapat meningkatkan karakteristik direktif (gain tinggi) pada antena. Cara lain untuk meningkatkan gain pada antena tanpa harus memperbesar ukuran satu element adalah dengan menyusun elemen-elemen radiasi dalam konfigurasi elektrik dan geometris. Antena yang dibentuk dengan multielement tersebut dinamakan antena *array*.

Umumnya terdapat empat tata letak elemen dari antena *array* untuk dikonfigurasi. Empat tata letak tersebut adalah *array linear*, *planar*, *circular*, dan *conformal*. Elemen-elemen yang di tata pada satu garis lurus dinamakan *array linear*. Element-elemen yang ditata pada bidang datar disebut *array planar*, elemen-elemen yang ditata secara melingkar/ menjadi bentuk lingkaran dinamakan *array circular*. Dan jenis *array* yang elemennya ditata pada bidang tidak datar disebut *array conformal*.

Hasil rancangan suatu *array* dengan menggunakan elemen isotropis, akan didapat kriteria yang disebut faktor *array* (*array factor*). Dan pola yang didapat dari sifat radiasi dari masing-masing elemen yang merupakan antena sebenarnya dinamakan sebagai faktor elemen (*element factor*).

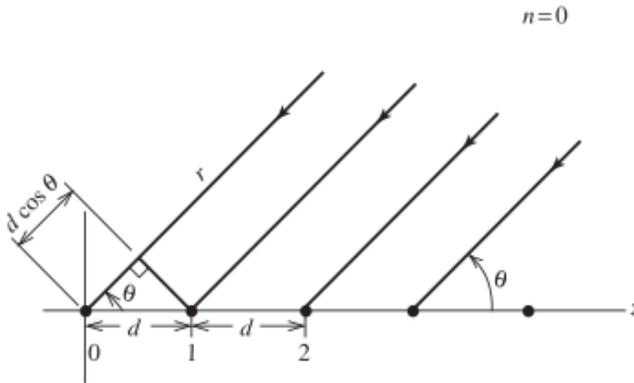
Faktor *array* pada suatu antena selain tata letak elemen yang diatur, jumlah dan jarak antar elemen, serta amplitudo daya dan fasa relative tiap elemen perlu direncanakan juga.

Elemen-elemen pada antena *array*, dalam persambungannya dengan saluran transmisi akan menghasilkan pola radiasi penerima atau pemancaran yang tepat (tanpa melihat sisi arah pancaran atau beam tersebut memiliki sumber sinyal atau tidak). Dengan melakukan pengolahan sinyal dari masing-masing elemennya, suatu antena *array* dapat menjadi aktif dan bekerja secara optimal terhadap suatu kondisi, menyelaraskan *major lobe* ke arah sumber yang ditentukan, dan mengarahkan *null-null* ke arah yang tidak diperlukan. Sehingga output *array* menjadi optimal. Jenis antena *array* ini dinamakan dengan antena optimal dan metode ini dapat diaplikasikan juga pada antena adaptif (*adaptive antenna*)[5].

2.3.1 Antena linier array

Struktur dari antena *array* linier yaitu berupa garis lurus. Jarak antar elemen dapat diatur sama (uniform) atau berbeda-beda (non-uniform), bergantung permasalahan yang akan diselesaikan.

Gambar 2.5 merupakan antena *array* linier yang terdiri dari beberapa elemen, dari elemen ke-0 hingga N-1. Jarak antar elemen, d , dianggap sama panjang. θ merupakan sudut yang dibentuk dari gelombang datang menuju elemen *array* sepanjang sumbu z . Pancaran dari sumber isotropis sama di segala arah, namun saat keluarannya ditambahkan (masing-masing diberi bobot berdasarkan I_a), diperoleh respon arah. Fase dari gelombang datang pada *array* dimulai dari 0 menjadi $\xi_0 = 0$. Gelombang datang pada elemen ke-1 datang sebelum fase gelombang datang pada sumbu dengan jarak yang lebih pendek dari $d \cos \theta$. Selisih fase antar elemen yang berdekatan dirumuskan dengan $\xi_1 = \beta d \cos \theta$, yang ditandai oleh $0, 1, \dots, N-1$ [6].



Gambar 2.5 Antena *array* linier dengan jarak antar elemen sama

Faktor *array* pada suatu antena *array* N-elemen didapat dengan menjadikan elemen sebagai titik sumber. Jika setiap elemennya bukan sumber isotropis, maka total medan yang terbentuk merupakan hasil perkalian antara faktor *array* dari sebuah sumber isotropis dengan medan dari elemen tunggal. Untuk antena *array* linier dengan N-elemen, faktor *array* yang dapat terbentuk dirumuskan dengan:

$$AF = I_0 + I_0 e^{j\beta 2d \cos \theta} + \sum_{n=0}^{N-1} I_n e^{j\beta n d \cos \theta} \quad (2.11)$$

Jika beda fase antar elemen dinyatakan dalam α , dan diasumsikan *array* melakukan transmisi, maka fasa dapat dipisah dengan jelas (apabila arus memiliki progresif fasa linier) serta ditulis dengan persamaan 2.12

$$I_n = A_n e^{jn\alpha} \quad (2.12)$$

Sehingga jika dihubungkan antara persamaan 2.11 dengan persamaan 2.12, rumus faktor *array* menjadi:

$$AF = \sum_{n=0}^{N-1} A_n e^{jn(\beta d \cos \theta + \alpha)} \quad (2.13)$$

Apabila $\psi = \beta d \cos \theta + \alpha$, maka:

$$AF = \sum_{n=0}^{N-1} A_n e^{jn\psi} \quad (2.14)$$

Jika eksitasi sama: $A_0 = A_1 = A_2 = \dots = A_N$, maka persamaan sebelumnya dapat dirumuskan kembali menjadi:

$$AF = A_0 \sum_{n=0}^{N-1} e^{jn\psi} = A_0 (1 + e^{j\psi} + \dots + e^{j(N-1)\psi}) \quad (2.15)$$

Dengan mengalikan $e^{j\psi}$ dengan persamaan 2.15 dapat dinyatakan dengan:

$$\begin{aligned} (AF)e^{j\psi} &= A_0 (e^{j\psi} + e^{j2\psi} + \dots + e^{jN\psi}) \\ AF(1 - e^{j\psi}) &= A_0 (1 - e^{jN\psi}) \end{aligned} \quad (2.16)$$

lalu

$$AF = A_0 \frac{e^{jN\psi} - 1}{e^{j\psi} - 1} = A_0 \frac{e^{\frac{jN\psi}{2}} e^{\frac{jN\psi}{2}} - e^{-\frac{jN\psi}{2}}}{e^{j\psi} e^{j\psi} - e^{\frac{j\psi}{2}} e^{\frac{j\psi}{2}}} \quad (2.17)$$

$$AF = A_0 e^{j(N-1)\psi/2} \frac{\sin(N\psi/2)}{\sin(\psi/2)} \quad (2.18)$$

Faktor fase, $e^{j(N-1)\psi/2}$ akan diabaikan, sehingga faktor *array* dapat dirumuskan menjadi:

$$AF = A_0 \frac{\sin(N\psi/2)}{\sin(\psi/2)} \quad (2.19)$$

Persamaan 2.19 maksimum saat $\psi = 0$ dan ditulis dengan

$$AF(\psi = 0) = A_0 (1+1+\dots+1) = A_0 N \quad (2.20)$$

Rumus fungsi faktor *array* menjadi:

$$f(\psi) = \frac{\sin(N\psi/2)}{N \sin(\psi/2)} \quad (2.21)$$

Pada persamaan z merupakan fungsi faktor *array* yang dinormalisasi pada N-elemen dari *array* linear dengan arus amplitude satu daya yang serba sama, atau disebut *Uniform Linear Array* (ULA)[5].

2.4 Sintesis Antena

Dalam bidang teknik umumnya terdapat dua permasalahan yaitu analisis dan sintesis, begitu juga dengan desain antena. Analisis antena menggunakan analisa rumus, simulasi dan/atau pengukuran untuk mengetahui bagaimana sebuah antena bekerja dan untuk menentukan karakteristik kinerjanya. Sedangkan sintesis antena merupakan

kebalikan dari analisis antena, yaitu sebuah struktur antena diturunkan untuk memenuhi kriteria karakteristik kinerja yang telah ditetapkan, umumnya seperti pola radiasi (sintesis pola antena). Dalam sintesis pola antena terdapat beberapa tahapan yaitu pertama, memilih perkiraan model analisis untuk menggambarkan pola yang diinginkan. Tahapan kedua yaitu mencocokkan model analisis dengan model fisik antena. Salah satu kategori sintesis pola antena adalah pola antena memiliki *null* dalam arah yang diinginkan. Metode tersebut dicapai dengan menggunakan metode polinomial Schelkunoff.

2.4.1 Metode Polinomial Schelkunoff

Metode Polinomial Schelkunoff merupakan sebuah metode sintesis antena *array* dimana dalam desainnya memerlukan informasi mengenai jumlah *null* dan letaknya. Untuk memperoleh informasi tersebut, didapat melalui jumlah elemen dan koefisien eksitasinya atau Faktor *array* nya. Formulasi faktor *array* untuk N-elemen, spasi antar elemen sama, amplitudo non-uniform, dan eksitasi fasa progresif dapat dituliskan sebagai berikut:

$$AF = \sum_{n=1}^N a_n e^{j(n-1)(kd \cos \theta + \beta)} = \sum_{n=1}^N a_n e^{j(n-1)\psi} \quad (2.22)$$

Dimana a_n adalah eksitasi amplitudo nonuniform dari masing-masing elemen. d adalah jarak antar elemen dan β merupakan pergeseran fasa progresif.

Jika

$$z = x + jy = e^{j\psi} = e^{j(kd \cos \theta + \beta)} \quad (2.23)$$

Maka Persamaan (2.20) dapat diubah menjadi

$$AF = \sum_{n=1}^N a_n z^{n-1} = a_1 + a_2 z + a_3 z^2 + \dots + a_N z^{N-1} \quad (2.24)$$

Yang merupakan sebuah polinomial sudut (N-1). Dari matematika variabel kompleks dan aljabar, semua polinomial sudut (N-1) memiliki akar-akar (N-1) dan dapat dinyatakan sebagai hasil dari (N-1) istilah linear. Sehingga dapat ditulis menjadi:

$$AF = a_n(z - z_1)(z - z_2)(z - z_3) \dots \dots (z - z_{N-1}) \quad (2.25)$$

Dimana z_1, z_2, z_3, z_{N-1} adalah akar-akar, yang mungkin kompleks, dari polinomial.

Magnitudo dari persamaan dapat dinyatakan seperti

$$|AF| = |a_n| |z - z_1| |z - z_2| |z - z_3| \dots \dots |z - z_{N-1}| \quad (2.26)$$

Variabel kompleks z pada persamaan (2.24) dapat ditulis dalam bentuk lain

$$z = |z|e^{\psi} = |z|\angle\psi \quad (2.27)$$

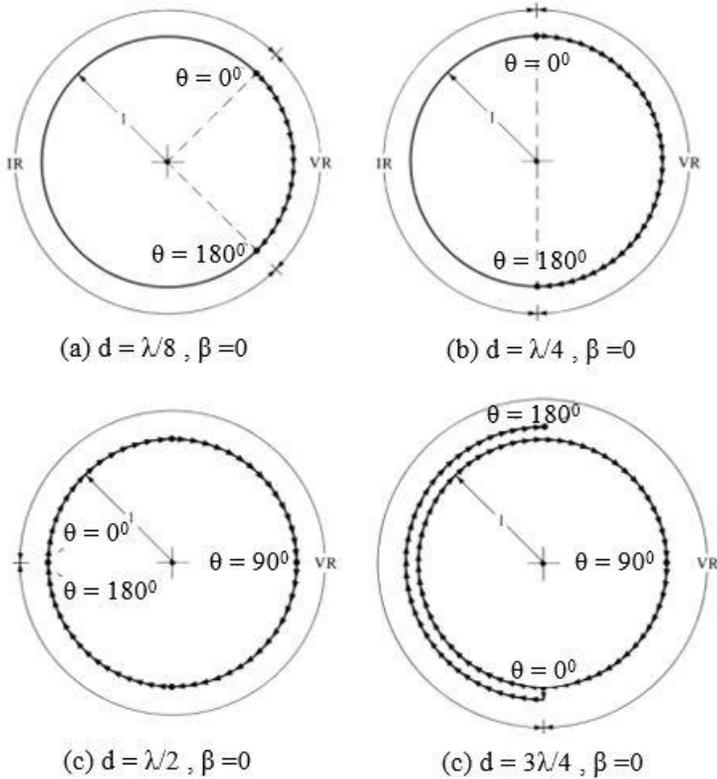
$$\psi = kd \cos \theta + \beta = \frac{2\pi}{\lambda}d \cos \theta + \beta \quad (2.28)$$

Nilai d, θ , atau β magnitudo dari z terletak pada sebuah unit lingkaran; namun fasanya tergantung pada d, θ , dan β . Pada unit lingkaran terbagi menjadi dua bagian yaitu daerah terlihat, bagian yang dapat direalisasikan, dan daerah tidak terlihat, bagian sisanya. Luas dari daerah terlihat dapat diatur dengan jarak antar elemen dan posisi relatifnya pada lingkaran dengan eksitasi dari element fasa progresif.

Untuk $d = \lambda/8$, nilai z , untuk semua sudut θ yang secara fisik dapat diamati, hanya ada pada bagian lingkaran dinamakan daerah terlihat dan ditunjukkan pada Gambar 2.4 (a)[6]. nilai z lain yang berada diluar lingkaran tersebut tidak dapat direalisasikan oleh sudut θ apapun yang secara fisik dapat diamati dan dinamakan daerah tak terlihat. Dan semakin lebar jarak antar elemen semakin luar daerah terlihat. Hal ini dibuktikan pada Gambar 2.6 (b-d).

Magnitudo dari faktor *array*, memiliki sebuah interpretasi geometris. Untuk nilai z yang diberikan pada daerah terlihat dari unit lingkaran, sesuai dengan nilai θ yang ditentukan melalui persamaan (2.22), $|AF|$ sebanding dengan hasil dari jarak antar z dan $z_1, z_2, z_3, \dots, z_{N-1}$, akar-akar AF. Fasa AF setara dengan jumlah fasa antar z dan masing-masing akar (*zeros*). Jika semua akar $z_1, z_2, z_3, \dots, z_{N-1}$ terletak didaerah terlihat unit lingkaran maka masing-masing akar sesuai dengan *null* pada pola $|AF|$ karena saat θ berubah, z juga berubah dan

akhirnya akan melewati masing-masing z_n . Ketika itu terjadi, jarak antara z dan z_n tersebut menjadi nol dan hilang (2.26)[6].



Gambar 2.6 Batas Daerah terlihat (VR) dan daerah tak terlihat (IR) untuk variabel kompleks z ketika $\beta = 0$

2.5 Teori Matematis *Array* Linear Schelkunoff

Menurut Schelkunoff [7], terdapat tiga teori dasar pada *array* linier yaitu:

1. Semua *array* linier yang dipisah secara sepadan antar elemennya dapat ditunjukkan dengan sebuah polinomial dan setiap polinomial dapat interpresantasikan sebagai sebuah *array* linier.

Panjang total suatu *array* merupakan hasil dari pemisahan antar elemen dan derajat polinomial. Sudut polinomial merupakan kurang dari satu jumlah elemen. Analisa pada teori pertama ini dapat dituliskan melalui persamaan berikut

$$z = e^{j\psi} \quad (2.29)$$

Yang mana $\psi = \beta l \cos \vartheta - \theta$ merupakan fungsi sudut θ dibuat oleh garis sumber dengan arah tertentu dalam ruang. Karena ψ selalu nyata (*real*), nilai absolut z merupakan kesatuan dan z juga selalu berada pada keliling unit lingkaran. Semakin ϑ meningkat dari 0^0 (ke arah garis sumber) hingga 180^0 (arah berlawanan), ψ akan berkurang dan z bergerak pada arah searah jarum jam. Saat $\vartheta = 0$, $\psi = \beta l \cos \vartheta - \theta$; dan saat $\vartheta = 180^0$, $\psi = -\beta l - \theta$. Karenanya jarak $\bar{\psi}$ dijelaskan dengan z yaitu

$$\bar{\psi} = 2 \beta l \quad (2.30)$$

Saat pemisah l antar elemen *array* berturut-turut sama dengan setengah panjang gelombang, jarak $z = 2 \pi$ dan ϑ bervariasi dari 0^0 hingga 180^0 , z menggambarkan sebuah siklus lengkap dan kembali ke posisi awalnya. Karena intensitas radiasi merupakan sebuah fungsi periodik dari ψ , faktor ruang dari *array* yang diberikan akan mengulangi dirinya sendiri jika pemisah antar elemen lebih besar dari setengah panjang gelombang.

2. Terdapat sebuah *array* linier dengan faktor ruang yang sama dengan hasil dari faktor ruang dua *array* linier.

Dengan kata lain, terdapat sebuah *array* linier seperti intensitas radiasinya pada arah manapun yang diberikan merupakan hasil dari intensitas radiasi ke arah dua *array* lainnya yang diberikan. Teorema ini dijelaskan melalui persamaan berikut

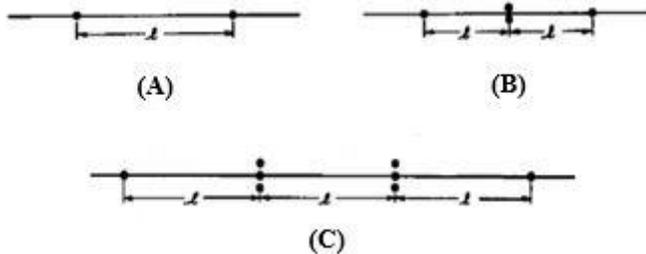
$$\begin{aligned} \sqrt{\Phi_1} &= |a_0 + a_1 z + a_2 z^2 + \dots + a_{n-1} z^{n-1}|, \\ \sqrt{\Phi_2} &= |b_0 + b_1 z + b_2 z^2 + \dots + b_{n-1} z^{m-1}|, \\ \sqrt{\Phi_1} \sqrt{\Phi_2} &= |(a_0 + a_1 z + a_2 z^2 + \dots + a_{n-1} z^{n-1})(b_0 \\ &\quad + b_1 z + b_2 z^2 + \dots + b_{n-1} z^{m-1})| \\ &= |a_0 b_0 + (a_0 b_1 + a_1 b_0)z + (a_0 b_2 + \\ &\quad a_1 b_1 + a_2 b_0)z^2 + \dots| \end{aligned} \quad (2.31)$$

Koefisien dari hasil yang diperpanjang menunjukkan amplitudo dan fasa dari *array* yang diturunkan.

Umumnya proses tersebut dapat diulang dan sebuah *array* linier dapat dibangun dengan faktor ruangnya yang setara dengan hasil dari faktor ruang *array* linier berapapun atau berapapun daya faktor ruang dari *array* berapapun.

Metode menyusun faktor ruang sebenarnya merupakan sebuah pernyataan analisis konstruksi geometris *array* pada *array*. Maksud dari *array* pada *array* diilustrasikan pada Gambar 2.7.

Gambar 2.7(A) merupakan sepasang sumber safasa dengan daya yang sama. Pada Gambar 2.7(B), dua elemen yang digunakan sama dengan (A), namun pada sumber yang ditengah ditambah ke sebuah sumber dengan dua daya. Jika operasi tersebut diulangi dengan mengambil (B) sebagai elemen (A) atau (A) diambil sebagai elemen (B), maka hasilnya adalah (C); amplitudo C sebanding dengan 1,3,3,1.



Gambar 2.7 *Array* pada *Array*

Masing-masing pergeseran sumber ke kanan dengan jarak l ditunjukkan secara analisis sebagai perkalian dengan z , dan dapat ditulis dengan persamaan berikut

$$(a_0 + a_1z + a_2z^2)z = a_0z + a_1z^2 + a_2z^3 \quad (2.32)$$

Persamaan x menunjukkan bahwa masing-masing elemen pada sebuah *array* bergeser dengan jarak yang sama dengan *array* keseluruhan. Sama halnya dengan perubahan yang diberikan pada daya dan fasa pada *array* dapat dilakukan dengan membuat perubahan yang

sama pada semua elemennya. Hal ini dibuktikan melalui persamaan berikut

$$b(a_0 + a_1z + a_2z^2) = ba_0z + ba_1z^2 + ba_2z^3 \quad (2.33)$$

Umumnya, sebuah *array* ditulis dengan

$$f(z) = a_0 + a_1z + a_2z^2 + \dots + a_{n-1}z^{n-1}$$

Persamaan tersebut diambil sebagai elemen sebuah *array* yang diberikan pada

$$F(z) = b_0 + b_1z + b_2z^2 + \dots + b_{m-1}z^{m-1} \quad (2.34)$$

Kemudian hasil *array* pada *array* dapat ditunjukkan dengan

$$f(z)F(z) = b_0f(z) + b_1zf(z) + b_2z^2f(z) + \dots + b_{m-1}z^{m-1}f(z) \quad (2.35)$$

3. Faktor ruang sebuah *array* linier dari n elemen merupakan hasil dari faktor ruang n-1 *virtual couplet* dengan titik *null* nya pada nol dari kuat daya *array* $\sqrt{\Phi} : t_1, t_2, \dots, t_{n-1}$.

Berdasarkan intensitas radiasi sebuah *array* sama dengan kuadrat dari hasil jarak dari titik null pada *array* terhadap titik z pada unit lingkaran. Untuk masing-masing titik null yang berada pada jarak z, terdapat satu *cone of silence* yang disediakan masing-masing titik null dihitung setiap kali z melewati titik tersebut.

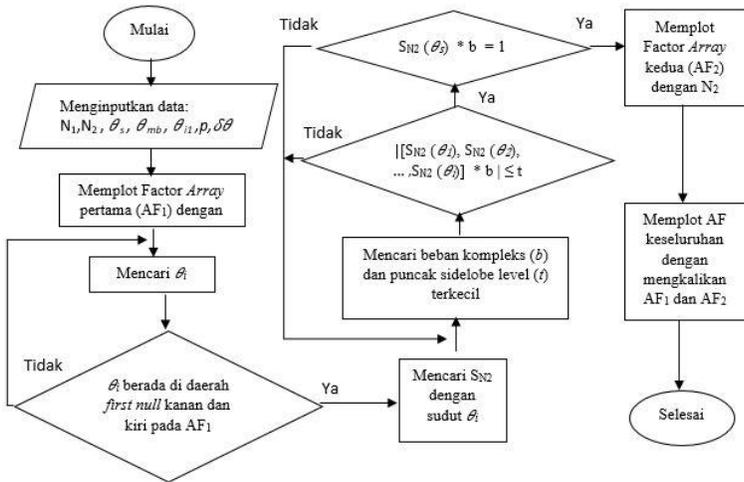
BAB III PEMODELAN SISTEM SIMULASI

3.1 Pemodelan Sistem Simulasi

Untuk penelitian yang akan dilakukan yaitu analisa sistem teknik dua polinomial diperlukan beberapa aspek yang perlu dipenuhi seperti pemodelan sistem dan langkah-langkah kerja sistem pada antenna *array* *uniform* linier dalam mengurangi *sidelobe level*.

Pada simulasi, diasumsikan antenna yang digunakan adalah antenna *array* linier dengan jumlah elemen tertentu akan dioptimasi agar menghasilkan *sidelobe* yang rendah dengan cara mengkalikan dua faktor *array* pada elemen-elemen yang ditentukan.

Alur pemodelan sistem ditunjukkan pada Gambar 3.1, dengan menggunakan *software* MATLAB R2016a untuk menjalankannya. Dengan didasari penelitian Zafar-Ullah, Aqdas dan Fahad [3][4], sebuah pola radiasi baru dapat terwujud dari hasil perkalian dua pola radiasi dari dua *array* linier.



Gambar 3.1 Diagram alir metode dua polinomial dengan *software* MATLAB

3.2 Prosedur Simulasi

Pada subbab ini akan dijelaskan proses simulasi pada MATLAB dengan alur pada Gambar 3.1. Pada penelitian Zafar-Ullah, Aqdas dan

Fahad [3][4] menggunakan teori matematis *array* linier schelkunoff sebagai acuan dalam membuat optimasi sintesis antena pada metode polinomial schelkunoff. Terdapat tiga tahapan utama pada metode dua polinomial yaitu yang pertama adalah mencari faktor *array* pertama, mencari faktor *array* kedua dan mengkalikan kedua faktor *array* tersebut.

3.2.1 Penginputan Data

Data yang digunakan pada simulasi berupa banyaknya elemen untuk *array* linier pertama dan *array* linier kedua ditulis dengan simbol N_1 dan N_2 , arah sudut *main lobe* θ_s , lebar *main lobe* θ_{mb} , null-null yang ingin diatur (steering) θ_{il} , banyaknya sampel p untuk mencari θ_i , dan jarak antar sampel $\delta\theta$.

Dari data-data tersebut, akan diuji satu persatu untuk mengetahui pengaruhnya pada faktor *array* keseluruhan yang mana akan dijelaskan pada BAB IV.

3.2.2 Memplot Faktor Array Pertama

Faktor *array* pertama dapat dicari dengan metode polinomial schelkunoff dan jika diasumsikan sebuah *array uniform* linier (ULA) dengan N elemen omnidirectional dengan jarak antar elemen d dan pergeseran fase progresif α . sudut datang θ dari gelombang datar yang mengenai *array* dan perbedaan jalur gelombang dari gelombang tersebut pada elemen yang berdekatan dirumuskan $x = d \cos \theta$ sesuai dengan Gambar 3.2[3].

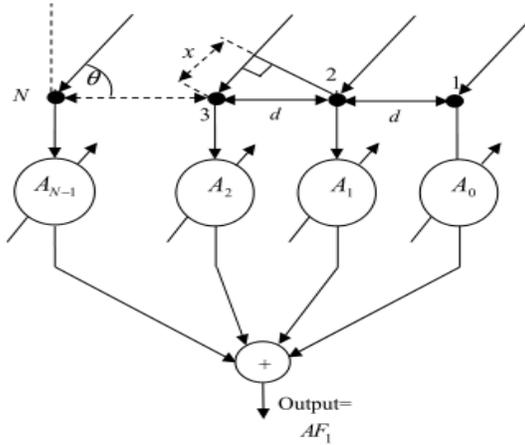
Keluaran dari elemen-elemen *array* akan ditambahkan setelah dikalikan dengan beban yang sudah dipilih secara tepat A_0, A_1, \dots, A_{N-1} untuk mengatur null pada arah *jammer*. Pada Gambar 3.2, seluruh elemen pada *array* dijadikan sebagai referensi dan perbedaan fasa sinyal yang diterima pada elemen dituliskan dengan rumus:

$$\psi = \alpha + \left(\frac{2\pi}{\lambda}\right) d \cos(\theta) \quad (3.1)$$

dimana $2\pi/\lambda = k$ merupakan jumlah gelombang. Pergeseran fasa progresif α akan mengatur arah *main lobe* sesuai yang diinginkan. Ditunjukkan pada persamaan 3.2 :

$$\alpha = -\left(\frac{2\pi}{\lambda}\right) d \cos(\theta_s) \quad (3.2)$$

Jika $z = e^{j\psi}$, maka faktor *array* pertama dapat dinyatakan sama dengan persamaan (2.23).



Gambar 3.2 Sebuah N elemen ULA dengan N-1 *null* yang dapat diatur

3.2.3 Memplot Faktor Array Kedua

Faktor *array* kedua merupakan penekanan *sidelobe* dan dapat dinyatakan dengan rumus:

$$AF_2 = b_0 + b_1 z + \dots + b_{N_2-1} z^{N_2-1} = \mathbf{s}_{N_2} \mathbf{b} \quad (3.3)$$

dimana $\mathbf{b} = [b_0, b_1, \dots, b_{N_2-1}]^T$ adalah vector beban kompleks dan $\mathbf{S}_{N_2} = [1, z, \dots, z^{N_2-1}]$ adalah vector *steering*. Syarat pada vector \mathbf{b} yaitu menjamin penekanan *sidelobe* dan mengarahkan *main lobe* pada arah yang sama dengan faktor *array* pertama (AF_1). Untuk mencari vector \mathbf{b} diperlukan beberapa tahapan yaitu mencari sudut yang dapat menekan *sidelobe* θ_i , mencari vector *steering* \mathbf{S}_{N_2} dengan sudut θ_i sebagai syarat \mathbf{b} . Dari syarat tersebut, \mathbf{b} didapat dengan optimasi *second*

cone order programming (SOCP) dengan berdasarkan *sidelobe level* tertinggi dengan nilai terkecil.

3.2.3.1 Mencari Nilai θ_i

Untuk mencari sudut yang dapat menekan *sidelobe* θ_i , suatu daerah pengukuran harus ditentukan. Daerah tersebut diasumsikan sebagai S_R , yaitu gabungan dari dua bagian yang berisi sudut dari daerah *sidelobe* kiri dan kanan *main beam* dengan lebar *beam* θ_{mb} tertentu.

$$S_R = \{ 0^\circ < \theta \leq \theta_s - \frac{\theta_{mb}}{2} \} \cup \{ \theta_s + \frac{\theta_{mb}}{2} < \theta \leq 180^\circ \} \quad (3.4)$$

Setelah menentukan banyaknya sampel yang akan diambil, p . Pencarian sudut pertama-tama didapat melalui persamaan :

$$\theta_i = \theta_0 + i\delta\theta, \quad (3.5)$$

dimana θ_0 adalah sudut sampel permulaan, i merupakan urutan sampel $p-1$, dan $\delta\theta$ adalah jarak antar sampel. Jika sudut-sudut diskrit sampel yang didapat sesuai dengan daerah S_R . Sudut tersebut akan ditaruh pada matriks A_{SR} . A_{SR} dapat dinyatakan dengan:

$$A_{SR} = \{ \theta_i | \theta_i \in S_R \wedge \theta_i = \theta_0 + i\delta\theta \} \subseteq S_R, \quad (3.6)$$

Untuk mencari A_{SR} dengan syarat S_R dalam matlab dapat ditulis dengan perintah sebagai berikut:

```
ASR = [];
for i = 0:p-1;
    thetai(i+1) = theta0+i*dtheta;
    if (thetai(i+1) > B) && (thetai(i+1) < C);
        elseif (thetai(i+1) >= 180) && (thetai(i+1)
< 0);
            continue
        else
            ASR = [ASR thetai(i+1)];
        end
end
end
```

3.2.3.2 Mencari S_{N_2} dengan Sudut θ_i

Sudut-sudut hasil sampel pada A_{SR} dibuat menjadi vektor *steering* S_{N_2} dan ditaruh pada matriks \mathbf{A} dan dituliskan dengan persamaan:

$$\mathbf{A} = [S_{N_2}(\theta_0) S_{N_2}(\theta_1) \cdots S_{N_2}(\theta_{p-1})]^T \quad (3.7)$$

dimana $S_{N_2}(\theta_i) = [1, z_i, \dots, z_i^{N_2-1}]$ dan $z_i = \exp(j(\alpha + (\frac{2\pi}{\lambda})d \cos(\theta_i)))$.

3.2.3.3 Mencari Beban Kompleks (\mathbf{b}) dan *Sidelobe Level Tertinggi* (t)

Karena tujuan dari AF_2 adalah sebagai penekan *sidelobe* maka daya keluaran *array* harus diperkecil sepanjang sudut θ_i yang berada pada A_{SR} dengan batasan unit keluaran sepanjang arah *main beam* yang diinginkan θ_s . Hal tersebut dapat dicapai jika puncak daya keluaran dibatasi dalam daerah *sidelobe*, yaitu *sidelobe level* tertinggi yang memiliki nilai terkecil. Masalah ini dapat ditulis sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \min_b \max(|S_{N_2}(\theta_i)\mathbf{b}|), \quad \theta_i \in A_{SR} \\ \text{subject to} \quad S_{N_2}(\theta_s)\mathbf{b} = 1 \end{aligned} \quad (3.8)$$

Minimalisasi daya ini dapat dicari dengan menggunakan *second-order cone programming* (SOCP) yang merupakan bagian dari optimasi *convex*. Sehingga didapat persamaan baru:

$$\begin{aligned} \text{Minimize} \quad & t \\ \text{subject to} \quad & |\mathbf{A}\mathbf{b}| \leq t \\ & S_{N_2}(\theta_s)\mathbf{b} = 1 \end{aligned} \quad (3.9)$$

Masalah optimasi ini dapat diselesaikan dengan menggunakan [8] yang merupakan sebuah program matlab bernama *cvx* program.

Perintah matlab untuk proses optimasi ini ditulis seperti berikut:

```
cvx_begin                                %% Program CVX
    variables b(N2) t                    %% b sebanyak N2 elemen
    minimize(t)
subject to                                %% Batasan
```

```

abs(A*b) <= t
Sn2s * b == 1
cvx_end

```

Untuk membuktikan hasil dari program tersebut sesuai dengan batasan yang diberikan yaitu matriks \mathbf{b} jika dikalikan dengan matriks A dan nilai perkalian tersebut diabsolut harus kurang dari sama dengan t (*sidelobe level* tertinggi). Serta jika matriks \mathbf{b} dikalikan dengan $s_{N_2}(\theta_s)$ dan semua hasilnya dijumlahkan harus bernilai 1, $\sum_{i=0}^{N_2} b_i = 1$.

3.2.3.4 Mencari Faktor Array Kedua

Jika vektor beban kompleks \mathbf{b} sudah didapat maka faktor *array* kedua bisa didapat dengan persamaan 3.3, dengan θ sudut sebanyak daerah pengukuran yaitu $0-180^\circ$.

3.2.3.5 Memplot Faktor Array Hasil Perkalian Kedua Faktor Array

Dalam mencari faktor *array* keseluruhan, faktor *array* pertama dan kedua harus dibuat menjadi decibel. Dan hasil matriks dari keduanya dijumlah sehingga nilai faktor *array* keseluruhan didapat.

Polinomial AF_2 menekan tingkat *sidelobe* dan tumpang tindih dengan *main beam* yang menjadi bagian dari AF_1 . Karena perkalian pola, $AF = AF_1 \cdot AF_2$ akan memberikan kemampuan pengaturan *null* independen dengan *sidelobe* yang ditekan.

3.3 Struktur Antena Berdasarkan Simulasi

Hasil simulasi metode dua polinomial dengan penekanan *sidelobe* yang telah didapat akan menjadi referensi untuk membuat desain struktur antena *array* uniform linier. Berdasarkan jurnal [4], dicontohkan sebuah struktur yang berfungsi untuk mengatur 5 *null* secara independen dan menggunakan 3 beban untuk menekan *sidelobe*. Sehingga diketahui $N_1 = 5$ dan $N_2 = 3$. Pada Gambar 3.3, struktur dimulai dengan ULA 8 elemen yang mana merupakan penjumlahan N_1 dan N_2 . Saat tahap pertama yaitu tahap N_1 , masing-masing *adder* memiliki dua masukan. Dalam struktur ini, tahap pertama mengatur posisi *null* pertama dimana masukan pertama masing-masing *adder* dikalikan dengan $(-z_1)$. Keluaran ke j pada tahap ini dinyatakan dengan

$y_{1,j}$ dengan $j = 1, \dots, N_1 + N_2 - 1$ dan dapat ditulis menjadi persamaan sebagai berikut:

$$y_{1,j} = z^{j-1}(z - z_1) \quad (3.10)$$

Sama halnya dengan tahap pertama, tahap kedua mengatur *null* kedua dengan mengkalikan masukan pertama pada masing-masing *adder* -nya dengan $(-z_2)$. Keluaran pada tahapan ini dapat ditulis menjadi:

$$y_{2,j} = z^{j-1}(z - z_1)(z - z_2) \quad (3.11)$$

Pada Gambar 3.3, terlihat bahwa nilai dari keluaran N_2 berada setelah tahap ke N_1 dan untuk $j = 1, \dots, N_2$, keluarannya dapat dinyatakan dengan:

$$y_{2,j} = z^{j-1} \prod_{i=1}^{N_1} (z - z_i) = z^{j-1} AF_1 \quad (3.12)$$

Sehingga artinya keluaran tersebut merupakan kelipatan dari AF_1 :

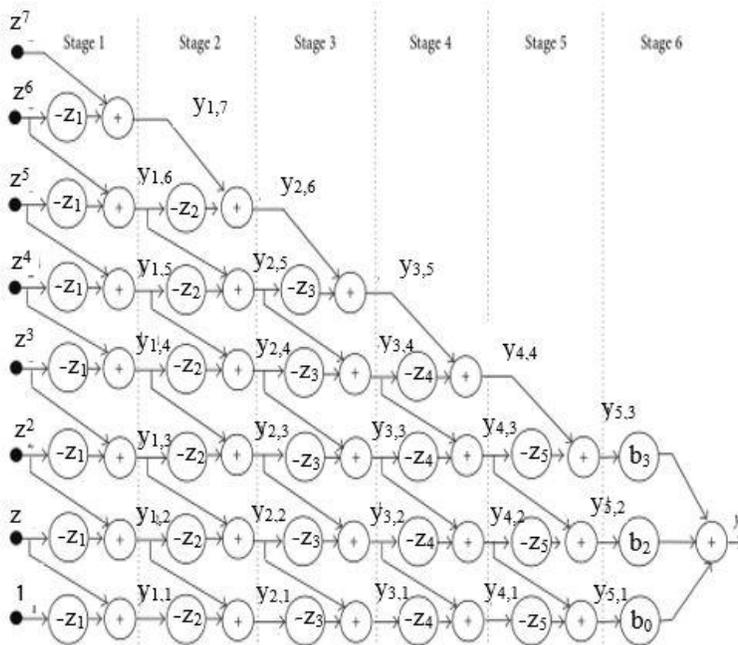
$$[y_{N_1,1}, y_{N_1,2}, \dots, y_{N_1,N_2}]^T = AF_1 [1, z_i, \dots, z_i^{N_2-1}]^T \quad (3.13)$$

Tahapan pertama N_1 tersebut akan menggabungkan AF_1 dan mengatur *null* N_1 dengan pengaturan beban secara independen (INS). Setelah itu, hasil dari keluaran N_2 akan dibebankan untuk menjadikan AF_2 untuk penekana *sidelobe*. Terakhir, keluaran dari beban tersebut akan dijumlahkan untuk menghasilkan AF baru dengan persamaan berikut:

$$\begin{aligned} y &= AF_1 [1, z, \dots, z^{N_2-1}] [b_0, b_1, \dots, b_{N_2-1}]^T \\ &= AF_1 * AF_2 \end{aligned} \quad (3.14)$$

Seperti yang disebutkan sebelumnya, optimasi *convex* digunakan untuk mengetahui beban kompleks N_2 . Beban N_2 ini akan tetap jika satu ataupun lebih dari satu *null* berubah posisinya. Namun jika arah *main beam* berubah posisinya, maka seluruh bagian beban, termasuk beban

INS untuk tahap N_1 dan beban N_2 untuk pengaturan *sidelobe*, akan berubah.



Gambar 3.3 Struktur untuk Metode Dua Polinomial

Jika dibandingkan dengan Gambar 3.1, implementasi AF_1 pada Gambar 3.3[4] tidak akan memakan banyak waktu, sebab dalam sistemnya, faktor-faktor digabungkan secara langsung dan membentuk sebuah polinomial.

BAB IV

ANALISA HASIL SIMULASI

Pada bab ini akan dibahas mengenai hasil simulasi dari metode dua polinomial. Simulasi dibuat berdasarkan model sistem yang dibahas pada BAB III. Hasil simulasi yang ditampilkan berupa:

1. Hasil penelusuran ulang sistem sesuai dengan literatur dan perbandingannya
2. Hasil simulasi dengan membandingkan faktor array hasil optimasi dengan tanpa optimasi
3. Hasil simulasi dengan mengubah banyaknya elemen
4. Hasil simulasi dengan mengubah arah *main beam*
5. Hasil simulasi dengan mengubah lebar *main beam*
6. Hasil simulasi dengan mengubah banyaknya sampel dan jarak antar sampel.

4.1 Hasil penelusuran ulang sistem sesuai dengan literatur dan perbandingannya

Untuk mengetahui sesuai atau tidaknya program simulasi yang telah dibuat, faktor *array* hasil simulasi akan dibandingkan dengan hasil simulasi pada literatur [3]. Pada literatur menggunakan asumsi antena *array uniform* linier 9 elemen yaitu $N_1 = 4$ ditambah $N_2 = 5$, jarak antar elemen yaitu $d = \lambda/2$, arah *main beam* pada sudut 95° dan empat *null steering* pada sudut $20^\circ, 70^\circ, 120^\circ, 160^\circ$. Serta dilakukan tiga pengujian pada θ_{mb} yang berubah-ubah yaitu saat $\theta_{mb} = 30^\circ, 40^\circ, 50^\circ$.

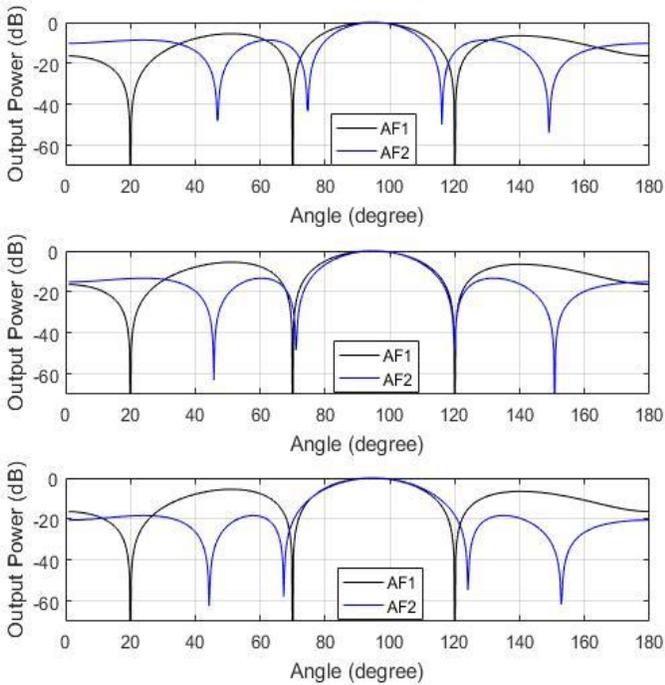
Tabel 4.1 Parameter Simulasi Perubahan θ_{mb}

No	Parameter	Jumlah	Keterangan
1	N_1	4	Jumlah elemen <i>array</i> linier pertama
2	N_2	5	Jumlah elemen <i>array</i> linier kedua
3	d	$\lambda/2$	Jarak antar elemen
4	θ_s	95°	Arah <i>main beam</i>
5	θ_{li}	$20^\circ, 70^\circ, 120^\circ, 160^\circ$	Sudut <i>null</i>
6	θ_{mb}	$30^\circ, 40^\circ, 50^\circ$	Lebar <i>main beam</i>

Hasil yang didapat berupa nilai faktor *array* pada *array* linier pertama dan kedua serta ditampilkan pada Gambar 4.1.

Pada Gambar 4.1 garis merah putus-putus merupakan nilai faktor *array* pada *array* linier kedua (AF_2) dengan lebar *beam* θ_{mb} sebesar 30° dan merupakan nilai AF_2 tertinggi dibandingkan dengan garis biru putus-putus (AF_2 dengan $\theta_{mb} = 40^\circ$) dan garis hitam putus-putus (AF_2 saat $\theta_{mb} = 50^\circ$).

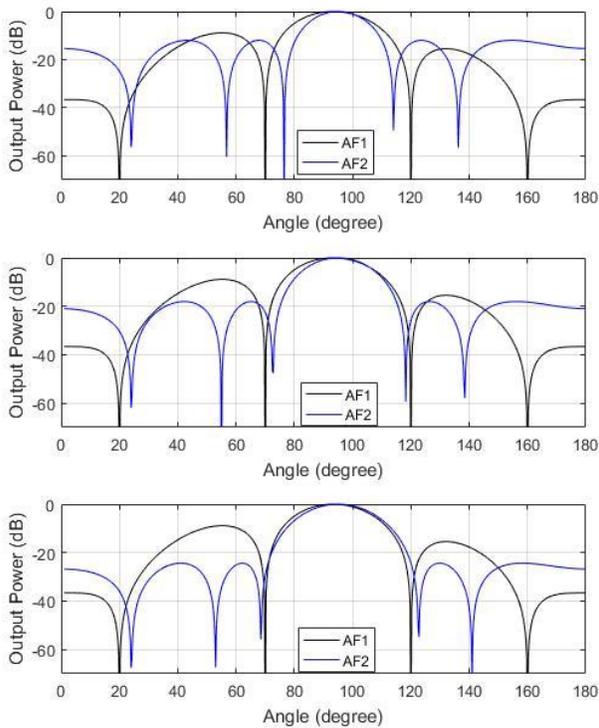
Dari hasil simulasi pada Gambar 4.1 dibandingkan dengan hasil pada literatur[3] pada lampiran C terdapat perbedaan jumlah *null* dan elemen yang muncul, yaitu pada literatur terdapat 5 elemen pada AF_1 dan 6 elemen pada AF_2 . Namun jika N_1 dan N_2 diubah menjadi $N_1 = 5$ dan $N_2 = 6$ atau bisa dikatakan masing-masing elemen pada *array* linier ditambah satu. Maka hasil yang didapat ditunjukkan pada Gambar 4.2.



Gambar 4.1 Hasil Faktor *Array* pertama (magenta) dengan $N_1 = 4$ dan Hasil Faktor *Array* kedua dengan $N_2 = 5$ (merah ($\theta_{mb} = 30^\circ$), biru($\theta_{mb} = 40^\circ$), hitam ($\theta_{mb} = 50^\circ$))

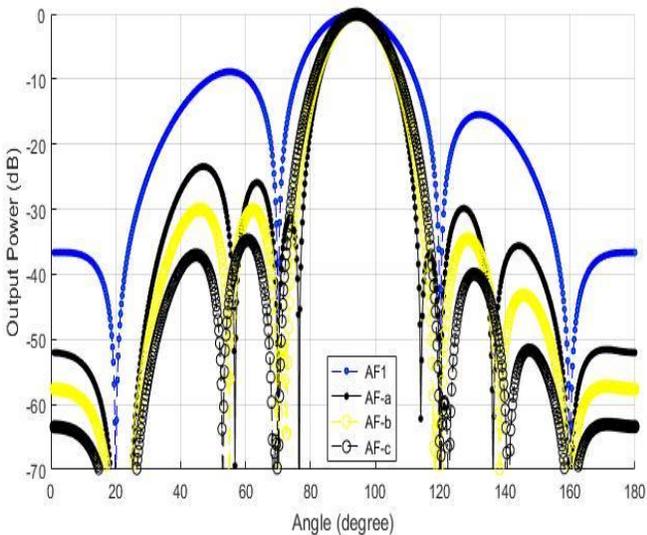
Jumlah elemen dan *null* hasil simulasi (Gambar 4.2) sama dengan hasil pada literatur [3], yaitu 9 elemen dan 8 null. Sehingga bisa dikatakan bahwa untuk mencapai hasil yang sama dengan literatur, nilai N_1 dan N_2 harus ditambah 1.

Dalam Gambar 4.2, garis berwarna magenta (AF₁) memiliki nilai PSLL sebesar -8,83 dB. Sedangkan nilai PSLL tertinggi diantara AF₂ saat lebar *beam* nya diubah-ubah yaitu terlihat pada garis merah putus-putus (AF₂ saat $\theta_{mb} = 30^0$) dengan nilai PSLL sebesar -11,99 dB.



Gambar 4.2 Hasil Faktor *Array* pertama (magenta) dengan $N_1 = 5$ dan Faktor *Array* kedua dengan $N_2 = 6$ (merah ($\theta_{mb} = 30^0$), biru ($\theta_{mb} = 40^0$), hitam ($\theta_{mb} = 50^0$))

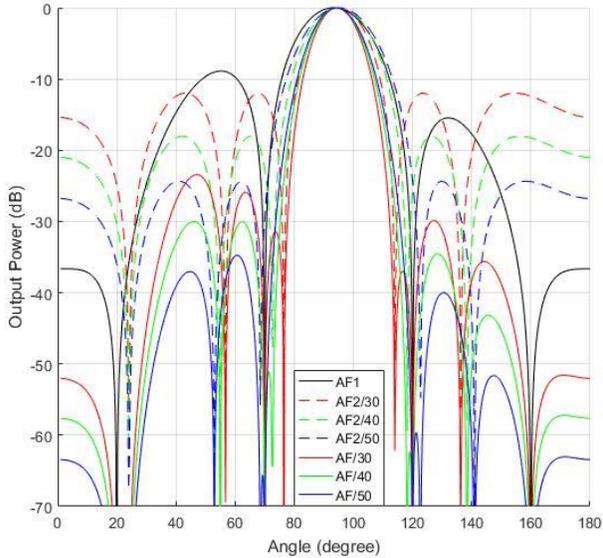
Kemudian jika nilai faktor *array* keseluruhannya dibandingkan, maka faktor *array* didapatkan hasil simulasi pada Gambar 4.3. Nilai AF dari hasil simulasi pada saat $\theta_{mb} = 30^0$ dan 40^0 terdapat perbedaan tinggi *null* dan *sidelobe* dengan hasil pada literatur[3]. Namun nilai AF pada $\theta_{mb} = 50^0$ hasilnya tidak jauh berbeda, terlihat pada letak *null* nya di $\pm 20^0, 50^0, 70^0, 72^0, 120^0, 123^0, 140^0,$ dan 160^0 . Selain itu terdapat kesamaan lainnya, yaitu pada hasil literatur dan hasil simulasi sendiri sama-sama terdapat perubahan nilai *sidelobe* yang semakin mengecil seiring melebarnya *main beam*.



Gambar 4.3 Hasil Simulasi Faktor *Array* Keseluruhan

Mengecilnya lebar *main beam* akan membuat nilai AF_2 semakin mengecil sehingga *sidelobe* pada AF_2 yang saling tumpang tindih dengan AF_1 lebih banyak per satu *sidelobe* AF_1 . Akibatnya nilai *sidelobe* AF akan semakin mengecil juga. Proses tersebut digambarkan pada Gambar 4.4

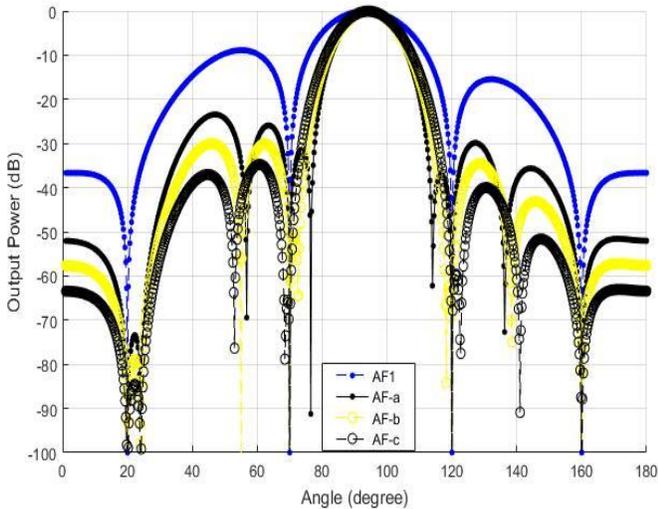
Pada Gambar 4.4, garis putus-putus merupakan nilai faktor *array* pada *array* kedua (AF_2) dan hanya garis saja menunjukkan faktor *array* keseluruhan (AF) yaitu hasil tumpang tindih faktor *array* pada *array* pertama (AF_1) dan faktor *array* pada *array* kedua (AF_2).



Gambar 4.4 Hasil Perbandingan Keseluruhan

Berdasarkan pola radiasi hasil pada Gambar 4.3 dan Gambar 4.4, jumlah elemen yang dihasilkan adalah 9 yang mana sesuai dengan tujuan yaitu menekan *sidelobe* pada antenna *array* linier dengan 9 elemen. Tapi jika rasio daerah yang ditampilkan pada Gambar 4.3 diperbesar. Dimana batas bawahnya yang awalnya hanya sampai -70, dB dinaikkan hingga -100 dB. Hasil simulasi yang didapat ditampilkan pada Gambar 4.5.

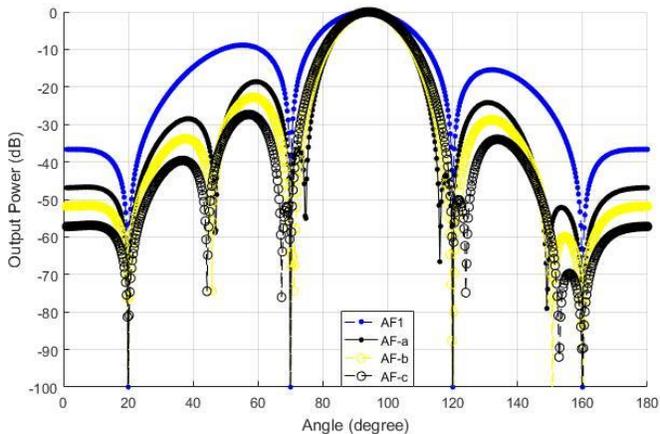
Garis biru dengan bulat biru pada Gambar 4.5 merupakan hasil faktor *array* pada *array* pertama (AF_1), garis hitam dengan bulat hitam merupakan hasil faktor *array* pada *array* keseluruhan (AF) saat lebar *main beam* sebesar 30° . Saat lebar *main beam* sebesar 40° hasil faktor *array* pada *array* keseluruhan (AF) ditunjukkan dengan garis kuning dengan bulat putih, sedangkan saat lebar beam sebesar 50° ditampilkan dengan garis hitam dengan bulat putih.



Gambar 4.5 Hasil simulasi perbandingan keseluruhan dengan axis x (AF) hingga -100 dB

Hasil simulasi pada Gambar 4.5 menunjukkan pola radiasi dengan 10 elemen. Untuk mencapai 9 elemen, parameter baru dibuat, yaitu mengubah jumlah elemen pada *array* linier kedua yang sebelumnya adalah 6 elemen menjadi 5 elemen. Hasilnya ditunjukkan pada Gambar 4.6.

Dengan mengurangi elemen pada AF_2 , jumlah *sidelobe* AF akan berkurang karena banyaknya *sidelobe* AF_2 yang tumpang tindih dengan AF_1 ikut berkurang. Dari tiga perubahan lebar *main beam* θ_{mb} yaitu 30° , 40° , dan 50° , hanya saat lebar *main beam* sama dengan 40° , pada grafik di Gambar 4.6 ditunjukkan dengan garis kuning dengan bulat putih, yang menunjukkan 7 *null* atau terdapat 8 elemen. Sedangkan pada garis berwarna hitam dengan bulat hitam ($\theta_{mb} = 30^\circ$) dan garis hitam dengan bulat putih ($\theta_{mb} = 50^\circ$), keduanya memiliki 8 *null* atau terdapat 9 elemen. Sehingga dapat dikatakan lebar *main beam* perlu diatur sehingga hasil faktor *array* yang didapat memenuhi kriteria antenna yang diinginkan. Pada metode ini, kriteria yang dimaksud adalah banyaknya elemen pada antenna *array*.



Gambar 4.6 Hasil simulasi perbandingan AF₁, AF₂, dan AF

4.2 Hasil Simulasi dengan Membandingkan Faktor *Array* Hasil Optimasi dengan Tanpa Optimasi

Untuk mengetahui efektifitas penekanan *sidelobe* dari metode dua polinomial ini, diperlukan perbandingan antara hasil faktor *array* dari metode dua polinomial dengan hasil faktor *array* pada umumnya/ tanpa optimasi. Pengujian menggunakan asumsi antenna *array uniform* linier dengan banyaknya elemen N adalah 9, jarak antar elemen d adalah $\lambda/2$ dan parameter lain sebagai berikut:

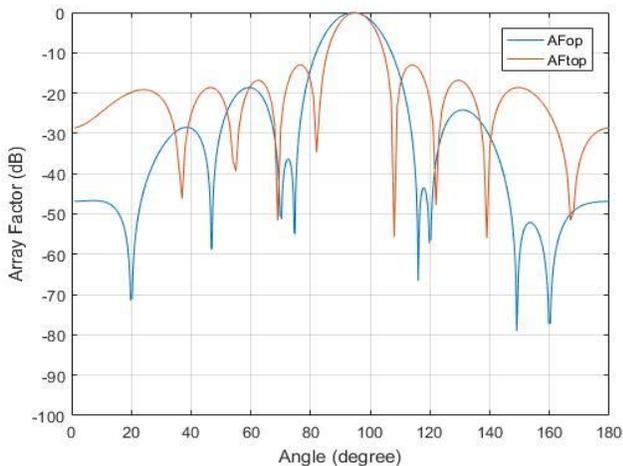
Tabel 4.2 Parameter Simulasi untuk Faktor *Array* dengan Metode Dua Polinomial

No.	Parameter	Jumlah	Keterangan
1.	N_1	5	Jumlah elemen <i>array</i> linier pertama
2.	N_2	5	Jumlah elemen <i>array</i> linier kedua
3.	θ_s	95°	Arah <i>main beam</i>
4.	θ_{mb}	35°	Lebar <i>main beam</i>
5.	θ_{li}	$20^\circ, 70^\circ, 120^\circ, 160^\circ$	Sudut <i>null</i>
6.	p	180	Jumlah sampel
7.	$\delta\theta$	1°	Jarak antar sampel

Dalam pengujian ini, antenna *array* tanpa optimasi hanya memerlukan empat parameter yaitu banyaknya elemen N , jarak antar elemen d , arah *main beam* θ_s , dan lebar *main beam* θ_{mb} . Namun untuk parameter lebar *main beam* θ_{mb} dipengaruhi oleh beberapa hal seperti karakteristik elemen tunggal yang digunakan, serta dimensi antenna. Karakteristik elemen tunggal hanya dapat diketahui melalui fabrikasi sedangkan dimensi antenna dapat diperoleh dari asumsi. Dalam antenna *array*, dimensi antenna ditentukan oleh jarak antar elemen dan banyaknya elemen. Sehingga dalam kasus ini perlu dilakukan dua pengujian yaitu pada jumlah elemen yang sama dan pada lebar *main beam* yang sama.

4.2.1 Hasil Simulasi Perbandingan dengan Jumlah Elemen yang Sama

Pada jumlah elemen yang sama, yaitu 9 elemen, hasil optimasi antenna sintesis dengan metode dua polinomial harus lebih baik dibandingkan tanpa optimasi dalam hal *sidelobe level*. Dengan menggunakan parameter pada tabel 4.2 untuk faktor *array* optimasi didapatkan hasil perbandingan faktor *array* dengan tanpa optimasi ditampilkan pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Hasil Simulasi Perbandingan AF (biru) teroptimasi dengan AF tanpa optimasi (merah)

Dari hasil simulasi, terlihat bahwa puncak *sidelobe level* yang dihasilkan metode dua polinomial (PSLL = -21,07 dB) lebih rendah dibandingkan dengan tanpa optimasi (PSLL= -11,92 dB). Jadi dapat dikatakan metode dua polinomial terbukti dapat mengurangi puncak *sidelobe* sebesar 9,15 dB pada antenna *array uniform* linier dengan dimensi yang sama. Dimensi antenna pada antenna *array* meliputi jarak antar elemen dan jumlah elemen pada antenna *array*.

Untuk mencapai hasil yang sesuai dengan Gambar 4.7, amplitudo eksitasi (A_{N-1}) pada faktor *array* (AF) tanpa optimasi harus bernilai 0.1. Sebab pada AF teroptimasi, amplitudo eksitasi atau dalam literatur [3] dinamakan vektor beban kompleks \mathbf{b} , bernilai kurang lebih 0.1. Nilai vektor \mathbf{b} hanya dapat dinaikkan dengan meningkatkan nilai batasan pada perkalian antara s_{n2} (θ_s) dengan \mathbf{b} yang mana pada persamaan (3.7)(3.8) dibatasi hanya sama dengan 1.

4.2.2 Hasil Simulasi Perbandingan dengan Lebar *Main Beam* yang Sama

Dalam menentukan lebar *main beam* sama dengan 35° jarak antar elemen d dan banyaknya elemen N perlu diketahui. Didalam literatur[3] maupun jurnal[4] tidak disebutkan lebar *main beam* merupakan HPBW (*Half Power Beam Width*) atau FNBW (*First Null Beam Width*), sehingga untuk membandingkan hasil simulasi dengan tanpa optimasi saat lebar *beam* yang sama, dilakukan perbandingan dengan jumlah elemen N yang lebih kecil. Sebab salah satu sifat antenna *array* yaitu semakin berkurangnya elemen yang digunakan pada antenna *array*, semakin berkurangnya lebar *main beam* [6].

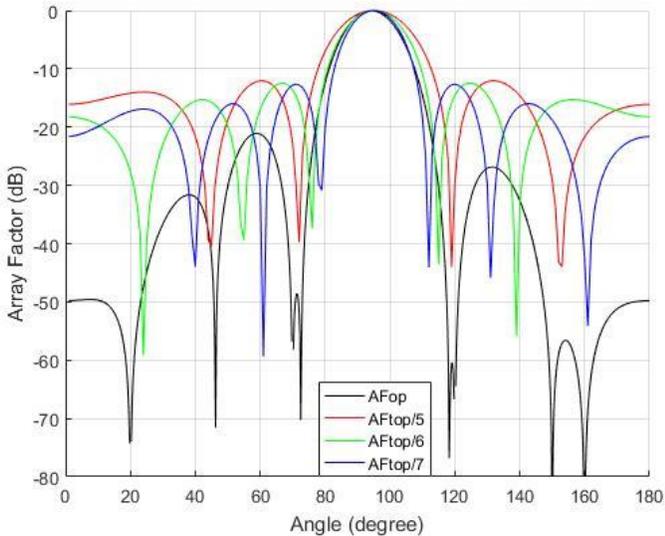
Dengan menggunakan parameter pada Tabel 4.2 simulasi yang didapat dibandingkan dengan antenna *array* dengan elemen yang lebih sedikit, yaitu 5, 6, dan 7 elemen, ditunjukkan pada Gambar 4.8.

Faktor *array* tanpa optimasi ditunjukkan dengan garis berwarna merah($N=5$), hijau (6), dan biru (7), sedangkan faktor *array* dengan metode/optimasi adalah garis berwarna hitam.

Pada Gambar 4.8 terlihat bahwa nilai PSLL (*Peak Sidelobe Level*) pada AF optimasi, yaitu sebesar -21,07 dB, masih lebih rendah dibandingkan AF tanpa optimasi, baik saat $N=5$ (garis merah) dengan PSLL = -12,05 dB, $N = 6$ (garis hijau) dengan PSLL = -12,47 dan saat $N = 7$ (garis biru) dengan PSLL = -12,66.

Namun hasil tersebut bisa didapat dengan menentukan nilai amplitudo eksitasi pada AF tanpa optimasi untuk membuat puncak

main beam mencapai tepat saat nilai faktor *array* nya sama dengan kurang lebih nol desibel.



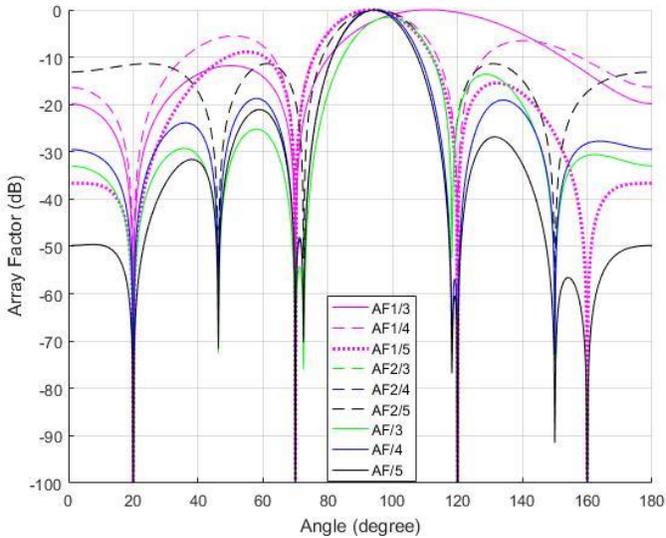
Gambar 4.8 Hasil simulasi perbandingan AF optimasi ($N=9$) dengan AF tanpa optimasi ($N=5,6$, dan 7)

Hasil yang didapat pada Gambar 4.7 dan 4.8 membuktikan bahwa metode polinomial dapat menekan *sidelobe*. Dan untuk mengetahui batasan pada metode diperlukan beberapa pengujian dengan mengubah-ubah parameternya.

4.3 Hasil Simulasi dengan Mengubah Banyaknya Elemen

4.3.1 Hasil Simulasi dengan Mengubah N_1

Parameter awal pada simulasi ini masih menggunakan parameter pada Tabel 4.2 dimana banyaknya elemen $N_1 = 5$ dan $N_2 = 5$. Dalam simulasi banyaknya elemen N_1 akan diubah menjadi 3,4, dan 6, sedangkan parameter lainnya tetap. Berikut hasil yang didapat dari simulasi:



Gambar 4.9 Hasil Simulasi AF dan AF₂ pada Perubahan $N_1 = 3, 4,$ dan 5

Pada Gambar 4.9, garis berwarna magenta menunjukkan faktor *array* pada *array* pertama (AF₁). Saat jumlah elemen pada *array* pertama (N_1) sama dengan 3 digambarkan dengan hanya garis magenta, sedangkan saat $N_1 = 4$ dan 5 digambarkan dengan garis magenta putus-putus dan garis magenta titik-titik.

Tabel 4.3 Hasil Simulasi pada Perubahan N_1

No.	N_1	N_2	Hasil Simulasi				
			N	Arah Main Beam (derajat)	AF (dB)	PSLL (dB)	HPBW (derajat)
1	3	5	7	98,75	-1,576	-13,63	17,3
2	4	5	8	94,75	-0,0045	-15,71	15,5
3	5	5	9	94,25	-0,0378	-21,07	15,75

Jika ditargetkan arah *main beam* suatu antena *array* pada sudut 95° , berdasarkan hasil pada Tabel 4.3, terjadi pergeseran arah *main beam* pada AF yang dihasilkan dan pergeseran paling jauh adalah pada AF yang menggunakan 3 elemen untuk *array* pertamanya.

Pada percobaan lain, saat $N_1 = 6$ sistem tidak dapat berjalan. Penyebabnya adalah banyaknya sudut *null* tidak sebanding dengan banyaknya elemen pada N_1 . Menurut teori, banyaknya *null* pada pola radiasi setara dengan banyaknya elemen dikurangi satu $(N-1)$ [6]. Jadi batas untuk masukan N_1 maksimal lebih dari satu dari banyaknya sudut *null*.

Hasil lainnya pada garis putus-putus berwarna hijau, biru dan hitam, merupakan nilai faktor *array* pada *array* kedua (AF_2) untuk $N_1 = 3, 4$, dan 5. Ketiganya memiliki nilai AF_2 yang sama. Pada Gambar 4.9, ketiga warna tersebut dijadikan satu yaitu pada garis hitam putus-putus.

Faktor *array* keseluruhan (AF) yang mana merupakan perkalian antara AF_1 dan AF_2 , digambarkan dengan garis berwarna hijau ($N_1 = 3$), biru ($N_1 = 4$) dan hitam ($N_1 = 5$). Dari ketiga AF yang didapat, nilai PSLR terendah dimiliki *array* dengan 9 elemen namun dibandingkan AF pada *array* 8 elemen, AF pada arah *main beam* nya lebih kecil. Jika AF pada arah *main beam* yang menjauhi nol atau semakin kecil dapat dikatakan informasi yang dikirim tidak sepenuhnya mencapai target. Hal ini juga menandakan bahwa AF pada *array* 7 elemen hanya cocok untuk digunakan pada target yang dekat dan dengan HPBW terlebar diantara ketiga AF tersebut sesuai dengan karakteristik antena yang hanya digunakan pada jarak yang dekat. Namun selisih HPBW dari AF pada *array* 7 elemen yang tidak terlalu besar dengan HPBW dari AF pada *array* 8 dan 9 elemen, membuat ketiga *array* tersebut masih dikategorikan antena dengan *gain* yang kecil dan jarak jangkauan transmisi antena tidak jauh.

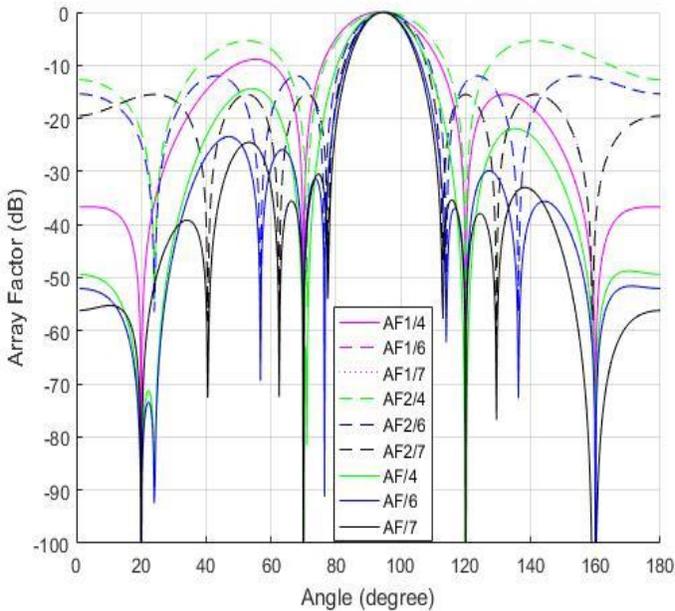
4.3.2 Hasil Simulasi dengan Mengubah N_2

Pada percobaan berikutnya, banyaknya elemen pada *array* kedua N_2 diubah-ubah untuk mengetahui pengaruhnya terhadap AF. Dengan menggunakan parameter pada Tabel 4.2, banyaknya elemen N_2 diubah menjadi 4, 6, dan 7. Hasil simulasi ditampilkan pada Gambar 4.10.

Garis magenta (hanya garis, garis putus-putus dan garis titik-titik) pada Gambar 4.10 menjadi satu menunjukkan nilai faktor *array* pada *array* pertama (AF_1) tidak ada perubahan jika banyaknya elemen pada

array kedua diubah-ubah. Garis putus-putus berwarna hijau menunjukkan faktor *array* pada *array* kedua (AF_2) saat banyak elemen di *array* kedua (N_2) sama dengan 4, sedangkan pada warna lainnya yaitu biru dan hitam menunjukkan AF_2 saat $N_2 = 6$ dan 7.

Faktor *array* pada *array* keseluruhan AF, dimana banyaknya elemen pada *array* keseluruhan (N) merupakan penjumlahan antara jumlah elemen pada *array* pertama (N_1) ditambah jumlah elemen pada *array* kedua (N_2) [3][4], ditunjukkan pada gambar berikut:



Gambar 4.10 Hasil Simulasi AF dan AF_2 dengan pada $N_2 = 4,6$ dan 7

Berdasarkan Tabel 4.4, tidak ada satupun AF pada *array* yang dapat mencapai tepat pada sudut target, yaitu 95^0 . Dan semakin banyak elemen pada *array* kedua nilai, AF akan semakin menjauhi nol atau dapat dikatakan jarak tercapainya radiasi antena ke target akan semakin menjauh. Tetapi PSLL pada *array* akan semakin rendah dan lebar HPBW akan semakin berkurang.

Tabel 4.4 Hasil Simulasi pada Perubahan N_2

No.	N_1	N_2	Hasil Simulasi				
			N	Arah Main Beam (derajat)	AF (dB)	PSLL (dB)	HPBW (derajat)
1	5	4	7	94	-0,033	-14,38	16,05
2	5	6	10	94,75	-0,0451	-23,44	13,25
3	5	7	10	94,5	-0,047	-24,51	12,55

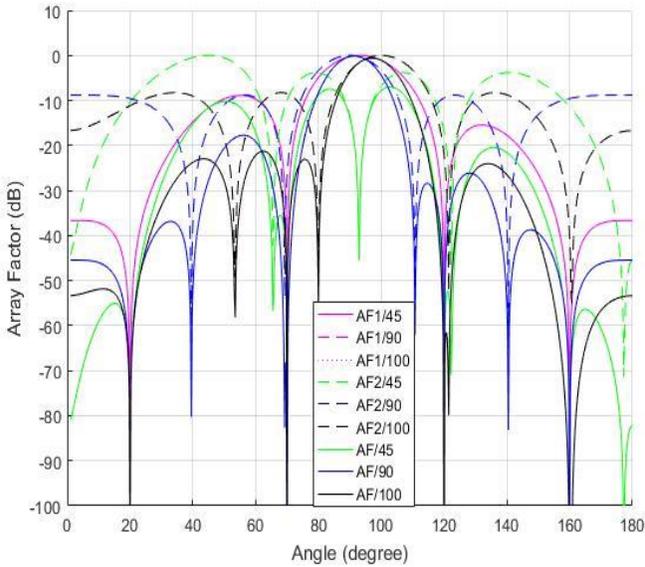
Dari teori yang dijelaskan pada literatur [3], banyaknya elemen pada AF akan sama dengan jumlah elemen pada *array* pertama (N_1) ditambah dengan jumlah elemen pada *array* kedua (N_2). Namun teori tersebut tidak valid berdasarkan hasil simulasi pada Gambar 4.10, saat $N_2 = 4$, banyaknya *null* pada AF menjadi 6 atau terdapat 7 elemen, sedangkan saat $N_2 = 6$ dan 7, keduanya memiliki 9 *null* pada hasil AF atau terdapat 10 elemen pada *array* keseluruhan.

Dari hasil simulasi pada Gambar 4.9 dan Gambar 4.10, tidak validnya teori mengenai banyaknya elemen pada *array* keseluruhan pada literatur [3] dikarenakan letak *null* pada AF_2 tidak dapat diatur. Sehingga *sidelobe* yang dihasilkan pada AF_2 yang akan tumpang tindih dengan AF_1 tidak dapat diperhitungkan letaknya dimana. Hal ini juga berlaku pada masalah di sub bab 4.1, dimana perubahan lebar *main beam* dapat menyebabkan jumlah *null* pada *array* keseluruhan bertambah maupun berkurang.

4.4 Hasil Simulasi dengan Mengubah Arah Main Lobe θ_s

Pada simulasi ini, arah *main beam* θ_s akan diubah-ubah menjadi 45° , 90° dan 100° , serta parameter lainnya sesuai pada Tabel 4.2. Pengaruh perubahan arah *main beam* terlihat pada AF_2 (semua garis berwarna yang putus-putus) dan AF (garis berwarna selain magenta) ditunjukkan pada Gambar 4.11.

Nilai AF dengan arah *main beam* θ_s ditunjukkan dengan garis berwarna hijau ($\theta_s = 45^\circ$), biru ($\theta_s = 90^\circ$), dan hitam ($\theta_s = 100^\circ$). Untuk faktor *array* pada *array* linier pertama (AF_1) ditampilkan dengan garis berwarna magenta. Sedangkan faktor *array* pada *array* linier kedua pada Gambar 4.11 adalah garis putus-putus dengan warna hijau ($\theta_s = 45^\circ$), biru ($\theta_s = 90^\circ$), dan hitam ($\theta_s = 100^\circ$).



Gambar 4.11 Hasil Simulasi Perubahan $\theta_s = 45^\circ, 90^\circ, 100^\circ$.

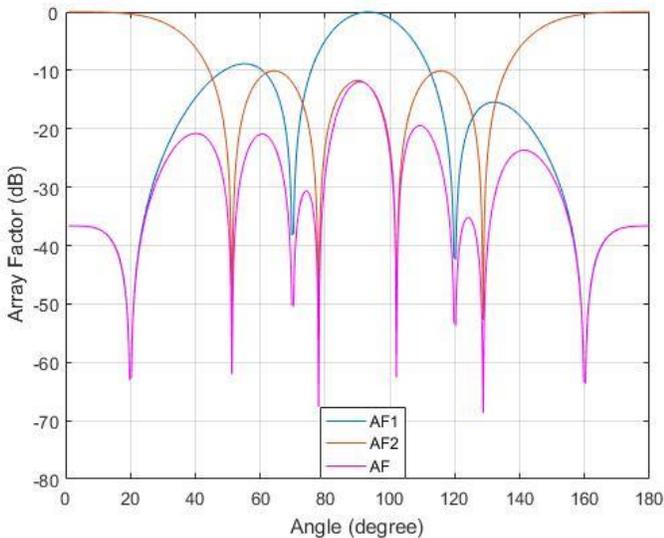
Tabel 4.5 Hasil Simulasi pada Perubahan arah *main beam*

No.	θ_s yang diinginkan (derajat)	Hasil Simulasi				
		N	Arah Main Beam θ_s (derajat)	AF (dB)	PSLL (dB)	HPBW (derajat)
1	45	9	102,8	-8,145	-8,404	10,75
2	90	9	91,5	-0,137	-20,57	14,75
3	100	9	97	-0,577	-23,31	14,55

Seperti yang telah dijelaskan pada sub bab 3.3 dan berdasarkan persamaan (3.2), arah *main beam* akan mempengaruhi nilai pergeseran fasa progresif α . Sehingga masing-masing z pada *array* linier kedua menjadi berubah, dan nilai AF dan AF₂ ikut berubah.

Pada Tabel 4.5, pada arah main beam yang diinginkan 45^0 , arah *main beam* yang dihasilkan pada simulasi hasilnya sangat jauh dari 45^0 . Bahkan nilai PSLL dan *main beam* hanya memiliki selisih $-0,259$ dB, artinya gangguan sinyal dari arah yang sama dengan PSLL akan sering terjadi. Selain itu, perubahan arah *main beam* tidak mempengaruhi jumlah *null* atau elemen pada *array* keseluruhan. Namun semakin besar arah *main beam* yang diinginkan, semakin jauh pergeseran arah *main beam* yang didapat dan semakin rendah PSLL yang didapat.

Masalah pola radiasi hasil simulasi yang tidak sesuai dengan tujuan yaitu pada arah *main beam* 45^0 , juga didapat saat antenna *array* yang diinginkan memiliki pola radiasi *endfire* ($\theta_s = 0^0$), hasil simulasi dengan metode dua polinomial menjadi seperti berikut:

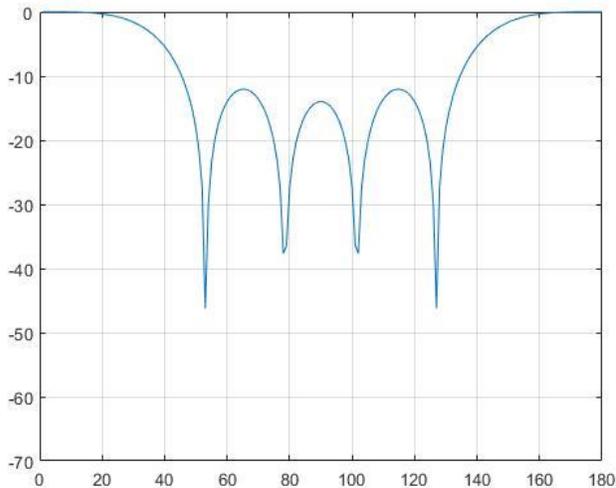


Gambar 4.12 Hasil AF pada Simulasi dengan arah *main beam* $\theta_s = 0^0$

Hasil AF pada Gambar 4.12 tidak berubah berbentuk menjadi *endfire*. Meskipun nilai AF_2 sesuai dengan bentuk *endfire* pada umumnya, bentuk pola radiasi AF yang masih dalam bentuk *broadside* dipengaruhi oleh pola radiasi AF_1 yang juga masih dalam bentuk *broadside*. Hal ini juga berkaitan dengan perubahan AF pada saat $\theta_s = 45^0$ (Gambar 4.11) yang menandakan jika arah *main beam* pada AF_2

tidak sesuai dengan AF_1 , maka arah *main beam* pada pola radiasi AF tidak akan sesuai dengan arah *main beam* yang diinginkan. Hal ini juga menunjukkan bahwa pergeseran fasa progresif tidak mempengaruhi nilai AF_1 . Untuk mengatasi masalah ini, sudut *null* harus disesuaikan dengan karakteristik pola radiasi *endfire* maupun arah *main beam* lain.

Penyelesaian masalah pada Gambar 4.12, diawali dengan memilih sudut *null* yang sama dengan sudut *null* pada antenna *array* tanpa optimasi saat menggunakan jumlah elemen yang sama dengan parameter awal, yaitu 5 elemen. Hasilnya adalah sebagai berikut:

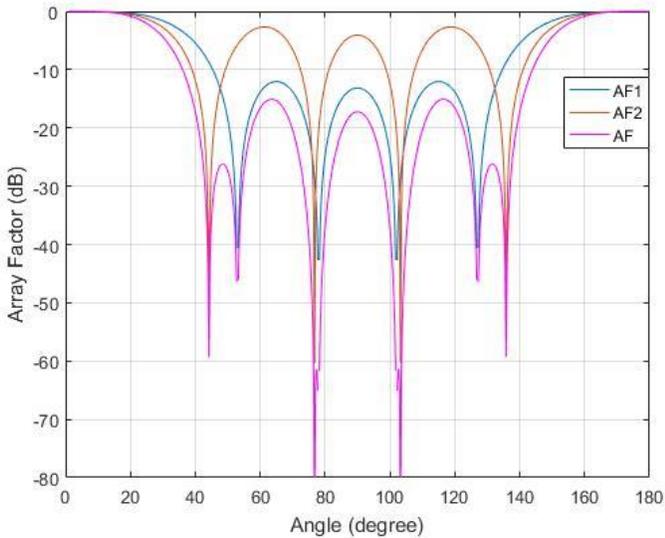


Gambar 4.13 Hasil simulasi tanpa metode untuk mencari sudut *null* pada pola *endfire*

Berdasarkan Gambar 4.13, sudut *null* pada antenna *array* tanpa optimasi didapat pada sudut 53° , 78° , 102° , dan 127° . Dari sudut-sudut tersebut kemudian dijadikan parameter baru dimana pada parameter sebelumnya sudut *null* berada di sudut 20° , 70° , 120° , 160° . Hasil simulasi dengan parameter baru ditampilkan pada Gambar 4.14.

Gambar 4.14 menunjukkan proses metode dua polinomial untuk pola radiasi *endfire*. Garis biru adalah hasil faktor *array* pada *array* pertama, garis merah merupakan hasil faktor *array* pada *array* kedua,

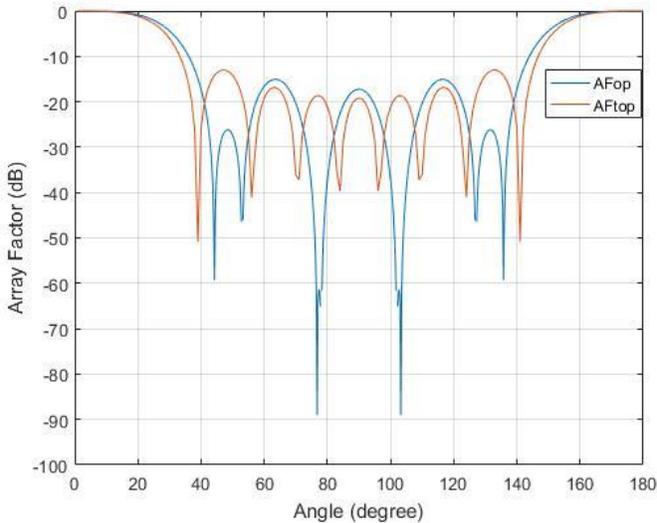
dan hasil penjumlahan keduanya dimana kedua faktor *array* tersebut sudah dalam satuan dB ditunjukkan dengan garis magenta.



Gambar 4.14 Hasil simulasi dengan parameter sudut *null* yang baru

Dan jika dibandingkan dengan pola radiasi antenna *array* 9 elemen yang memiliki pola radiasi *endfire*, terlihat pada Gambar 4.15 terjadi pengurangan PSLR sebesar -2,82. Perbandingan tersebut ditunjukkan pada Gambar 4.15.

Pada Gambar 4.15 garis berwarna biru menunjukkan hasil faktor *array* dari antenna *array* 9 elemen dengan menggunakan metode dua polinomial. Sedangkan garis berwarna magenta menunjukkan hasil faktor *array* dengan antenna *array* 9 elemen dengan menggunakan metode dua polinomial.



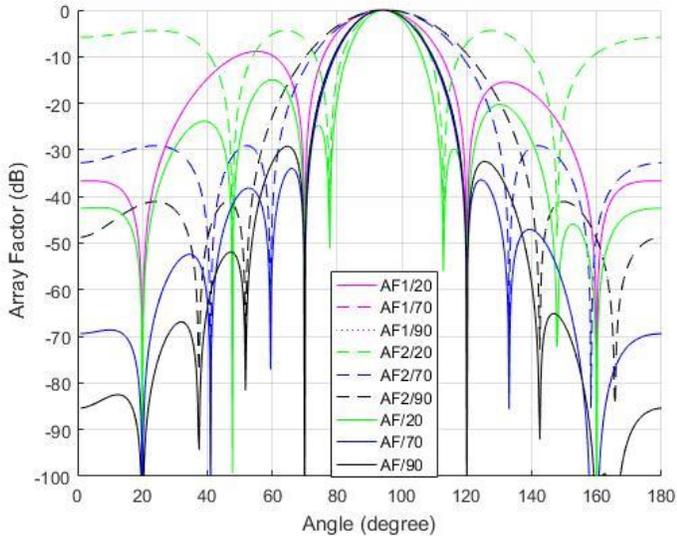
Gambar 4.15 Hasil simulasi perbandingan pada antena *array* dengan pola endfire

4.5 Hasil Simulasi dengan Mengubah Lebar *Main Beam* θ_{mb}

Dalam pengujian perubahan AF terhadap parameter lebar *main beam*, sebelumnya sudah ditunjukkan pada sub bab 4.1 yaitu hasil AF simulasi program yang telah dibuat sendiri dibandingkan hasil AF pada literatur[3]. Namun untuk mengetahui batasan parameter lebar *main beam* θ_{mb} , perlu dilakukan simulasi lagi dengan $\theta_{mb} = 20^{\circ}, 70^{\circ}, 90^{\circ}$. Hasilnya adalah digambarkan pada Gambar 4.16.

Dari Gambar 4.16 dan Tabel 4.6, AF_2 akan berubah-ubah sesuai dengan perubahan θ_{mb} . Tapi untuk lebar *beam* AF akan mencapai maksimum pada lebar HPBW yang sama dengan AF_1 . Hal tersebut dibuktikan pada perubahan lebar *main beam* yang diinginkan 70° dan 90° , selisih HPBW keduanya hanya $0,55^{\circ}$. Dan jika lebar *main beam* yang diinginkan menjadi 100° , hasil HPBW dari AF yang didapat sama dengan saat HPBW dari AF pada lebar θ_{mb} diinginkan 90° . Dan pada AF dengan θ_{mb} diinginkan $70^{\circ}, 90^{\circ}$, dan 100° , ketiganya memiliki arah *main beam* yang sama namun masih bergeser dari arah *main beam* yang diinginkan.

Dari simulasi ini didapatkan kesimpulan bahwa AF_1 akan menjaga lebar *main beam* AF agar tetap pada posisi maksimum jika lebar *main beam* yang diberikan terlalu melebihi batas sudut *null* pada *main beam* AF_1 . Pada simulasi, posisi maksimum yang dimaksud terletak pada sudut 70° dan 120° .

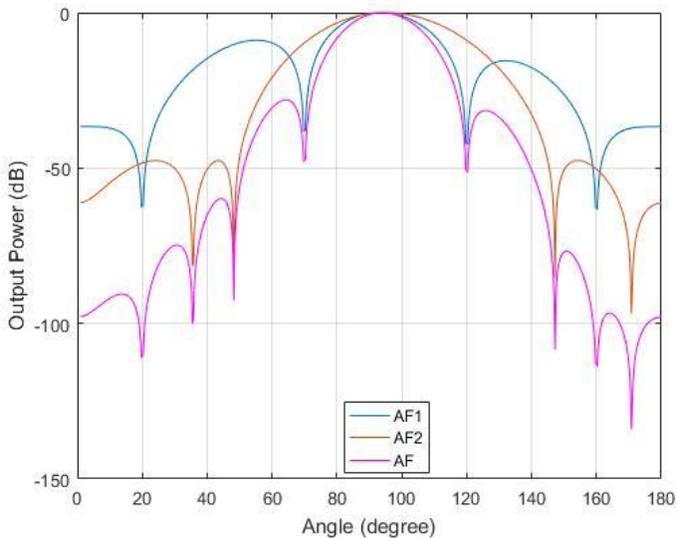


Gambar 4.16 Hasil Simulasi untuk AF dan AF_2 pada saat lebar *beam* $\theta_{mb} = 20^\circ, 70^\circ, 90^\circ$

Selain itu, terjadi perubahan pada PSLL yang bervariasi seiring bertambahnya lebar *main beam* yang diinginkan. Pada Tabel 4.6, PSLL terendah didapat saat AF dengan θ_{mb} diinginkan 70° . Nilai PSLL tersebut juga lebih dibandingkan saat AF θ_{mb} diinginkan 50° yang ditunjukkan pada Gambar 4.6 direpresentasikan dengan garis hitam dengan bulat putih. Jadi untuk mendapatkan PSLL yang rendah, θ_{mb} diinginkan pada arah yang lain perlu disimulasikan kembali hingga mencapai titik terendahnya.

Tabel 4.6 Hasil Simulasi pada Perubahan Lebar *Main Beam*

No.	θ_{mb} yang diinginkan (derajat)	Hasil Simulasi				
		N	Arah Main Beam θ_s (derajat)	AF (dB)	PSLL (dB)	HPBW (derajat)
1	20	9	94,25	-0,044	-14,96	13,25
2	70	9	94	-0,029	-33,98	17
3	90	9	94	-0,027	-29,23	17,55



Gambar 4.17 Hasil Simulasi pada θ_{mb} diinginkan sebesar 100°

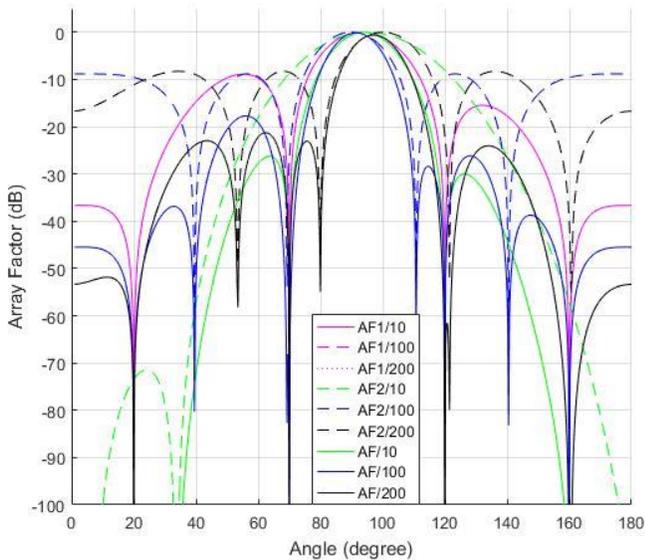
4.6 Hasil Simulasi dengan Mengubah Banyaknya Sampel p dan Jarak Antar Sampel $\delta\theta$.

Sampel pada metode dua polinomial bertujuan untuk mencari sudut yang tepat untuk menekan *sidelobe* dengan cara diberi vektor beban kompleks. Vektor beban kompleks tersebut didapat dengan menggunakan SOCP dan banyaknya beban sama dengan banyaknya elemen pada *array* linier kedua N_2 . Karena itu perubahan sampel p dan

jarak antar sampel $\delta\theta$ akan mempengaruhi AF_2 dan secara tidak langsung akan membuat perubahan pada AF.

Dalam pengujian parameter p akan diubah menjadi 10,100, dan 200. Sedangkan jarak antar sampel dan parameter lainnya masih sama seperti pada Tabel 4.2. Hasil simulasi yang didapat ditampilkan pada Gambar 4.17.

Gambar 4.17 menunjukkan bahwa banyaknya sampel akan mempengaruhi AF_2 dan AF. Semakin sedikitnya jumlah sampel semakin kecil dan berkurangnya *sidelobe* yang tumpang tindih.



Gambar 4.18 Hasil Simulasi terhadap perubahan sampel $p = 10,100,200$

Pada saat 200 sampel, nilai AF yang dihasilkan akan sama dengan AF saat 180 sampel (Gambar 4.6). Hal ini sesuai dengan persamaan untuk mencari θ_{li} (3.5), dimana banyaknya sampel akan dikalikan dengan jarak antar sampel $\delta\theta$ dan maksimum daerah yang disampel adalah 180° . Jadi jika $i = 0, 1, \dots, p-1$ dikalikan dengan $\delta\theta$ hasilnya mencapai lebih dari 180° maka data yang akan diambil hanya sampai saat $i = 180$.

Dari data hasil simulasi pada Tabel 4.7, terlihat bahwa saat sampel yang dilakukan hanya 10, arah *main beam* lebih mendekati arah *main beam* tujuan namun jarak tercapainya radiasi ke tujuan masih lebih rendah dibandingkan saat sampel sebanyak 100 kali. Dan terlalu banyak sampel dapat menyebabkan jangkauan radiasi tidak mencapai titik target dan arah radiasinya juga bergeser 2^0 dari arah target.

Tabel 4.7 Hasil Simulasi pada Perubahan Banyaknya Sampel

No.	p	Hasil Simulasi				
		N	Arah Main Beam θ_s (derajat)	AF (dB)	PSLL (dB)	HPBW (derajat)
1	10	9	94	-0,0256	-26,27	13,25
2	100	9	91,5	-0,0145	-17,72	17
3	200	9	97	-0,61	-21,27	17,55

Berdasarkan Tabel 4.8, hanya saat menggunakan jarak antar sampel sebesar 20^0 , banyaknya elemen sesuai dengan target, yaitu 9 elemen dan memiliki PSLL terendah. Meskipun ketiga percobaan tersebut memiliki arah *main beam* dan AF pada arah *main beam* yang tidak jauh berbeda, namun lebar HPBW ketiganya berbeda. Dari Tabel 4.8 dapat disimpulkan bahwa untuk mendapatkan hasil antenna *array* dengan jumlah elemen yang sesuai diperlukan jarak antar sampel yang tepat. Sebab pada Tabel 4.3 (baris nomor ketiga), saat sampel yang dilakukan persatu derajat, jumlah elemen yang dihasilkan sesuai dengan target dengan PSLL yang lebih rendah dibandingkan dengan saat sampel yang dilakukan per 20 derajat.

Tabel 4.8 Hasil Simulasi pada Perubahan Jarak antar Sampel

No.	$\delta\theta$ (derajat)	Hasil Simulasi				
		N	Arah Main Beam θ_s (derajat)	AF (dB)	PSLL (dB)	HPBW (derajat)
1	5	8	94	-0,0304	-17,8	16,75
2	20	9	94	-0,0338	-21,77	16,05
3	40	8	94,25	-0,035	-21,27	15,72

4.7 Sintesis

Dari semua hasil percobaan, dapat dikatakan bahwa dalam metode polinomial, nilai PSLL terendah bervariasi seiring dengan perubahan parameter yang diberikan. Jika diasumsikan penekanan *sidelobe* dilakukan pada jumlah elemen yang sama pada *array* keseluruhan, seperti yang terjadi pada Gambar 4.10. Nilai AF saat $N_2 = 6$ dan 7 memiliki 10 elemen. Namun keduanya memiliki nilai PSLL yang berbeda, PSLL pada AF saat $N_2 = 6$ sebesar $-23,44$ dB dan lebih besar dibandingkan PSLL pada AF saat $N_2 = 7$ yaitu sebesar $-24,51$ dB. Dan jika dibandingkan dengan antena *array* tanpa menggunakan metode dengan dimensi antena (jumlah elemen dan jarak antar elemen) yang sama, metode polinomial terbukti dapat menekan puncak *sidelobe*.

Dan dalam mencari PSLL yang rendah, lebar *main beam* yang diinginkan, banyaknya sampel untuk mencari sudut yang akan diberi bobot untuk menekan *sidelobe* serta jarak antar sampelnya perlu dilakukan percobaan berulang-ulang hingga mencapai PSLL dan lebar *main beam* yang kurang lebih sesuai dengan tujuan.

Selain itu, untuk mencapai hasil penekanan *sidelobe* yang sesuai, baik dari segi bentuk pola radiasi pada umumnya maupun jumlah elemen keseluruhan yang diinginkan, pengaturan pada masukan data dalam parameter yang diberikan perlu diperhatikan kembali sesuai dengan karakteristik pola radiasi antena *array*. Seperti pada Gambar 4.13, dimana keduanya ada permasalahan pada hasil AF yang tidak sesuai dengan karakteristik pola radiasi *endfire* pada antena *array*.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan simulasi yang telah dilakukan pada BAB IV dan analisa dari hasil simulasi tersebut, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Metode polinomial dapat mengurangi nilai puncak *sidelobe level* (PSLL) sebesar 9,15 dB pada antenna *array uniform* linier 9 elemen
2. Hasil PSLL pada antenna *array* 9 elemen dengan metode dua polinomial, yaitu sebesar -21,07 dB, masih lebih rendah dibandingkan dengan antenna *array* tanpa metode dengan jumlah elemen yang lebih sedikit seperti, 5 elemen dengan PSLL = -12,05 dB, 6 elemen dengan PSLL = -12,47 dB, dan saat 7 elemen dengan PSLL = -12,66 dB.
3. Untuk mengatur arah *main beam* pada sudut 0^0 (pola radiasi *endfire*), sudut *null* perlu diatur menjadi 53^0 , 78^0 , 102^0 , dan 127^0 sesuai dengan sudut *null* pada antenna *array* tanpa optimasi.
4. Pada arah *main beam* yang diatur pada arah 90^0 , 95^0 , dan 100^0 , didapat arah *main beam* hasil simulasi dengan rata-rata kesalahan sebesar $\pm 2,083^0$.
5. -33,94 dB merupakan PSLL terendah yang didapat pada antenna *array* 9 elemen dengan kondisi arah *main beam* diatur pada sudut 95^0 , lebar *main beam* 70^0 , 5 elemen *array* pertama, 5 elemen *array* kedua, jarak antar elemen $\lambda/2$, banyaknya sampel 180 kali per satu derajat, dan *null* pada sudut $20^0, 70^0, 120^0$ dan 160^0 .
6. *Half Power Beamwidth* (HPBW) terlebar pada antenna *array* 9 elemen adalah $17,55^0$, yaitu saat lebar *main beam* diatur menjadi 90^0 , nilai HPBW tersebut bahkan tetap sama saat lebar *main beam* menjadi 100^0 .

5.2 Saran

Terdapat beberapa untuk kelanjutan dari penelitian ini yakni:

1. Penelitian ini dapat dikembangkan dengan menerapkan algoritma atau program untuk mencari parameter yang cocok untuk masukan data agar hasil pola radiasi dengan PSLL yang ingin dicapai lebih tepat.
2. Hasil desain struktur pada metode dua polinomial dapat dicoba untuk diimplementasikan agar mengetahui keabsahan metode tersebut.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- [1] V. Kumar, A. K. Sahoo., “Grating *lobe* and *Sidelobe* Suppression using Multi-Objective Optimization Techniques”, IEEE Conference Publication,2015.
- [2] S. U. Khan, I. M. Qureshi, F. Zaman, dan A. Naveed.. “Null Placement and Sidelobe Suppression in Failed *Array* Using Symetrical Element Failure Technique and Hybrid Heuristic Computation”, Progress In Electromagnetics Research B, vol. 52, pp. 165-184 . Pakistan, 2013.
- [3] Z.U. Khan, A. Navedd, dan F. Munir., “Efficient *Sidelobe* Suppression by Matching Beam in Two Polynomial Techniuque”, Intelligent Systems Engineering (ICISE), International Conference on. Pakistan:International Islamic University, 2016.
- [4] Zafar-Ullah Khan, Aqdas Naveed Malik, Fawad Zaman, Syed Azmat Hussain and Abdul-Rehman Khan.,“*Sidelobe* Suppression with Null Steering by Independent weight Control,” International Journal of Antennas and Propagation, Article ID 136826, 6 pages, Volume 2015, 2015.
- [5] C. A. Balanis, Antenna Theory: Analysis and Design, 3rd ed., John Wiley & Sons, 2014.
- [6] Stutzman, Warren L. dan G.A Thiele.. Antenna Theory and Design Third Edition. Amerika: John Wiley & Sons, Inc., 2012.
- [7] S. A. Schelkunoff., “A mathematical theory of linear *arrays*,” The Bell System Technical Journal, vol. 22, pp. 80–107, 1943.
- [8] M. Grant and S. Boyd, “CVX: a system for disciplined convex programming: cvx version 1.21,” 2011.

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN A

Departemen Teknik Elektro
Fakultas Teknologi Elektro – ITS

TE141599 TUGAS AKHIR – 4 SKS

Nama Mahasiswa : Andi Yahya Lubis
Nomor Pokok : 2213 100 033
Bidang Studi : Teknik Telekomunikasi Multimedia
Tugas Diberikan : Semester Genap Th. 2017/2018
Dosen Pembimbing : 1. Eko Setijadi, ST., MT., Ph.D.
2. Dr. Ir. Puji Handayani, M.T.
Judul Tugas Akhir : **Analisa Penekanan Sidelobe dengan Teknik Dua Polinomial**
(*Analysis of Sidelobe Suppression with Two Polynomial Technique*)

07 SEP 2017

Uraian Tugas Akhir :

Dalam radar, antena array sangat umum digunakan karena memiliki nilai *gain* yang besar dan semakin banyaknya elemen yang digunakan nilai tinggi *sidelobe* yang dihasilkan semakin rendah. Namun jumlah *sidelobe* akan semakin banyak dan sistem akan semakin kompleks. Untuk membatasi jumlah elemen, perlu adanya metode yang menghasilkan nilai tinggi *sidelobe* yang rendah. Metode *sidelobe suppression* (SL.S) dengan teknik dua polinomial merupakan metode penekanan nilai *sidelobe* dengan cara mengkalikan dua faktor array. Dengan jumlah elemen dan *null* yang ditentukan, pola radiasi yang didapat pada polinomial pertama digunakan untuk mencari posisi *null* kanan dan kiri yang berdekatan dengan *mainlobe*. Daerah diluar *null* tersebut dimanfaatkan untuk wilayah *sidelobe* serta digunakan untuk mencari *weight* dari polinomial kedua yang ditujukan untuk penekanan *sidelobe*. Hasil yang ingin didapat dari metode ini berupa nilai maksimum *overlap mainbeam* dari kedua polinomial dan *sidelobe* yang berkurang secara efisien.
Kata Kunci: *Sidelobe suppression, array factor, null steering, adaptive beamforming, uniform linear array*

a/n Dosen Pembimbing I,

Dosen Pembimbing II,


Eko Setijadi, ST., MT., Ph.D
NIP: 197210012003121002


Dr. Ir. Puji Handayani, MT.
NIP: 1966050199203200

Mengetahui,
Ketua Program Studi S1

Menyetujui,
Kepala Laboratorium Antena dan Propagasi




Dedel Chandra Riawan, ST. M.Eng. Ph.D
NIP: 197311192000031001


Prof. Dr. Ir. Gamentyo Hendratoro, Ph.D
NIP: 19701111993031002

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN B

Lampiran ini berisi script (naskah) simulasi pada perangkat lunak MATLAB yang digunakan.

A. Script Simulasi Penginputan Data

```
%% Data
p=180; % Banyaknya Sampel
thetas=95; % Sudut Main Beam
thetamb=40; % Lebar Main Beam
dtheta=1; % Step Size
theta0=0; %Sudut Awal/Starting Angle
step = 0.25;
theta=1:step:360; % Daerah ukur
B=thetas-(thetamb/2); % Jarak (sudut)
dari First Null Kanan
C=thetas+(thetamb/2); % Jarak (sudut)
dari First Null Kiri
thetai = zeros(1,p); % Untuk ASR (line 42)
lambda=100; % Panjang Gelombang
k=(2*pi)/lambda; % Jumlah Gelombang
d=lambda/2; % Jarak antar elemen
N1=5; % Banyaknya elemen untuk AF1
N2=7; % Banyaknya elemen untuk AF2
thetal= [20 70 120 160]; % Sudut
pada AF1 yang diinginkan untuk di atur
(steering)
```

B. Script Memplot Faktor Array Pertama

```
%% Mencari Array Factor 1
alfa=-k*d*cosd(thetas);
x1=alfa+(k*d*cosd(thetal));
x=alfa+(k*d*cosd(theta));
zi=exp(-1i.*x1);
z=exp(-1i.*x);
for n1=0:N1-2
    AF1(n1+1,:)=z-zi(n1+1);
end
AF1tot=prod(AF1);
AF1tot=abs(AF1tot);
AF1totnorm = AF1tot/max(AF1tot);
```

```

    for a = 1:length(AF1totnorm)           % Membuat
panjang nilai AF1 hingga ke nilai terakhir
        if AF1totnorm(a) == 0
            AF1totnorm(a) = 1e-10;
        else
            AF1totnorm(a) = AF1totnorm(a);
        end
    end
AF1totdB =20*log10(AF1totnorm);
%% Plot AF1
figure (1)
plot (theta,AF1totdB)
axis([0 360 -110 0])
grid
    C. Script Memplot Faktor Array Kedua
%% Mencari ASR
ASR = [];
for i = 0:p-1;
    thetai(i+1) = theta0+i*dtheta;
    if (thetai(i+1) > B) && (thetai(i+1) < C);
    elseif (thetai(i+1) >= 180) && (thetai(i+1)
< 0);
        continue
    else
        ASR = [ASR thetai(i+1)];           end
    end
%% Mencari Sn2 dan A
x2=alfa+(k*d*cosd(ASR));
zj=exp(-1i.*x2);
for n2=0:N2-1;
    sn2(n2+1,:)=zj.^(n2);
end
A=sn2';
%% Optimasi SOCP
xs=alfa+(k*d*cosd(thetas));
zs=exp(-1i.*xs);
for n2=0:N2-1
    Sn2s(:,n2+1)=zs.^(n2);
end
cvx_begin                               %% Program CVX

```

```

        variables b(N2) t
        minimize(t)
    subject to
        abs(A*b) <= t
        Sn2s * b == 1
    cvx_end
    %% Mencari AF2
    AF2=zeros(1,181);
    for n2=0:N2-1;
        SN2(n2+1,:) = z.^n2;
    end
    AF2=SN2'*b;
    AF2norm=AF2/max(AF2);
    AF2s=abs(AF2);
    AF2dB=20*log10(AF2s);

```

D. Script Memplot Faktor Array total

```

%% Plot Array Factor
hold on
plot(theta,AF2dB)
AF=AF1totdB+AF2dB';
AFs=10.^(AF/20);

```

E. Script Perbandingan Faktor Array Pertama , Faktor Array Kedua dan Faktor Array Keseluruhan

```

%% Perbandingan
plot(theta,AF)
title('Hasil Pengukuran')
xlabel('Angle (degree)')
ylabel('Output Power (dB)')
legend('AF1','AF2','AF')
hold off
figure(2)
plot(theta,AF)
hold on

```

F. Faktor Array tanpa optimasi

```

%% Array Factor tanpa optimasi

% Jumlah elemen
N = 10;

```

```

% Arah main beam
% 90 degree untuk brodside, 0 degree untuk
endfire.
theta_zero = 95;
An = 0.1; %amplitudo eksitasi
j = sqrt(-1);
AF = zeros(1,360);
alfa=-k*d*cosd(theta_zero);
for theta2=1:360
    % mengubah sudut ke radian
    deg2rad(theta2) = (theta2*pi)/180;
    %Perhitungan Array Factor
    for n=0:N-1
        AF(theta2) = AF(theta2) +
An*exp(j*n*(alfa+k*d*cosd(theta2)));
    end
    AF4s(theta2) = abs(AF(theta2));
    AFto(theta2)=20*log10(AF(theta2));
end

```

G. Script Perbandingan Faktor *Array* teroptimasi dengan Faktor *Array* tanpa optimasi

```

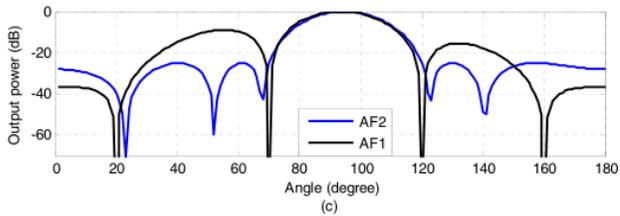
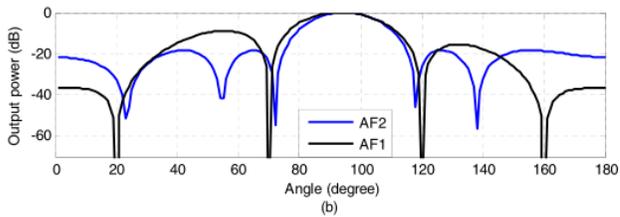
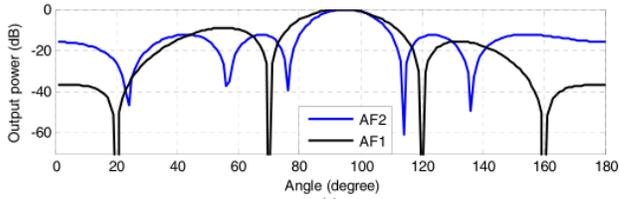
%% plot the array factor tanpa optimasi vs
dengan optimasi
plot(1:360,AFto);
title ('Perbandingan dengan Tanpa Optimasi')
legend ('AFop', 'AFtop')
axis([0 360 -110 0])
grid
hold off
%% Plot polar perbandingan AF optimasi vs tanpa
optimasi
figure (3)
polar (theta*pi/180,AFs)
hold on
polar(deg2rad,AF4s)
title ('Perbandingan Array Factor Tanpa
Optimasi vs Dengan Optimasi')
legend ('AFop', 'AFtop')
hold off

```

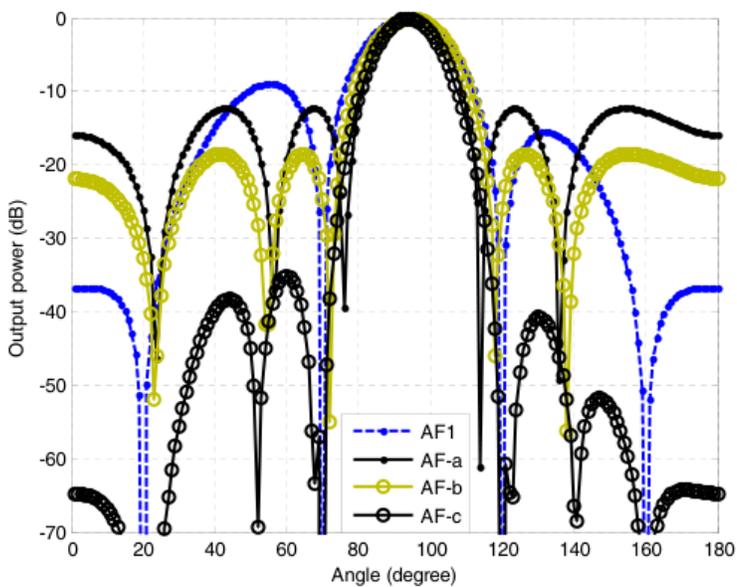
LAMPIRAN C

Lampiran ini berisi hasil data pada literatur[3] sebagai pembanding data pada Bab IV

- A. Perbandingan Faktor *Array* Pertama dan Faktor *Array* Kedua pada $\theta_{mb} =$ a) 30^0 b) 40^0 c) 50^0



- B. Perbandingan Faktor *Array* Keseluruhan dengan masing-masing perubahan lebar *main beam* (θ_{mb}) -nya, AF-a ($\theta_{mb} = 30^0$), AF-b ($\theta_{mb} = 40^0$), AF-c ($\theta_{mb} = 50^0$)



BIOGRAFI



Andi Yahya Lubis, lahir di Tangerang, Banten 8 Juli 1995. Anak pertama dari tiga bersaudara. Memiliki darah keturunan orang Batak yang berasal dari pasangan Ismail Lubis dan Aminah. Hobi membaca, menulis, berpergian, dan futsal. Riwayat pendidikan penulis dimulai dari TK Wijaya, SDN Ahmad Yani Tangerang, SMPN 1 Tangerang dan SMAN 2 Tangerang. Dan pada tahun 2013 lalu, penulis melanjutkan pendidikannya di Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, Jawa Timur. Pada tahun ketiga, penulis mengambil bidang studi Telekomunikasi Multimedia. Selama aktif menjadi mahasiswa, penulis pernah mengikuti beberapa kegiatan pengembangan diri baik sebagai panitia maupun peserta dan terakhir menjadi anggota Laboraturium Antena dan Propagasi.