



TESIS - TE142599

**PERANCANGAN ANTENA THINNED LINEAR
ARRAY DENGAN ELEMEN CAVITY BACKED
U-SLOT PATCH (CUP) UNTUK MEMINIMALKAN
JUMLAH ELEMEN DAN PEAK SIDELobe LEVEL
(PSLL)**

NOVALIA PERTIWI
2215203201

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Ir. Gamantyo Hendrantoro, M. Eng, Ph.D
Eko Setijadi, S.T, M.T, Ph.D

PROGRAM MAGISTER

BIDANG KEAHLIAN TELEKOMUNIKASI MULTIMEDIA
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI ELEKTRO
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2017



TESIS - TE142599

**PERANCANGAN ANTENA THINNED LINEAR
ARRAY DENGAN ELEMEN CAVITY BACKED
U-SLOT PATCH (CUP) UNTUK MEMINIMALKAN
JUMLAH ELEMEN DAN PEAK SIDELOBE LEVEL
(PSLL)**

NOVALIA PERTIWI
2215203201

DOSEN PEMBIMBING
Prof. Ir. Gamantyo Hendranto, M. Eng, Ph.D
Eko Setijadi, S.T, M.T, Ph.D

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN TELEKOMUNIKASI MULTIMEDIA
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI ELEKTRO
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2017

LEMBAR PENGESAHAN

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (M.T)
di
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

oleh:

Novalia Pertiwi
NRP. 2215203201

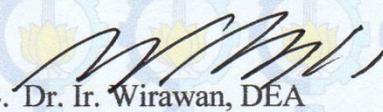
Tanggal Ujian : 08 Juni 2017
Periode Wisuda : September 2017

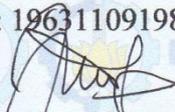
Disetujui oleh:


1. Prof. Ir. Gamantyo Hendratoro, M.Eng, Ph.D (Pembimbing I)
NIP: 197011101993031002


2. Eko Setijadi, S.T, M.T, Ph.D (Pembimbing II)
NIP: 197210012003121002

3. Dr. Ir. Endroyono, DEA (Penguji)
NIP: 196504041991021001


4. Dr. Ir. Wirawan, DEA (Penguji)
NIP: 196311091989031011


5. Dr. Ir. Puji Handayani, MT (Penguji)
NIP: 196605101992032002

Dekan Fakultas Teknologi Elektro



Dr. Tri Arief Sardjono, S.T., M.T.
NIP. 197002121995121001

Halaman ini sengaja dikosongkan

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi keseluruhan Tesis saya dengan judul **“Perancangan Antena Thinned Linear Array dengan Elemen Cavity Backed U-Slot Patch (CUP) Untuk Meminimalkan Jumlah Elemen dan Peak Sidelobe Level (PSLL)”** adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan 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, Juni 2017

Novalia Pertiwi

NRP. 2215203201

Halaman ini sengaja dikosongkan

PERANCANGAN ANTENA THINNED LINEAR ARRAY DENGAN ELEMEN CAVITY BACKED U-SLOT PATCH (CUP) UNTUK MEMINIMALKAN JUMLAH ELEMEN DAN PEAK SIDELOBE LEVEL (PSLL)

Nama mahasiswa : Novalia Pertiwi
NRP : 2215203201
Pembimbing : 1. Prof. Ir. Gamantyo Hendranto, M.Eng, Ph.D
2. Eko Setijadi, S.T, M.T, Ph.D

ABSTRAK

Kebutuhan antena radar mengisyaratkan beam yang sempit dan *Peak Side Lobe Level* (PSLL) yang rendah sehingga dibutuhkan antena array. Namun, penggunaan banyak elemen pada array dapat menyebabkan konsumsi energi yang berlebihan dan cost produksi yang tinggi serta beban komputasinya menjadi lebih besar. Solusi untuk mengatasi masalah tersebut dengan mengurangi jumlah elemen array. Salah satu cara optimal untuk mengurangi jumlah elemen array adalah *Thinning Techniques*. Penelitian ini membahas thinning dengan algoritma genetika menggunakan aturan crossover baru yaitu Combined Top Five dan akan dibandingkan dengan aturan crossover yang sudah ada yaitu Paired Top Ten. Kedua metode ini akan dianalisa hasil minimisasinya (jumlah elemen, PSLL dan beamwidth) dan dibandingkan dengan tanpa GA (dense array).

Hasil minimisasi thinning dengan dengan elemen CUP mengindikasikan bahwa aturan Paired Top Ten lebih unggul dengan PSLL 0,85 dB lebih rendah dibandingkan Aturan Combined Top Five. Namun, dari jumlah pengisian elemen, aturan Combined Top Five lebih unggul 6,67 % dibandingkan Paired Top Ten. Kedua aturan crossover dibandingkan dengan dense array (tanpa thinning), menunjukkan hasil minimisasi yang lebih signifikan dengan pengurangan nilai PSLL sebesar 6,2 dB untuk aturan Paired Top Ten dan 5,35 dB untuk Combined Top Five. Sehingga dalam hal ini kedua aturan mempunyai keunggulan masing-masing dalam hal minimisasi jumlah elemen dan PSLL.

Kata Kunci : Algoritma Genetika (GA), Cavity U-Slot Patch Antenna (CUP), Jumlah elemen, Peak Side Lobe Level (PSLL), Thinned Linear Array, Aturan Crossover.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DESIGN OF THINNED LINEAR ARRAY ANTENNA WITH CAVITY BACKED U-SLOT PATCH (CUP) ELEMENT FOR MINIMIZING THE NUMBER OF ELEMENT AND PEAK SIDELobe LEVEL (PSLL)

By : Novalia Pertiwi
Student Identity Number : 2215203201
Supervisor(s) : 1. Prof. Ir. Gamantyo Hendratoro, M.Eng, Ph.D
2. Eko Setijadi, S.T, M.T, Ph.D

ABSTRACT

Radar antennas need a narrow beam and a low Peak Side Lobe Level (PSLL) for which that the solution is an array antenna. However, Using many elements in the array causes excessive energy consumption, cost production, and computational costs. The solution for these problems is by reducing the number of array elements using thinning technique. This study discusses thinning with genetic algorithm using new crossover rule that is Combined Top Five which will be compared with existing crossover rule that is Paired Top Ten. Both methods will be adopted to obtain optimization results (number of elements, PSLL and beamwidth) to be compared with the one without GA (dense array).

The results of thinning optimization with CUP elements indicate that the Paired Top Ten rule produces a PSLL of 0.85 dB lower than the Combined Top Five Rule. However, the Combined Top Five rule is 6.67% superior to Paired Top Ten to minimize the number of elements. Similarly, when the two rules are compared with the dense array (without thinning), better result with 6.2 dB reduction in PSLL value for Paired Top Ten and 5.35 dB for Combined Top Five is obtained. Therefore, this case both rules have their respective advantages in terms of minimization of the number of elements and PSLL.

Key words: Genetic Algorithm (GA), Cavity Backed U-Slot Patch Antenna (CUP), The number of elements, Peak Side Lobe Level (PSLL), Thinned Linear Array, Crossover rules.

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Syukur Alhamdulillah dipanjatkan kepada Allah SWT, berkat rahmat dan karunia-Nya tesis ini dapat diselesaikan. Berbagai suka dan duka telah dilalui untuk dapat menyelesaikan tesis ini, penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang tak terhingga kepada semua pihak, yang dengan ikhlas telah membantu dalam menyelesaikan tesis ini. Secara khusus penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang tulus kepada :

1. Kedua Orangtuaku dan Saudaraku tercinta yang telah mendidik dan merawat penulis sampai bisa berada pada posisi ini.
2. Bapak Prof. Gamantyo Hendranto dan Bapak Eko Setijadi atas bimbingan, motivasi dan saran yang diberikan serta kesabarannya terhadap penulis sehingga bisa menyelesaikan tesis ini tepat pada waktunya.
3. Bapak Endroyono selaku dosen wali yang telah membimbing dan mengarahkan dengan baik selama perkuliahan.
4. Bapak dan Ibu Dosen Telekomunikasi Multimedia yang telah memberi banyak pengetahuan baru bagi penulis selama masa perkuliahan.
5. Mas Fannush S. Akbar atas bimbingan dan arahannya serta kesabarannya terhadap penulis sehingga bisa menyelesaikan tesis ini tepat pada waktunya.
6. Rekan-rekan S3, S2 dan S1 di lab B306, B301 dan B304, khususnya Aisyah Novfitri, Bapak Alex, Mas Petrus, Bapak Syafrizal, Ibu Nurhayati, Ibu Indah, Mba Umai, Mba Dila, Mba Tika, Bella dan lainnya atas kebaikan serta kerjasamanya selama penulis menempuh studi Pascasarjana di Jurusan Teknik Elektro.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan tesis ini masih jauh dari kata sempurna. Untuk itu demi perbaikan dan penyempurnaan tesis ini, maka saran dan kritik membangun sangat diharapkan. Besar harapan penulis bahwa buku tesis ini dapat memberi informasi dan manfaat bagi pembaca pada umumnya dan Mahasiswa Jurusan Teknik Elektro pada khususnya.

Surabaya, Juni 2017

Penulis

Novalia Pertiwi

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS.....	v
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT.....	ix
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL.....	xvii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Kontribusi.....	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
BAB 2 KAJIAN PUSTAKA.....	5
2.1 Dasar Teori.....	5
2.1.1 Sistem Radar.....	5
2.1.2 Antena.....	6
2.1.3 Paramater Antena.....	7
2.1.4 Mutual Coupling.....	12
2.1.5 Antena Array.....	13
2.1.6 Thinned Array.....	17
2.1.7 Algoritma Genetika.....	18
2.2 Kajian Penelitian Terkait.....	26
2.2.1 Thinned Array menggunakan Algoritma Genetika (GA)	26
2.2.2 Thinning array yang didasarkan pada Iterative Fast Fourier Transform (IFFT) Techniques dan Modified Iterative Fourier Transform (MIFT)	27
2.2.3 Cavity Backed U-Slot Patch Antena.....	30

BAB 3 METODE PENELITIAN.....	33
3.1 Rencana Penelitian.....	33
3.2 Parameter Target Antena dan Spesifikasi.....	34
3.3 Rancangan Thinned Linear Array.....	35
3.3.1 Set Parameter yang akan diminimisasi.....	35
3.3.2 Konstruksi Chromosome.....	35
3.3.3 Fungsi Objektif.....	36
3.3.4 Aturan Crossover.....	37
3.4 Pola Elemen CUP.....	41
3.5 Ilustrasi ULA saat scanning.....	42
3.6 Ilustrasi pengaruh jumlah elemen terhadap SLL.....	43
BAB 4 HASIL MINIMISASI DAN ANALISA.....	45
4.1 Dense Array (Tanpa Thinning) dengan elemen isotropis.....	45
4.2 Thinned Linear Array dengan elemen Isotropis.....	47
4.2.1 Paired Top Ten.....	47
4.2.2 Combined Top Five.....	51
4.3 Dense Array (Tanpa Thinning) dengan elemen CUP.....	57
4.4 Thinned Linear Array dengan Elemen CUP.....	57
4.4.1 Paired Top Ten.....	58
4.4.2 Combined Top Five.....	61
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN.....	67
5.1 Kesimpulan.....	67
5.2 Saran.....	68
DAFTAR PUSTAKA.....	69
LAMPIRAN 1.....	71
LAMPIRAN 2.....	75
LAMPIRAN 3.....	79
LAMPIRAN 4.....	81
LAMPIRAN 5.....	85
DAFTAR RIWAYAT HIDUP.....	89

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Prinsip Kerja Radar[12].....	5
Gambar 2.2 Konsep S-Parameter dengan 2 Terminal.....	7
Gambar 2.3 Ilustrasi Pola Radiasi Antena [1].....	9
Gambar 2.4 Wilayah medan antena (Field Region) [13].....	9
Gambar 2.5 Konfigurasi Linear Array.....	14
Gambar 2.6 Konfigurasi Uniform Linear.....	15
Gambar 2.7 Struktur umum Algoritma Genetika[10].....	22
Gambar 2.8 Struktur Antena Microstrip dengan U-Slot dan Cavity [11].....	30
Gambar 2.9 Antena Non-Uniform dengan 30 elemen [11].....	31
Gambar 3.1 Diagram Alur Penelitian.....	33
Gambar 3.2 Flowchart dari aturan Paired Top-ten based Crossover.....	38
Gambar 3.3 Paired Top-Ten ranking based crossover dari 20 chromosome....	39
Gambar 3.4 Flowchart dari aturan Combined Top-five based Crossover.....	40
Gambar 3.5 Combined Top-Five ranking based crossover dari 20 chromosome.....	41
Gambar 3.6 Pola Elemen CUP.....	42
Gambar 3.7 Ilustrasi ULA saat scanning pada sudut 30^0 , 60^0 , 90^0 (Broadside).....	43
Gambar 3.8 Variasi jumlah N elemen terhadap nilai SLL.....	43
Gambar 4.1 Dense Array dengan 30 elemen isotropis (tanpa thinning array)..	46
Gambar 4.2 Scanning Pola Far Field dari Gambar 4.1 pada sudut 30^0 dan 60^0	46
Gambar 4.3 Hasil pengujian Thinned Linear Array dengan elemen isotropis aturan Paired Top Ten dari 30 Ekperimen.....	47
Gambar 4.4 (a) Pola Far Field dari thinned linear array aturan Combined top five dengan 30 elemen isotropis pada ekperimen ke-10 dengan 73,33% pengisian elemen ON (filling). (b) Kurva konvergensi generasi terhadap PSLI untuk ekperimen yang sama.....	49
Gambar 4.5 Scanning Pola Far-Field dari Gambar 4.4 (a) pada sudut 30^0 dan 60^0	50
Gambar 4.6 Hasil Pengujian Thinned Linear Array dengan elemen isotropis aturan Combined Top Five dari 30 Ekperimen.....	51
Gambar 4.7 (a) Pola Far Field dari thinned linear array aturan Combined top five dengan 30 elemen isotropis pada ekperimen ke-6 dengan 73,33% pengisian elemen ON (filling). (b) Kurva	

konvergensi generasi terhadap PSLL untuk ekperimen yang sama.....	53
Gambar 4.8 Scanning Pola Far-Field dari Gambar 4.7 (a) pada sudut 30^0 dan 60^0	54
Gambar 4.10 Dense Array dari 30 elemen CUP (tanpa thinning array).....	56
Gambar 4.11 Scanning Pola Far Field dari Gambar 4.10 pada sudut 30^0 dan 60^0	56
Gambar 4.12 Hasil Pengujian Thinned Linear Array dengan elemen isotropis aturan Paired Top Ten dari 30 Ekperimen.....	57
Gambar 4.13 (a) Pola Far Field dari thinned linear array aturan Paired top-ten dengan 30 elemen CUP pada ekperimen ke-2 dengan 70% pengisian elemen ON (filling). (b) Kurva konvergensi generasi terhadap PSLL untuk ekperimen yang sama.	59
Gambar 4.14 Scanning Pola Far-Field dari Gambar 4.13 (a) pada sudut 30^0 dan 60^0	60
Gambar 4.15 Hasil Pengujian Thinned Linear Array dengan elemen CUP aturan Combined Top Five dari 30 Ekperimen.....	61
Gambar 4.16 (a) Pola Far Field dari thinned linear array aturan Combine Top Five dengan 30 elemen CUP pada ekperimen ke-18 dengan 63,33% pengisian elemen ON (filling). (b) Kurva konvergensi generasi terhadap PSLL untuk ekperimen yang sama.....	63
Gambar 4.17 Scanning Pola Far-Field dari Gambar 4.13 (a) pada sudut 30^0 dan 60^0	64
Gambar 1 Struktur Antena CUP.....	79
Gambar 2 Return Loss Hasil Simulasi Antena Mikrostrip dengan CUP.....	80

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Terminologi Algoritma Genetika.....	19
Tabel 2.2 Ringkasan dari Metode Thinning array.....	29
Tabel 3.1 Parameter target antenna array.....	34
Tabel 3.2 Parameter GA yang akan diminimisasi.....	35
Tabel 4.1 Kriteria Individu Terbaik dari 30 ekperimen aturan Paired Top Ten dengan elemen isotropis.....	48
Tabel 4.2 Kriteria Individu Terbaik dari 30 ekperimen aturan Combined Top Five dengan elemen isotropis.....	52
Tabel 4.3 Perbandingan hasil thinning dengan GA pada aturan paired top-ten dan combined top-five dengan tanpa thinning (dense array) dengan elemen isotropis.....	55
Tabel 4.4 Kriteria Individu Terbaik dari 30 ekperimen aturan Paired Top Ten dengan elemen CUP.....	59
Tabel 4.5 Kriteria Individu Terbaik dari 30 ekperimen aturan Combined Top Five dengan elemen CUP.....	62
Tabel 4.6 Perbandingan hasil minimisasi GA pada aturan paired top-ten, combined top-five dan tanpa thinning (dense array) dengan elemen CUP.....	65
Tabel 1. 30 Ekperimen thinning array aturan Paired Top Ten dengan elemen isotropis.....	71
Tabel 2. 30 Ekperimen thinning array aturan Combined Top Five dengan elemen isotropis.....	73
Tabel 3. 30 Ekperimen thinning array aturan Paired Top Ten dengan elemen CUP.....	75
Tabel 4. 30 Ekperimen thinning array aturan Combined Top Five dengan elemen CUP.....	77
Tabel 5. Parameter antenna CUP.....	79
Tabel 6. Parameter antenna Mikrostrip.....	79
Tabel 7. Hasil simulasi CUP dari CST.....	81

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

RADAR (Radio Detection and Ranging) merupakan salah satu teknologi RF (Radio Frequency) yang memiliki banyak aplikasi, seperti pada bidang militer atau civil. Teknologi radar digunakan untuk mendeteksi jarak, cuaca, navigasi dan objek yang spesifik [1]. Bagian penting dari radar adalah antena. Antena radar adalah suatu perangkat yang meradiasikan gelombang elektromagnetik ke target kemudian menerima sinyal echo yang direfleksikan oleh target. Pola radiasi yang dibutuhkan untuk aplikasi radar tidak bisa digunakan antena dengan elemen tunggal karena memiliki beamwidth yang lebar, sidelobe yang tinggi dan direktivitas yang rendah.

Antena yang terdiri lebih dari satu elemen atau disebut antena array merupakan solusi untuk masalah ini. Antena array tidak hanya memiliki beam yang sempit dan *Side Lobe Level* (SLL) yang rendah tapi juga memiliki direktivitas yang tinggi dari pada antena dengan elemen tunggal. Penggunaan jumlah elemen yang besar pada antena array berkontribusi menurunkan SLL dan mempersempit lebar beamwidth. Namun, semakin besar jumlah elemen array dapat menyebabkan konsumsi energi yang berlebihan dan *cost* produksi yang tinggi [2]. Oleh karena itu, diperlukan antena array dengan jumlah elemen yang optimal untuk meminimalkan SLL, mempersempit lebar beamwidth serta menghemat konsumsi energi dan *cost* produksi yang tinggi. Untuk mengatasi beberapa permasalahan tersebut dilakukan dengan cara meminimalkan jumlah elemen array.

Beberapa cara optimal yang dilakukan untuk meminimalkan jumlah elemen antena, salah satunya adalah *thinning techniques*, dimana *thinning* meng-OFF-kan elemen pada full array uniform yang memiliki kontribusi yang paling sedikit pada performa antena array [3-5]. Suatu elemen yang dikoneksikan ke *feed network* adalah "ON" dan elemen yang dikoneksikan ke *dummy load* adalah "OFF". Tujuan utama dari *thinning array* adalah untuk mengurangi *cost* dan

beban. Tujuan lain dari thinning adalah mengurangi jumlah elemen dan menekan peak SLL (PSLL), yang mana hasilnya lebih rendah dibandingkan tanpa thinning.

Metode minimisasi statistik, seperti Newton, downhill dan conjugate gradient tidak cocok untuk thinning array antenna karena metode ini hanya bisa mengurangi beberapa masalah kontinyu dan terjebak pada local minimal [6]. Dynamic Programming bisa minimisasi antenna dengan jumlah elemen yang besar tapi rentan terhadap local minimal [7].

Oleh karena itu, penelitian yang dilakukan oleh Haupt (1994) menerapkan Algoritma Genetika (GA) pada thinned array untuk memperoleh SLL yang rendah [3],[8]. Selain itu, Algoritma Genetika dapat mengurangi masalah local minimal seperti yang terjadi pada metode lain. Kemudian penelitian ini dikembangkan oleh Cen (2010) dengan konvergensi waktu yang lebih cepat dibandingkan konvensional GA [9]. Beberapa perbedaan GA dengan metode minimisasi lain yaitu meminimisasi dengan variable kontinyu atau diskrit, tidak menggunakan informasi turunan, dapat bekerja dengan jumlah variabel yang besar, secara serentak mencari sampling yang besar [10]. Metode minimisasi lain tidak bisa diaplikasikan pada array yang besar, karena tidak bisa mencapai solusi yang minimum.

Oleh karena itu, peneliti mengusulkan penelitian yang berjudul Perancangan *Thinned Linear Array* dengan Elemen CUP untuk meminimalkan jumlah elemen dan PSLL. Dimana elemen CUP memiliki mutual coupling rendah sehingga antara elemen satu dengan yang lain tidak saling berinterferensi [11].

1.2 Rumusan Masalah

1. a. Bagaimana desain thinned linear array yang minimum dengan elemen isotropis untuk meminimalkan jumlah elemen dan menghasilkan *Peak Side Lobe Level* (PSLL) yang rendah pada saat *scanning*.
- b. Bagaimana pengaruh *Thinned Linier Array* dengan elemen isotropis terhadap *beamwidth* pada saat *scanning*.
2. a. Bagaimana desain thinned linear array yang minimum dengan elemen *Cavity Backed U-Slot Patch* (CUP) untuk meminimalkan jumlah elemen dan

menghasilkan *Peak Side Lobe Level* (PSLL) yang rendah pada saat *scanning*.

- b. Bagaimana pengaruh *Thinned Linier Array* dengan elemen CUP terhadap *beamwidth* pada saat *scanning*.

1.3 Tujuan

1. a. Untuk mendapatkan desain *thinned linear array* yang minimum dengan elemen isotropis untuk meminimalkan jumlah elemen dan menghasilkan *Peak Side Lobe Level* (PSLL) yang rendah pada saat *scanning*.
b. Untuk mengetahui pengaruh *Thinned Linier Array* dengan elemen isotropis terhadap *beamwidth* pada saat *scanning*.
2. a. Untuk mendapatkan desain *thinned linear array* yang minimum dengan elemen *Cavity Backed U-Slot Patch* (CUP) untuk meminimalkan jumlah elemen dan menghasilkan *Peak Side Lobe Level* (PSLL) yang rendah pada saat *scanning*.
b. Untuk mengetahui pengaruh *Thinned Linier Array* dengan elemen CUP terhadap *beamwidth* pada saat *scanning*.

1.4 Batasan Masalah

1. Konfigurasi antena yang digunakan adalah *Uniform Linear Aray* (1 Dimensi) .
2. Antena dioperasikan pada frekuensi S band (3 GHz).
3. Parameter antena yang dievaluasi adalah Jumlah elemen, *Peak Side Lobe Level* (PSLL) dan *Beamwidth*.
4. Jumlah elemen antena untuk minimisasi adalah 30 elemen.
5. Jenis elemen yang akan diuji adalah CUP dan Isotropis
6. Pengujian dilakukan dengan sudut *scanning* adalah 30^0 dan 60^0 .

1.5 Kontribusi

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi berupa desain *thinned linear array* dengan elemen *Cavity Backed U-Slot Patch* (CUP) yang minimum untuk meminimalkan jumlah elemen dan PSLL.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang digunakan dalam Tesis ini adalah sebagai berikut:

BAB 1 : PENDAHULUAN

Bab ini berisi latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, kontribusi dan sistematika penulisan.

BAB 2 : KAJIAN PUSTAKA

Bab ini berisi kajian penelitian terkait dan dasar teori yang akan menunjang perancangan dan pembuatan pada bab selanjutnya. Kajian penelitian terkait yang akan digunakan meliputi : *Thinned array*, *Genetic Algorithm*, *Cavity Backed U-Slot Patch* (CUP) sedangkan dasar teori meliputi Teori Antena dan parameter dari antena.

BAB 3 : METODE PENELITIAN

Bab ini menjelaskan mengenai metode penelitian. Bagian ini berisi proses perancangan mulai dari rencana penelitian, target parameter antena yang diinginkan, minimisasi thinned linear array dengan GA dan Struktur Cavity Backed U-Slot Patch (CUP).

BAB 4 : HASIL MINIMISASI DAN ANALISA

Bab ini berisi tentang hasil analisa dari minimisasi thinned linear array dengan Algoritma Genetika.

BAB 5 : KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi tentang kesimpulan yang diperoleh dari hasil penelitian berdasarkan pada tujuan penelitian dan saran yang dapat dijadikan pedoman untuk penelitian selanjutnya.

BAB 2

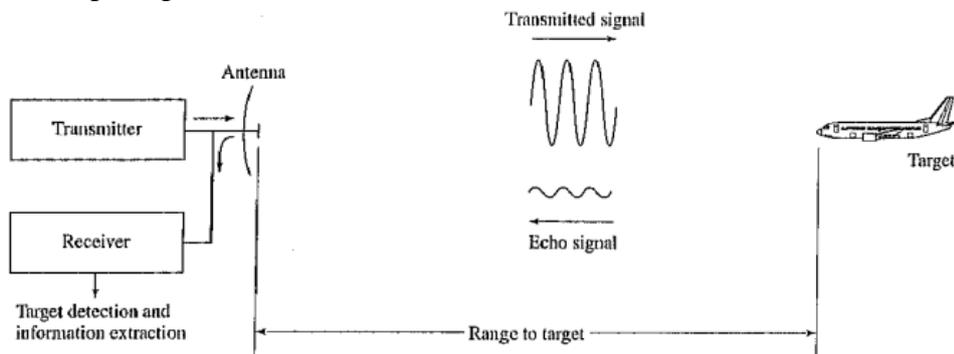
KAJIAN PUSTAKA

2.1 Dasar Teori

2.1.1 Sistem Radar

Radar adalah sistem yang menggunakan sinyal elektromagnetik untuk mendeteksi dan mengetahui posisi suatu target yaitu dengan mengolah gema sinyal elektromagnetik yang dipantulkan oleh target. Radar bisa menunjukkan fungsinya pada jarak yang panjang atau pendek dan dibawah kondisi tahan terhadap optik dan sensor infrared. Radar bisa bekerja dalam kegelapan, kabut, hujan dan salju. Kemampuan radar untuk mengukur jarak dengan akurasi yang tinggi dan pada semua cuaca adalah salah satu keunggulannya. *Range* dari radar bisa mencapai ratusan mil dan bisa ditempatkan pada *platform mobile* yang dapat meningkatkan efektifitasnya.

Prinsip kerja dari radar adalah pengirim (*transmitter*) memancarkan sinyal elektromagnetik ke ruang bebas, jika ada suatu target yang berada pada lintasan perambatan sinyal elektromagnetik maka ada energi sinyal yang tertahan oleh target dan ada juga yang dipantulkan ke berbagai arah, salah satunya adalah sinyal yang terpantulkan ke penerima (*receiver*) dari radar. Sinyal yang dipantulkan ke penerima itulah yang dioah untuk menentukan posisi target. Prinsip kerja radar dapat dilihat pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 Prinsip Kerja Radar[12]

Jarak target dapat diketahui dengan menghitung waktu yang dibutuhkan oleh sinyal merambat ke target dan dipantulkan ke penerima. Lokasi target dalam

sudut dapat diketahui dengan mendeteksi amplitudo maksimum dari penerima yang memiliki HPBW sempit. Dengan mengetahui dua komponen yaitu jarak dan sudut kedatangan dari sinyal yang terpantul maka posisi dari target dapat diketahui.

Pada sistem radar, parameter antena yang paling berpengaruh adalah HPBW dan *gain*. Radar membutuhkan *beamwidth* yang sempit dan *gain* yang tinggi. hal ini berpengaruh terhadap jarak maksimum radar dalam mendeteksi target, yang didapatkan dari persamaan :

$$R_{max} = \left[\frac{P_t G^2 \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 S_{min}} \right]^{1/4} \quad (2.1)$$

Keterangan :

R_{max} : Jarak maksimum target

P_t : Daya yang ditransmisikan

G : Gain antena

λ : Panjang gelombang elektromagnetik

S_{min} : Daya minimum sinyal yang bisa dideteksi

σ : *Radar Cross Section* (meter)²

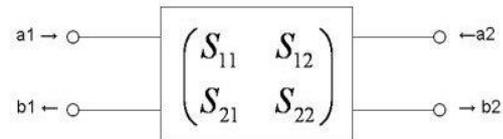
2.1.2 Antena

Antena adalah suatu perangkat yang meradiasikan atau menerima sinyal elektromagnetik dari atau ke ruang bebas [1]. Pada sistem komunikasi, suatu sinyal diransmisikan dari satu titik ke titik lainnya. Transmisi sinyal dilakukan dengan beberapa cara salah satunya adalah transmisi sinyal elektromagnetik melalui ruang bebas, dengan antena sinyal yang datang dari saluran transmisi dapat dipancarkan ke ruang bebas. Saluran transmisi adalah media yang berfungsi menghantarkan sinyal, jika sinyal melalui saluran transmisi yang tak berhingga panjangnya maka akan timbul gelombang yang merambat secara *uniform* pada saluran transmisi. Apabila saluran transmisi tersebut dihubungkan singkat maka akan timbul gelombang berdiri yang disebabkan oleh interferensi antara gelombang datang dan gelombang yang dipantulkan.

2.1.3 Paramater Antena

2.1.3.1 Scattering Parameter (*S-Parameter*)

S-Parameter adalah besaran yang menggambarkan hubungan dari terminal masukan dan keluaran dari suatu saluran transmisi yang berkaitan dengan daya sinyal yang diteruskan maupun dipantulkan [13]. Konsep S-Parameter dalam dua terminal dapat dilihat pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 Konsep S-Parameter dengan 2 Terminal

Keterangan :

S_{11} : Perbandingan daya yang masuk dan keluar dari terminal 1

S_{12} : Perbandingan daya yang masuk dari terminal 1 dan keluar ke terminal 2

S_{21} : Perbandingan daya yang masuk dari terminal 2 dan keluar ke terminal 1

S_{22} : Perbandingan daya yang masuk dan keluar dari terminal 2

a_1 : Daya yang masuk dari terminal 1

a_2 : Daya yang masuk dari terminal 2

b_1 : Daya yang keluar ke terminal 1

b_2 : Daya yang keluar ke terminal 2

Dari gambar 2.2 maka didapatkan persamaan :

$$S_{11} = \frac{b_1}{a_1} \quad (2.2)$$

$$S_{12} = \frac{b_1}{a_2} \quad (2.3)$$

$$S_{21} = \frac{b_2}{a_1} \quad (2.4)$$

$$S_{22} = \frac{b_2}{a_2} \quad (2.5)$$

2.1.3.2 Voltage Standing Wave Ratio (VSWR)

Sesuai dengan namanya VSWR adalah perbandingan dari amplitudo tegangan gelombang berdiri, yaitu perbandingan amplitudo tegangan gelombang berdiri maksimum ($|V_{max}|$) dan amplitudo tegangan gelombang berdiri minimum ($|V_{min}|$). Besarnya nilai VSWR bisa didapatkan dari persamaan :

$$VSWR = \frac{|V_{max}|}{|V_{min}|} = \frac{1+|\Gamma|}{1-|\Gamma|} \quad (2.7)$$

Keterangan :

VSWR: *Voltage Standing Wave Ratio*

Γ : Koefisien refleksi tegangan

V_{max} : Amplitudo tegangan gelombang berdiri maksimum

V_{min} : Amplitudo tegangan gelombang berdiri minimum

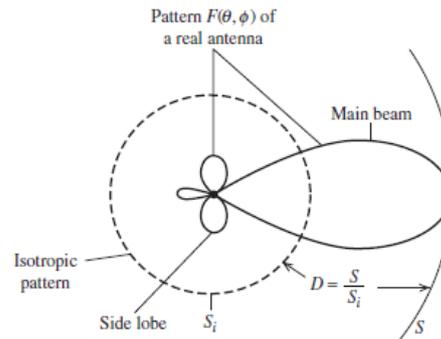
VSWR memiliki rentang nilai dari 1 hingga tak hingga. VSWR juga menjadi salah satu parameter yang digunakan untuk melihat kinerja dari antenna, seperti *return loss*, VSWR juga parameter yang menentukan frekuensi kerja dari antenna. Semakin besar nilai VSWR maka kinerja antenna semakin buruk. Kondisi paling baik adalah ketika VSWR bernilai 1 yang menandakan antenna *match* dengan saluran transmisi sehingga tidak ada gelombang yang terpantulkan dari antenna. Batas nilai maksimum VSWR untuk suatu antenna adalah 2, sehingga antenna dikatakan memiliki kinerja baik jika memiliki VSWR dibawah 2 pada frekuensi kerja dari antenna tersebut.

2.1.3.3 Pola Radiasi

Pola radiasi antenna adalah gambaran secara grafis karakteristik radiasi dari suatu antenna [14]. Pola radiasi antenna disebut pola medan (field pattern) jika digambarkan adalah kuat medan. Untuk menyatakan pola radiasi secara grafis, maka pola radiasi dapat digambarkan dalam bentuk absolut atau relatif. Bentuk relatif artinya pola radiasi yang sudah ternormalisasi, dimana setiap nilai dari pola radiasi dibagi dengan nilai maksimumnya. Pola radiasi antenna biasanya ditentukan pada daerah *far-field* dan direpresentasikan sebagai fungsi dari koordinat direksional. Ada dua tipe pola antenna, pertama pola daya (power pattern) yang

dinormalisasi daya terhadap posisi kordinat sperical dan kedua pola bidang (field pattern) yang dinormalisasi $|E|$ dan $|H|$ terhadap posisi koordinat sperical.

Biasanya pola radiasi dinormalisasi dengan nilai maksimum dan disebut pola radiasi ternormalisasi. Pola radiasi biasanya diplot pada skala *decibel (dB)*. Ilustrasi dari pola radiasi ditunjukkan pada gambar 2.3.

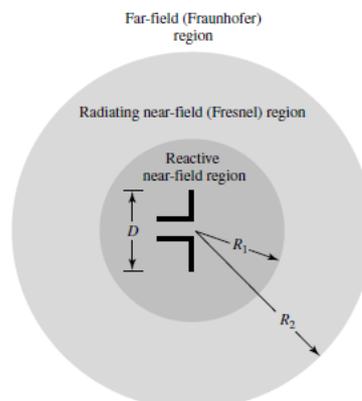


Gambar 2.3 Ilustrasi Pola Radiasi Antena [1]

Pola radiasi terdiri dari tiga bagian yaitu main lobe, side lobe, dan back lobe. Main lobe adalah daerah radiasi yang memiliki intensitas tertinggi. Side lobe adalah daerah radiasi yang memiliki intensitas lebih rendah dari main lobe. Back lobe adalah daerah radiasi yang memiliki arah bertolak belakang dengan main lobe.

Wilayah bidang antenna ditunjukkan pada gambar 2.4 :

- Near field reactive region*
- Near field Fresnel region*
- Far-Field fraunhofer region*



Gambar 2.4 Wilayah medan antenna (Field Region) [13]

Dimana, D adalah maksimum dimensi antenna.

$$R_1 = 0,62 \sqrt{\frac{D^3}{\lambda}} \quad (2.8)$$

$$R_2 = \sqrt{\frac{2D^2}{\lambda}} \quad (2.9)$$

Untuk mendapatkan nilai *Side Lobe Level* (SLL) pada antenna linear array dapat digunakan rumus sebagai berikut [1] :

$$SLL = \frac{|Nilai\ maksimum\ dari\ sidelobe\ tertinggi|}{|maksimum\ nilai\ mainlobe|} \quad (2.10)$$

Dalam satuan decibel :

$$SLL_{dB} = 20 \log \frac{|F(SLL)|}{|F(max)|} \quad (2.11)$$

Dimana, $|F(max)|$ adalah maksimum nilai pola magnitud dan $|F(SLL)|$ adalah nilai maksimum dari sidelobe magnitudo.

2.1.3.4 *Beamwidth*

Beamwidth dedfinisikan jarak sudut angular antara dua point pada pola radiasi. Defenisi yang samar mungkin dapat menyebabkan kesalahpahaman dan untuk lebih spesifiknya point yang disebutkan sebagai Half Power Beamwidth (HPBW) dan Beamwidth Between First Null (BWFN). HPBW adalah besar sudut dimana intensitas radiasi menjadi setengah (-3dB) dari intensitas tertinggi. BWFN adalah sudut dimana intensitas radiasi menjadi nol.

Untuk menghitung beamwidth atau Half Power Beamwidth (HP), yang mana pemisahan sudut angular dari titik dimana daya dari main beam adalah setengah dari nilai maksimum dengan persamaan :

$$HP = |\theta_{HP\ left} - \theta_{HP\ right}| \quad (2.12)$$

Dimana, $\theta_{HP\ left}$ dan $\theta_{HP\ right}$ adalah titik pada kiri dan kanan dari maksimum main beam yang mana daya dinormalisasi menjadi setengah dari daya utama.

2.1.3.5 Bandwidth

Bandwidth adalah rentang frekuensi dimana kinerja suatu perangkat masih dapat diterima. Untuk antenna maka *bandwidth* adalah rentang frekuensi dimana *VSWR* dan *return loss* tidak melewati nilai maksimum untuk antenna. *Bandwidth* memiliki dua batas yaitu batas atas (f_1) dan batas bawah (f_2) dimana besarnya *bandwidth* adalah rentang nilai diantara tersebut untuk antenna *narrow band* atau *bandwidth* sempit sering disebutkan dalam persentase yang didapatkan dari persamaan :

$$BW = \frac{f_1 - f_2}{f_c} 100\% \quad (2.13)$$

Keterangan :

BW : *Bandwidth*

f_1 : Batas atas frekuensi kerja

f_2 : Batas bawah frekuensi kerja

f_c : Titik tengah frekuensi kerja

2.1.3.6 Gain

Gain adalah perbandingan antara rapat daya per satuan unit antenna terhadap rapat daya antenna referensi pada arah dan daya yang sama. *Gain* didefinisikan sebagai 4π kali rasio dari intensitas pada suatu arah dengan daya yang diterima antenna, yang dinyatakan dengan :

$$G_{\theta,\varphi} = 4\pi \frac{U_{(\theta,\varphi)}}{P_m} \quad (2.14)$$

Keterangan :

$G_{\theta,\varphi}$: *Gain*

$U_{\theta,\varphi}$: Daya yang diradiasikan per satuan sudut (steradian)

P_m : Daya terima dari antenna

Dimana θ adalah sudut elevasi dan φ adalah sudut azimuth. *Gain* juga dapat dicari dengan menggunakan perbandingan level daya terima dan menggunakan antenna referensi sebagai pembanding. Di samping itu *gain* juga dapat dinyatakan dalam desibel (dB).

$$G_t = \frac{P_t}{P_s} G_s \text{ atau}$$

$$G_t (dB) = P_t(dB) - P_s(dB) + G_s (dB) \quad (2.15)$$

Keterangan :

G_t : Gain antenna uji coba

G_s : Gain antenna referensi

P_t : Level daya antenna uji coba

P_s : Level daya antenna referensi

2.1.4 Mutual Coupling

Mutual coupling adalah suatu efek yang menyebabkan terjadinya penurunan kualitas parameter antenna karena adanya interferensi elektromagnetik dari dua antenna atau lebih yang jaraknya terlalu berdekatan. Sebagian dari energi datang pada satu atau kedua elemen antenna array yang dapat dihamburkan kembali pada arah yang berbeda seperti suatu transmitter yang baru. Efek mutual coupling berpengaruh terhadap meningkatnya *standing wave*, dan koefisien refleksi yang otomatis mengganggu kinerja parameter antenna seperti VSWR dan *return loss*. Besaran nilai efek mutual coupling biasanya diukur dari nilai S_{12} yang terjadi pada antenna array. Adapun S parameter dapat dilihat dari Persamaan (2.16) [12] matriks :

$$\begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \end{bmatrix} \quad (2.16)$$

Dimana :

S_{11} : Return loss dari port 1

S_{22} : Return loss dari port 2

S_{21} : Mutual coupling dari port 1 ke port 2

S_{12} : Mutual coupling dari port 2 ke port 1

a_1 : Mewakili amplitudo tegangan gelombang *forward* (maju)

b_1 : Mewakili amplitudo tegangan gelombang *reverse* (mundur)

Mutual coupling ini dapat merubah besaran arus, fase dan distribusi pada tiap elemen sehingga pola radiasi keseluruhan antenna berbeda dibandingkan yang tidak mengalami coupling. Besar kecilnya dampak mutual coupling terhadap performansi antenna susun tergantung pada:

- a. Jenis antenna dan parameter desainnya seperti impedansi elemen dan koefisien refleksi
- b. Letak posisi elemen-elemen pada antenna susunnya
- c. Pencatu dari antenna susun.

2.1.5 Antena Array

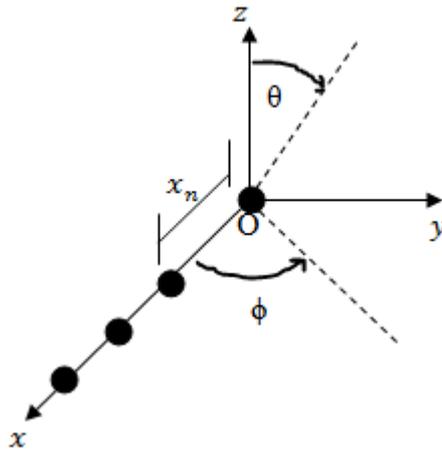
Kombinasi keluaran dari beberapa elemen antenna untuk mengubah pola radiasi dan radiasi untuk arah yang diinginkan, kasus ini dirujuk dari antenna array. Pola radiasi bisa mengubah ke arah lain oleh tuning arus eksitasi dan fase relatif elemen array. Proses ini disebut steering atau scanning.

Metode scanning konvensional adalah secara mekanis rotasi apertur antenna dengan beberapa perangkat disebut rotator, tapi mengisyaratkan *cost* yang tinggi dan proses scanning lambat. Phased array alternatif untuk masalah ini, secara elektronik mengubah fase dari elemen. Terlebih, dengan metode perubahan secara elektronik, suatu phased array bisa juga scan suatu beam pada kecepatan elektronik dan bahkan beberapa simultan main beam. Konfigurasi array dibagi menjadi 2 tipe yaitu linear (1 Dimensi) dan Planar (2 Dimensi). Pada bab ini hanya akan dibahas tentang linear array (1D).

2.1.5.1 Linear Array

Antena array merupakan antenna yang terdiri dari beberapa elemen individual. Biasanya antenna array digunakan untuk mendapatkan direktif beam dan pada waktu yang sama menekan radiasi pada arah lain [Maillouxm,2007].

Antena array tidak secara ekstensif digunakan dulu karena kesulitan dalam implementasi *feeding network* dan *cost*. Namun sekarang kemajuan teknologi antenna *array* adalah alternatif pemilihan antenna yang cocok untuk digunakan. Salah satu aplikasinya dimana antenna array memadai untuk fokus ke sistem yang mengisyaratkan pembentukan beam dan beam scanning.



Gambar 2.5 Konfigurasi Linear Array

Linear array adalah konfigurasi antenna dimana elemen dikerahkan disepanjang garis lurus (Gambar 2.5). Arsitektur dari linear array untuk mengontrol pola radiasi pada planterdiri dari Ox axis, hanya bagian distribusi pada plane paralel ke Oy axis yang ditentukan oleh pola elemen. Batas ini bisa diatasi dengan beralih ke planar array yang menyediakan kontrol penuh lebih dari jarak yang lengkap.

Farfield radiasi pada free space dari linear array terdiri dari N elemen yang ditulis dengan persamaan :

$$FF(\theta, \phi) = \sum_{n=0}^{N-1} I_n f_n(\theta, \phi) e^{jkx_n \sin(\theta)} \quad (2.17)$$

Dimana N adalah jumlah elemen array antenna, $k = 2\pi/\lambda$, x_n merupakan x koordinat dari n elemen, $f_n(\theta, \phi)$ dimana θ adalah sudut elevasi yang mengarah ke sumbu z dan ϕ adalah sudut azimuth yang mengarah ke sumbu x yang merupakan elemen faktor (untuk antenna isotropis yang sama dengan 1) dan I_n adalah jumlah kompleks dari perhitungan feeding dimana :

$$I_n = a_n e^{ja_n} \quad (2.18)$$

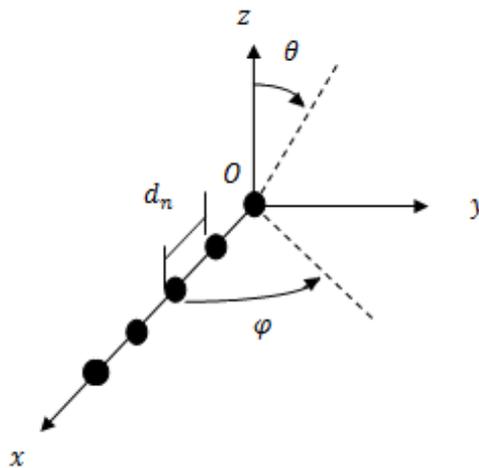
Ketika $a_n = 0$ untuk $n = 1, \dots, N$, titik dari array pattern berada pada broadside ($\theta = 90^\circ$), lebih umum jika nilai dari $a_n = -kx_n \sin(\beta)$, dimana β adalah titik arahan, kemudian semua antenna yang berkontribusi menyimpulkan secara koheren pada

arah β [13]. Jumlah a_n dan x_n adalah variabel yang bisa diminimisasi untuk memperoleh pola radiasi untuk mendapatkan persyaratan direksional yang diberikan.

2.1.5.2 Uniform Array

Dengan menganalisis faktor array dari konfigurasi dasar pada suatu array dimana kondisinya uniform linear. Prinsip analisis uniform linear array bisa digunakan untuk menentukan geometris array yang lebih kompleks. Konfigurasi array linear seperti ditunjukkan pada Gambar 2.6. Ketika elemen antenna digunakan secara identik dan koordinat x_n adalah beberapa dari jarak yang konstan $d_n = nd_x = nd$. Persamaan 2.17 menjadi persamaan:

$$FF(\theta, \phi) = \sum_{n=0}^{N-1} a_n e^{jn(kd \sin(\theta + \alpha))} \quad (2.19)$$



Gambar 2.6 Konfigurasi Uniform Linear Array

Kita bisa mendefinisikan :

$$\psi = kd \sin \theta + \alpha \quad (2.20)$$

Persamaan 2.20 menjadi :

$$FF(\theta, \phi) = \sum_{n=0}^{N-1} a_n e^{jn\psi} \quad (2.21)$$

Dari persamaan diatas kita menganalisis bahwa array faktor bergantung pada arus dan fase eksitasi pada masing-masing elemen antenna. Kita bisa memanipulasi spasi elemen d dan fase α untuk mendapatkan pola radiasi yang diinginkan dan mengontrolnya.

2.1.5.3 Array Factor

Antena linear array memiliki persamaan Array Factor (AF) :

$$AF(u) = \sum_{n=0}^N A_n e^{jn(\beta d \cos \theta + \alpha)} \quad (2.22)$$

Jika,

$$\psi = \beta d \cos \theta + \alpha \quad (2.23)$$

Maka,

$$AF(u) = \sum_{n=0}^N A_n e^{jn\psi} \quad (2.24)$$

Dimana A_n adalah amplitudo eksitasi dari n elemen, β adalah jumlah gelombang ($2\pi/\lambda$), λ adalah panjang gelombang dari array, d adalah jarak antar elemen array, θ adalah pola sudut pengukuran pada broadside array .

Maksimum dari AF terjadi untuk $\psi = 0$. Jika θ_0 dikaitkan dengan nilai θ untuk array faktor yang maksimum, dari persamaan 2.23 kita mempunyai :

$$0 = \beta d \cos \theta_0 + \alpha \quad (2.25)$$

atau

$$\alpha = -\beta d \cos \theta_0 \quad (2.26)$$

Pergeseran fase elemen ke elemen pada arus eksitasi mengisyaratkan untuk menghasilkan suatu array faktor dengan maksimum main beam pada arah θ_0 yang relative .

2.1.6 Thinned Array

Thinning adalah meng-OFF-kan elemen pada *uniform full array* yang memiliki konstribusi yang paling sedikit pada performa antenna array [3]. Suatu elemen yang dikoneksikan ke *feed network* adalah “ON” dan elemen yang dikoneksikan ke *dummy load* adalah “OFF”. *Thinning* dari suatu array yang sama atau uniform dapat menghasilkan Sidelobe Level (SLL) yang rendah.

Secara umum persamaan thinning diperoleh dari persamaan pola array total atau pola far-field, yaitu merupakan perkalian antara Array Factor (AF) dan Elemen Pattern (elpat). Berikut persamaan pola array total [1]:

$$F(\theta, \varphi) = f(\theta, \varphi)g_a(\theta, \varphi) \quad (2.27)$$

Dimana, $f(\theta, \varphi)$ adalah faktor array dan $g_a(\theta, \varphi)$ adalah pola elemen antenna array (elemen pattern). Persamaan Array Factor seperti yang ditunjukkan pada persamaan (2.22) dan persamaan elemen pattern diperoleh dari pola elemen yang digunakan (isotropis dan CUP). Pola elemen isotropis adalah 1 dan pola elemen CUP diperoleh dari data hasil simulasi pola elemen menggunakan CST berupa data tabel (Lampiran 4) dan dibuktikan dengan Gambar 3.6 (Pola elemen CUP). Sehingga persamaan thinning dapat ditulis sebagai berikut [3] :

$$FF(u) = \max \left| \sum_{n=1}^N a_n \frac{\cos(2\pi ndu + \delta_s)}{FF_{max}} \text{elpat}(u) \right| \quad (2.28)$$

$$\text{Dimana, } \frac{1}{2Nd} \leq u \leq 1$$

Dimana N adalah jumlah elemen array, a_n adalah beban amplitudo elemen $n = 0$ adalah ‘off’ dan $n = 1$ adalah ‘on’, d adalah spasi antar elemen array, $u = \cos(\phi)$, ϕ adalah sudut dari elemen antenna, $\delta_s = -2\pi du_s$ adalah steering phase, $\text{elpat}(u)$ adalah elemen pattern dan FF_{max} adalah peak dari main beam dan \max adalah nilai maksimum dari satu chromosome atau satu array.

Untuk mengontrol pola array yang diinginkan, perbedaan parameter pola far-field mempertimbangkan fungsi fitness. Pertama dan parameter yang paling

penting adalah normalisasi maksimum side lobe level dari antenna array diberikan pada persamaan berikut :

$$F_{MSL}(I_n) = 20 \log \left| \frac{FF(u)}{\max(FF(u))} \right| \quad (2.29)$$

dimana, I_n sama dengan a_n yaitu bernilai 0 jika bagian dari n elemen adalah OFF dan bernilai 1 jika bagian dari n elemen adalah ON. Persamaan (2.30) digunakan untuk menentukan fungsi objektif untuk menekan SLL. Dimana :

$$f(I_n) = F_{MSL}(I_n) \quad (2.30)$$

Kita perlu untuk menemukan elemen array yang on atau off ($A_n=1$ atau $A_n=0$) untuk mendapatkan karakteristik pola radiasi yang diinginkan. Oleh karena itu, masalah sintesis thinned array bisa di formulasikan seperti masalah minimisasi 0-1 integer :

$$\min(f(I)) \text{ dimana } I_n \in \{0,1\}, n = 1,2,3 \dots N$$

2.1.7 Algoritma Genetika

Algoritma genetika merupakan suatu metode yang digunakan untuk mencari solusi yang optimal berbasis prinsip evolusi dan menjadi bagian dari kecerdasan buatan. Algoritma genetika bekerja didasarkan pada proses genetika yang ada pada makhluk hidup, yaitu perkembangan generasi dalam proses genetika yang ada pada makhluk hidup, yaitu perkembangan generasi dalam sebuah populasi yang alami, secara lambat laun mengikuti proses seleksi alam “siapa yang kuat akan bertahan”. Metoda ini diilhami oleh teori evolusi Darwin yang bekerja dengan sejumlah individu dalam suatu populasi, dimana setiap individu adalah kandidat solusi suatu problema.

Pada awal tahun 1975 John Holland mengemukakan algoritma ini. Penyelesaian problema dilakukan dengan cara berusaha untuk mendapatkan chromosome-chromosome yang baik, melalui proses memanipulasi materi dan sifat (gen) dari chromosome. Hasil dari evaluasi chromosome adalah informasi

yang berupa nilai kebugaran (fitness) setiap chromosome yang dihasilkan, dan digunakan untuk seleksi chromosome. Chromosome dengan nilai kebugaran terbaik yang bertahan hidup dan selalu direproduksi.

Individu-individu yang lahir sebelum dinyatakan sebagai individu akan mengalami beberapa proses yang berhubungan dengan perubahan nilai gen, baik yang berupa adaptasi maupun revolusi. Proses yang terjadi dinamakan dengan mutasi gen.

Tabel 2.1 Terminologi Algoritma Genetika

Terminologi	Keterangan
Chromosome	Adalah kumpulan gen yang membentuk satu kesatuan nilai, dari model chromosome inilah algoritma genetika dapat dibedakan menjadi algoritma genetika chromosome biner, chromosome float dan chromosome kombinatorial. Model algoritma genetika sangat ditentukan nilai pada setiap gennya.
Gen	Adalah elemen terkecil yang menyatakan nilai parameter dari individu, didalam algoritma genetika terdapat berbagai macam jenis gen yaitu gen biner, gen float atau gen kombinasi.
Individu	Adalah satu kesatuan chromosome yang menyatakan satu kemungkinan penyelesaian
Allele	Adalah nilai yang dimasukkan pada gen
Phenotype	Adalah sekumpulan string yang menyatakan solusi akhir dari kombinasi chromosome
Genotype	Adalah sekumpulan string yang merupakan hasil perkawinan dan berpotensi untuk menjadi solusi akhir dari kombinasi chromosome
Populasi	Adalah sekumpulan individu yang menjadi dasar dari pengolahan seleksi alamiah
Generasi	Adalah pengulangan (loop) dari proses seleksi alamiah dimulai dari satu populasi hingga membentuk populasi yang baru.

Setelah proses mutasi gen inilah individu-individu baru dinyatakan telah lahir. Setelah itu individu-individu tersebut bersama individu-individu yang terdahulu akan membentuk suatu populasi baru pada suatu generasi. Proses satu pengulangan ini dinamakan dengan satu generasi.

(1) Terminologi algoritma genetika

Algoritma genetika menggunakan mekanisme genetika yang ada pada proses alami dan sistem buatan secara numerik. Terminologi yang digunakan diambil dari disiplin ilmu biologi dan ilmu komputer. Terminologi dalam algoritma genetika adalah seperti Tabel 2.1.

(2) Parameter Algoritma genetika

Sebelum mengevaluasi kebugaran masing-masing individu, terlebih dahulu kita kenal parameter yang digunakan dalam GA. Parameter-parameter tersebut digunakan untuk melihat kompleksitas dari GA.

Parameter yang digunakan tersebut adalah :

Jumlah Generasi (JumGen)

Merupakan jumlah perulangan atau iterasi dilakukannya rekombinasi dan seleksi. Jumlah generasi ini mempengaruhi kestabilan output dan lama iterasi (waktu proses GA). Jumlah generasi yang besar dapat mengarah ke suatu solusi yang optimal, namun akan membutuhkan waktu yang lama. Sedangkan jika jumlah iterasinya sedikit dapat mengakibatkan solusi akan terjebak lokal optimum.

Ukuran Populasi (UkPop)

Ukuran populasi mempengaruhi kinerja dan efektifitas dari GA. Jika ukuran populasi kecil maka populasi tidak menyediakan cukup materi untuk mencangkup ruang permasalahan, sehingga pada umumnya kinerja GA menjadi buruk. Dalam hal inilah dibutuhkan ruang yang lebih besar untuk merepresentasikan keseluruhan ruang permasalahan. Selain itu populasi yang besar dapat mencegah terjadinya konvergensi pada wilayah lokal. Banyak aplikasi GA yang menggunakan populasi antara 50-100.

Probabilitas Pindah Silang (Pc)

Probabilitas ini digunakan untuk mengendalikan operator pindah silang. Dalam hal ini, dalam populasi terdapat $P_c \times UkPop$ struktur (individu) yang

melakukan pindah silang. Semakin besar nilai probabilitas pindah silang maka semakin cepat struktur baru diperkenalkan dalam populasi. Namun jika probabilitas pindah silang terlalu besar maka struktur dengan nilai objektif yang baik dapat hilang dengan lebih cepat dari seleksi. Sebaliknya probabilitas pindah silang kecil maka akan menghalangi proses pencarian dalam GA. Banyak aplikasi GA yang menggunakan nilai probabilitas pindah silang antara 0.65-1.

Probabilitas Mutasi (Pm)

Mutasi digunakan untuk meningkatkan variasi populasi. Probabilitas mutasi ini digunakan untuk menentukan tingkat mutasi terjadi, karna frekuensi terjadinya mutasi tersebut menjadi $P_m \times U_k \text{Pop} \times N$ dimana N adalah panjang struktur atau gen dalam satu individu. Probabilitas yang rendah akan menyebabkan gen-gen yang berpotensi tidak dicoba dan sebaliknya tingkat mutasi yang tinggi akan menyebabkan keturunan akan semakin mirip dengan induknya dalam GA mutasi menjalankan aturan penting yaitu :

- a. Mengganti gen yang hilang selama proses seleksi
- b. Menyediakan gen-gen yang tidak muncul pada saat inisialisasi awal populasi.

Panjang Chromosome (Nvar)

Panjang chromosome berbeda-beda sesuai dengan model permasalahan. Titik solusi dari ruang permasalahan dikodekan dalam bentuk chromosome/ string yang terdiri dari komponen genetik terkecil yaitu gen. Pengkodean dapat memakai bilangan seperti string biner, integer, floating point dan abjad.

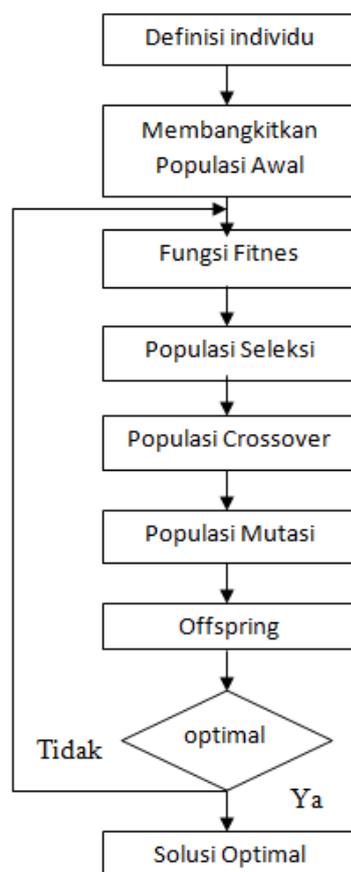
Mekanisme secara umum dari GA digambarkan oleh Goldberg. Proses kerjanya diawali dengan inisialisasi satu rangkaian nilai random yang disebut dengan populasi. Setiap individu dalam satu populasi dinamakan chromosome. Setiap individu dievaluasi dengan menggunakan nilai kebugaran atau fitness. Untuk menghasilkan generasi selanjutnya sebagai individu baru yang disebut dengan offspring, dibentuk melalui persilangan dua individu dengan menggunakan operator pindah silang (crossover) dan memodifikasi sebuah chromosome atau disebut juga mutasi.

(3) Struktur umum dalam Algoritma Genetika

Dalam algoritma genetika, terdapat beberapa urutan proses yang perlu dilakukan diantaranya seperti yang terlihat pada gambar dibawah ini :

1. Definisi Individu

Definisi individu merupakan proses pertama yang harus dilakukan dalam algoritma genetika yang menyatakan salah satu solusi yang mungkin dari suatu permasalahan yang diangkat. Definisi individu atau yang biasa disebut juga merepresentasikan chromosome yang akan diproses nanti, dilakukan dengan mendefinisikan jumlah dan tipe dari gen yang digunakan dan tentunya dapat mewakili solusi permasalahan yang diangkat.



Gambar 2.7 Struktur umum Algoritma Genetika[10]

2. Membangkitkan Populasi Awal

Proses ini dilakukan dengan membangkitkan populasi secara acak, dimana populasi tersebut berisi beberapa chromosome yang telah didefinisikan sebelumnya. Dalam proses ini perlu diperhatikan syarat-syarat yang harus

dipenuhi untuk menunjukkan suatu solusi dari permasalahan dan jumlah chromosome yang digunakan dalam satu populasi. Jika chromosome yang digunakan terlalu sedikit, maka individu yang dapat digunakan untuk proses crossover dan mutasi akan sangat terbatas. Sehingga menyia-nyiakan proses yang ada. Tetapi jika jumlah chromosome yang digunakan terlalu banyak akan memperlambat proses algoritma genetika yang dilakukan. Jumlah chromosome yang dianjurkan lebih besar dari jumlah gen yang ada dalam satu chromosome, tetapi juga harus disesuaikan dengan permasalahan, apabila jumlah gennya terlalu banyak, tidak juga dianjurkan seperti itu.

3. Fungsi Evaluasi Kebugaran (Fitness)

Fungsi kebugaran menggambarkan hasil atau solusi yang telah dikodekan. Selama proses GA induk harus digunakan crossover dan mutasi untuk memperoleh keturunan. Jika GA dirancang dengan baik populasi akan mengalami sebuah konvergensi dan mengarah pada solusi yang minimum.

Pada permulaan minimisasi, biasanya nilai kebugaran akan memiliki rentang yang lebar. seiring dengan bertambahnya generasi beberapa chromosome mendominasi populasi dan mengakibatkan rentang nilai kebugaran makin kecil. Hal ini dapat mengakibatkan konvergensi dini. Dalam hal ini hanya proses mutasi yang mampu menghasilkan chromosome yang relatif baru dan merupakan cara untuk menghindari chromosome tertentu mendominasi populasi.

4. Proses Seleksi

Salah satu proses dalam GA adalah proses seleksi yaitu proses pemilihan chromosome yang akan dipindah silangkan dengan chromosome dari individu lain. Dasar proses seleksi adalah teori evolusi Darwin tentang proses seleksi pada makhluk hidup.

Operasi seleksi dilakukan dengan memperhatikan fitness dari tiap individu. Manakah yang dapat dipergunakan untuk generasi selanjtnya. Seleksi ini digunakan untuk mendapatkan calon induk yang baik, semakin tinggi nilai fitnessnya maka semakin besar juga kemungkinan individu tersebut terpilih. Terdapat beberapa macam cara seleksi untuk mendapatkan calon induk yang baik, diantaranya adalah seleksi *roulette wheel*, *steady state*, *tournament* dan *rank*.

Proses seleksi yang biasa digunakan adalah *roulette wheel*. Beberapa penjelasan tentang keempat metode seleksi diatas adalah sebagai berikut :

a. Roulette Wheel

Calon induk yang akan dipilih berdasarkan nilai fitness yang dimilikinya, semakin baik individu tersebut yang ditunjukkan dengan semakin besar nilai fitnessnya akan mendapatkan kemungkinan yang lebih besar untuk terpilih sebagai induk misalkan saja *roulette wheel* merupakan tempat untuk menampung seluruh chromosome dari tiap populasi, maka besarnya tempat dari *roulette wheel* tersebut menunjukkan seberapa besar nilai fitness yang dimiliki oleh suatu chromosome, semakin besar nilai fitness tersebut, maka semakin besar pula tempat yang tersedia.

b. Steady state

Metode steady state tidak banyak digunakan dalam proses seleksi karena dilakukan dengan mempeertahankan individu yang terbaik. Pada setiap generasi akan dipilih beberapa chromosome dengan nilai fitness yang terbaik sebagai induk, sedangkan chromosome-chromosome yang memiliki nilai fitness terburuk akan digantikan dengan offspring yang baru. Sehingga pada generasi selanjutnya akan terdapat beberapa populasi yang bertahan.

c. Tournament

Dalam metode seleksi tournament sejumlah n individu dipilih secara random dan kemudian menentukan fitnessnya. Kebanyakan metode ini digunakan pada binary, dimana hanya dua individu yang dipilih.

d. Rank

Seleksi ini memperbaiki proses seleksi yang sebelumnya yaitu roulette wheel karena pada seleksi tersebut kemungkinan salah satu chromosome mempunyai nilai fitness yang mendominasi hingga 90% bisa terjadi, sehingga nilai fitness yang lain akan mempunyai kemungkinan yang sangat kecil sekali untuk terpilih. Sehingga dalam seleksi rank, dilakukan perumpamaan sesuai dengan nilai fitnessnya. Nilai fitness terkecil diberi nilai 1, yang terkecil kedua diberi nilai 2 dan begitu seterusnya sampai yang terbagus diberi nilai N (jumlah chromosome dalam populasi). Nilai tersebut yang akan diambil sebagai presentasi tepat yang tersedia.

Ada banyak proses seleksi yang digunakan, salah satunya adalah dengan menggunakan metode roulette wheel. Dalam metode roulette wheel seleksi dilakukan dengan menggunakan presentasi fitness setiap individu, dimana setiap individu mendapatkan luas bagian sesuai dengan prosentase nilai fitnessnya.

Adapun algoritma roulette wheel adalah :

- a. Menjalankan nilai fitness dari seluruh populasi
- b. Membangkitkan nilai k atau nilai random antara 0 dan total fitnessnya
- c. Mendapatkan anggota populasi pertama yang bugarnya dijumlahkan dengan nilai kebugaran dari kumpulan anggota populasi yang paling besar atau sama dengan k .

Pada evolusi GA, keragaman populasi dan tekanan seleksi memegang peranan penting. Meningkatnya tekanan populasi akan berakibat menurunnya keragaman populasi. Sebaliknya tekanan populasi yang terlalu longgar membuat proses pencarian menjadi tidak efisien.

5. Proses Crossover

Crossover adalah salah satu operator penting dalam algoritma genetika, metode dan tipe crossover yang dilakukan tergantung dari encoding dan permasalahan yang diangkat.

6. Proses Mutasi

Prosedur mutasi sangatlah sederhana. Untuk semua gen yang ada, jika bilangan random yang dibangkitkan kurang dari probabilitas mutasi P_{mut} yang ditentukan maka ubah gen tersebut menjadi nilai kebalikannya (dalam binary encoding, 0 diubah menjadi 1 dan 1 diubah menjadi 0). Biasanya P_{mut} diset sebagai $1/n$, dimana n adalah jumlah gen dalam chromosome. Dengan P_{mut} sebesar ini berarti mutasi hanya terjadi pada sekitar satu gen saja. Pada AG sederhana, nilai P_{mut} adalah tetap selama evolusi.

7. Offspring

Offspring merupakan chromosome baru yang dihasilkan setelah melalui proses-proses diatas. Kemudian pada offspring tersebut dihitung fitnessnya apakah sudah optimal atau belum, jika sudah optimal berarti offspring tersebut merupakan solusi optimal, tetapi jika belum maka akan diseleksi kembali, begitu

seterusnya sampai terpenuhi kriteria berhenti. Beberapa kriteria berhenti yang sering digunakan antara lain :

- a. Berhenti pada generasi tertentu
- b. Berhenti setelah dalam beberapa generasi berturut-turut didapatkan nilai fitness tertinggi tidak berubah.
- c. Berhenti bila dalam n generasi berikut tidak didapatkan nilai fitness yang lebih tinggi.

8. Proses Elitisme

Karena seleksi individu dilakukan secara random, maka tidak ada jaminan bahwa suatu individu bernilai fitness tertinggi akan selalu terpilih. Kalaupun individu bernilai fitness tertinggi terpilih, mungkin saja individu tersebut akan rusak (nilai fitnessnya menurun) karena proses pindah silang. Untuk menjaga agar individu bernilai fitness tertinggi tersebut tidak hilang selama evolusi, maka perlu dibuat satu atau beberapa kopinya. Prosedur ini dikenal dengan *elitisme*.

(4) Teori Kombinasi untuk menentukan kemungkinan elemen on atau off

Kombinasi adalah menggabungkan beberapa objek dari suatu kumpulan tanpa memperhatikan urutannya yaitu $AB=BA$. Lambang notasi dari kombinasi adalah C. Jika disebutkan n kombinasi r, maka dapat ditulis menjadi nC_k .

Rumus kombinasi adalah sebagai berikut [17] :

$${}^nC_k = \frac{n!}{k!(n-k)!} \quad (2.31)$$

Notasi ! adalah faktorial.

2.2 Kajian Penelitian Terkait

2.2.1 Thinned Array menggunakan Algoritma Genetika (GA)

Penemu yang pertama kali menggunakan GA untuk mengurangi jumlah elemen antena array adalah Haupt (1994). Dia memperkenalkan teknik untuk thinning suatu array. Thinning dari suatu array adalah mengoffkan beberapa elemen pada jarak yang uniform atau periodik array untuk mendapatkan aplitudo

yang diinginkan disepanjang apertur. Suatu elemen yang dikoneksikan ke feed network adalah “ON” dan elemen yang dikoneksikan ke beban atau dummy load adalah “OFF”. Thinning dari suatu array menghasilkan sidelobe yang rendah yang lebih simpel dari pada masalah umum dari penempatan elemen secara non-uniform (nonuniform elemen spacing). Nonuniform spacing memiliki jumlah kemungkinan penempatan elemen yang terbatas. *Thinning array* juga merupakan kuantisasi amplitudo taper dimana amplitudo pada masing-masing elemen direpresentasikan dengan satu bit.

Simulasi annealing dan genetic algorithm adalah metode minimisasi yang cocok untuk *Thinning array*. Tidak ada batas jumlah variabel yang bisa diminimisasi. Meskipun sedikit lambat, algoritma ini bisa mengatasi array yang sangat besar.

Algoritma genetika untuk Thinning array yang diintroduksi oleh Haupt [3] dimodifikasi oleh Cen [9]. Cen mengusulkan untuk pengembangan GA menggunakan skema minimisasi perulangan. Skema yang diusulkan menggunakan kondisi turn off elemen dengan adanya kontribusi ini yang tujuannya untuk performansi array. Elemen antenna setidaknya berkontribusi, kemudian membuang secara sistematis sampai jumlah terendah dari elemen yang diterima diperoleh. Namun kelemahan dari skema minimisasi ini menghasilkan kompleksitas yang tinggi.

2.2.2 Thinning array yang didasarkan pada Iterative Fast Fourier Transform (IFFT) Techniques dan Modified Iterative Fourier Transform (MIFT)

Keizer [4] memperkenalkan metode Iterative Fourier Transform (IFT) untuk thinning linear array. Metode ini bertujuan untuk mendapatkan sidelobe level yang didasarkan pada IFT untuk mensintesis pola sidelobe level yang rendah untuk antenna array dengan elemen yang periodik. IFT adalah metode yang menggunakan properti untuk antenna array dimana jarak antar elemen yang uniform, suatu invers transformasi fourier diskrit berkaitan antara array factor (AF) dan eksitasi elemen. Properti yang digunakan pada iterative untuk memperoleh eksitasi elemen array AF yang ditentukan. Thinning array diintroduksi dengan

mensetting amplitudo eksitasi elemen yang besar menjadi satu dan yang lain nol selama masing-masing siklus iterasi atau perulangan dari metode IFT. Jumlah elemen yang mendapatkan amplitudo satu ditentukan dengan hasil faktor filling atau faktor pengisian dan perhitungan posisi elemen array.

Proses IFT untuk single run yaitu :

- a. Inisialisasi secara random, dengan probabilitas 0/1 yang diaplikasikan untuk semua M eksitasi elemen.
- b. Seleksi turn on elemen. Seleksi ini mengambil tempat pada masing-masing iterasi setelah FFT mengembalikan transformasi dari AF yang dilakukan untuk menghasilkan eksitasi baru untuk M elemen pada aperture.
- c. Iluminasi dari T elemen dengan eksitasi yang besar di set mendekati satu (on) dan sisanya (M-T) elemen yang diset nol adalah (off).
- d. Sebelum memulai iterasi baru, seleksi baru dari elemen yang on dibandingkan dengan satu sebelum iterasi.
- e. Jika perbandingan ini menghasilkan perbedaan, sintesis akan dilanjutkan dengan memulai siklus iterasi atau perulangan yang baru pada komputasi AF yang baru.
- f. Jika tidak iterasi dihentikan dan dilakukan sintesis terhadap percobaan.

Hasil dari sintesis menunjukkan bahwa dengan 200 elemen linear array yang dihasilkan dan jarak antar elemen $0,5\lambda$ dengan 10000 perulangan.

Metode IFT oleh Keizer [4] selanjutnya dikembangkan oleh Wang [5]. Dia memodifikasi teknik MIFT dengan memperkenalkan variabel filling faktor atau faktor pengisian dan mengidentifikasi side lobe level threshold (SLT) untuk mencapai optimisasi local minimal. Kesesuaian SLT pada MIFT bisa digunakan untuk sintesis thinned planar array yang besar. Kesimpulan dari metode yang didiskusikan pada bagian sebelumnya dihadirkan pada Tabel 2.2.

Dari tabel 2.2 yang merupakan ringkasan dari beberapa metode Thinning array sehingga dipilih satu metode yang cocok digunakan untuk minimisasi Thinning array yaitu Genetic Algorithm (GA), karena berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh Haupt (1994), telah membuktikan bahwa GA merupakan metode minimisasi yang paling cocok untuk Thinning array.

Keunggulan GA yaitu tidak ada batas jumlah variabel yang diminimisasi, yang artinya bahwa GA bisa mengminimisasi variabel atau jumlah elemen yang besar. Selain itu beberapa perbedaan GA dengan metode minimisasi lain yaitu dapat mengminimisasi dengan variable kontinyu atau diskrit, tidak menggunakan informasi turunan, dapat bekerja dengan jumlah variabel yang besar, secara serentak mencari sampling yang besar [10]. Metode minimisasi lain tidak bisa diaplikasikan pada array yang besar, karena tidak bisa mencapai solusi yang minimum.

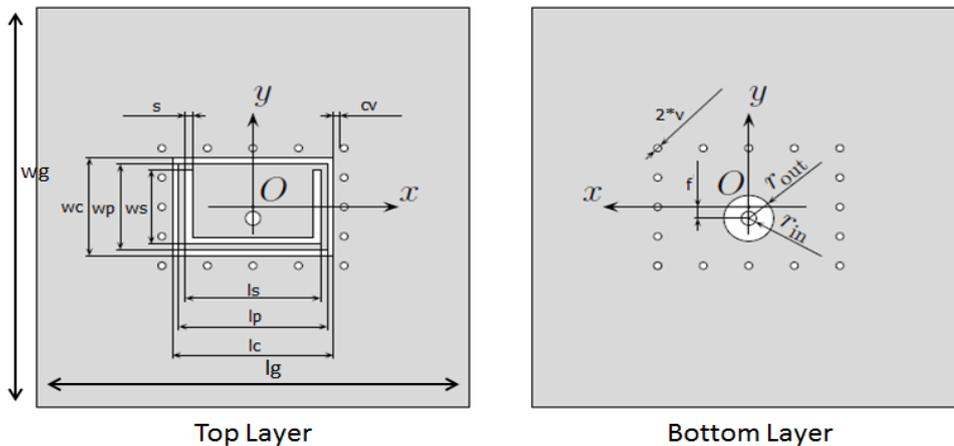
Tabel 2.2 Ringkasan dari Metode Thinning array

Metode	Kelebihan	Kekurangan
Genetic Algorithm (Haupt, 1994)	Tidak ada batas jumlah variabel yang diminimisasi	- inialisasi secara random - trial dan error
Modified Genetic Algorithm (Cen, et.al.,2010)	Konvergensi waktu lebih cepat dari GA	- inialisasi secara random - trial dan error - kompleksitasnya tinggi
IFT (Keizer, 2014)	Pengurangan jumlah elemen cukup banyak	- membutuhkan banyak kalkulasi waktu pada array yang besar - trial dan error - Multi run approach
MIFT (Wang, 2014)	Konvergensi waktu lebih cepat daripada IFT karena menggunakan variabel filling factor dan SLT.	- trial dan error - Multi run approach

2.2.3 Cavity Backed U-Slot Patch Antena

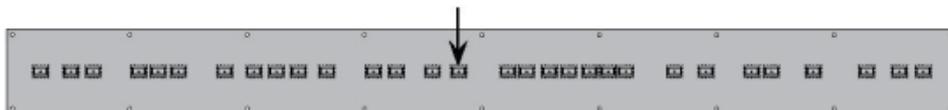
Dari penelitian yang dilakukan M.Simeoni, I.Coman, I.E.Larger telah mendesain antena non-uniform linear array dengan 30 cavity backed mikrostrip patch radiator yang di bentuk masing-masing satu elemen, dengan menggabungkan dua plat mikrostrip [11]. Antena ini didesain menggunakan metode Genetic Algorithm. Untuk meningkatkan bandwidth dari patch radiator, maka desain U-slot di perlukan. Dimana U-Slot patch antena merupakan desain dari suatu patch yang dapat meningkatkan impedansi bandwidth ketika dibandingkan dengan patch antena yang standar dengan mengesampingkan kompleksitas proses pembuatannya. Sedangkan Cavity merupakan hole yang permukaannya dilapisi oleh tembaga yang dapat mencegah terjadinya mutual coupling antar elemen.

Penggunaan pola elemen CUP seperti pada Gambar 2.8 mengacu pada referensi [11] dan [15] karena keunggulan dari CUP yaitu memiliki mutual coupling yang rendah.



Gambar 2.8 Struktur Antena Microstrip dengan U-Slot dan Cavity [11]

Elemen antena dengan pola radiasi yang simetris pada bidang H ditunjukkan pada gambar 2.9 berikut.



Gambar 2.9 Antena Non-Uniform Dengan 30 Elemen (Susunan Bidang H) [11]

Keterangan :

↓ : Menunjukkan Elemen Referensi

Penggunaan pola elemen CUP seperti pada Gambar 2.8 mengacu pada referensi [11] dan [15] karena keunggulan dari CUP yaitu memiliki mutual coupling yang rendah.

Antena CUP digunakan sebagai radiator dasar pada phase array linear yang didesain untuk operasi lebih dari bandwidth relatif 10%, pada frekuensi center 10GHz. Selain itu, CUP juga menjamin bebas grating lobe dengan beam steering untuk sudut $-90^{\circ} : 90^{\circ}$, dimensi antena diambil lebih rendah dari 15 mm ($\lambda/2$ pada frekuensi 10 GHz).

Pemilihan desain algoritma untuk menghasilkan main beam yang sempit, dengan lebarnya 2° untuk radiasi broadside sampai 4° untuk arah 60° . Sidelobe level yang dihasilkan cukup konstan, dengan peak yang tidak melebihi -15 dB dari radiasi broadside. diharapkan rata-rata sidelobe level menurun tapi ini terjadi pada distribusi uniform. Dicatatkan bahwa tidak ada sidelobe yang tinggi bahkan ketika beam di arahkan pada 60° atau dengan scanning yang lebar.

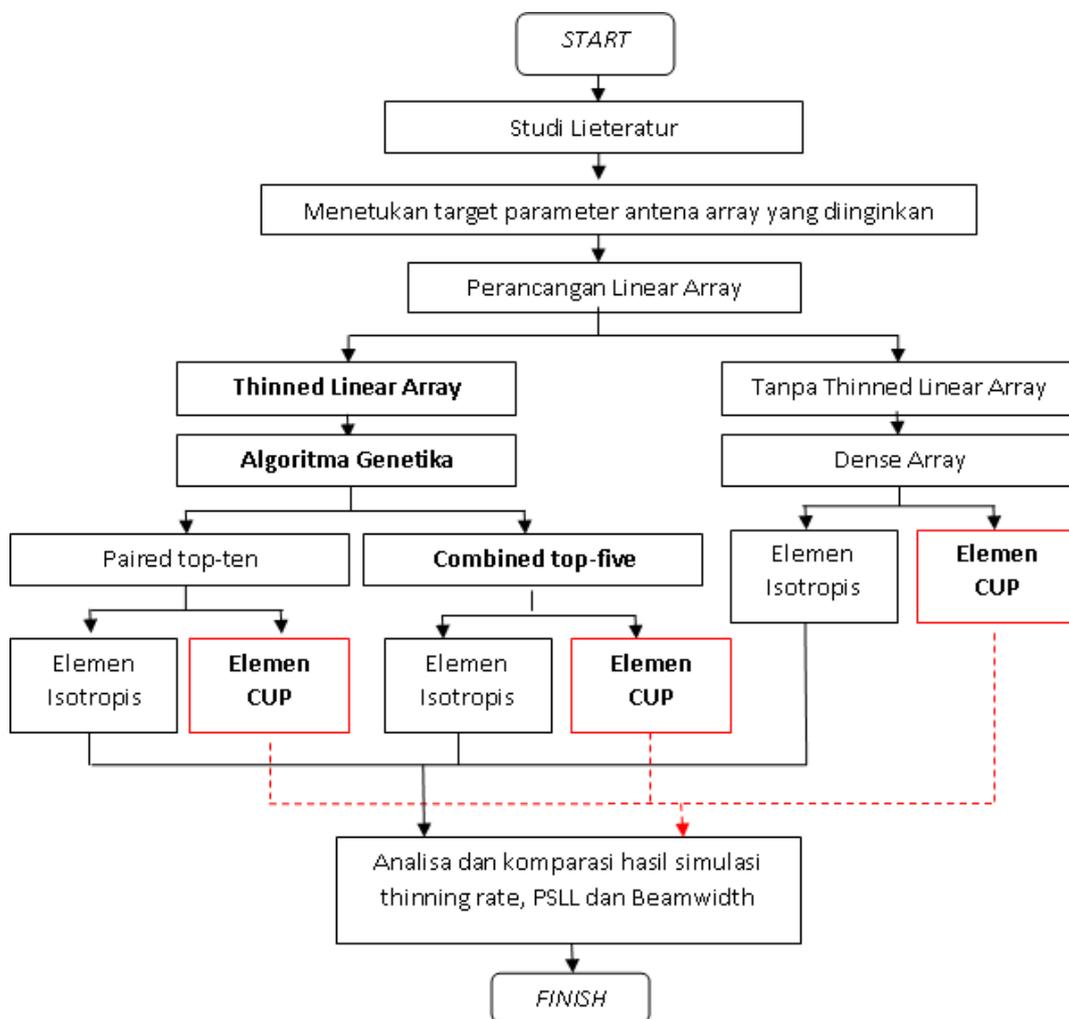
Oleh karena itu, berdasarkan penelitian yang dilakukan sebelumnya oleh Simeoni, dkk maka dalam penelitian ini akan didesain antena uniform linear array dengan elemen CUP diharapkan dapat meminimalkan jumlah elemen, SLL, dan Mutual coupling.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1 Rencana Penelitian

Berdasarkan topik dari penelitian ini yaitu Perancangan Thinned Linear Array dengan elemen Cavity Backed U-Slot Patch (CUP) untuk meminimalkan Jumlah Elemen dan Peak Sidelobe Level (PSLL), berikut alur penelitian yang ditunjukkan pada Gambar 3.1 berikut.



Gambar 3.1 Diagram Alur Penelitian

Penelitian ini diawali dengan studi literatur terkait dengan topik penelitian yaitu analisis parameter Peak Side Lobe Level (SLL) pada Thinned Linear Array dengan metode Algoritma Genetika. Selain itu juga terkait dengan implementasi desain thinned array pada antenna linear array dengan *Cavity Backed U-Slot Patch (CUP) antenna*. Penelitian ini berdasarkan pada penelitian yang telah dilakukan sebelumnya beberapa diantaranya (Keizer,2009) thinning array linear menggunakan teknik IFFT, (Wang, 2014) modifikasi dari IFT, (Haupt,1994) thinning array menggunakan metode Algoritma Genetika. Semua metode ini memiliki beberapa keunggulan dan kelemahan seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.2.

Selanjutnya, menentukan target parameter antenna array yang diinginkan. Kemudian melakukan perancangan antenna linear array dengan teknik thinning dan kemudian hasilnya akan dibandingkan dengan tanpa thinning (dense array). Thinned linear array menggunakan metode Algoritma Genetika diuji dengan 2 aturan crossover yaitu Paired Top Ten dan Combined Top Five. Masing-masing metode akan diuji dengan pola elemen isotropis dan CUP. Begitu juga dengan tanpa thinned linear array (dense array), diuji dengan pola elemen isotropis dan CUP.

Selanjutnya dilakukan komparasi terhadap jumlah elemen, PSLL dan Beamwidth dari elemen isotropis dan elemen CUP untuk aturan Paired Top Ten, Combined Top Five dan Dense Array. Lalu dianalisis dan disimpulkan.

3.2 Parameter Target Antena dan Spesifikasi

Parameter target untuk desain antenna array dijelaskan pada tabel 3.1. Parameter ini akan digunakan untuk parameter minimisasi desain antenna array.

Tabel 3.1 Parameter target antenna array

Parameter	Target
Frekuensi	3 GHz
Peak Sidelobe level (PSLL)	< -15 dB
3dB Beamwidth antenna (HPBW)	< 5 ⁰
Kemampuan sudut scan	30 ⁰ dan 60 ⁰ dari Broadside

3.3 Rancangan Thinned Linear Array

Pada tahap rancangan ini, akan diuraikan proses perancangan thinned linear array antena dengan metode minimisasi menggunakan Algoritma Genetika. Proses perancangan akan dijelaskan secara rinci pada sub bab berikut.

3.3.1 Set Parameter yang akan diminimisasi

Berikut beberapa parameter Algoritma Genetika (GA) yang akan diuji cobakan pada Tabel 4.1 berikut :

Tabel 3.2 Parameter GA yang akan diminimisasi

No	Parameter GA	Antena Array	Jumlah
1	Jumlah Populasi	Kumpulan beberapa array	20
2	Jumlah gen per individu	Jumlah bit untuk 1 array	30
3	Probabilitas Mutasi	-	0,1 %
4	Maksimum Generasi	Jumlah Generasi	200
5	Jumlah ekperimen	Jumlah running	30

Tujuan akhir dari algoritma genetika adalah mendapatkan set parameter yang dapat mengurangi jumlah elemen dan PSL. Secara umum, step GA dimulai dari menginisialisasikan parameter, menentukan objektif function, meranking chromosome, mengambil chromosome terbaik dan membuang chromosome yang tidak diinginkan, crossover, mutasi sampai menghasilkan generasi baru. Kemudian proses dilanjutkan ke iterasi selanjutnya dan sampai mendapatkan hasil yang diinginkan. Pada penelitian ini, kriteria stop dari algoritma genetika adalah batas generasi maksimum.

3.3.2 Konstruksi Chromosome

Sekumpulan dari beberapa gen yang dikelompokkan menjadi satu individu disebut dengan chromosome. Dalam penelitian ini chromosome diset 20 chromosome dan masing-masing chromosome terdiri dari 30 gen atau elemen dengan konstruksinya adalah sebagai berikut [16]:

$$\text{Population} = \underbrace{\begin{bmatrix} \text{Chrom}_1 \\ \text{Chrom}_2 \\ \text{Chrom}_3 \\ \vdots \\ \text{Chrom}_N \end{bmatrix}}_{\text{Chromosome}} = \underbrace{\begin{bmatrix} g_{11} & g_{12} & \dots & g_{1M} \\ g_{21} & g_{22} & & g_{2M} \\ g_{31} & g_{23} & & g_{3M} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ g_{N1} & g_{N2} & \dots & g_{NM} \end{bmatrix}}_{\text{Genes}} \quad (3.1)$$

Dimana Chrom_N adalah indeks chromosome dari chromosome satu sampai chromosome N yaitu 20, g_{nm} adalah indeks dari jumlah gen untuk N baris dan M kolom, dimana N baris sama dengan total chromosome dan M kolom sama dengan total gen.

3.3.3 Fungsi Objektif

Dalam paper ini, Fungsi Objektif bertujuan untuk menentukan nilai peak sidelobe level (PSLL) dari masing-masing chromosome atau individu. Input dari fungsi objektif adalah suatu chromosome. Output dari fungsi objektif disebut dengan cost ketika diminimisasi. Cost dikaitkan dengan masing-masing chromosome yang dihitung dengan satu fungsi objektif secara paralel sebagai berikut [16] :

$$f \left\{ \begin{bmatrix} \text{Chrom}_1 \\ \text{Chrom}_2 \\ \text{Chrom}_3 \\ \vdots \\ \text{Chrom}_N \end{bmatrix} \right\} = \begin{bmatrix} \text{Cost}_1 \\ \text{Cost}_2 \\ \text{Cost}_3 \\ \vdots \\ \text{Cost}_N \end{bmatrix} \quad (3.2)$$

Ini adalah cost yang menentukan fitness dari suatu individu pada populasi. Cost yang rendah mengimplikasikan fitness yang tinggi. Pada penelitian ini, cost atau nilai PSLL masing-masing individu diperoleh dari persamaan far-field sebagai fungsi objektif yang digunakan, dengan persamaan sebagai berikut [3] :

$$FF(u) = \sum_{n=1}^N A_n \cos(2\pi ndu + \delta_s) \text{ elpat}(u) \quad (3.3)$$

Dimana, N adalah Jumlah elemen array, A_n adalah beban amplitudo ($n = 0$ atau 1), d adalah jarak antar elemen, $u = \cos(\phi)$ dimana $\phi =$ sudut

pengukuran dari garis yang melewati elemen antena, δs = steering fase dan *elpat* adalah pola elemen (isotropis dan CUP). Setiap gen dari masing-masing individu akan menentukan hasil akhir dari perhitungan yang dilakukan menggunakan fungsi objektif.

Menentukan fungsi objektif merupakan tahapan ketiga dalam algoritma genetika. Persamaan 3.3 berlaku untuk menghitung fungsi objektif masing-masing individu atau 1 array. Dalam hal ini, diketahui $N = 30$ elemen, A_n adalah beban amplitudo ($n = 0$ atau 1), $d = 0.5\lambda$, $u = \cos(\phi)$ dimana $\phi = 0 : 180$ dan *elpat*(u) adalah isotropis (=1) dan CUP diperoleh dari data hasil simulasi CST (Lampiran 4). Setelah diperoleh nilai PSLL dari masing-masing individu kemudian dirangking dari nilai terendah sampai nilai tertinggi. Dalam hal ini, nilai PSLL terendah merupakan individu terbaik.

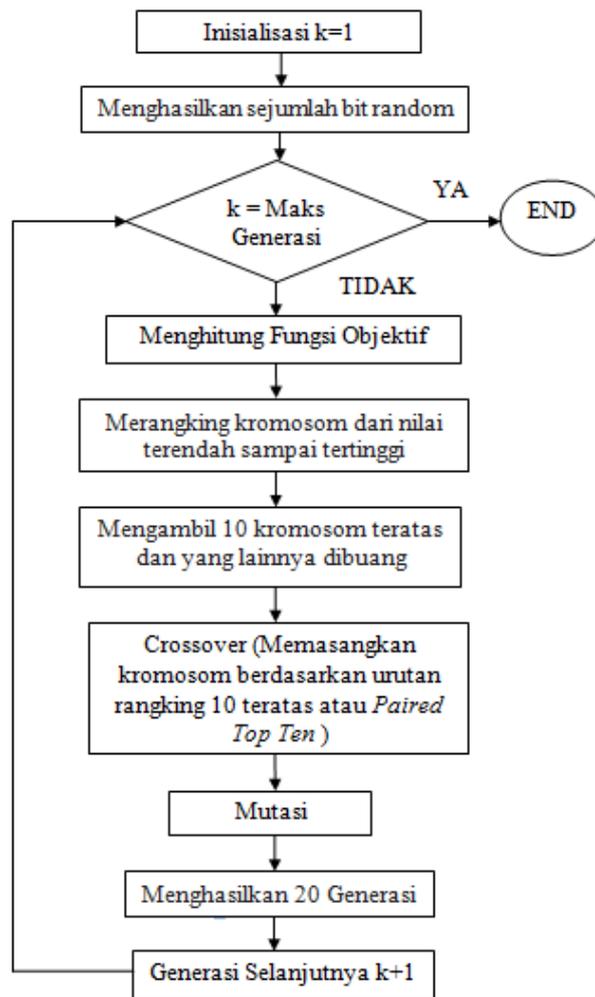
Hasil perhitungan fungsi objektif masing-masing individu ditunjukkan pada (Lampiran 1 dan 2) yang dibuktikan dengan jumlah elemen ON dan OFF dari individu terbaik untuk masing-masing eksperimen. Misalnya untuk individu terbaik pada eksperimen pertama dari CUP diperoleh nilai PSLL sebesar -17 dB dengan jumlah elemen ON adalah 20 dan elemen OFF adalah 10. Hal ini menunjukkan bahwa, terjadi thinning sebesar 33,33% dan jumlah elemen aktif sebesar 66,67%.

3.3.4 Aturan Crossover

a. Paired top-ten

Paired top-ten merupakan aturan mempasangkan chromosome berdasarkan setengah rangking teratas, dalam penelitian ini ada 10 chromosome terbaik yang diambil untuk tujuan crossover. Gambar 3.2 adalah ringkasan algoritma dari proses minimisasi GA dengan aturan pemasangan chromosome paired top ten untuk proses crossover, penjelasan detail dari algoritma diberikan sebagai berikut:

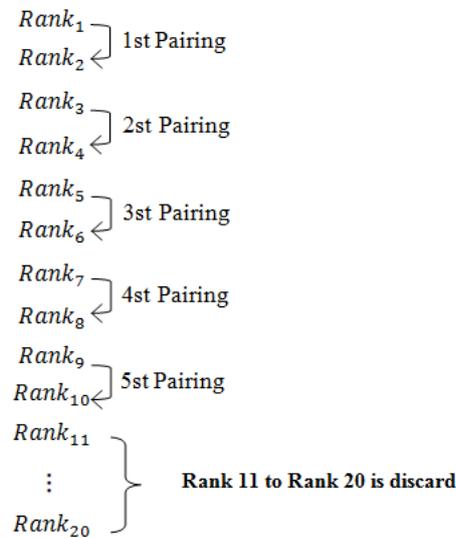
- i. Inisialisasi $k=1$ dimana k adalah generasi pertama.
- ii. Membangkitkan 20 chromosome secara random, masing-masing chromosome terdiri dari 30 gen (jumlah elemen uniform linear array $N=30$) dilakukan untuk 200 generasi.



Gambar 3.2 Flowchart dari aturan Paired Top-ten based Crossover

- iii. Menentukan nilai PSLI berdasarkan fungsi objektif (3), kemudian merangking nilai dari terendah sampai tertinggi berdasarkan nilai PSLI.
- iv. Mengambil 10 individu ranking teratas dari 20 individu dan sisa individu yang lain dibuang. Bangkitkan keturunan dari 10 individu teratas, Individu ranking 1 dipasangkan dengan individu ranking 2, individu ranking 3 dipasangkan dengan individu ranking 4 dan seterusnya. Sehingga ada 5 pasangan chromosome, seperti ditunjukkan pada Gambar 3.3.
- v. Crossover dilakukan untuk 5 pasangan chromosome. Masing-masing pasangan menghasilkan 2 keturunan, sehingga total keturunan adalah 10.
- vi. Selanjutnya dilakukan mutasi untuk semua individu setiap iterasi.

Chromosom rank



Gambar 3.3 Paired Top-Ten ranking based crossover dari 20 chromosome

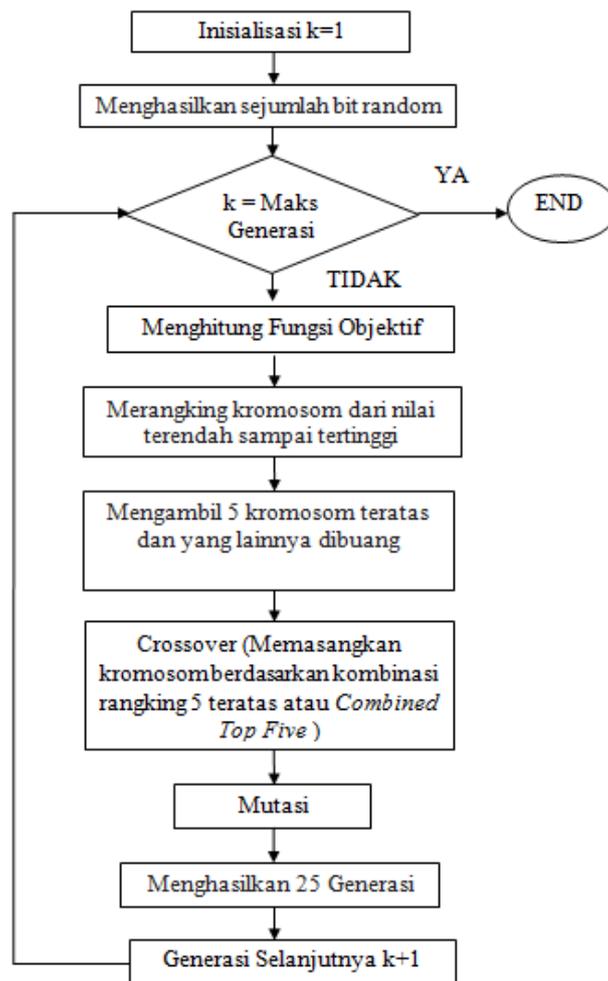
- vii. Untuk generasi selanjutnya, total individu adalah 20 chromosome yaitu jumlah dari chromosome terbaik dan keturunan yang dihasilkan.
- viii. Ulangi langkah iii untuk generasi ke 2 dan seterusnya, sampai maksimum generasi.

b. Combined top-five

Combined top-five merupakan aturan memasangkan chromosome berdasarkan kombinasi dari 5 chromosome terbaik untuk tujuan crossover. Gambar 3.4 adalah ringkasan algoritma dari proses minimisasi GA dengan aturan pemasangan chromosome combined top five untuk proses crossover, penjelasan detail dari algoritma diberikan sebagai berikut :

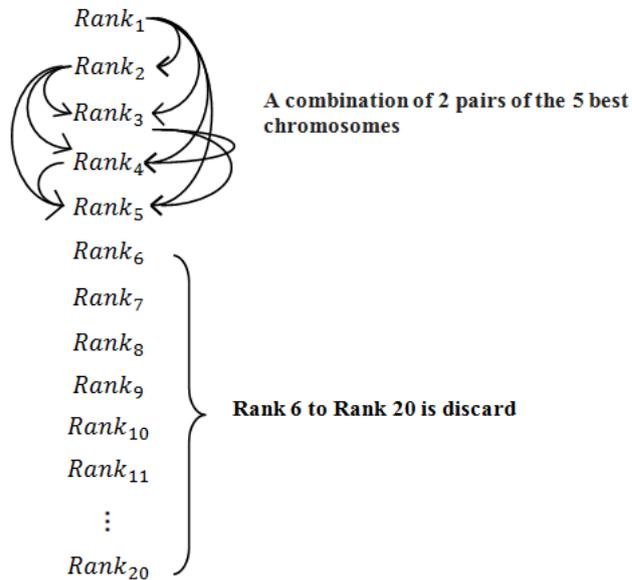
- i. Inisialisasi $k=1$ dimana k adalah generasi pertama.
- ii. Membangkitkan 20 chromosome secara random, masing-masing chromosome terdiri dari 30 gen (jumlah elemen uniform linear array $N=30$) dilakukan untuk 200 generasi.
- iii. Menentukan nilai PSLL berdasarkan fungsi objektif (3), kemudian meranking nilai dari terendah sampai tertinggi berdasarkan nilai PSLL.

- iv. Mengambil 5 individu ranking teratas dari 20 individu dan sisa individu yang lain dibuang. Bangkitkan keturunan dari 5 individu teratas. Proses memasangkan chromosome yaitu kombinasi 2 dari 5 chromosome terbaik. Sehingga menghasilkan 10 pasangan chromosome. Masing-masing pasangan menghasilkan 2 keturunan, sehingga total keturunan adalah 20 seperti pada Gambar 3.5.
- v. Crossover dilakukan untuk 10 pasangan chromosome. Masing-masing pasangan menghasilkan 2 keturunan, sehingga total keturunan adalah 20.
- vi. Selanjutnya dilakukan mutasi untuk semua individu setiap iterasi.



Gambar 3.4 Flowchart dari aturan Combined Top-five based Crossover

Chromosom rank



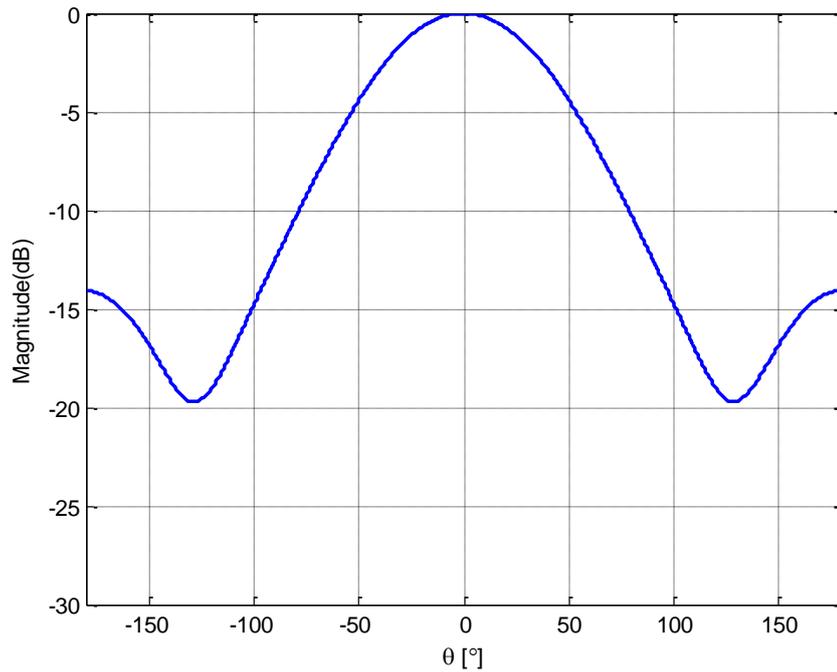
Gambar 3.5 Combined Top-Five ranking based crossover dari 20 chromosome

- vii. Untuk generasi selanjutnya, total chromosome adalah 25 chromosome yaitu jumlah dari chromosome terbaik dan keturunan yang dihasilkan.
- viii. Ulangi langkah iii untuk generasi ke 2 dan seterusnya, sampai maksimum generasi.

3.4 Pola Elemen CUP

Pola elemen CUP yang digunakan merupakan hasil perancangan yang dilakukan oleh Tim Radar di Lab B306 Bidang Keahlian TMM, Teknik Elektro ITS. Data yang digunakan dari hasil perancangan ini adalah hasil simulasi pola elemen CUP menggunakan software CST (Computer Simulation Technology) berupa tabel seperti (Lampiran 4) yang diinputkan sebagai fungsi $elpat(u)$ berdasarkan persamaan fungsi objektif (3.3) menggunakan MATLAB dan hasil simulasi dibuktikan dengan Gambar 3.6 berikut.

Gambar 3.6 merupakan pola elemen CUP. Dalam penelitian ini, Pola elemen CUP dibatasi dari sudut theta (θ) -180^0 sampai 180^0 yang bertujuan untuk menyesuaikan dengan pola Array Factor.

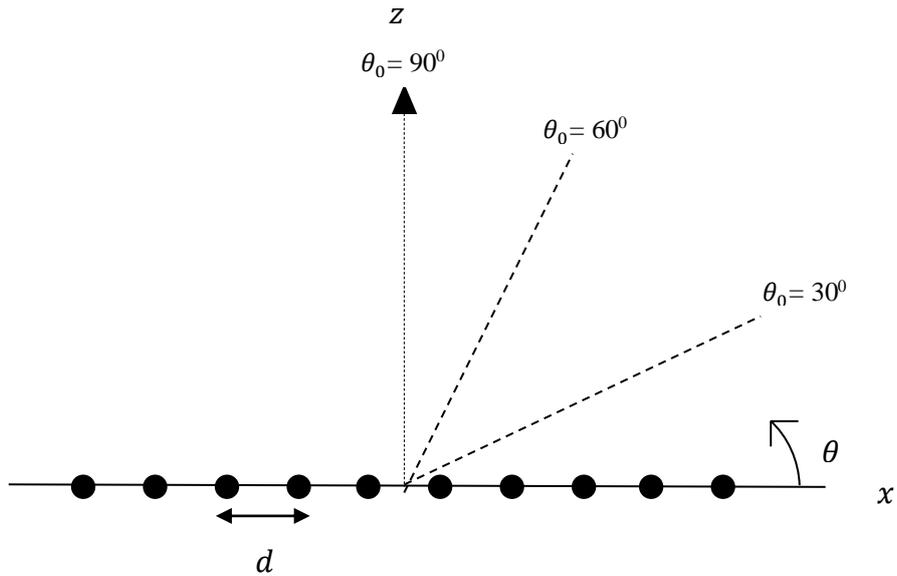


Gambar 3.6 Pola Elemen CUP

Selain itu, penggunaan pola elemen CUP mengacu pada referensi [11] dimana keunggulan dari CUP memiliki mutual coupling yang rendah dengan desain bentuk konfigurasi CUP pada (Lampiran 3). Keunggulan inilah yang menjadi alasan penerapan thinning pada elemen CUP.

3.5 Ilustrasi ULA saat scanning

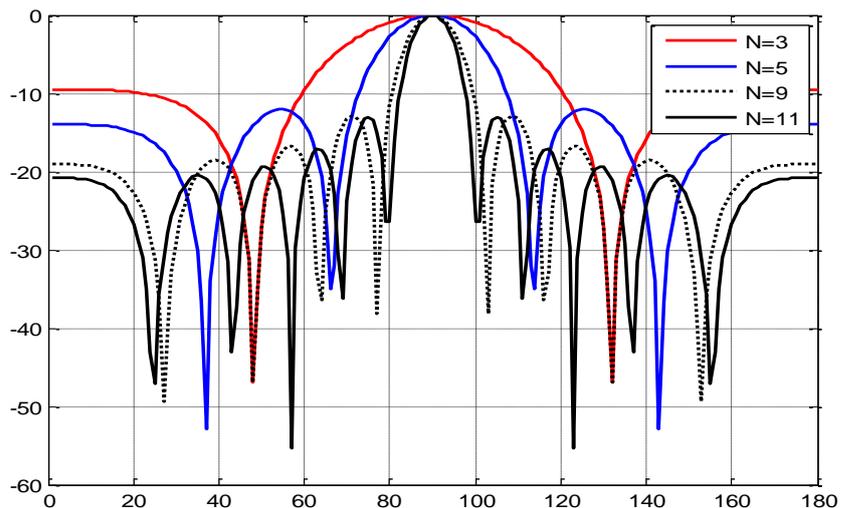
Dari Gambar 3.7 menunjukkan ilustrasi scanning dari Uniform Linear Array (ULA) dilakukan pada sudut 30° , 60° dan 90° (Broadside). Posisi sudut disesuaikan dengan pola radiasi antenna dengan posisi 0° dari sisi kiri menuju 180° pada sisi kanan. Scanning dilakukan dengan penambahan sudut 30° dan 60° dari arah broadside yaitu 90° .



Gambar 3.7 ilustrasi ULA saat scanning pada sudut 30° , 60° dan 90° (Broadside)

3.6 Ilustrasi pengaruh jumlah elemen terhadap SLL

Pada Gambar 3.8, merupakan variasi jumlah N elemen array yang terdiri dari 3, 5, 9 dan 11 elemen dengan jarak antar elemen sama yaitu $\lambda/2$. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa semakin besar jumlah elemen N maka main beam semakin sempit dan sidelobe semakin rendah karena dengan jumlah elemen yang besar otomatis akan mempersempit main beamnya dan sidelobanya semakin rendah.



Gambar 3.8 Variasi jumlah N elemen terhadap nilai SLL

Oleh karena itu dalam banyak aplikasi seperti radar dibutuhkan antenna multielemen untuk memfokuskan pada target radar. Sedangkan pada antenna

dengan jumlah elemen yang sedikit menyebabkan main beam semakin lebar dan sidelobe semakin rendah, hal ini menyebabkan efisiensi daya pancarnya menjadi berkurang. Namun, semakin besar jumlah elemen menyebabkan konsumsi energi yang berlebihan dan cost produksi yang tinggi. Oleh karena itu diperlukan teknik thinning untuk meminimalkan jumlah elemen dan SLL.

BAB 4

HASIL MINIMISASI DAN ANALISA

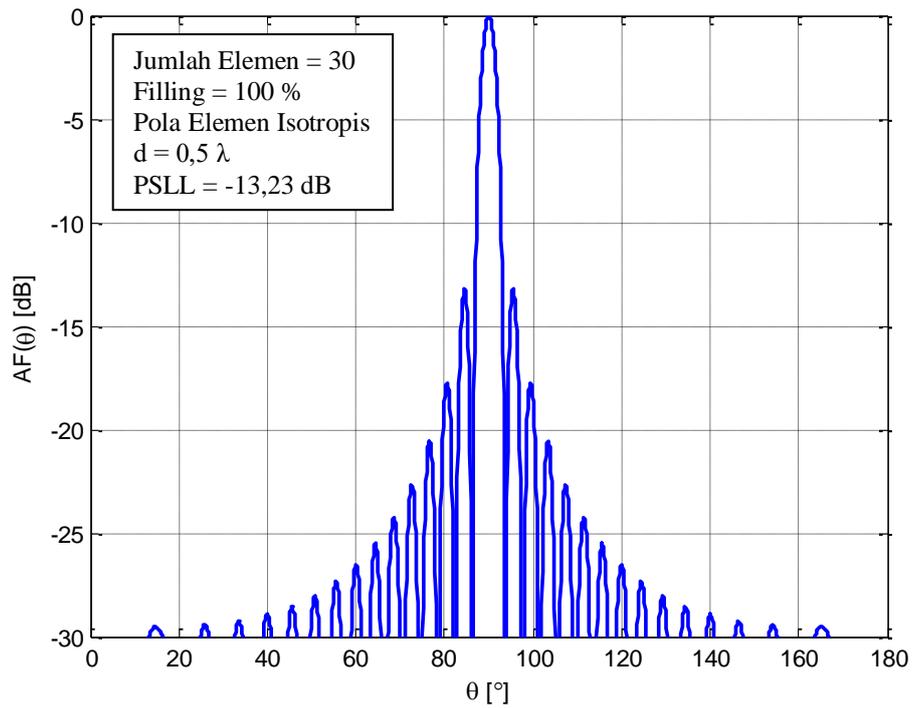
Pada tahap hasil minimisasi dan analisa ini, hasil rancangan thinned linear array dengan jumlah elemen isotropis dan elemen Cavity Backed U-Slot (CUP) yang minimum akan dianalisa untuk memperoleh hasil performanya dan akan dibandingkan dengan performa tanpa thinning (dense array). Hasil thinning dengan Algoritma genetika berdasarkan pada 2 aturan crossover yaitu Paired top-ten [3] dan combined top-five (aturan yang diusulkan) yang secara rinci dijelaskan pada bab sebelumnya. Kemudian hasil dari kedua aturan ini akan dibandingkan dengan tanpa thinning, untuk elemen isotropis dan elemen CUP. Minimisasi dilakukan berdasarkan pada 3 parameter antena yaitu jumlah elemen, Peak SLL (PSLL) dan beamwidth.

Tujuan dari minimisasi adalah untuk mengetahui pengaruh thinned linear array dengan elemen Cavity Backed U-Slot Patch (CUP) dan elemen isotropis terhadap minimisasi jumlah elemen dan Peak SLL (PSLL) serta pengaruh beamwidth saat scanning. Hasil minimisasi secara rinci akan dijelaskan pada sub bab berikut.

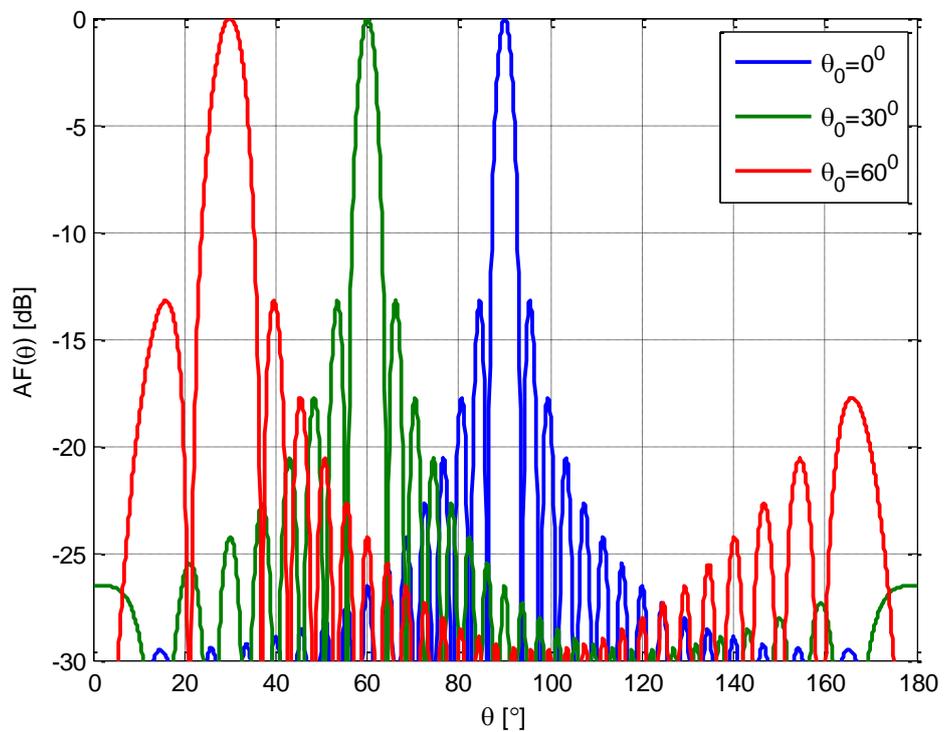
4.1 Dense Array (Tanpa Thinning) dengan elemen isotropis

Hasil pengujian antena linear array tanpa thinning (dense array) berdasarkan pada persamaan (3.3) dengan 30 elemen isotropis dan spasi antar elemen adalah $0,5 \lambda$, dimana jumlah elemen ON atau *filling* adalah 100% dan Peak Side Lobe Level (PSLL) yang diperoleh pada arah broadside adalah -13,23 dB seperti pada Gambar 4.1.

Gambar 4.2 menunjukkan saat pola antena dari arah broadside diarahkan ke sudut 30^0 dan 60^0 . Hasil mengindikasikan bahwa tidak terjadi perubahan terhadap PSLL, karena pola elemen adalah isotropis.



Gambar 4.1 Dense array dengan 30 elemen isotropis (tanpa thinning)



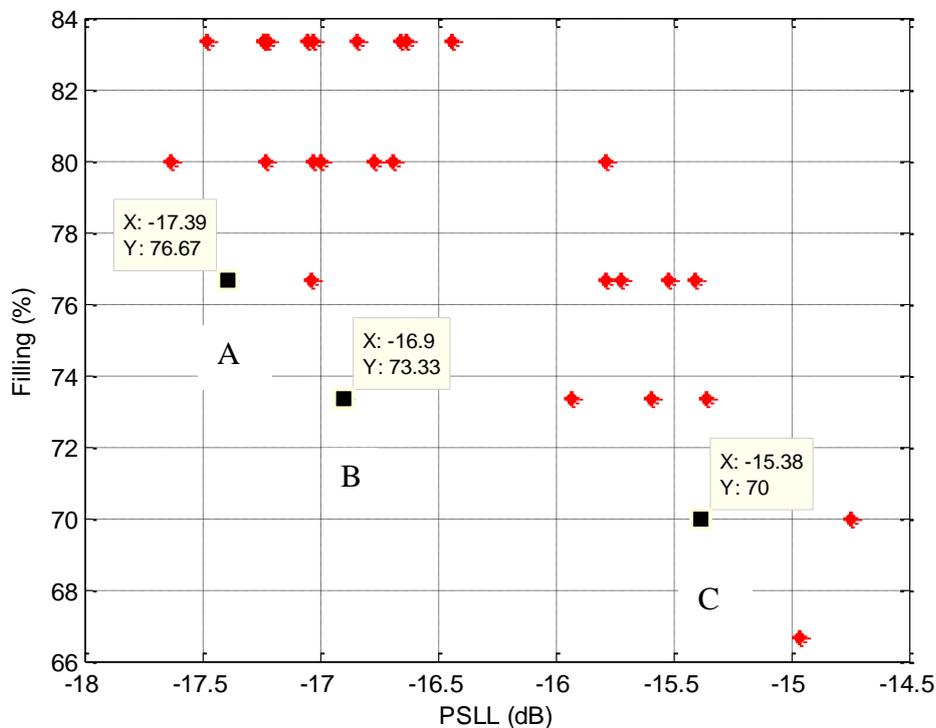
Gambar 4.2 Scanning Pola Far Field dari Gambar 4.1 pada sudut 30° dan 60°

4.2 Thinned Linear Array dengan elemen Isotropis

Thinned Linear Array dengan elemen isotropis diuji dengan 30 eksperimen untuk masing-masing aturan crossover yaitu Paired Top-Ten dan Combined Top-Five (Lampiran 1). Dari keseluruhan eksperimen hanya diambil satu chromosome atau individu terbaik berdasarkan pada PSLL dan jumlah elemen yang minimum.

4.2.1 Paired Top Ten

Gambar 4.3 menunjukkan hasil pengujian thinned linear array dengan elemen isotropis aturan Paired Top Ten dari 30 eksperimen. Kriteria pemilihan Individu terbaik berdasarkan pada jumlah PSLL minimum dan Pengisian elemen ON (Filling) yang minimum. Dari 30 eksperimen ini mengindikasikan bahwa, terjadi kondisi yang saling bertolak belakang antara PSLL dan Filling. Kondisi ini terjadi saat diinginkan jumlah elemen yang paling minimum maka menghasilkan nilai PSLL yang maksimum. Begitu juga, saat diinginkan PSLL yang paling minimum maka menghasilkan jumlah elemen yang maksimum.



Gambar 4.3 Hasil pengujian Thinned Linear Array dengan elemen isotropis aturan Paired Top Ten dari 30 Ekperimen

Sehingga dari Gambar 4.3 hanya dipilih satu individu terbaik dari 3 kriteria individu terbaik yaitu A, B, C. Secara detail dapat dijelaskan pada Tabel berikut :

Tabel 4.1 Kriteria Individu Terbaik dari 30 eksperimen aturan Paired Top Ten dengan elemen isotropis

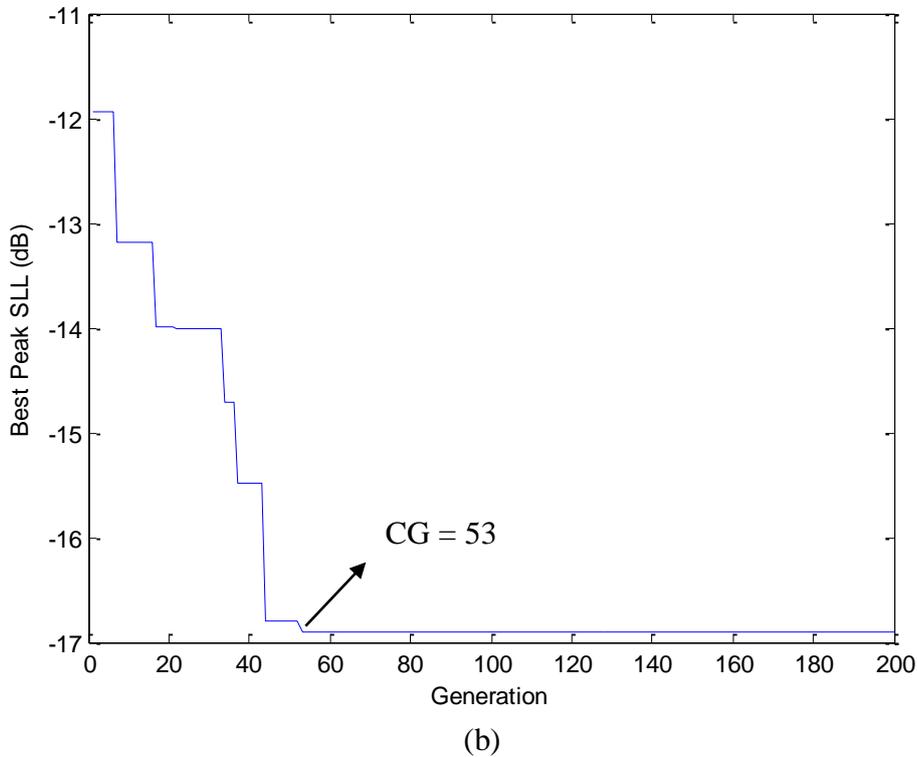
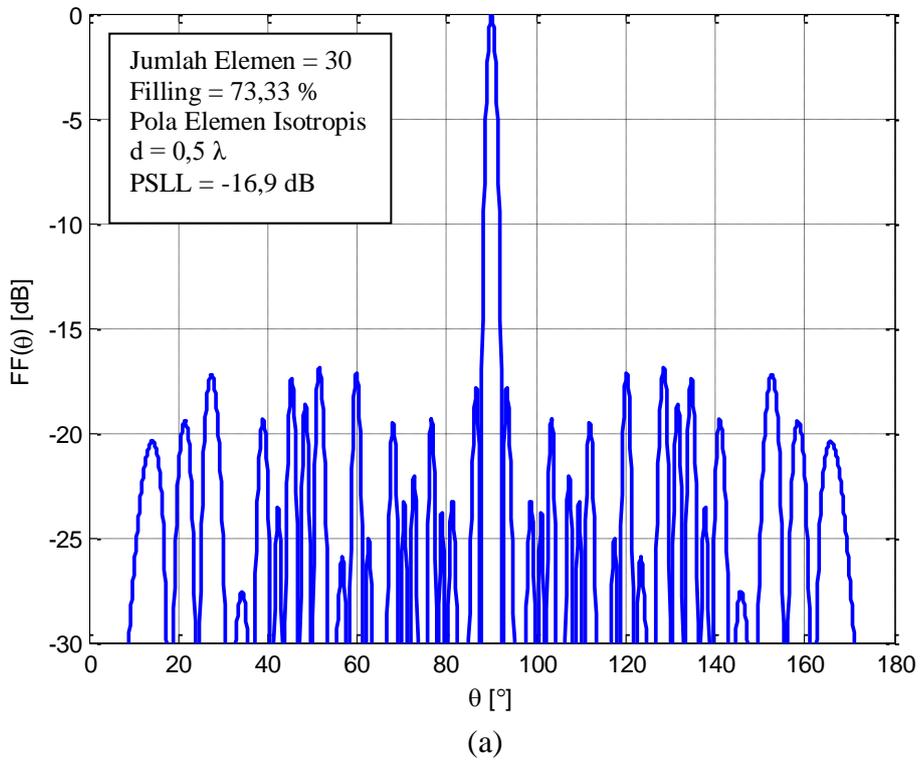
Individu	Ekperimen	PSLL	Filling (%)	Jumlah elemen OFF
A	4	-17,39	76,67	7
*B	10	-16,9	73,33	8
C	16	-15,38	70	9

Tabel 4.1 menunjukkan kriteria individu terbaik dari 30 eksperimen aturan Paired Top Ten dengan elemen isotropis. Individu A merupakan eksperimen ke 4 dari 30 eksperimen dengan jumlah pengisian elemen 76,67% menghasilkan PSLL -17,39 lebih rendah jika dibandingkan dengan B dan C dari nilai PSLL, namun jumlah elemen ON lebih banyak jika dibandingkan B dan C. Individu C merupakan eksperimen ke 16 dari 30 eksperimen dengan jumlah pengisian elemen 70% menghasilkan PSLL -15,38 dB lebih sedikit dibandingkan A dan B dari pengisian jumlah elemen ON, namun PSLL lebih tinggi dibandingkan A dan B. Oleh karena itu, individu terbaik yang terpilih yaitu B, dimana dengan jumlah pengisian elemen ON 73,33% menghasilkan PSLL -16,9 dB dengan kondisi medium untuk mencapai dua tujuan yang diinginkan.

Selanjutnya individu terbaik (*B) dari paired Top Ten dengan elemen isotropis akan diuji pada kondisi sudut yang berbeda dan akan dibandingkan performanya dengan Combined Top Five dan Dense Array dengan elemen isotropis.

Gambar 4.4 (a) merupakan pola Far Field dari thinned linear array aturan Paired Top Ten dengan 30 elemen isotropis pada eksperimen ke-10. Status elemen 1 “ON” atau 0 “OFF” ditunjukkan pada bagian atas gambar. Array diurutkan dari kiri ke kanan dan dari ujung ke ujung array di set 1 “ON” dengan tujuan agar ukuran dimensi array tidak berubah. Gambar 4.4 (a) mengindikasikan bahwa 73,33% elemen yang ON menghasilkan PSLL sebesar -16,9 dB.

11111111111111111011101101000001



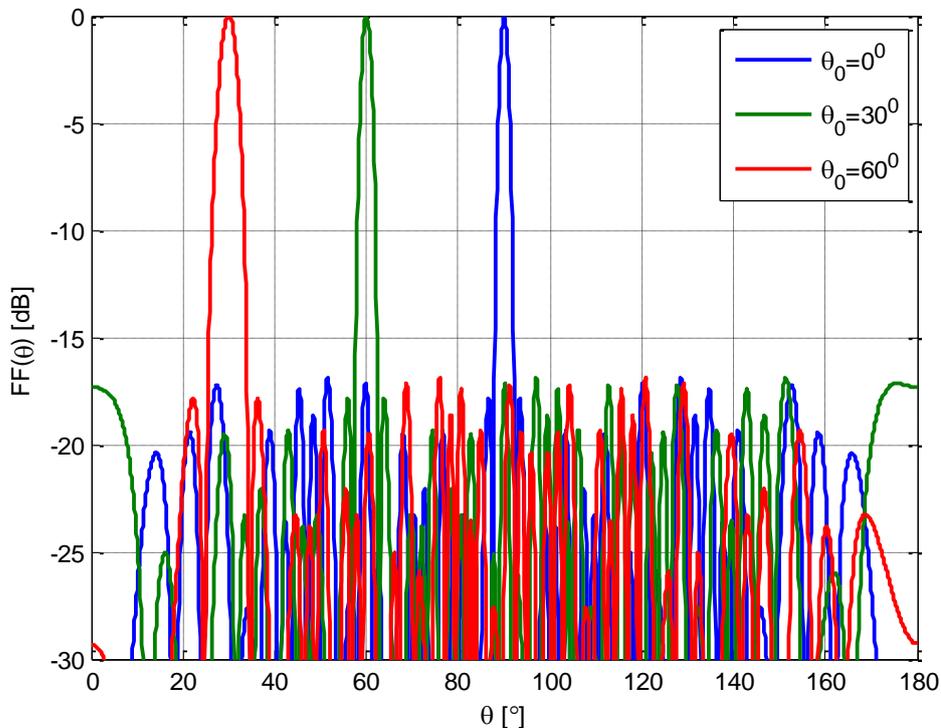
Gambar 4.4 (a) Pola Far Field dari thinned linear array aturan Paired top-ten dengan 30 elemen isotropis pada eksperimen ke-10 dengan 73,33% pengisian elemen ON (filling). (b) Kurva konvergensi generasi terhadap PSL untuk eksperimen yang sama.

Gambar 4.4 (b) merupakan konvergensi generasi terhadap PSLL untuk eksperimen yang sama dengan Gambar 4.4 (a). Kurva pada Gambar 4.4 (b) mengindikasikan bahwa nilai PSLL secara lambat menurun dan mencapai titik konvergen (CG) pada generasi ke 53 sampai maksimum generasi.

Dari hasil thinning PSLL dan jumlah elemen pada Gambar 4.4 (a) dan (b), mengindikasikan bahwa terjadi penurunan PSLL yang signifikan sebesar 3,67 dB lebih rendah dibandingkan dense array (tanpa thinning) dan penurunan jumlah elemen sebesar 26,67% dibandingkan dense array seperti pada Gambar 4.1. Kondisi ini terjadi saat array discanning pada arah broadside.

Gambar 4.5 menunjukkan pola Far Field dari Gambar 4.4 (a) discanning pada sudut 30^0 dan 60^0 . Hasil scanning mengindikasikan bahwa tidak terjadi perubahan terhadap PSLL dan jumlah elemen, saat pola Far Field di arahkan ke sudut 30^0 dan 60^0 .

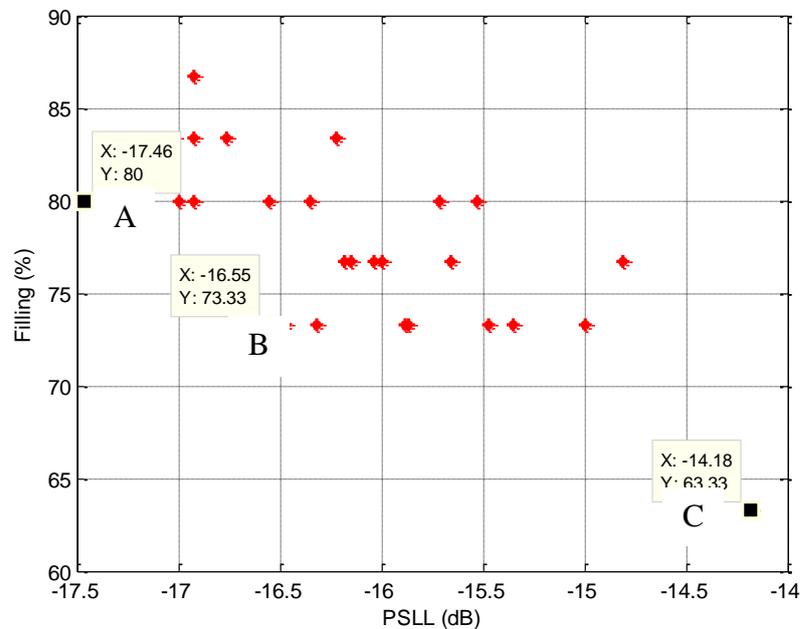
Dari hasil scanning yang diperoleh pada Gambar 4.5 sama halnya dengan scanning array yang dilakukan pada dense array (Gambar 4.2). Kondisi ini terjadi karena pola elemen array yang digunakan adalah isotropis, sehingga tidak terjadi perubahan dari pola Far-Field saat discanning.



Gambar 4.5 Scanning Pola Far-Field dari Gambar 4.4 (a) pada sudut 30^0 dan 60^0

4.2.2 Combined Top Five

Gambar 4.6 menunjukkan hasil pengujian thinned linear array dengan elemen isotropis aturan Combined Top Five dari 30 eksperimen. Sama halnya dengan Gambar 4.3 aturan Paired Top Ten, Kriteria pemilihan Individu terbaik juga berdasarkan pada jumlah PSLL minimum dan Pengisian elemen ON (Filling) yang minimum. Dari 30 eksperimen ini mengindikasikan bahwa, terjadi kondisi yang saling bertolak belakang antara PSLL dan Filling. Kondisi ini terjadi saat diinginkan jumlah elemen yang paling minimum maka menghasilkan nilai PSLL yang maksimum. Begitu juga, saat diinginkan PSLL yang paling minimum maka menghasilkan jumlah elemen yang maksimum.



Gambar 4.6 Hasil Pengujian Thinned Linear Array dengan elemen isotropis aturan Combined Top Five dari 30 Ekperimen

Sehingga dari Gambar 4.6 hanya dipilih satu individu terbaik dari 3 kriteria individu terbaik yaitu A, B, C. Secara detail dapat dijelaskan pada Tabel berikut :

Tabel 4.2 Kriteria Individu Terbaik dari 30 ekperimen aturan Paired Top Ten dengan elemen isotropis

Individu	Ekperimen	PSLL	Filling (%)	Jumlah elemen OFF
A	3	-17,46	80	6
*B	6	-16,55	73,33	8
C	10	-14,18	63,33	11

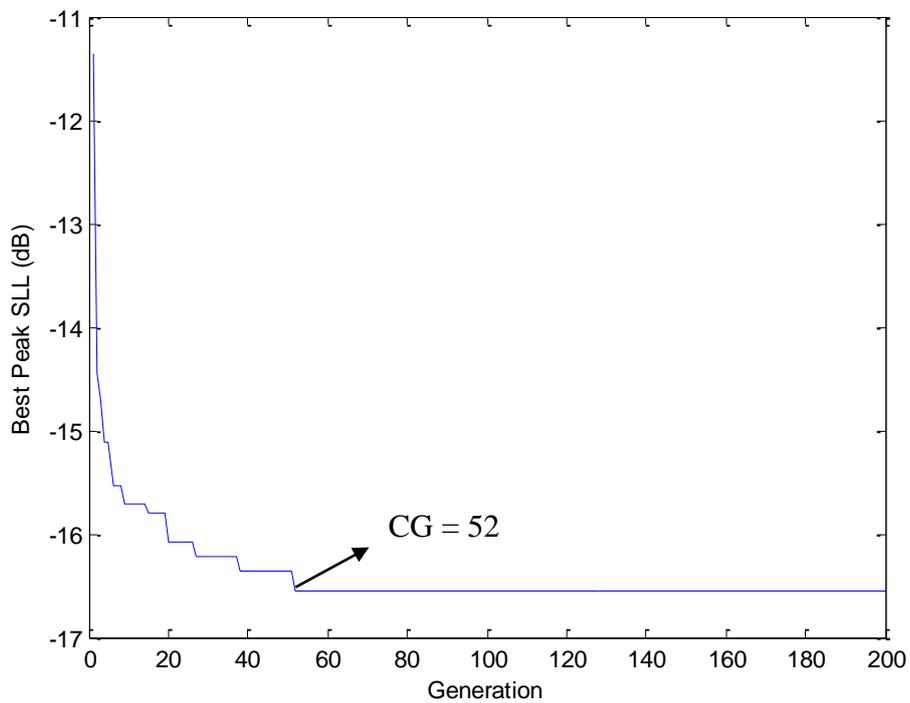
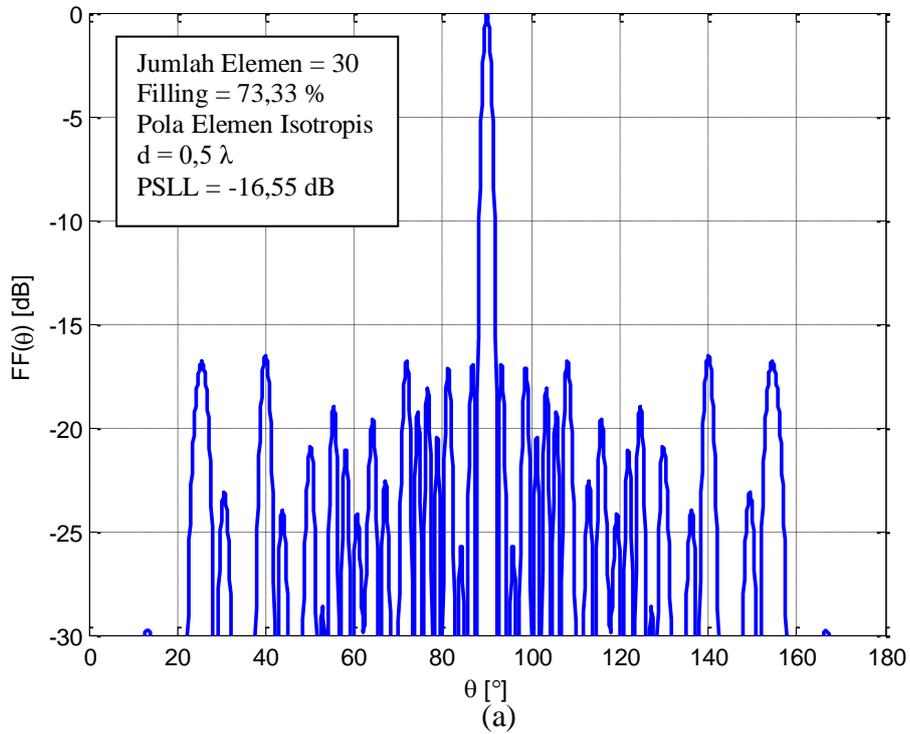
Tabel 4.2 menunjukkan kriteria individu terbaik dari 30 ekperimen aturan Paired Top Ten dengan elemen isotropis. Individu A merupakan ekperimen ke 3 dari 30 ekperimen dengan jumlah pengisian elemen 80% menghasilkan PSLL -17,46 lebih rendah jika dibandingkan dengan B dan C dari nilai PSLL, namun dari jumlah elemen ON, A lebih banyak jika dibandingkan B dan C. Individu C merupakan ekperimen ke 10 dari 30 ekperimen dengan jumlah pengisian elemen 63,33% menghasilkan PSLL -14,18 dB lebih sedikit dibandingkan A dan B dari pengisian jumlah elemen ON, namun dari PSLL, C lebih tinggi dibandingkan A dan B. Oleh karena itu, individu terbaik yang terpilih yaitu B, dimana dengan jumlah pengisian elemen ON 73,33% menghasilkan PSLL -16,55 dB dengan kondisi medium untuk mencapai dua tujuan yang diinginkan.

Selanjutnya individu terbaik (*B) dari aturan Combined Top Five dengan elemen isotropis akan diuji pada kondisi sudut yang berbeda dan akan dibandingkan performanya dengan Paired Top Ten dan Dense Array dengan elemen isotropis.

Gambar 4.7 (b) merupakan konvergensi generasi terhadap PSLL untuk ekperimen yang sama dengan Gambar 4.7 (a). Kurva pada Gambar 4.7 (b) mengindikasikan bahwa nilai PSLL secara lambat menurun dan mencapai titik konvergen (CG) pada generasi ke 52 sampai maksimum generasi.

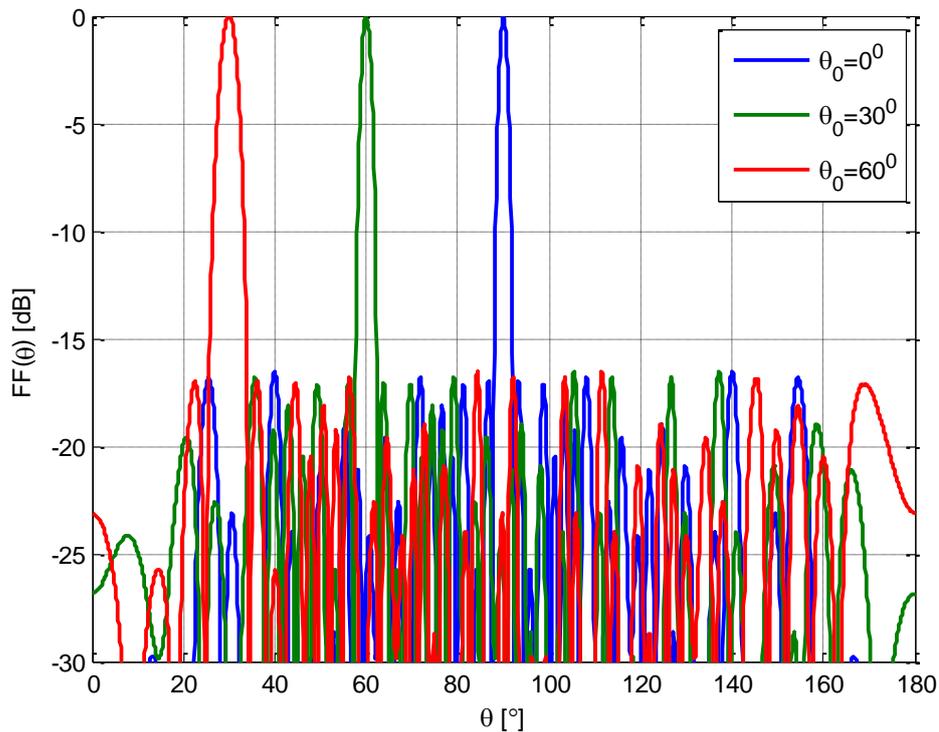
Hasil thinning PSLL dan jumlah elemen dari aturan Combined Top Five pada Gambar 4.7 (a) dan (b) mengindikasikan bahwa terjadi penurunan PSLL yang signifikan sebesar 3,32 dB lebih rendah dibandingkan dense array (tanpa thinning) dan penurunan jumlah elemen sebesar 26,67% dibandingkan dense array seperti pada Gambar 4.1. Kondisi ini terjadi saat array discanning pada arah broadside.

111111111111011110111110000001



(b)

Gambar 4.7 (a) Pola Far Field dari thinned linear array aturan Combined top five dengan 30 elemen isotropis pada eksperimen ke-6 dengan 73,33% pengisian elemen ON (filling). (b) Kurva konvergensi generasi terhadap PSL untuk eksperimen yang sama.



Gambar 4.8 Scanning Pola Far-Field dari Gambar 4.7 (a) pada sudut 30^0 dan 60^0

Gambar 4.8 menunjukkan pola Far Field dari Gambar 4.7 (a) discanning pada sudut 30^0 dan 60^0 . Dari hasil scanning yang diperoleh pada Gambar 4.8 sama halnya dengan scanning array yang dilakukan pada dense array (Gambar 4.2). Kondisi ini terjadi karena pola elemen array yang digunakan adalah isotropis, sehingga tidak terjadi perubahan dari pola Far-Field saat discanning.

Dari Tabel 4.3 menunjukkan perbandingan hasil thinning dengan GA (aturan crossover paired top-ten dan combined top-five) dan dense array dengan elemen isotropis saat scanning. Hasil ini membuktikan bahwa tidak terjadi perubahan terhadap jumlah elemen dan nilai PSLL saat scanning pada sudut yang berbeda. Dimana jumlah elemen yang ON (Filling) dari aturan Paired Top Ten dan Combined Top Five adalah sama yaitu dengan 76,67% pengisian elemen ON menghasilkan PSLL yang mendekati nilai sama sebesar -16,9 dB.

Hasil minimisasi jumlah elemen dan PSLL dari aturan Paired Top Ten dan Combined Top Five menunjukkan hasil yang lebih signifikan jika dibandingkan dengan tanpa thinning (dense array). Pengurangan jumlah elemen ON dari kedua aturan crossover adalah sebesar 23,33% dibandingkan dense array dengan pengurangan nilai PSLL adalah sebesar 3,7 dB dibandingkan dense array.

Tabel 4.3 Perbandingan hasil thinning dengan GA pada aturan paired top-ten dan combined top-five dengan tanpa thinning (dense array) dengan elemen isotropis.

Perancangan Linear Array	Scanning ($^{\circ}$)	Elemen ON	Filling (%)	PSLL (dB)	Beamwidth ($^{\circ}$)
Dense Array	90	30	100	-13,23	3,38
	30				3,9
	60				6,8
Paired Top-ten	90	23	76,67	-16,9	1,94
	30				2,25
	60				3,91
Combined Top-five	90	23	76,67	-16,5	2,02
	30				2,32
	60				4,03

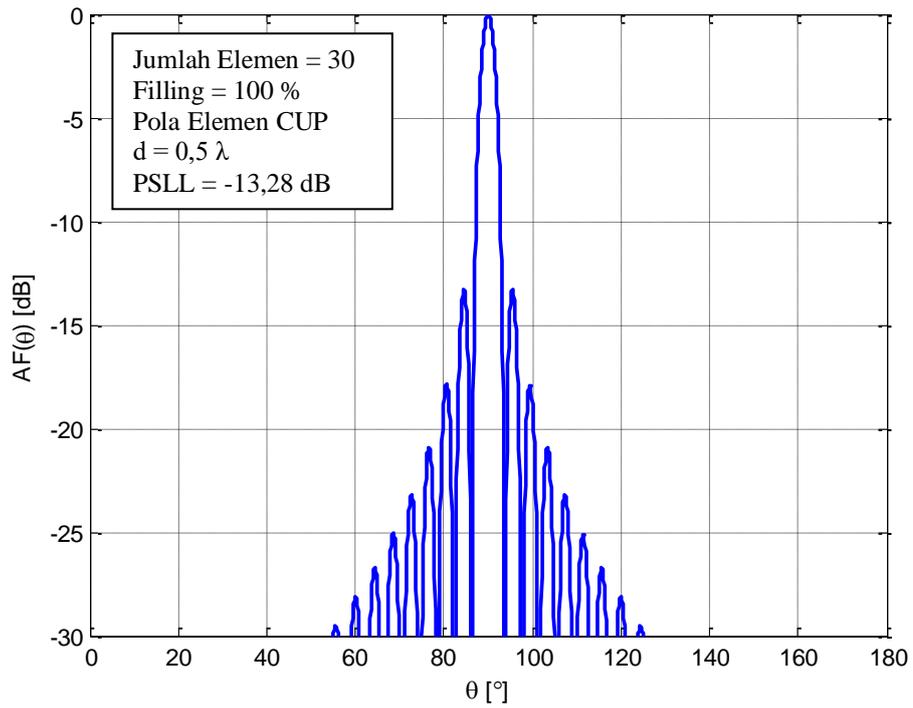
Dari hasil beamwidth yang diperoleh untuk ketiga perancangan antenna linear array seperti ditunjukkan pada Tabel 4.3 mengindikasikan bahwa semakin besar sudut scanning maka semakin besar beamwidthnya. Thinned linear array dengan elemen isotropis dengan jumlah elemen yang lebih sedikit rata-rata menghasilkan beamwidth yang lebih kecil dibandingkan dengan tanpa thinning saat scanning

4.3 Dense Array (Tanpa Thinning) dengan elemen CUP

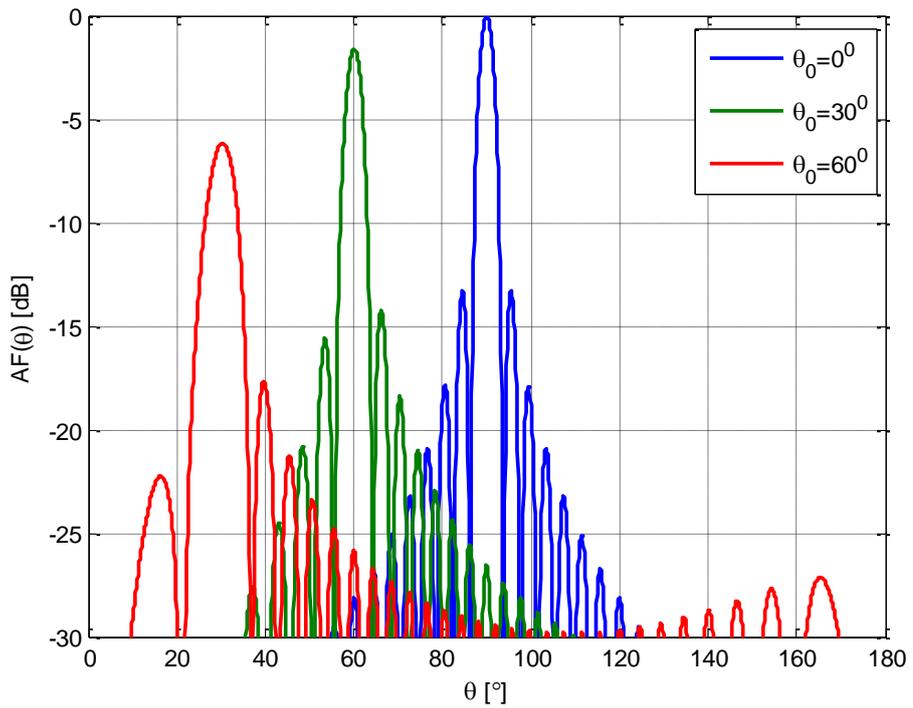
Gambar 4.10 merupakan antenna dense array (tanpa thinning) dari 30 elemen dengan pola elemen CUP (Gambar 3.6) dan jarak antar elemen adalah $0,5 \lambda$, dimana jumlah elemen ON atau *filling* adalah 100% dan Peak Side Lobe Level (PSLL) yang diperoleh pada arah broadside adalah -13,28 dB.

Gambar 4.11 menunjukkan saat pola antenna dari arah broadside discanning ke sudut 30° dan 60° . Hal ini menunjukkan bahwa terjadi peningkatan PSLL saat dilakukan scanning pada sudut yang berbeda. Semakin besar sudut scanning menunjukkan semakin besar penurunan PSLL dan beamwidth juga semakin lebar.

PSLL yang diperoleh saat scanning 30° adalah -14,25 dB lebih rendah 0,97 dB dibandingkan arah broadside dan saat scanning 60° PSLL adalah -17,72 dB lebih rendah 4,44 dB dibandingkan arah broadside. Sehingga hasil scanning dense array dengan elemen CUP mengindikasikan bahwa semakin besar sudut scanning maka nilai PSLL semakin turun.



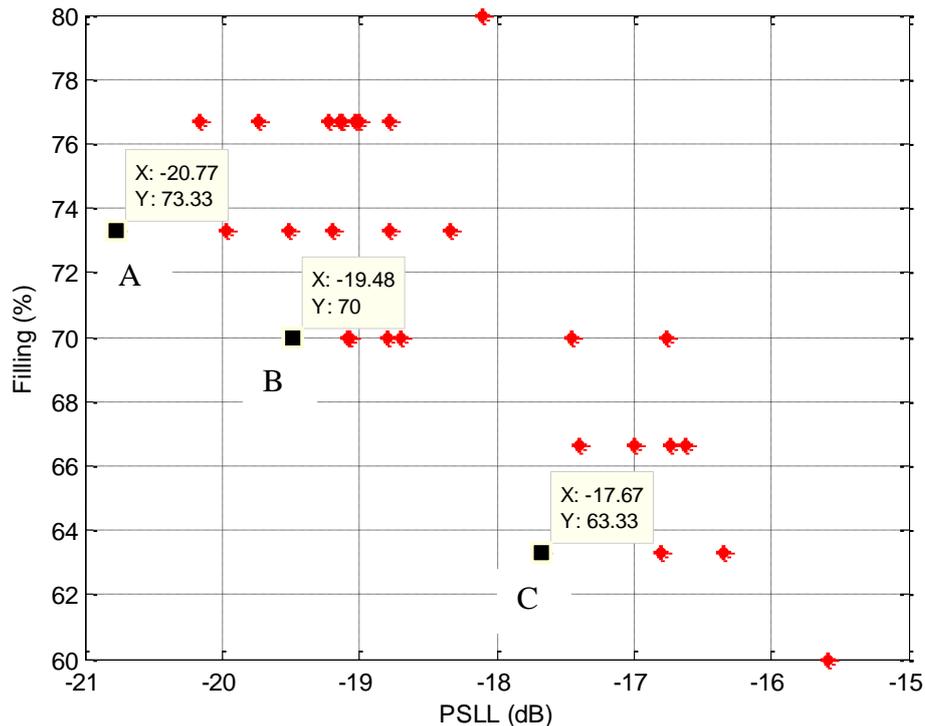
Gambar 4.10 Dense Array dari 30 elemen CUP (tanpa thinning array)



Gambar 4.11 Scanning Pola Far Field dari Gambar 4.10 pada sudut 30^0 dan 60^0

4.4 Thinned Linear Array dengan Elemen CUP

Thinned Linear Array dengan elemen CUP diuji dengan 30 kali eksperimen untuk masing-masing aturan Paired Top-Ten dan Combined Top-Five (Lampiran 2). Dari keseluruhan eksperimen hanya diambil satu chromosome atau individu terbaik berdasarkan pada jumlah pengisian elemen dan PSLL yang paling minimum.



Gambar 4.12 Hasil Pengujian Thinned Linear Array dengan elemen isotropis aturan Paired Top Ten dari 30 Ekperimen

4.4.1 Paired Top Ten

Gambar 4.12 menunjukkan hasil pengujian thinned linear array dengan elemen CUP aturan Paired Top Ten dari 30 eksperimen. Kriteria pemilihan Individu terbaik berdasarkan pada jumlah PSLL minimum dan Pengisian elemen ON (Filling) yang minimum. Dari 30 eksperimen ini mengindikasikan bahwa, terjadi kondisi yang saling bertolak belakang antara PSLL dan Filling. Kondisi ini terjadi saat diinginkan jumlah elemen yang paling minimum maka menghasilkan nilai PSLL yang maksimum. Begitu juga, saat diinginkan PSLL yang paling minimum maka menghasilkan jumlah elemen yang maksimum.

Sehingga dari Gambar 4.12 hanya dipilih satu individu dari 3 kriteria individu terbaik yaitu A, B, C. Secara detail dapat dijelaskan pada Tabel berikut :

Tabel 4.4 Kriteria Individu Terbaik dari 30 ekperimen aturan Paired Top Ten dengan elemen CUP

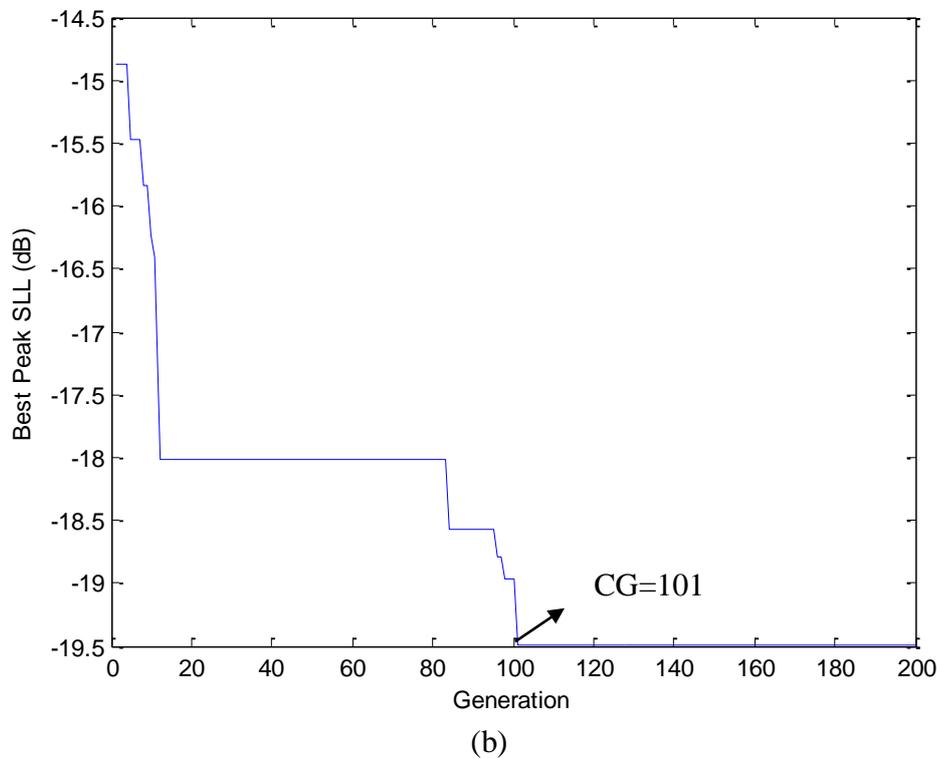
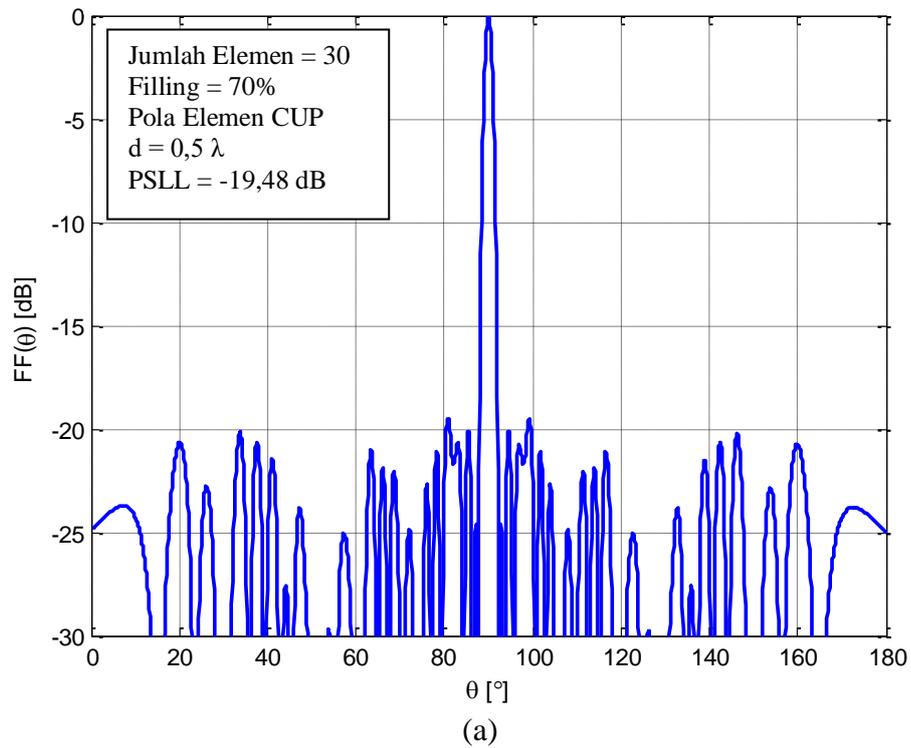
Individu	Ekperimen	PSLL	Filling (%)	Jumlah elemen OFF
A	23	-20,77	73,33	8
*B	2	-19,48	70	9
C	26	-17,67	63,33	11

Tabel 4.4 menunjukkan kriteria individu terbaik dari 30 ekperimen aturan Paired Top Ten dengan elemen CUP. Individu A merupakan ekperimen ke 23 dari 30 ekperimen dengan jumlah pengisian elemen 73,33% menghasilkan PSLL -20,77 lebih rendah jika dibandingkan dengan B dan C dari nilai PSLL, namun jumlah elemen ON lebih banyak jika dibandingkan B dan C. Individu C merupakan ekperimen ke 26 dari 30 ekperimen dengan jumlah pengisian elemen 63,33% menghasilkan PSLL -17,67 dB lebih sedikit dibandingkan A dan B dari pengisian jumlah elemen ON, namun PSLL lebih tinggi dibandingkan A dan B. Oleh karena itu, individu terbaik yang terpilih yaitu B, dimana dengan jumlah pengisian elemen ON 70% menghasilkan PSLL -19,48 dB dengan kondisi medium untuk mencapai dua tujuan yang diinginkan.

Selanjutnya individu terbaik (*B) dari paired Top Ten dengan elemen CUP akan diuji pada kondisi sudut yang berbeda dan akan dibandingkan performanya dengan Combined Top Five dan Dense Array dengan elemen CUP.

Gambar 4.13 (a) merupakan pola Far Field dari thinned linear array aturan Paired Top Ten dengan 30 elemen CUP pada ekperimen ke-2. Status elemen 1 “ON” atau 0 “OFF” ditunjukkan pada bagian atas gambar. Array diurutkan dari kiri ke kanan dan dari ujung ke ujung array di set 1 “ON” dengan tujuan agar ukuran dimensi array tidak berubah. Gambar 4.13 (a) mengindikasikan bahwa 70% elemen yang ON menghasilkan PSLL sebesar -19,48 dB.

111111111110101010111010100101

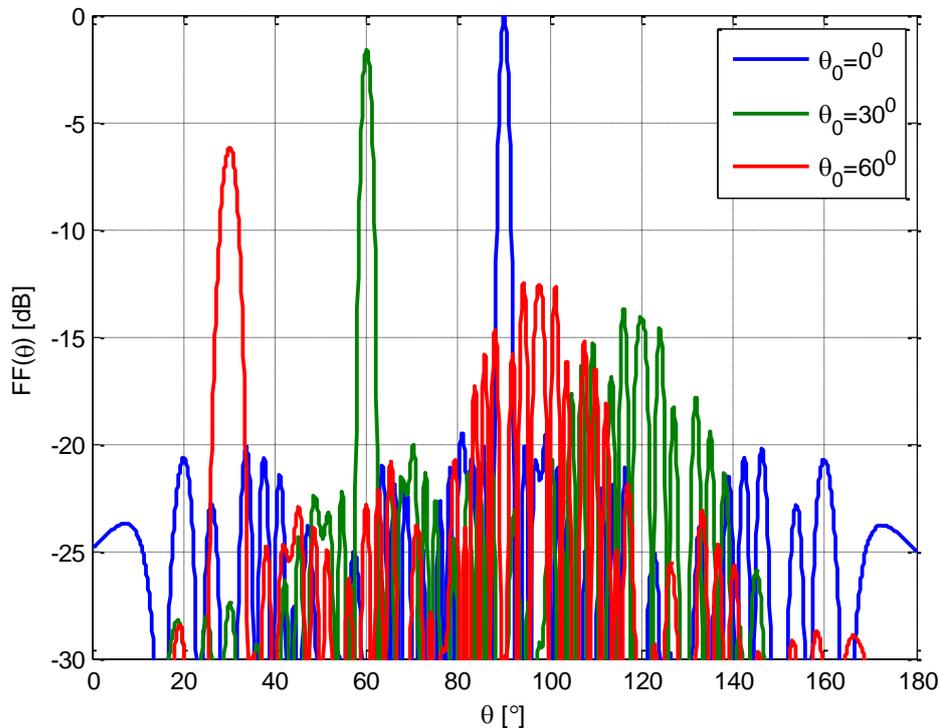


Gambar 4.13 (a) Pola Far Field dari thinned linear array aturan Paired top-ten dengan 30 elemen CUP pada eksperimen ke-2 dengan 70% pengisian elemen ON (filling). (b) Kurva konvergensi generasi terhadap PSL untuk eksperimen yang sama.

Gambar 4.13 (b) merupakan konvergensi generasi terhadap PSLL untuk eksperimen yang sama dengan Gambar 4.13 (a). Kurva pada Gambar 4.13 (b) mengindikasikan bahwa nilai PSLL secara lambat menurun dan mencapai titik konvergen pada generasi ke 101 sampai maksimum generasi.

Dari hasil thinning PSLL dan jumlah elemen pada Gambar 4.13 (a) dan (b), mengindikasikan bahwa terjadi penurunan PSLL yang signifikan sebesar 6,2 dB lebih rendah dibandingkan dense array CUP (tanpa thinning) dan penurunan jumlah elemen sebesar 30% dibandingkan dense array CUP seperti pada Gambar 4.10. Kondisi ini terjadi saat array discanning pada arah broadside.

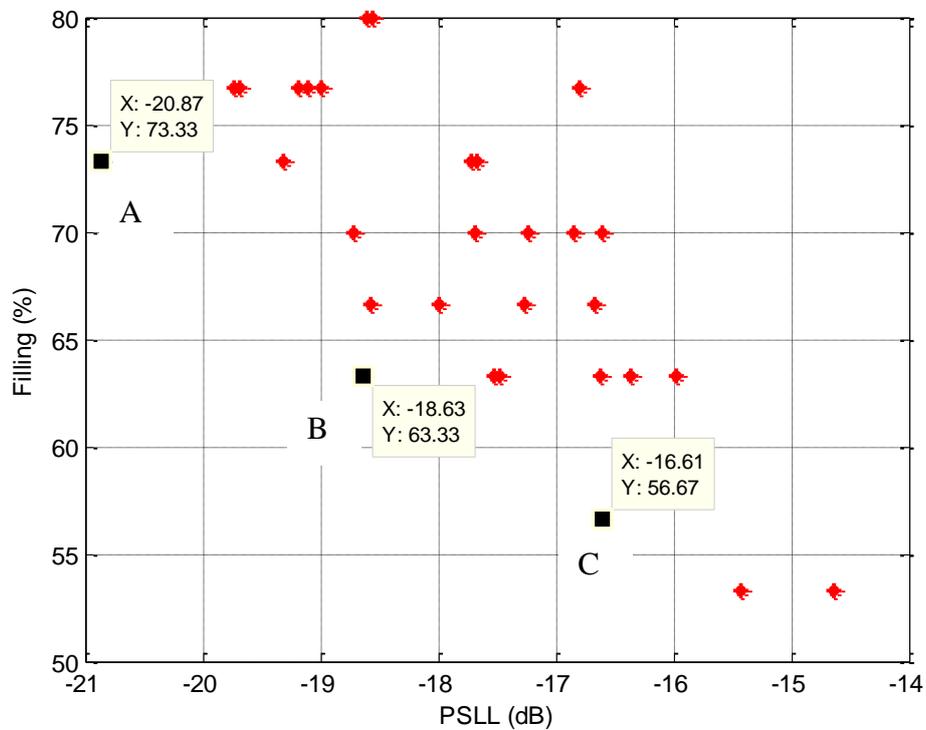
Gambar 4.14 menunjukkan pola Far Field dari Gambar 4.13 (a) discanning pada sudut 30° dan 60° . Hasil scanning mengindikasikan bahwa terjadi kenaikan terhadap PSLL saat pola Far Field di arahkan ke sudut 30° dan 60° . Saat scanning 30° , PSLL adalah -13,71 lebih tinggi 0,54 dB dibandingkan broadside dan saat scanning 60° , PSLL adalah -12,52 lebih tinggi 5,2 dB dibandingkan broadside.



Gambar 4.14 Scanning Pola Far-Field dari Gambar 4.13 (a) pada sudut 30° dan 60°

4.4.2 Combined Top Five

Gambar 4.15 menunjukkan hasil pengujian thinned linear array dengan elemen CUP aturan Combined Top Five dari 30 eksperimen. Kriteria pemilihan Individu terbaik berdasarkan pada jumlah PSLL minimum dan Pengisian elemen ON (Filling) yang minimum. Dari 30 eksperimen ini mengindikasikan bahwa, terjadi kondisi yang saling bertolak belakang antara PSLL dan Filling. Kondisi ini terjadi saat diinginkan jumlah elemen yang paling minimum maka menghasilkan nilai PSLL yang maksimum. Begitu juga, saat diinginkan PSLL yang paling minimum maka menghasilkan jumlah elemen yang maksimum.



Gambar 4.15 Hasil Pengujian Thinned Linear Array dengan elemen CUP aturan Combined Top Five dari 30 Ekperimen

Sehingga dari Gambar 4.15 hanya dipilih satu individu terbaik dari 3 kriteria individu terbaik yaitu A, B, C. Secara detail dapat dijelaskan pada Tabel berikut :

Tabel 4.5 Kriteria Individu Terbaik dari 30 ekperimen aturan Combined Top Five dengan elemen CUP.

Individu	Ekperimen	PSLL	Filling (%)	Jumlah elemen OFF
A	26	-20,87	73,33	8
*B	18	-18,63	63,33	11
C	17	-16,61	56,67	13

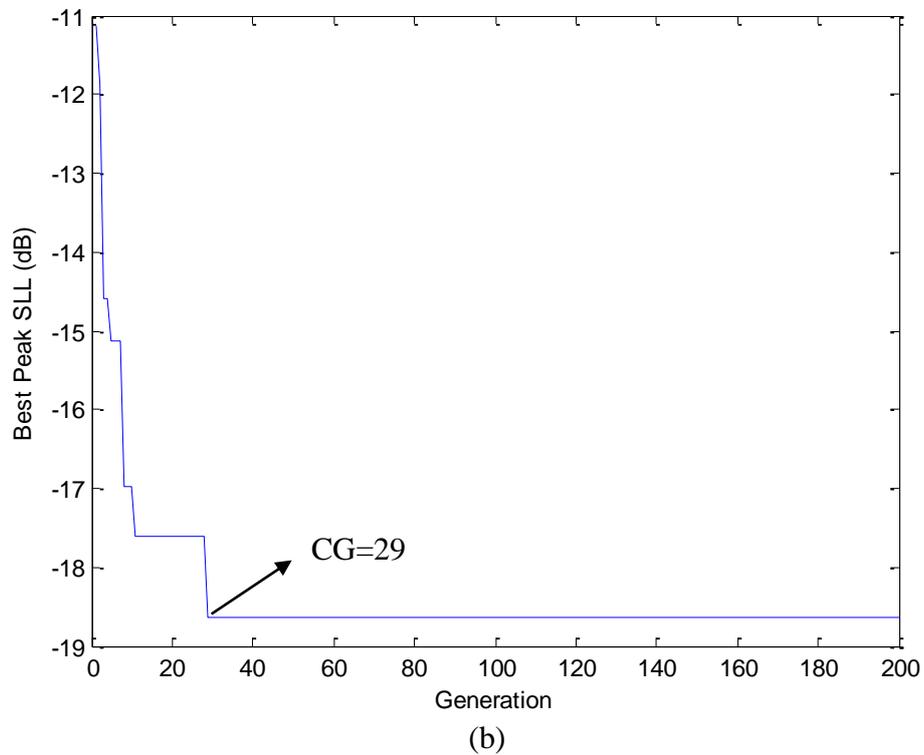
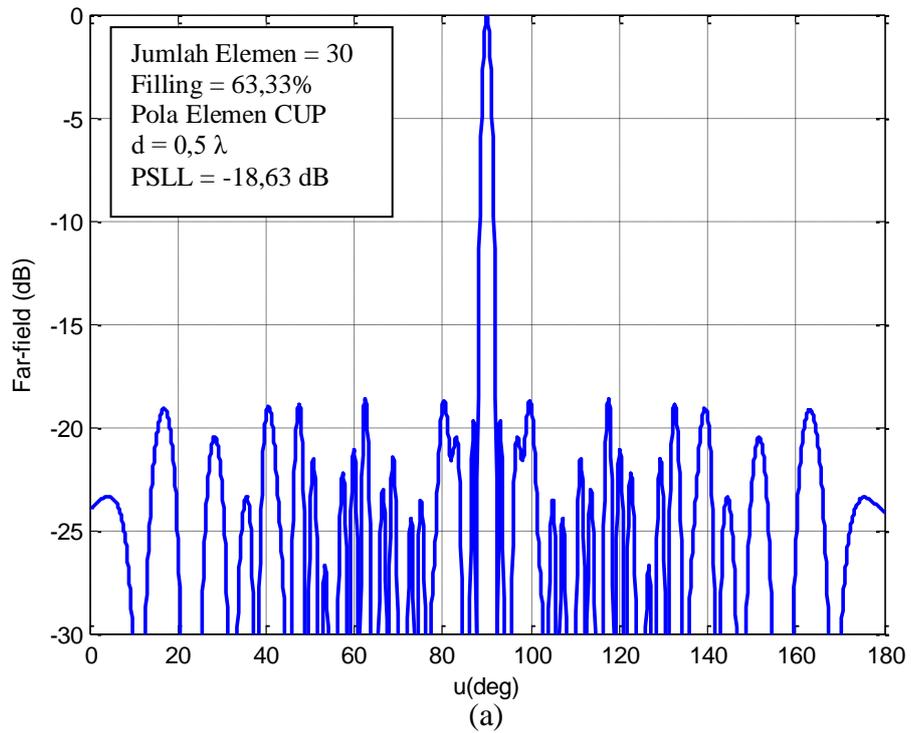
Tabel 4.5 menunjukkan kriteria individu terbaik dari 30 ekperimen aturan Combined Top Five dengan elemen CUP. Individu A merupakan ekperimen ke 26 dari 30 ekperimen dengan jumlah pengisian elemen 73,33% menghasilkan PSLL -20,77 lebih rendah jika dibandingkan dengan B dan C dari nilai PSLL, namun jumlah elemen ON lebih banyak jika dibandingkan B dan C. Individu C merupakan ekperimen ke 17 dari 30 ekperimen dengan jumlah pengisian elemen 56,67% menghasilkan PSLL -16,61 dB lebih sedikit dibandingkan A dan B dari pengisian jumlah elemen ON, namun PSLL lebih tinggi dibandingkan A dan B. Oleh karena itu, individu terbaik yang terpilih yaitu B, dimana dengan jumlah pengisian elemen ON 63,33% menghasilkan PSLL -18,63 dB dengan kondisi medium untuk mencapai dua tujuan yang diinginkan.

Selanjutnya individu terbaik (*B) dari paired Top Ten dengan elemen CUP akan diuji pada kondisi sudut yang berbeda dan akan dibandingkan performanya dengan Combined Top Five dan Dense Array dengan elemen CUP.

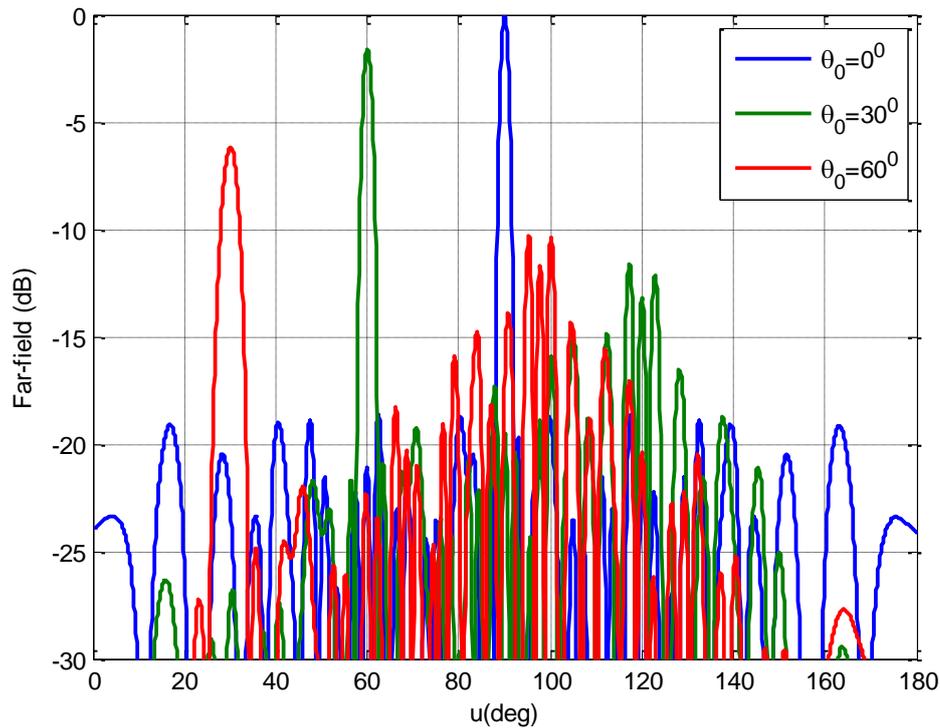
Gambar 4.16 (a) merupakan pola Far Field dari thinned linear array aturan Combined Top Five dengan 30 elemen CUP pada ekperimen ke-18. Status elemen 1 “ON” atau 0 “OFF” ditunjukkan pada bagian atas gambar. Array diurutkan dari kiri ke kanan dan dari ujung ke ujung array di set 1 “ON” dengan tujuan agar ukuran dimensi array tidak berubah. Gambar 4.16 (a) mengindikasikan bahwa 63,33% elemen yang ON menghasilkan PSLL sebesar -18,63 dB.

Gambar 4.16 (b) merupakan konvergensi generasi terhadap PSLL untuk ekperimen yang sama dengan Gambar 4.16 (a). Kurva pada Gambar 4.16 (b) mengindikasikan bahwa nilai PSLL secara lambat menurun dan mencapai titik konvergen (CG) pada generasi ke 29 sampai maksimum generasi.

101111111101011011010101010001



Gambar 4.16 (a) Pola Far Field dari thinned linear array aturan Combine Top Five dengan 30 elemen CUP pada eksperimen ke-18 dengan 63,33% pengisian elemen ON (filling). (b) Kurva konvergensi generasi terhadap PSL untuk eksperimen yang sama.



Gambar 4.17 Scanning Pola Far-Field dari Gambar 4.13 (a) pada sudut 30^0 dan 60^0

Dari hasil thinning PSLL dan jumlah elemen pada Gambar 4.16 (a) dan (b), mengindikasikan bahwa terjadi penurunan PSLL yang signifikan sebesar 5,34 dB lebih rendah dibandingkan dense array CUP (tanpa thinning) dan penurunan jumlah elemen sebesar 36,67% dibandingkan dense array CUP seperti pada Gambar 4.10. Kondisi ini terjadi saat array discanning pada arah broadside.

Gambar 4.17 menunjukkan pola Far Field dari Gambar 4.16 (a) discanning pada sudut 30^0 dan 60^0 . Hasil scanning mengindikasikan bahwa terjadi kenaikan terhadap PSLL saat pola Far Field di arahkan ke sudut 30^0 dan 60^0 . Saat scanning 30^0 , PSLL adalah -11,59 lebih tinggi 2,66 dB dibandingkan broadside dan saat scanning 60^0 , PSLL adalah -10,31 lebih tinggi 7,41 dB dibandingkan broadside.

Dari Tabel 4.6 menunjukkan perbandingan hasil thinning dengan GA (aturan crossover paired top-ten dan combined top-five) dan dense array dengan elemen isotropis saat scanning. Hasil ini membuktikan bahwa terjadi perubahan terhadap jumlah elemen dan nilai PSLL saat scanning pada sudut yang berbeda. Dimana pengurangan jumlah elemen yang ON (Filling) dari aturan Paired Top Ten adalah 30% sedangkan aturan Combined Top Five adalah 36,67%, sehingga

hal ini mengindikasikan bahwa thinning dengan aturan Combined Top Five lebih unggul dalam minimisasi jumlah elemen dibandingkan Paired Top Ten.

Tabel 4.6 Perbandingan hasil minimisasi GA pada aturan paired top-ten, combined top-five dan tanpa thinning (dense array) dengan elemen CUP.

Perancangan Linear Array	Scanning ($^{\circ}$)	Elemen ON	Filling (%)	PSLL (dB)	Beamwidth - 3dB ($^{\circ}$)
Dense Array	0	100	100	-13,28	3,38
	30			-14,25	3,9
	60			-17,72	6,67
Paired Top-ten	0	21	70	-19,48	1,87
	30			-13,71	2,15
	60			-12,52	3,72
Combined Top-five	0	19	63,33	-18,63	1,45
	30			-11,59	2,19
	60			-10,31	3,77

Dari hal minimisasi nilai PSLL dengan elemen CUP, thinning pada arah broadside lebih baik dibandingkan saat scanning untuk kedua aturan crossover. dimana pengurangan nilai PSLL dari aturan Paired Top Ten adalah 6,2 dB dibandingkan dense array CUP sedangkan aturan Combined Top Five terjadi pengurangan sebesar 5,35 dB dibandingkan dense array CUP. Sehingga hal ini mengindikasikan bahwa aturan Paired Top Ten lebih unggul dalam minimisasi PSLL dengan elemen CUP pada arah broadside. Namun, PSLL mengalami peningkatan saat scanning pada sudut 30° dan 60° , kondisi ini disebabkan oleh hasil perkalian Array Factor dengan Pola elemen CUP. Sehingga konfigurasi pola array menyesuaikan dengan pola elemen CUP.

Bagaimanapun, hasil minimisasi thinning dengan GA pada elemen CUP terhadap jumlah elemen menunjukkan hasil lebih signifikan dibandingkan tanpa thinning dan minimisasi terhadap PSLL lebih unggul pada arah broadside. Kemudian dari hasil beamwidth yang diperoleh untuk ketiga perancangan antenna linear array seperti ditunjukkan pada Tabel 4.6 mengindikasikan bahwa Thinned linear array dengan elemen CUP rata-rata menghasilkan beamwidth yang lebih kecil dibandingkan dengan tanpa thinning saat scanning.

Sehingga dari keseluruhan hasil thinning untuk tujuan minimisasi dengan elemen isotropis dan elemen CUP dari kedua aturan Paired Top Ten dan Combined Top Five, masing-masing aturan crossover memiliki keunggulan masing-masing dalam hal meminimalkan jumlah elemen dan PSSL, sehingga dalam penerapannya tergantung kebutuhan.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 KESIMPULAN

Berdasarkan tujuan, hasil dan analisa dari penelitian yang telah dilakukan, disimpulkan bahwa :

1. Desain thinned linear array yang minimum dengan elemen isotropis :
 - a. Aturan Paired Top Ten dan Combined Top Five menghasilkan jumlah elemen dan PSLL yang sama yaitu dapat meminimalkan jumlah elemen sebesar 23,33% dibandingkan tanpa thinning (dense array) dan menghasilkan PSLL sebesar -16,9 dB lebih rendah 3,27 dB dibandingkan dense array. Thinning dengan pola elemen isotropis tidak mengalami perubahan pada nilai PSLL saat scanning pada sudut yang berbeda.
 - b. Pengaruh Thinned liner array dengan elemen isotropis terhadap beamwidth pada saat scanning dari kedua aturan Paired top-ten dan Combined top-five adalah menghasilkan sudut beamwidth yang lebih kecil dibandingkan tanpa thinning (dense array). Rata-rata beamwidth $<5^0$ dan sesuai dengan target antena array yang diinginkan.

2. Desain thinned linear array yang minimum dengan elemen *Cavity Backed U-Slot Patch* (CUP)
 - a. Aturan Paired Top Ten dan Combined Top Five menghasilkan jumlah elemen dan PSLL yang berbeda. Aturan Paired Top Ten lebih unggul dengan PSLL 0,85 dB lebih rendah dibandingkan aturan Combined Top Five. Namun, dari jumlah pengisian elemen, Combined Top Five lebih unggul 6,67 % dibandingkan Paired Top Ten. Begitu juga saat kedua aturan dibandingkan dengan dense array, mengindikasikan hasil minimisasi yang lebih signifikan dengan pengurangan nilai PSLL sebesar 6,2 dB untuk aturan Paired Top Ten dan 5,35 dB untuk Combined Top Five. Thinning dengan pola elemen CUP menunjukkan performansi yang

lebih unggul saat scanning pada arah broadside dibandingkan scanning pada arah yang berbeda.

- b. Pengaruh Thinned liner array dengan elemen CUP terhadap beamwidth pada saat scanning dari kedua aturan Paired top-ten dan Combined top-five adalah lebih sempit dibandingkan tanpa thinning (dense CUP). Rata-rata beamwidth $<5^0$ dan sesuai dengan target antena yang diinginkan.

5.2 SARAN

Saran yang diberikan untuk menunjang penelitian selanjutnya adalah perancangan Thinned Linear Array dengan Algoritma Genetika dengan menerapkan aturan crossover yaitu Paired Top Ten dan Combined Top Five dapat diterapkan pada pola elemen yang berbeda, sehingga diharapkan dapat menunjukkan hasil yang lebih optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Stutzman, Warren L., Thiele, Gary A, (2012), “Antenna Theory and Design”; J. Wiley 3rd edition.
- [2] Hansen, R.C, (1998)”Phased Array Antenna”, John Wiley & Sons.
- [3] Haupt, Randy L, (1994), “Thined array using genetic algorithm”, IEEE Trans. Antennas Propag., vol. 42, No 7.
- [4] Keizer, W. P. M. N., (2008), “Linear array thinning using iterative FFT techniques”, IEEE Trans. Antenna Propag., vol.56, no.8.
- [5] Wang, Xin-Kuan. Jiao, Yong-Chang. Tan, Yan-Yan., (2014), “Synthesis of Large Thinned Planar Array Using a Modified Iterative Fourier Technique”, IEEE Trans. Antenna Propag., vol.62, no.4.
- [6] Mailloux, R. J. and E. Cohen, (1991), "Statistically thinned arrays with quantized element weights," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, Vol. 39, No. 4, 436-447.
- [7] T. C. Cheston and J. Frank, “Phased array radar antennas,” in Radar Handbook. M. Skolnik, Ed. 1989, Ch. 1-4. New York McGraw-Hill, 1990.
- [8] R. L. Haupt, “An Introduction to Genetic Algorithms for Electromagnetic,” *IEEE Transactions on Antennas and Propagation Magazine*, Vol. 37, No. 2, pp. 7-15, April 1995.
- [9] Cen, Ling., Ser, Wee., et.al., (2010), “Linear Sparse Array Synthesis With Minimum Number of Sensors”, IEEE Transaction on Antenna and Propagation, vol.58, No.3.
- [10] D. E. Goldberg, (1989), “Genetic Algorithm for Search, Optimization, and Machine Learning”, Addison-Wesley, New York.
- [11] M. Simeoni, I.E. larger, “The cavity-backed slotted Patch antenna”, to published in Proceedings of the Eoupean Microwave Association.
- [12] Skollnik, M.I., (2001), “Introduction to Radar System”, Mc-Graw-Hill Education, New York, Ch. 1.

- [13] Nazmi Rasyidin, (2016) “Rancang Bangun Antena *Microstriparray* Untuk Sistem Radar Berbasis *Software Defined Radio*”, Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [14] Balanis C. A., (2005), “Antenna Theory Analysis and Design”, John Wiley & Sons, Inc., New Jersey, Ch. 6.
- [15] J. H. Dickhof, (2006), “Design and experimentation of sparse arrays”.
- [16] Haupt, Randy L, (2007), “Genetic Algorithms in Electromagnetics”, John Wiley & Sons, Inc.
- [17] “Rumus Statistik.” *rumusstatistik.com*. Juni 2012. WEB. 3 Februari 2017

LAMPIRAN 1

Tabel 1. 30 Ekperimen thinning array aturan Paired Top Ten dengan elemen isotropis

Ekperimen	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	PSLL(dB)	G	OFF	ON	FILLING(%)
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	1	0	1	0	1	1	1	-17,24	25	5	25	83,33
2	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	1	0	1	1	1	-15,79	8	6	24	80,00
3	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	0	1	1	1	-15,36	13	8	22	73,33
4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	-17,39	27	7	23	76,67
5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	1	0	1	-17,03	49	6	24	80,00
6	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	1	0	1	1	1	1	1	0	0	1	-15,72	37	7	23	76,67
7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	1	1	1	0	1	0	1	1	1	-16,84	55	5	25	83,33
8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	1	1	0	1	0	1	-17,63	84	6	24	80,00
9	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	-15,79	6	7	23	76,67
10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	1	-16,9	53	8	22	73,33	
11	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	0	0	0	1	0	1	1	1	1	0	1	1	-15,59	14	8	22	73,33
12	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	-16,77	25	6	24	80,00
13	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	1	0	1	1	-17,24	34	5	25	83,33
14	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1	-17,48	40	5	25	83,33
15	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	0	1	1	1	-15,52	11	7	23	76,67
16	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	-15,38	32	9	21	70,00
17	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	1	-14,96	22	10	20	66,67
18	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	0	0	1	1	-16,66	29	5	25	83,33
19	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	0	0	1	1	0	1	-17,22	111	5	25	83,33
20	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	0	1	0	1	1	-14,75	9	9	21	70,00
21	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	0	1	1	0	1	1	1	1	-16,44	37	5	25	83,33
22	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	0	0	1	1	-17,05	51	5	25	83,33
23	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1	0	1	1	1	-17,03	127	5	25	83,33
24	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	0	1	1	0	1	1	0	0	0	1	1	-17,04	72	7	23	76,67
25	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	0	0	0	1	-15,93	48	8	22	73,33
26	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1	1	-15,41	43	7	23	76,67
27	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	-16,63	68	5	25	83,33
28	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1	-16,69	29	6	24	80,00
29	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	-17,23	61	6	24	80,00
30	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	1	1	1	1	0	0	1	1	-17	174	6	24	80,00
																														Average	-16,46	46,47	6,47	23,53	78,44
																														SD	0,83	37,53	1,43	1,43	4,77

: Individu Terbaik berdasarkan Jumlah elemen dan PSLL yang optimum

Tabel 2. 30 Ekperimen thinning array aturan Combined Top Five dengan elemen isotropis

Ekperimen	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	PSLL(dB)	G	OFF	ON	FILLING(%)	
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	-16,22	22	5	25	83,33
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	1	-17,39	19	6	24	80,00	
3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	1	0	1	1	0	1	1	-17,46	52	6	24	80,00	
4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	1	1	1	0	1	0	1	-17,29	38	6	24	80,00	
5	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	1	1	0	1	-16,04	10	7	23	76,67	
6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	-16,55	52	8	22	73,33	
7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	0	0	1	1	-16,76	9	5	25	83,33	
8	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	-15,71	22	6	24	80,00	
9	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	0	0	1	1	1	1	-16	29	7	23	76,67	
10	1	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	1	-14,18	8	11	19	63,33	
11	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	-15,66	12	7	23	76,67	
12	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	1	1	1	0	1	0	1	0	0	1	-16,47	25	8	22	73,33	
13	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	-16,55	51	6	24	80,00	
14	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1	-15,88	63	8	22	73,33	
15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	-16,15	10	7	23	76,67	
16	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	-14,81	17	7	23	76,67	
17	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0	1	0	1	1	-15,35	6	8	22	73,33	
18	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	0	1	0	1	-15,47	24	8	22	73,33	
19	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	1	1	0	1	1	-15	8	8	22	73,33	
20	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	1	1	-16,92	7	6	24	80,00	
21	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	-16,92	72	5	25	83,33	
22	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	1	0	1	-16,32	38	8	22	73,33	
23	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	-16,92	64	4	26	86,67	
24	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	1	0	1	1	1	0	1	1	-16,35	7	6	24	80,00	
25	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	-17	18	6	24	80,00	
26	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	-16,18	15	7	23	76,67	
27	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	-15,87	4	8	22	73,33
28	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1	0	1	1	1	-17,02	67	5	25	83,33	
29	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	-15,53	9	6	24	80,00	
30	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	1	-17,15	75	5	25	83,33	
																															Average	-16,24	28,43	6,67	23,33	77,78
																															SD	0,80	22,74	1,42	1,42	4,74

: Individu Terbaik berdasarkan Jumlah elemen dan PSLL yang optimum

LAMPIRAN 2

Tabel 3. 30 Ekperimen thinning array aturan Paired Top Ten dengan elemen CUP

Ekperimen	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	PSLL(dB)	G	OFF	ON	FILLING(%)	
1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	1	0	0	1	0	0	1	1	1	-17	14	10	20	66,67	
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	-19,48	101	9	21	70,00
3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	-19,97	96	8	22	73,33	
4	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	0	0	1	-16,76	8	9	21	70,00	
5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	1	1	0	0	1	0	1	1	-19,03	37	7	23	76,67	
6	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	0	1	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	-19,09	20	9	21	70,00	
7	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	1	1	0	0	1	0	1	-18,79	51	9	21	70,00	
8	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	1	-16,73	7	10	20	66,67	
9	1	1	1	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	0	1	1	1	1	0	-15,59	25	12	18	60,00	
10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	1	1	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	-19,52	41	8	22	73,33	
11	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	-19,73	70	7	23	76,67	
12	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	0	1	0	1	1	0	1	1	0	0	1	0	1	0	1	-18,7	14	9	21	70,00	
13	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	1	1	0	1	1	0	1	0	1	0	0	1	-18,78	87	8	22	73,33	
14	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	-19,23	116	7	23	76,67	
15	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	-19,07	82	9	21	70,00	
16	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	0	1	1	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	-18,34	102	8	22	73,33	
17	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	-19	39	7	23	76,67	
18	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	0	1	1	0	1	0	1	0	0	1	-18,78	71	7	23	76,67	
19	1	0	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	1	-16,35	46	11	19	63,33	
20	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	1	1	0	0	1	0	1	0	1	-16,81	5	11	19	63,33	
21	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	-20,16	22	7	23	76,67	
22	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	-19,13	69	7	23	76,67	
23	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	-20,77	105	8	22	73,33	
24	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	-19,19	47	8	22	73,33	
25	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	-19,14	38	7	23	76,67	
26	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0	-17,67	20	11	19	63,33	
27	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	-17,45	26	9	21	70,00	
28	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	0	0	1	0	1	1	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	-16,63	33	10	20	66,67	
29	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	0	1	-17,4	51	10	20	66,67	
30	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	0	1	1	0	1	0	1	1	-18,1	25	6	24	80,00	
																	Average	-18,41	48,93	8,60	21,40	71,33														
																	SD	1,28	33,13	1,52	1,52	5,07														
																	: Individu Terbaik berdasarkan Jumlah elemen dan PSLL yang optimum																			

Tabel 4. 30 Ekperimen thinning array aturan Combined Top Five dengan elemen CUP

Ekperimen	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	PSLL(dB)	CG	OFF	ON	FILLING(%)	
1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	-17,47	5	11	19	63,33	
2	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	1	1	0	0	1	-15,42	8	14	16	53,33		
3	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	1	0	1	-17,67	27	8	22	73,33	
4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	0	1	1	-18,6	29	6	24	80,00	
5	1	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	1	-14,63	4	14	16	53,33	
6	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	-17,24	35	9	21	70,00
7	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	0	1	1	1	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1	0	1	-16,84	3	9	21	70,00
8	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	0	1	0	1	1	1	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1	-16,6	17	9	21	70,00
9	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	0	1	0	0	1	-18	30	10	20	66,67		
10	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	-15,98	4	11	19	63,33	
11	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	-16,8	8	7	23	76,67	
12	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	1	-16,67	12	10	20	66,67	
13	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	1	-19,19	40	7	23	76,67	
14	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	1	-19,1	60	7	23	76,67	
15	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	-18,71	36	9	21	70,00	
16	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	-19,73	120	7	23	76,67	
17	1	0	1	0	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	-16,61	10	13	17	56,67
18	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	-18,63	29	11	19	63,33	
19	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	-18,56	30	6	24	80,00	
20	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	0	1	-17,68	22	9	21	70,00	
21	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	-18,57	37	10	20	66,67	
22	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	1	-17,52	22	11	19	63,33	
23	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	1	-19,32	14	8	22	73,33	
24	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	0	1	0	1	-19,69	25	7	23	76,67	
25	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	1	0	1	0	1	-17,72	50	8	22	73,33
26	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	-20,87	41	8	22	73,33	
27	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	-16,62	13	11	19	63,33	
28	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	0	1	-18,99	36	7	23	76,67	
29	1	1	1	0	1	1	0	1	0	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	1	0	1	-16,36	4	11	19	63,33	
30	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	1	0	0	0	1	-17,27	30	10	20	66,67	
																														Average	-17,77	26,70	9,27	20,73	69,11	
																															SD	1,40	23,04	2,18	2,18	7,27

18 : Individu Terbaik berdasarkan Jumlah elemen dan PSLL yang optimum

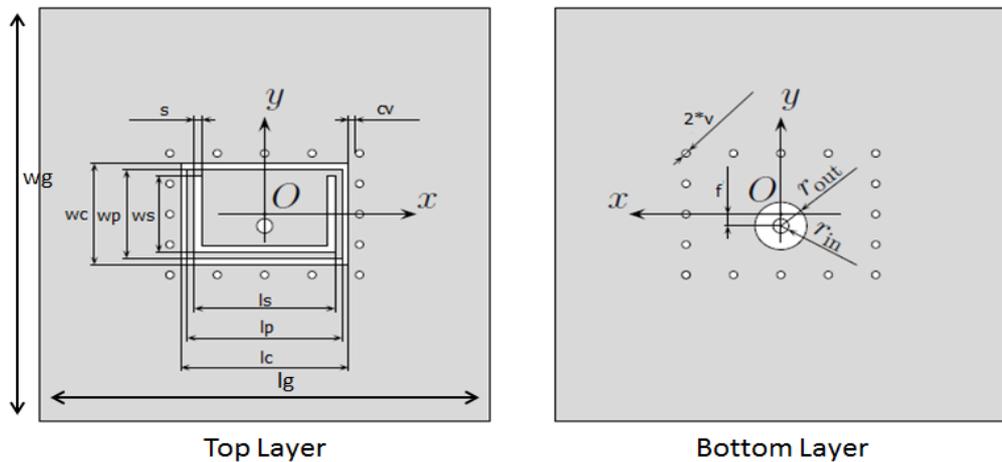
LAMPIRAN 3

Tabel 5. Parameter antenna CUP

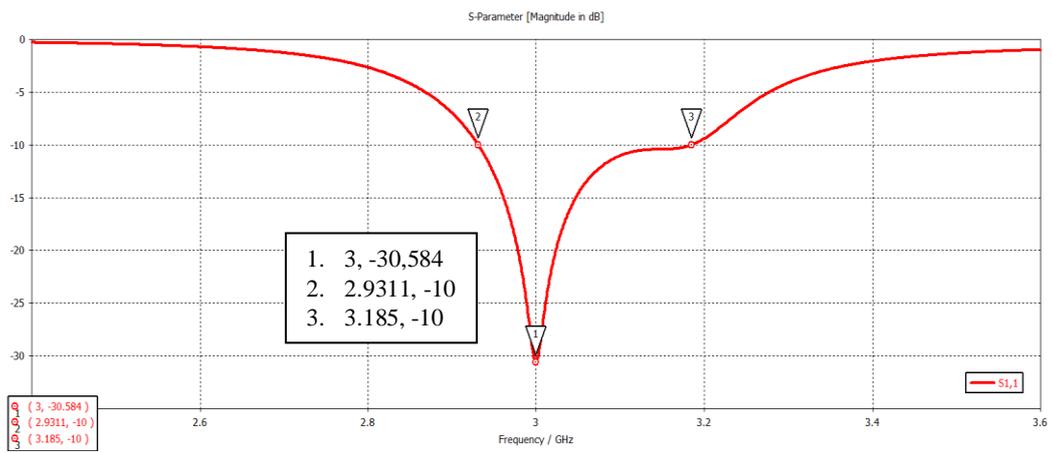
Parameters	Value (mm)
wc	31.6
wp	23.25
ws	10.65
ls	37.5
lp	39
lc	40.3
s	1.25
cv	4.05
v	0.8
f	2.7
r_{out}	2.32
r_{in}	0.625
$lg=wg$	108

Tabel 6. Parameter antenna Mikrostrip

Parameter	Dimensi
Frekuensi Resonan	3 GHz
Konstanta Dielektrik	4,7
Ketebalan Substrat	3,2 mm
Ketebalan Konduktor	0,035 mm



Gambar 1. Struktur Antena CUP



Gambar 2. Gambar Return Loss Hasil Simulasi Antena Mikrostrip dengan CUP

LAMPIRAN 4

Tabel 7. Hasil simulasi CUP dari CST

Theta [deg.]	Phi [deg.]	Abs(E) [V/m]	Abs(Cross) [V/m]	Phase(Cross) [deg.]	Abs(Copol) [V/m]	Phase(Copol) [deg.]	Ax.Ratio []
-180	0	2,18E+00	1,74E-05	121,232	2,18E+00	122,678	1,00E+02
-179,9	0	2,18E+00	3,84E-03	344,764	2,18E+00	122,678	1,00E+02
-179,8	0	2,18E+00	7,70E-03	344,675	2,18E+00	122,679	1,00E+02
-179,7	0	2,18E+00	1,16E-02	344,646	2,18E+00	122,68	1,00E+02
-179,6	0	2,18E+00	1,54E-02	344,633	2,18E+00	122,681	1,00E+02
-179,5	0	2,18E+00	1,93E-02	344,625	2,18E+00	122,682	1,00E+02
-179,4	0	2,18E+00	2,31E-02	344,621	2,18E+00	122,684	1,00E+02
-179,3	0	2,18E+00	2,70E-02	344,618	2,18E+00	122,686	1,00E+02
-179,2	0	2,18E+00	3,08E-02	344,617	2,18E+00	122,689	1,00E+02
-179,1	0	2,18E+00	3,47E-02	344,617	2,18E+00	122,691	9,41E+01
-179	0	2,18E+00	3,85E-02	344,617	2,18E+00	122,694	8,47E+01
-178,9	0	2,18E+00	4,24E-02	344,618	2,18E+00	122,698	7,70E+01
-178,8	0	2,18E+00	4,62E-02	344,62	2,18E+00	122,701	7,06E+01
-178,7	0	2,18E+00	5,01E-02	344,622	2,18E+00	122,705	6,52E+01
-178,6	0	2,18E+00	5,39E-02	344,625	2,18E+00	122,71	6,05E+01
-178,5	0	2,18E+00	5,77E-02	344,628	2,18E+00	122,714	5,65E+01
-178,4	0	2,18E+00	6,16E-02	344,631	2,18E+00	122,719	5,30E+01
-178,3	0	2,18E+00	6,54E-02	344,635	2,18E+00	122,725	4,99E+01
-178,2	0	2,18E+00	6,93E-02	344,639	2,18E+00	122,73	4,71E+01
-178,1	0	2,18E+00	7,31E-02	344,643	2,18E+00	122,736	4,46E+01
-178	0	2,18E+00	7,69E-02	344,648	2,18E+00	122,742	4,24E+01
-177,9	0	2,18E+00	8,07E-02	344,653	2,18E+00	122,749	4,04E+01
-177,8	0	2,18E+00	8,45E-02	344,658	2,18E+00	122,756	3,86E+01
-177,7	0	2,18E+00	8,84E-02	344,664	2,18E+00	122,763	3,69E+01
-177,6	0	2,18E+00	9,22E-02	344,67	2,18E+00	122,77	3,54E+01
-177,5	0	2,18E+00	9,60E-02	344,676	2,17E+00	122,778	3,40E+01
-177,4	0	2,18E+00	9,98E-02	344,682	2,17E+00	122,786	3,27E+01
-177,3	0	2,18E+00	1,04E-01	344,689	2,17E+00	122,795	3,15E+01
-177,2	0	2,18E+00	1,07E-01	344,696	2,17E+00	122,804	3,03E+01
-177,1	0	2,18E+00	1,11E-01	344,703	2,17E+00	122,813	2,93E+01
-177	0	2,17E+00	1,15E-01	344,711	2,17E+00	122,822	2,83E+01
-176,9	0	2,17E+00	1,19E-01	344,719	2,17E+00	122,832	2,74E+01
-176,8	0	2,17E+00	1,23E-01	344,727	2,17E+00	122,842	2,66E+01
-176,7	0	2,17E+00	1,26E-01	344,735	2,17E+00	122,852	2,58E+01
-176,6	0	2,17E+00	1,30E-01	344,744	2,17E+00	122,863	2,50E+01
-176,5	0	2,17E+00	1,34E-01	344,753	2,17E+00	122,874	2,43E+01
-176,4	0	2,17E+00	1,38E-01	344,762	2,17E+00	122,885	2,37E+01
-176,3	0	2,17E+00	1,41E-01	344,771	2,17E+00	122,897	2,30E+01
-176,2	0	2,17E+00	1,45E-01	344,781	2,17E+00	122,909	2,24E+01
-176,1	0	2,17E+00	1,49E-01	344,791	2,16E+00	122,921	2,19E+01
-176	0	2,17E+00	1,53E-01	344,802	2,16E+00	122,934	2,13E+01
-175,9	0	2,17E+00	1,56E-01	344,812	2,16E+00	122,947	2,08E+01
-175,8	0	2,17E+00	1,60E-01	344,823	2,16E+00	122,96	2,03E+01
-175,7	0	2,17E+00	1,64E-01	344,834	2,16E+00	122,974	1,98E+01
-175,6	0	2,17E+00	1,67E-01	344,846	2,16E+00	122,987	1,94E+01
-175,5	0	2,17E+00	1,71E-01	344,857	2,16E+00	123,002	1,90E+01
-175,4	0	2,17E+00	1,75E-01	344,869	2,16E+00	123,016	1,86E+01
-175,3	0	2,16E+00	1,79E-01	344,881	2,16E+00	123,031	1,82E+01
-175,2	0	2,16E+00	1,82E-01	344,894	2,16E+00	123,046	1,78E+01
-175,1	0	2,16E+00	1,86E-01	344,907	2,16E+00	123,062	1,75E+01
-175	0	2,16E+00	1,90E-01	344,92	2,15E+00	123,077	1,71E+01
-174,9	0	2,16E+00	1,93E-01	344,933	2,15E+00	123,093	1,68E+01
-174,8	0	2,16E+00	1,97E-01	344,947	2,15E+00	123,11	1,65E+01
-174,7	0	2,16E+00	2,00E-01	344,961	2,15E+00	123,126	1,62E+01
-174,6	0	2,16E+00	2,04E-01	344,975	2,15E+00	123,143	1,59E+01
-174,5	0	2,16E+00	2,08E-01	344,989	2,15E+00	123,161	1,56E+01
-174,4	0	2,16E+00	2,11E-01	345,004	2,15E+00	123,178	1,53E+01
-174,3	0	2,16E+00	2,15E-01	345,019	2,15E+00	123,196	1,51E+01
-174,2	0	2,16E+00	2,18E-01	345,034	2,14E+00	123,215	1,48E+01
-174,1	0	2,15E+00	2,22E-01	345,049	2,14E+00	123,233	1,46E+01
-174	0	2,15E+00	2,26E-01	345,065	2,14E+00	123,252	1,43E+01
-173,9	0	2,15E+00	2,29E-01	345,081	2,14E+00	123,271	1,41E+01
-173,8	0	2,15E+00	2,33E-01	345,098	2,14E+00	123,291	1,39E+01
-173,7	0	2,15E+00	2,36E-01	345,114	2,14E+00	123,311	1,37E+01
-173,6	0	2,15E+00	2,40E-01	345,131	2,14E+00	123,331	1,35E+01
-173,5	0	2,15E+00	2,43E-01	345,148	2,13E+00	123,352	1,33E+01

-173,4	0	2,15E+00	2,47E-01	345,166	2,13E+00	123,372	1,31E+01
-173,3	0	2,15E+00	2,50E-01	345,184	2,13E+00	123,393	1,29E+01
-173,2	0	2,15E+00	2,54E-01	345,202	2,13E+00	123,415	1,27E+01
-173,1	0	2,14E+00	2,57E-01	345,22	2,13E+00	123,437	1,25E+01
-173	0	2,14E+00	2,61E-01	345,238	2,13E+00	123,459	1,23E+01
-172,9	0	2,14E+00	2,64E-01	345,257	2,13E+00	123,481	1,22E+01
-172,8	0	2,14E+00	2,68E-01	345,276	2,12E+00	123,504	1,20E+01
-172,7	0	2,14E+00	2,71E-01	345,296	2,12E+00	123,527	1,19E+01
-172,6	0	2,14E+00	2,75E-01	345,315	2,12E+00	123,55	1,17E+01
-172,5	0	2,14E+00	2,78E-01	345,335	2,12E+00	123,574	1,16E+01
-172,4	0	2,14E+00	2,81E-01	345,356	2,12E+00	123,597	1,14E+01
-172,3	0	2,14E+00	2,85E-01	345,376	2,12E+00	123,622	1,13E+01
-172,2	0	2,13E+00	2,88E-01	345,397	2,11E+00	123,646	1,11E+01
-172,1	0	2,13E+00	2,92E-01	345,418	2,11E+00	123,671	1,10E+01
-172	0	2,13E+00	2,95E-01	345,44	2,11E+00	123,696	1,09E+01
-171,9	0	2,13E+00	2,98E-01	345,461	2,11E+00	123,722	1,07E+01
-171,8	0	2,13E+00	3,02E-01	345,483	2,11E+00	123,747	1,06E+01
-171,7	0	2,13E+00	3,05E-01	345,505	2,11E+00	123,774	1,05E+01
-171,6	0	2,13E+00	3,08E-01	345,528	2,10E+00	123,8	1,04E+01
-171,5	0	2,13E+00	3,12E-01	345,551	2,10E+00	123,827	1,03E+01
-171,4	0	2,12E+00	3,15E-01	345,574	2,10E+00	123,854	1,02E+01
-171,3	0	2,12E+00	3,18E-01	345,597	2,10E+00	123,881	1,00E+01
-171,2	0	2,12E+00	3,21E-01	345,621	2,10E+00	123,909	9,94E+00
-171,1	0	2,12E+00	3,25E-01	345,645	2,10E+00	123,937	9,83E+00
-171	0	2,12E+00	3,28E-01	345,669	2,09E+00	123,965	9,73E+00
-170,9	0	2,12E+00	3,31E-01	345,694	2,09E+00	123,993	9,63E+00
-170,8	0	2,12E+00	3,34E-01	345,719	2,09E+00	124,022	9,53E+00
-170,7	0	2,11E+00	3,37E-01	345,744	2,09E+00	124,051	9,44E+00
-170,6	0	2,11E+00	3,41E-01	345,769	2,09E+00	124,081	9,34E+00
-170,5	0	2,11E+00	3,44E-01	345,795	2,08E+00	124,111	9,25E+00
-170,4	0	2,11E+00	3,47E-01	345,821	2,08E+00	124,141	9,16E+00
-170,3	0	2,11E+00	3,50E-01	345,848	2,08E+00	124,171	9,08E+00
-170,2	0	2,11E+00	3,53E-01	345,874	2,08E+00	124,202	8,99E+00
-170,1	0	2,11E+00	3,56E-01	345,901	2,08E+00	124,233	8,91E+00
-170	0	2,10E+00	3,59E-01	345,928	2,07E+00	124,264	8,82E+00
-169,9	0	2,10E+00	3,63E-01	345,956	2,07E+00	124,296	8,74E+00
-169,8	0	2,10E+00	3,66E-01	345,984	2,07E+00	124,328	8,67E+00
-169,7	0	2,10E+00	3,69E-01	346,012	2,07E+00	124,36	8,59E+00
-169,6	0	2,10E+00	3,72E-01	346,04	2,07E+00	124,392	8,51E+00
-169,5	0	2,10E+00	3,75E-01	346,069	2,06E+00	124,425	8,44E+00
-169,4	0	2,10E+00	3,78E-01	346,098	2,06E+00	124,458	8,37E+00
-169,3	0	2,09E+00	3,81E-01	346,128	2,06E+00	124,492	8,30E+00
-169,2	0	2,09E+00	3,84E-01	346,157	2,06E+00	124,525	8,23E+00
-169,1	0	2,09E+00	3,87E-01	346,187	2,05E+00	124,559	8,16E+00
-169	0	2,09E+00	3,90E-01	346,217	2,05E+00	124,594	8,09E+00
-168,9	0	2,09E+00	3,92E-01	346,248	2,05E+00	124,628	8,03E+00
-168,8	0	2,09E+00	3,95E-01	346,279	2,05E+00	124,663	7,96E+00
-168,7	0	2,08E+00	3,98E-01	346,31	2,05E+00	124,699	7,90E+00
-168,6	0	2,08E+00	4,01E-01	346,342	2,04E+00	124,734	7,84E+00
-168,5	0	2,08E+00	4,04E-01	346,374	2,04E+00	124,77	7,78E+00
-168,4	0	2,08E+00	4,07E-01	346,406	2,04E+00	124,806	7,72E+00
-168,3	0	2,08E+00	4,10E-01	346,438	2,04E+00	124,842	7,66E+00

⋮
⋮
⋮

175	0	2,16E+00	1,90E-01	164,92	2,15E+00	123,077	1,71E+01
175,1	0	2,16E+00	1,86E-01	164,907	2,16E+00	123,062	1,75E+01
175,2	0	2,16E+00	1,82E-01	164,895	2,16E+00	123,046	1,78E+01
175,3	0	2,16E+00	1,79E-01	164,882	2,16E+00	123,031	1,82E+01
175,4	0	2,17E+00	1,75E-01	164,87	2,16E+00	123,016	1,86E+01
175,5	0	2,17E+00	1,71E-01	164,858	2,16E+00	123,002	1,90E+01
175,6	0	2,17E+00	1,67E-01	164,846	2,16E+00	122,987	1,94E+01
175,7	0	2,17E+00	1,64E-01	164,835	2,16E+00	122,974	1,98E+01
175,8	0	2,17E+00	1,60E-01	164,824	2,16E+00	122,96	2,03E+01
175,9	0	2,17E+00	1,56E-01	164,813	2,16E+00	122,947	2,08E+01
176	0	2,17E+00	1,53E-01	164,802	2,16E+00	122,934	2,13E+01
176,1	0	2,17E+00	1,49E-01	164,792	2,16E+00	122,921	2,19E+01
176,2	0	2,17E+00	1,45E-01	164,782	2,17E+00	122,909	2,24E+01
176,3	0	2,17E+00	1,41E-01	164,772	2,17E+00	122,897	2,30E+01
176,4	0	2,17E+00	1,38E-01	164,763	2,17E+00	122,885	2,37E+01
176,5	0	2,17E+00	1,34E-01	164,754	2,17E+00	122,874	2,43E+01
176,6	0	2,17E+00	1,30E-01	164,745	2,17E+00	122,863	2,50E+01
176,7	0	2,17E+00	1,26E-01	164,736	2,17E+00	122,852	2,58E+01
176,8	0	2,17E+00	1,23E-01	164,728	2,17E+00	122,842	2,66E+01
176,9	0	2,17E+00	1,19E-01	164,72	2,17E+00	122,832	2,74E+01
177	0	2,17E+00	1,15E-01	164,712	2,17E+00	122,822	2,83E+01
177,1	0	2,18E+00	1,11E-01	164,704	2,17E+00	122,813	2,93E+01
177,2	0	2,18E+00	1,07E-01	164,697	2,17E+00	122,804	3,03E+01
177,3	0	2,18E+00	1,04E-01	164,69	2,17E+00	122,795	3,15E+01
177,4	0	2,18E+00	9,98E-02	164,684	2,17E+00	122,786	3,27E+01
177,5	0	2,18E+00	9,60E-02	164,677	2,17E+00	122,778	3,40E+01
177,6	0	2,18E+00	9,22E-02	164,671	2,18E+00	122,77	3,54E+01
177,7	0	2,18E+00	8,84E-02	164,665	2,18E+00	122,763	3,69E+01
177,8	0	2,18E+00	8,46E-02	164,66	2,18E+00	122,756	3,86E+01
177,9	0	2,18E+00	8,07E-02	164,655	2,18E+00	122,749	4,04E+01
178	0	2,18E+00	7,69E-02	164,65	2,18E+00	122,742	4,24E+01
178,1	0	2,18E+00	7,31E-02	164,645	2,18E+00	122,736	4,46E+01
178,2	0	2,18E+00	6,93E-02	164,641	2,18E+00	122,73	4,71E+01
178,3	0	2,18E+00	6,54E-02	164,637	2,18E+00	122,725	4,99E+01
178,4	0	2,18E+00	6,16E-02	164,633	2,18E+00	122,719	5,30E+01
178,5	0	2,18E+00	5,78E-02	164,63	2,18E+00	122,714	5,65E+01
178,6	0	2,18E+00	5,39E-02	164,627	2,18E+00	122,71	6,05E+01
178,7	0	2,18E+00	5,01E-02	164,625	2,18E+00	122,705	6,52E+01
178,8	0	2,18E+00	4,62E-02	164,623	2,18E+00	122,701	7,06E+01
178,9	0	2,18E+00	4,24E-02	164,622	2,18E+00	122,698	7,70E+01
179	0	2,18E+00	3,85E-02	164,621	2,18E+00	122,694	8,47E+01
179,1	0	2,18E+00	3,47E-02	164,621	2,18E+00	122,691	9,41E+01
179,2	0	2,18E+00	3,08E-02	164,621	2,18E+00	122,689	1,00E+02
179,3	0	2,18E+00	2,70E-02	164,623	2,18E+00	122,686	1,00E+02
179,4	0	2,18E+00	2,31E-02	164,626	2,18E+00	122,684	1,00E+02
179,5	0	2,18E+00	1,93E-02	164,632	2,18E+00	122,682	1,00E+02
179,6	0	2,18E+00	1,54E-02	164,642	2,18E+00	122,681	1,00E+02
179,7	0	2,18E+00	1,16E-02	164,658	2,18E+00	122,68	1,00E+02
179,8	0	2,18E+00	7,70E-03	164,693	2,18E+00	122,679	1,00E+02
179,9	0	2,18E+00	3,85E-03	164,799	2,18E+00	122,678	1,00E+02
180	0	2,181	0,00001735	121,232	2,181	122,678	100

Ket :

Data yang diinputkan sebagai $el\text{pat}(u)$ untuk elemen CUP adalah data nilai Abs (E) (V/m) pada kolom ke 3.

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN 5

```
clear all;
clc;
close all;

% Program GA untuk PAIRED TOP-TEN RANGKING BASED CROSSOVER
% Jumlah Gen = 30

% 1. PENGKODEAN PARAMETER

N=30;    %jumlah elemen dalam 1 individu
M=20;    %jumlah individu
d=0.5;   % jarak antar elemen
theta_zero=0;    % sudut keterarahan antena
delta_s = -2*pi*d*cos(theta_zero);

% elemen pattern
theta=0:0.1:180;
filename = 'EField_single.xlsx';
xlRange = 'C904:C2704';
Et = xlsread(filename,xlRange);
P=Et';
T=ones(1,20);
EleP=T'*P;

% Matriks A (20 x 30)
% A = randi([0 1], 20,30);
b = randi([0 1], 20,28);
c = ones(20,1);
An = [c b c];          % bit awal dan akhir bernilai 1, tengah
random

% Matriks posisi (20 x 30)
x = 1:30;              % jumlah posisi untuk elemen dalam 1
individu
n = (ones(1801,1) * x)'; % jumlah posisi sebanyak 30x181
pos = n*d;             % Posisi yaitu jumlah posisi x jarak

% Matriks Phi (20 x 181)
ydeg = linspace(0,180,1801); % dalam degree
yrad = deg2rad(ydeg);       % dalam rad
phi = ones(30,1) * yrad;
%=====
=====

% 2. PERHITUNGAN NILAI OBJECTIVE FUNCTION

for Generasi=1:200
% Perhitungan nilai Far Field
    w = abs(An*(cos(2*pi*(pos.*cos(phi))+delta_s)));
    FF_un = w.*EleP;
    for m=1:20

        FFnorm(m,:) = FF_un(m,:)/max(FF_un(m,:));
    end
end
```

```

        FFdB(m,:) = 20 * log10(FFnorm(m,:)); % Hasilnya : nilai FFdB
        untuk matrix 20x181
    end

    % Menentukan Peak SLL dari 20 individu

for m = 1:20
    [q, indq] = sort((findpeaks(FFdB(m,:))), 'descend');
    MainB(m) = q(1); % Mainbeam 20 baris
    indexMainB(m) = indq(1); % index Mainbeam 20 baris

    SLL(m) = q(2); % SLL 20 baris
    indexSLL(m) = indq(2); % index SLL 20 baris
    m = m + 1;
end

end

%=====
%=====

% 3. MERANGKING PEAK SLL DARI SEMUA INDIVIDU

[RankSLL, NoIndividuSLL] = sort(SLL, 'ascend');
RankSLLortu = RankSLL(1:10);
% Hasilnya : diperoleh ranking dari 20 individu berdasarkan nilai
SLL
SLLrank_gab(1, Generasi) = RankSLL(1, 1);

%=====
%=====

% 4. BUANG SETENGAH INDIVIDU DAN SISAKAN SETENGAH TERBAIK

IndividuTerbaik = NoIndividuSLL(1:10);
AnTerbaik = An(IndividuTerbaik, :);
Orangtua = AnTerbaik;
% Hasilnya : diperoleh individu terbaik sebagai orangtua

%=====
%=====

% 5. CROSSOVER (PINDAH SILANG) DAN MENGHASILKAN OFFSPRING

% Pindah Silang 1
JumGen = 30;
Pa1 = Orangtua(1, :);
Ma1 = Orangtua(2, :);

TP1 = randi([2, 29]);
Anak(1, :) = [Pa1(1:TP1) Ma1(TP1+1:JumGen)];
Anak(2, :) = [Ma1(1:TP1) Pa1(TP1+1:JumGen)];

% Pindah Silang 2
JumGen = 30;
Pa2 = Orangtua(3, :);

```

```

Ma2=Orangtua(4,:);

TP2=randi([2,29]);
Anak(3,:)=[Pa2(1:TP2) Ma2(TP2+1:JumGen)];
Anak(4,:)=[Ma2(1:TP2) Pa2(TP2+1:JumGen)];

% Pindah Silang 3
JumGen=30;
Pa3=Orangtua(5,:);
Ma3=Orangtua(6,:);

TP3=randi([2,29]);
Anak(5,:)=[Pa3(1:TP3) Ma3(TP3+1:JumGen)];
Anak(6,:)=[Ma3(1:TP3) Pa3(TP3+1:JumGen)];

% Pindah Silang 4
JumGen=30;
Pa4=Orangtua(7,:);
Ma4=Orangtua(8,:);

TP4=randi([2,29]);
Anak(7,:)=[Pa4(1:TP4) Ma4(TP4+1:JumGen)];
Anak(8,:)=[Ma4(1:TP4) Pa4(TP4+1:JumGen)];

% Pindah Silang 5
JumGen=30;
Pa5=Orangtua(9,:);
Ma5=Orangtua(10,:);

TP5=randi([2,29]);
Anak(9,:)=[Pa5(1:TP5) Ma5(TP5+1:JumGen)];
Anak(10,:)=[Ma5(1:TP5) Pa5(TP5+1:JumGen)];

%=====
=====

% 6. MENGURUTKAN ORTU DAN ANAK
GenOrtuAnak=[Orangtua;Anak]; %Gen Ortu dan anak (sblm
rangking)

%=====
=====

% 7. Mutasi
Pmutasi=0.1;
Anak_Mut = GenOrtuAnak;
% Anak_Mut=GenOA;
for ii=1:20,
    if rand<Pmutasi % random kecil dari
Pmutasi
        TMut=randi([2,29]); % titik mutasi
        if Anak_Mut(ii,TMut)==0 % jika mengalami mutasi 0
diubah menjadi 1
            Anak_Mut(ii,TMut)=1;
        else

```

```

        Anak_Mut(ii, TMut)=0;          % jika tidak maka 0
    end
end
end

%Gen Anak hasil mutasi dan Gen Orangtua tanpa mutasi
GenAkhir=[Anak_Mut];

%=====
% 8. Generational Replacement
% An=OrtuAnak_Mut;
  An=GenAkhir;

  Best = An(1,:);

  % Rangking Nilai SLL terbaik dari 100 generasi
  [rankgenerasi, indrankG]=sort((SLLrank_gab), 'ascend');

end

ww = abs(Best*(cos(2*pi*(pos.*cos(phi))+delta_s)));
FF_unBest=ww.*P;
FFnormBest=FF_unBest/max(FF_unBest);
FFdB_Best=20*log10(FFnormBest); % Hasilnya : nilai FFdB untuk
matrix 20x181

% Plot Far Field
figure(1)
plot(ydeg, FFdB_Best)
xlabel('u(deg)')
ylabel('far field in dB')
axis([-0 180 -30 0]);

% Optimasi fungsi AG dengan grafis 2 dimensi
scale= 1:1:200;
figure(2);
plot(scale, SLLrank_gab)
% title('Optimasi fungsi menggunakan AG standar 2D')
xlabel('Generation')
ylabel('Best Peak SLL (dB)')

```

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

Penulis telah menyelesaikan pendidikan jenjang S1 Di Universitas Negeri Padang dengan jurusan Teknik Elektronika, Lulus pada September 2015 dan terdaftar sebagai mahasiswa Program Pasca Sarjana Program Strata Dua (S2) Tahun 2016 pada Bidang Studi Telekomunikasi Multimedia di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS).



Penulis telah mengikuti Seminar Tesis dengan judul **“Perancangan Antena Thinned Linear Array dengan Elemen Cavity Backed U-Slot Patch (CUP) Untuk Meminimalkan Jumlah Elemen dan Peak Sidelobe Level (PSLL)”** pada 23 Desember 2016 dan Ujian Tesis pada 8 Juni 2017 sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Teknik (M.T).

Nama : Novalia Pertiwi
Alamat : Ds. Sandaran Galeh, Kec. Kumun Debai, Kota Sungai Penuh, Provinsi Jambi
Tempat, tgl lahir : Sungai Penuh, 20 November 1993
Agama : Islam
No. Telepon : 085268239300
Email : novaliapertiwi20@gmail.com

Riwayat Pendidikan :

1. SDN 36 Kumun Hilir Kota Sungai Penuh (1999-2005)
2. SMP Negeri 3 Kota Sungai Penuh (2005-2008)
3. SMA Negeri 2 Kota Sungai Penuh (2008-2011)
4. Universitas Negeri Padang (2011-2015)
5. Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya (ITS) (2016-2017)