

**PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ANTENA MIKROSTRIP  
ANNULAR RING ARRAY FREKUENSI 2,4 GHz**

**SKRIPSI**

**KONSENTRASI TEKNIK TELEKOMUNIKASI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh :

**YUSUF MULYO**

**NIM. 0710632005**

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN NASIONAL**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**

**FAKULTAS TEKNIK**

**MALANG**

**2010**

## LEMBAR PERSETUJUAN

### PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ANTENA MIKROSTRIP ANNULAR RING ARRAY FREKUENSI 2,4 GHz

#### SKRIPSI

#### KONSENTRASI TEKNIK TELEKOMUNIKASI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh :  
**YUSUF MULYO**  
NIM. 0710632005

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

**Dosen Pembimbing I**

**Dosen Pembimbing II**

**Ir. Erfan Achmad Dahlan, MT.**  
NIP. 19530714 198203 1 003

**Ali Mustofa, ST., MT.**  
NIP. 19710601 200003 1 001

**LEMBAR PENGESAHAN**

**PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ANTENA MIKROSTRIP  
ANNULAR RING ARRAY FREKUENSI 2,4 GHz**

**SKRIPSI**

**KONSENTRASI TEKNIK TELEKOMUNIKASI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh:

**YUSUF MULYO**

**NIM. 0710632005**

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada  
Tanggal 3 Agustus 2010

**Majelis Penguji :**

**M. Fauzan E.P., ST., MT.**  
**NIP. 19710609 200002 1 001**

**Dwi Fadila K., ST., MT.**  
**NIP. 19720630 200003 1 002**

**Rudy Yuwono, ST., M.Sc.**  
**NIP. 19710615 199802 1 003**

Mengetahui,  
Ketua Jurusan Teknik Elektro

**Rudy Yuwono, ST., M.Sc.**  
**NIP. 19710615 199802 1 003**

## PENGANTAR

*Alhamdulillah*, segenap puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT. Yang telah melimpahkan rahmat, hidayah, ridho, nikmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan judul “**Perancangan dan Pembuatan Antena Mikrostrip Annular Ring Array Frekuensi 2,4 GHz**”. Tidak lupa shalawat serta salam semoga senantiasa tercurahkan untuk Rasulullah Muhammad SAW beserta keluarga, sahabat, kerabat dan para pengikutnya sampai akhir jaman.

Dengan kesungguhan dan rasa rendah hati, penyusun mengucapkan terima kasih kepada Bapak Ir. Erfan Achmad Dahlan, MT. dan Bapak Ali Mustofa, ST., MT. sebagai dosen pembimbing atas saran, konsultasi, motivasi, kesabaran dan waktu yang telah dicurahkan dalam pengerjaan hingga penyelesaian tugas akhir ini. Tidak terkecuali, ucapan terima kasih penulis haturkan kepada :

1. Bapak Rudy Yuwono, ST. MSc. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro.
2. Bapak Azis Muslim, ST., MT., Ph.D selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro.
3. Bapak Ali Mustofa, ST., MT. selaku Ketua Kelompok Dosen dan Keahlian Teknik Telekomunikasi.
4. Bapak, Ibu dosen serta segenap staf dan karyawan Jurusan Teknik Elektro baik secara langsung maupun tidak langsung yang telah banyak membantu dalam menyelesaikan skripsi ini.
5. Kedua orang tuaku dan seluruh keluargaku tersayang, terima kasih atas doa, kasih sayang, materi, perhatian serta memberikan dorongan salami ini.
6. Bapak Koesmarijanto selaku Kepala Laboratorium Telekomunikasi Politeknik Negeri Malang.
7. Sahabat-sahabat yang telah membantu memberikan saran-saran dari awal hingga akhir pengerjaan skripsi ini, Naning, Bachtiar, Dani, Iqbal, Dodo,

Hifni,. Terima kasih atas dukungan, semangat, kebersamaan, bantuan ilmu, doa serta perhatiannya.

8. Seluruh rekan mahasiswa Jurusan Teknik Elektro terima kasih atas dukungannya.
9. Teman-teman *in the khos* : anang, fandi, willy, risman, jefry, panto, terimakasih atas dukungan, semangat, kebersamaan, materi dan doanya.
10. Semua pihak yang tidak dapat kami sebutkan satu persatu. Terima kasih, sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan sebaik – baiknya.

Penyusun menyadari bahwa yang tersusun dalam skripsi ini masih banyak kekurangan-kekurangan dan jauh dari sempurna, hal ini tidak lain karena keterbatasan materi dan pengetahuan yang dimiliki penyusun. Karena itu kritik dan saran sangat kami harapkan demi kesempurnaan penyusunan skripsi ini.

Akhir kata, penulis mengharapkan semoga yang terdapat dalam skripsi ini bermanfaat untuk kita semua, rekan-rekan mahasiswa khususnya dan bagi seluruh pembaca pada umumnya.

Malang, Agustus 2010

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>PENGANTAR</b> .....	i
<b>DAFTAR ISI</b> .....	iii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	vii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	x
<b>ABSTRAK</b> .....	xi
<b>BAB I. PENDAHULUAN</b>	
1.1.Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	2
1.3. Batasan Masalah .....	2
1.4. Tujuan .....	3
1.5.Sistematika penulisan .....	3
<b>BAB II. DASAR TEORI</b>	
2.1. Konsep Dasar Antena .....	5
2.2. Parameter Antena .....	5
2.2.1. Polarisasi .....	6
2.2.1.1. Polarisasi Linier .....	7
2.2.1.2. Polarisasi Lingkaran .....	7
2.2.1.3. Polarisasi Elips .....	8
2.2.2. Daerah Medan Radiasi .....	9
2.2.3. Pola Radiasi .....	10
2.2.4. <i>Lobe-lobe</i> Pola Radiasi dan Beamwidth .....	11
2.2.5. <i>Directivity</i> (Keterarahan) .....	12
2.2.6. <i>Gain</i> Antena (Penguatan) .....	13
2.2.7. <i>Return Loss</i> .....	14
2.2.8. VSWR (Voltage Standing Wave Ratio) .....	14
2.2.9. <i>Bandwidth</i> .....	15

2.2.10. Impedansi Input .....	16
2.3. Bentuk Antena Mikrostrip .....	18
2.3.1. Teknik Pencatuan Antena .....	20
2.3.1.1. Mikrostrip <i>Line Feed</i> .....	20
2.3.1.2. <i>Coaxial Feed</i> .....	21
2.3.2. Antena Mikrostrip <i>Annular Ring</i> .....	22
2.3.3. Dimensi Elemen Peradiasi .....	23
2.3.4. Impedansi Masukkan .....	24
2.3.5. Penyesuaian Impedansi ( <i>Matching Impedance</i> ) .....	24
2.3.6. Dimensi Saluran Transmisi .....	25
2.3.7. Dimensi Saluran <i>Transformer</i> .....	25
2.3.8. Jarak Antar Elemen .....	26
2.4. Antena <i>Array</i> .....	26
2.4.1. Faktor <i>Array</i> .....	27
2.4.2. Antena <i>Array</i> dua Elemen .....	28
2.5. <i>Wireless Local area Network (WLAN)</i> .....	30
2.5.1. Standar IEEE 802.11 .....	31

### **BAB III. METODOLOGI**

3.1. Studi Literatur .....	33
3.2. Pengumpulan Data .....	33
3.3. Perancangan dan Simulasi .....	34
3.4. Pengukuran .....	35
3.5. Analisis Antena .....	37
3.6. Pengambilan Kesimpulan dan Saran .....	37

### **BAB IV. PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ANTENA MIKROSTRIP ANNULAR RING ARRAY**

4.1. Tinjauan Umum .....	38
4.2. Spesifikasi Substrat dan Bahan Konduktor .....	38
4.3. Perancangan Dimensi Elemen Peradiasi .....	39

4.4. Perancangan Dimensi Saluran Transmisi .....	40
4.5. Simulasi dan Optimasi Satu Elemen Peradiasi .....	41
4.6. Perancangan dan Simulasi Antena Mikrostrip <i>Array</i> Dua Elemen .....	46
4.7. Perancangan dan Simulasi Antena Mikrostrip <i>Array</i> Empat Elemen.....	56
4.8 Analisis Hasil Simulasi .....	66
4.9. Pembuatan Antena Mikrostrip .....	66
4.9.1. Alat-alat dan Bahan yang Digunakan .....	67
4.9.2. Pencetakan Pola Antena Mikrostrip pada Substrat .....	67
4.9.3. <i>Etching</i> (Pelarutan) .....	68
4.9.4. Penyolderan .....	68

## **BAB V. PENGUJIAN DAN ANALISIS HASIL PENGUKURAN ANTENA MIKROSTRIP ANNULAR RING ARRAY**

5.1. Pendahuluan .....	69
5.2. Pengukuran <i>Return Loss</i> , perhitungan VSWR, dan Koefisien Pantul .....	69
5.2.1. Alat-alat yang digunakan .....	69
5.2.2. Prosedur Pengukuran .....	70
5.2.3. Hasil Pengukuran .....	71
5.2.4. Analisa Hasil Pengukuran .....	73
5.3. Pengukuran <i>Gain</i> Antena .....	73
5.3.1. Alat-alat yang digunakan .....	73
5.3.2. Prosedur Pengukuran .....	73
5.3.3. Hasil Pengukuran .....	74
5.3.4. Analisa Hasil Pengukuran .....	75
5.4. Pengukuran Polarisasi .....	76
5.4.1. Alat-alat yang digunakan .....	76
5.4.2. Prosedur Pengukuran .....	76
5.4.3. Hasil Pengukuran .....	77
5.4.4. Analisa Hasil Pengukuran .....	79
5.5. Pengukuran Pola Radiasi .....	80
5.5.1. Alat-alat yang digunakan .....	80



5.5.2. Prosedur Pengukuran .....	80
5.5.3. Hasil Pengukuran .....	81
5.5.4. Analisa Hasil Pengukuran .....	85
5.6. Perhitungan Keterarahan ( <i>Directivity</i> ) .....	85
5.6.1. Cara Perhitungan .....	85
5.6.2. Hasil Perhitungan .....	86
5.7. Perhitungan <i>Bandwidth</i> .....	86
5.8. Analisis Parameter Antena .....	86
<b>BAB VI. PENUTUP</b>	
6.1. Kesimpulan .....	88
6.2. Saran .....	89
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	90
<b>LAMPIRAN</b>	



## DAFTAR GAMBAR

No	Judul	Halaman
Gambar 2.1.	Gelombang dengan Polarisasi Linier	6
Gambar 2.2a.	Polarisasi Linier Vertikal	7
Gambar 2.2b.	Polarisasi Linier Vertikal	7
Gambar 2.3a.	<i>Right Hand Circular Polarization</i>	8
Gambar 2.3b.	<i>Left Hand Circular Polarization</i>	8
Gambar 2.4.	Pembagian Daerah Medan Radiasi Antena	9
Gambar 2.5.	Pola Medan Radiasi Antena	11
Gambar 2.6.	Pengukuran <i>Bandwidth</i> Berdasarkan <i>Plot Return Loss</i>	12
Gambar 2.7.	Rangkaian ekivalen Antena Pemancar	17
Gambar 2.8.	Struktur antena Mikrostrip	18
Gambar 2.9.	Macam-macam Bentuk Elemen Mikrostrip	19
Gambar 2.10.	Mikrostrip <i>Line Feed</i>	21
Gambar 2.11.	Metode <i>Coaxial Feed</i>	21
Gambar 2.12.	Struktur Antena mikrostrip <i>Annular ring</i>	22
Gambar 2.13.	Tabel dari persamaan karakteristik <i>annular ring</i>	23
Gambar 2.14.	Penggunaan <i>transformer</i> untuk <i>matching</i> saluran transmisi	25
Gambar 2.15.	Pengaturan <i>feed</i> pada antena mikrostrip <i>array</i>	27
Gambar 2.16.	Bentuk Antena Susun Linier Faktor Array	28
Gambar 2.17.	Superposisi Vektor Medan Elektrik <i>Array</i> Dua Elemen	29
Gambar 2.18.	Pola Radiasi <i>array</i> dipole dua elemen beda Fase Nol Derajat	30
Gambar 4.1.	Antena Mikrostrip <i>Annular Ring Array</i> Satu Elemen	41
Gambar 4.2.	Grafik Hasil Simulasi VSWR Satu Elemen Sebelum Optimasi	42
Gambar 4.3.	Hasil Optimasi Satu Elemen Peradiasi	44

Gambar 4.4.	Hasil Simulasi <i>Return Loss</i> satu Elemen setelah optimasi	44
Gambar 4.5.	Hasil Simulasi VSWR satu Elemen setelah optimasi	45
Gambar 4.6.	Hasil Simulasi <i>gain</i> satu Elemen setelah optimasi	45
Gambar 4.7.	Hasil Simulasi <i>directivity</i> satu Elemen setelah optimasi	46
Gambar 4.8.	Antena Mikrostrip <i>Annular Ring Array</i> Dua Elemen	47
Gambar 4.9.	Antena <i>Array</i> Dua Elemen Sebelum Optimasi	49
Gambar 4.10.	Hasil Simulasi <i>Return Loss Array</i> Dua Elemen Sebelum Optimasi	50
Gambar 4.11.	Hasil Simulasi VSWR <i>Array</i> Dua Elemen Sebelum Optimasi	51
Gambar 4.12.	Antena <i>Array</i> Dua Elemen Setelah Optimasi	52
Gambar 4.13.	Hasil Simulasi <i>Return Loss Array</i> Dua Elemen Setelah Optimasi	53
Gambar 4.14.	Hasil Simulasi VSWR <i>Array</i> Dua Elemen Setelah Optimasi	54
Gambar 4.15.	Hasil Simulasi <i>gain Array</i> Dua Elemen Setelah Optimasi	55
Gambar 4.16.	Hasil Simulasi <i>directivity Array</i> Dua Elemen Setelah Optimasi	55
Gambar 4.17.	Hasil Simulasi <i>Gain Pattern</i> 3D Antena <i>Array</i> Dua Elemen	56
Gambar 4.18.	Antena Mikrostrip <i>Annular Ring Array</i> Empat Elemen	56
Gambar 4.19.	Antena <i>Array</i> Empat Elemen Sebelum Optimasi	59
Gambar 4.20.	Hasil Simulasi <i>Return Loss Array</i> Empat Elemen Sebelum Optimasi	60
Gambar 4.21.	Hasil Simulasi VSWR <i>Array</i> Empat Elemen Sebelum Optimasi	60
Gambar 4.22.	Antena <i>Array</i> Empat Elemen Setelah Optimasi	62
Gambar 4.23.	Hasil Simulasi <i>Return Loss Array</i> Empat Elemen Setelah Optimasi	63
Gambar 4.24.	Hasil Simulasi VSWR <i>Array</i> Empat Elemen Setelah Optimasi	63

Gambar 4.25.	Hasil Simulasi <i>Gain</i> Antena Array Empat Elemen Setelah Optimasi	64
Gambar 4.26.	Hasil Simulasi Optimasi Nilai <i>Directivity</i> Array Empat Elemen	65
Gambar 4.27.	<i>Gain Pattern</i> 3D <i>Annular Ring</i> Array Empat Elemen	65
Gambar 5.1.	Rangkaian Pengukuran <i>Return Loss</i>	70
Gambar 5.2.	Grafik Fungsi <i>Return Loss</i> Terhadap Frekuensi	72
Gambar 5.3.	Grafik Fungsi Koefisien Pantul Terhadap Frekuensi	72
Gambar 5.4.	Grafik Fungsi VSWR Terhadap Frekuensi	73
Gambar 5.6.	Rangkaian Pengukuran <i>Gain</i> Antena	74
Gambar 5.7.	Rangkaian Pengukuran Polarisasi Antena	76
Gambar 5.8.	Diagram Polar Polarisasi Antena Mikrostrip <i>Annular Ring</i> Array	79
Gambar 5.9.	Rangkaian Pengukuran Pola Radiasi Antena	80
Gambar 5.10.	Pola Radiasi Horizontal Antena Mikrostrip <i>Annular Ring</i> Array	84
Gambar 5.11.	Pola Radiasi Vertikal Antena Mikrostrip <i>Annular Ring</i> Array	84

## DAFTAR TABEL

No	Judul	Halaman
Tabel 2.1.	Standar IEEE 802.11	32
Tabel 4.1.	Hasil optimasi Dimensi Elemen Peradiasi dengn Frekuensi Kerja	43
Tabel 4.2.	Hasil Optimasi dengan Nilai VSWR	43
Tabel 4.3.	Hasil Optimasi $L_{1a}$ , $L_{1b}$ , dan $L_2$ , $L_3$ dengan Nilai VSWR dan <i>bandwidth</i>	52
Tabel 4.4.	Hasil Optimasi $L_1$ , $L_2$ , $L_3$ , dan $L_4$ dengan Nilai VSWR dan <i>bandwidth</i>	61
Tabel 4.5.	Perbandingan Jumlah Elemen Radiasi Hasil Simulasi Antena <i>Annular Ring Array</i>	66
Tabel 5.1.	Hasil Pengukuran VSWR Antena Mikrostrip <i>Annular Ring Array</i>	71
Tabel 5.2.	Hasil pengukuran <i>Gain</i> Antena Mikrostrip <i>Annular Ring Array</i>	75
Tabel 5.3.	Hasil Pengukuran Polarisasi Antena Mikrostrip <i>Annular Ring Array</i>	78
Tabel 5.4.	Hasil Pengukuran Pola Radiasi Horizontal Antena Mikrostrip <i>Annular Ring Array</i>	82
Tabel 5.5.	Hasil Pengukuran Pola Radiasi Vertikal Antena Mikrostrip <i>Annular Ring Array</i>	83
Tabel 5.6.	Karakteristik Antena Mikrostrip <i>Annular Ring Array</i> Hasil Pengukuran	87

## ABSTRAK

**YUSUF MULYO, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Agustus 2010, *Perancangan dan Pembuatan Antena Mikrostrip Annular Ring Array Frekuensi 2,4 GHz*. Dosen Pembimbing : Ir. Erfan Achmad Dahlan, MT. dan Ali Mustofa, ST., MT.**

Untuk memenuhi kebutuhan akan teknologi komunikasi khususnya *wireless* LAN diperlukan sebuah antena yang dapat menopang kebutuhan tersebut. Maka dari itu diperlukan antena yang memiliki karakteristik dimensi kecil dan antena tipe mikrostrip menjadi pilihan utama. Antena Mikrostrip menjadi pilihan didalam berbagai aplikasi gelombang mikro karena bentuknya sederhana, efisien, ekonomis dan mudah pembuatannya. Penelitian yang dilakukan menggunakan antena mikrostrip dengan bentuk *annular ring* yang disusun secara *array* untuk menambah penguatan.

Pada perancangan dan pembuatan antena digunakan substrat *Epoxy Fiberglass* FR-4 dengan konstanta dielektrik ( $\epsilon_r$ ) = 4,5. Elemen peradiasi berbentuk *annular ring* yang disusun secara *array*. Antena hasil perancangan disimulasikan dengan *software* simulator IE3D™. Parameter yang digunakan untuk menilai kerja antena adalah VSWR, *return loss*, *gain*, *directivity*. Untuk mendapatkan parameter yang diinginkan, dilakukan optimasi dengan mengubah dimensi antena dan saluran transmisi. *Gain* dan *bandwidth* dapat ditingkatkan dengan menambah jumlah elemen serta Optimasi juga dilakukan pada saluran transmisi antena. Setelah memenuhi parameter yang diinginkan, dilakukan fabrikasi antena dan dipengukuran terhadap parameter-parameter antena hasil fabrikasi tersebut.

Berdasarkan hasil pengukuran antena mikrostrip *Annular Ring Array* pada frekuensi 2400 MHz memiliki nilai *return loss* sebesar -16,1 dB dan nilai VSWR sebesar 1,371. Untuk nilai *gain* sebesar 3,45 dBi, dengan *bandwidth* sebesar 500 MHz, dengan *directivity* antena sebesar 15,06 dB, untuk bentuk polarisasi antena mikrostrip *Annular Ring Array* adalah polarisasi linier, serta bentuk pola radiasi adalah *unidirectional*.

Kata kunci : *Antena mikrostrip, annular ring, array, return loss, VSWR, gain, bandwidth.*

## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Kemajuan teknologi komunikasi data dan layanan multimedia menunjukkan perkembangan yang sangat pesat, Salah satu bentuk teknologi yang menunjukkan grafik perkembangan paling signifikan akhir-akhir ini adalah komunikasi yang bersifat *wireless*, mulai dari penggunaan komunikasi suara hingga komunikasi data yang juga menggunakan perangkat canggih yang semakin memudahkan pengiriman informasi. Banyak teknologi yang dikembangkan agar perangkat komunikasi yang digunakan dapat lebih mudah, lebih cepat dan lebih praktis dengan kualitas yang semakin baik. Teknologi komunikasi *wireless* berkembang semakin cepat dan beragam sehingga memunculkan berbagai standar teknologi baru, dari beberapa teknologi yang ada salahsatu diantaranya adalah komunikasi *Wireless LAN* (WLAN).

Untuk memenuhi kebutuhan akan teknologi komunikasi khususnya *wireless* diperlukan sebuah antena yang dapat menopang kebutuhan tersebut. Antena sangat berperan dalam perkembangan teknologi komunikasi *wireless* yang secara umum berfungsi sebagai pengubah gelombang terbimbing yang dilewatkan pada saluran transmisi menjadi gelombang ruang bebas dan sebaliknya. Peran antena sangatlah penting untuk mendapat perhatian khusus. Antena yang juga disebut sebagai *areal*, yaitu perangkat yang berfungsi untuk memancarkan atau menerima gelombang elektromagnetik dari media kabel ke udara atau sebaliknya udara ke media kabel. Adapun syarat-syarat antena yang baik yaitu impedansi input yang sesuai (*matched*) dengan impedansi karakteristik kabel pencatunya, dapat memancarkan dan menerima energi gelombang radio dengan arah dan polarisasi yang sesuai dengan aplikasi yang dibutuhkan.

Salah satu jenis antena yang berkembang saat ini adalah antena mikrostrip. Antena mikrostrip bekerja pada alokasi frekuensi UHF (300 MHz – 3 GHz)

sampai dengan X Band (5,2 GHz – 10,9 GHz), sehingga antenna mikrostrip dapat juga digunakan untuk antenna telepon selular/*wireless* maupun komunikasi satelit.

Antena Mikrostrip menjadi pilihan didalam berbagai aplikasi gelombang mikro karena bentuknya sederhana, efisien, ekonomis dan mudah pembuatannya. Antena mikrostrip merupakan antenna yang tersusun atas bagian lapisan tipis konduktor berbahan metal atau logam di atas sebuah substrat yang dapat merambatkan gelombang elektromagnetik sedang pada salah satu sisi lain dilapisi konduktor sebagai bidang pentanahan (*ground plane*).

Pada penulisan skripsi ini akan dirancang dan dibuat antenna mikrostrip dengan elemen peradiasinya berbentuk cincin (*annular ring*) menggunakan substrat FR4 dengan membuat komposisi elemen-elemen peradiasi dalam bentuk susun (*array*) dimaksudkan untuk menambah penguatan antenna mikrostrip. Frekuensi kerja yang direncanakan pada antenna mikrostrip ini adalah 2,4 GHz. Dalam perancangan dan pembuatan antenna mikrostrip *annular ring array* ini untuk simulasi dengan menggunakan *software* Zeland IE3D<sup>TM</sup>.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang ada, maka rumusan masalah yang akan dibahas adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang dan membuat antenna mikrostrip *annular ring array* pada frekuensi 2,4 GHz.
2. Bagaimana mensimulasikan antenna mikrostrip *annular ring array* dengan menggunakan program *Zeland IE3D<sup>TM</sup>*.
3. Bagaimana hasil pengukuran terhadap antenna untuk mengetahui performansi antenna yang meliputi *return loss*, *Voltage Standing Wave Ratio* (VSWR), koefisien pantul, *gain*, *directivity*, pola radiasi, dan polarisasi.

## 1.3 Batasan Masalah

Dalam skripsi ini pembahasan akan dititikberatkan pada perancangan dan pembuatan antenna mikrostrip *annular ring*, dengan batasan sebagai berikut:



1. Antena yang dirancang adalah antena mikrostrip *annular ring array* dengan nilai VSWR  $< 2$ , dengan frekuensi kerja 2,4 GHz.
2. Antena yang dirancang berfungsi sebagai antena penerima.
3. Pengukuran menggunakan *Signal Generator Aeroflex IFR 3413 250 kHz-3 GHz*, dan *Spectrum Analyzer GW Instek GSP-827 2,7 GHz*.
4. Hanya membahas cara-cara pengukuran antena mikrostrip *annular ring array* untuk mengetahui performansi kerja antena.
5. Pengukuran parameter antena meliputi *return loss*, VSWR, koefisien pantul, *gain*, *directivity*, pola radiasi, dan polarisasi.
6. Tidak membahas pola perambatan gelombang elektromagnetik serta rugi-rugi di ruang bebas.

#### 1.4 Tujuan

Tujuan dalam penulisan skripsi ini adalah merancang dan membuat antena mikrostrip *annular ring array* pada frekuensi kerja 2,4 GHz.

#### 1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang digunakan dalam penyusunan laporan skripsi ini adalah sebagai berikut :

##### BAB I Pendahuluan

Memuat latar belakang, rumusan masalah, ruang lingkup, tujuan, dan sistematika penulisan.

##### Bab II Tinjauan Pustaka

Memuat teori tentang parameter dasar antena dan teori dasar yang berhubungan dengan perancangan dan pembuatan antena mikrostrip.

##### BAB III Metodologi

Memuat tentang tahapan penyelesaian skripsi yang meliputi studi literatur, perancangan dan pembuatan, pengujian, pengambilan data, dan analisis serta pengambilan kesimpulan.

##### BAB IV Perancangan dan Pembuatan Antena Mikrostrip *Annular Ring Array*.

Memuat proses perancangan, simulasi dan pembuatan antena mikrostrip *anular ring array*.

#### BAB V Pengujian dan Analisis

Memuat tentang langkah-langkah pengujian dan hasilnya serta analisis berdasarkan hasil pengujian tersebut.

#### BAB VI Penutup

Memuat kesimpulan dan saran berdasarkan apa yang telah dicapai dalam penyelesaian skripsi.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



## BAB II

### DASAR TEORI

#### 2.1 Konsep Dasar Antena

Antena merupakan instrumen yang penting dalam suatu sistem komunikasi radio yang berfungsi sebagai sarana untuk memancarkan/meradiasikan dan menerima radiasi gelombang elektromagnetik (*IEEE standard Definitions of Terms 145-1983*). Dengan kata lain antena adalah media peralihan antara saluran transmisi dengan ruang bebas, yang mengubah energi dari gelombang yang dipandu menjadi energi gelombang elektromagnetik atau sebaliknya.

Antena adalah suatu media peralihan antara ruang bebas dengan piranti pemandu (dapat berupa kabel koaksial atau pemandu gelombang/*Waveguide*) yang digunakan untuk menggerakkan energi elektromagnetik dari sumber pemancar ke antena atau dari antena ke penerima. Berdasarkan hal ini maka antena dibedakan menjadi antena pemancar dan antena penerima (Balanis, 1982 :17).

Perancangan antena yang baik adalah ketika antena dapat mentransmisikan energi atau daya maksimum dalam arah yang diharapkan oleh penerima. Meskipun pada kenyataannya terdapat rugi-rugi yang terjadi ketika penjalaran gelombang seperti rugi-rugi pada saluran transmisi dan terjadi kondisi tidak *matching* antara saluran transmisi dan antena. Sehingga *matching* impedansi juga merupakan salah satu faktor penting yang harus dipertimbangkan dalam perancangan sebuah antena.

#### 2.2 Parameter Antena

Untuk menggambarkan performa dari suatu antena maka diperlukan pendefinisian berbagai parameter antena. Beberapa diantara parameter tersebut saling berhubungan dan semuanya tidak harus disebutkan untuk menggambarkan performa antena secara keseluruhan (Balanis, 1997 :28).

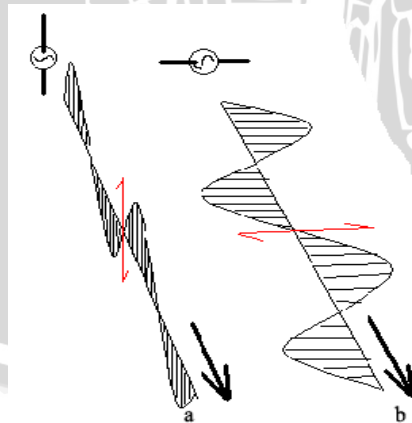
Terdapat beberapa karakteristik antenna yang perlu dan penting untuk diketahui dalam pemilihan maupun perancangan sebuah antenna. Karakteristik itu antara lain: pola radiasi, intensitas radiasi, polarisasi, *directivity*, *gain*, *bandwidth*, *VSWR*, *antena efficiency*, *input impedance*, dan *return loss*.

### 2.2.1 Polarisasi

Polarisasi merupakan salah satu parameter antenna yang digambarkan sebagai arah vektor gelombang medan elektrik yang diradiasikan. Polarisasi juga dapat diartikan sebagai arah getaran gelombang radio atau dalam bahasa yang lebih tepat adalah arah medan elektrik gelombang radio yang dibangkitkan dari sebuah antenna.

Secara umum medan elektrik antenna total (medan E) mempunyai dua komponen dalam satu bidang. Dua komponen medan E ini mungkin mempunyai besar dan arah sudut yang berbeda.

Kedua antenna, baik pada pemancar maupun pada penerima, harus memiliki polarisasi yang sama agar gelombang yang dipancarkan dapat diterima secara maksimum. Jika kedua antenna yang terpolarisasi secara linier tidak sama orientasinya, maka akan terjadi penurunan transfer energi akibat ketidaksetaraan (*mismatch*) polarisasi.



Gambar 2.1. Gelombang dengan polarisasi linier : (a) vertikal, (b) horisontal.

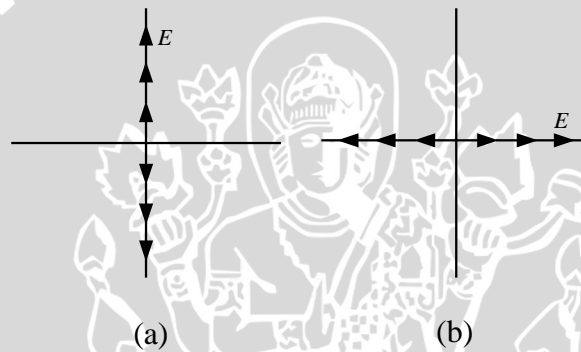
(Sumber:www.hp.com)

Polarisasi linier terbagi menjadi dua macam bentuk polarisasinya, yaitu polarisasi linier secara horisontal dan secara vertikal.

### 2.2.1.1 Polarisasi Linier

Suatu gelombang dikatakan terpolarisasi linier apabila vektor medan elektrik (atau medan magnetik) pada suatu titik selalu diorientasikan sepanjang garis lurus yang sama pada setiap waktu sesaat. Kondisi yang memenuhi hal ini adalah apabila vektor medan (elektrik atau magnetik) memiliki :

- Hanya satu komponen, atau
- Dua komponen *orthogonal linear* yang sefasa dalam waktu atau berbeda fasa sebesar  $180^\circ$  (atau kelipatannya).



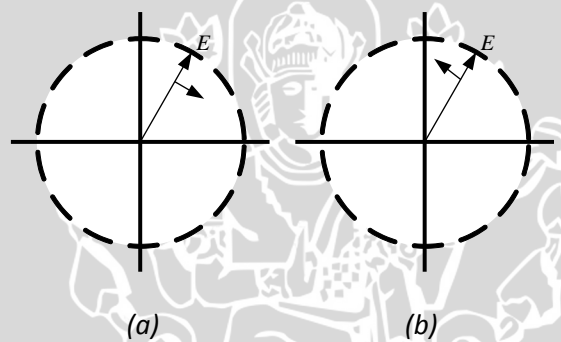
Gambar 2.2. a) Polarisasi Linier Vertikal  
b) Polarisasi Linear Horisontal  
(Sumber : Punit, 2004 : 21)

### 2.2.1.2. Polarisasi Lingkaran

Suatu gelombang dikatakan terpolarisasi lingkaran apabila vektor medan elektrik (atau medan magnetik) pada suatu titik membentuk suatu lingkaran sebagai fungsi waktu. Kondisi yang memenuhi hal ini adalah apabila vektor medan (elektrik atau magnetik) memiliki :

- Medan harus mempunyai dua komponen *orthogonal linear*, dan
- Kedua komponen harus mempunyai besaran yang sama, dan
- Kedua komponen harus mempunyai perbedaan fasa sebesar perkalian ganjil dari  $90^\circ$  dalam waktu.

Penentuan arah rotasi selalu ditentukan dengan merotasi komponen yang fasanya mendahului terhadap komponen yang tertinggal fasa dan mengamati rotasi medan seolah-olah gelombang tersebut terlihat bergerak menjauh dari pengamat. Jika rotasinya searah jarum jam, maka gelombang terpolarisasi sirkular sesuai kaidah tangan kanan; jika rotasinya berlawanan arah jarum jam, maka gelombang terpolarisasi sirkular menurut kaidah tangan kiri. Rotasi komponen mendahului fasa terhadap komponen tertinggal fasa harus dilakukan sepanjang pemisahan sudut diantara dua komponen yang kurang dari  $180^\circ$ . Fasa yang lebih besar atau sama dengan  $0^\circ$  dan kurang dari  $180^\circ$  akan dianggap mendahului sedangkan yang lebih besar dari atau sama dengan  $180^\circ$  dan kurang dari  $360^\circ$  akan dianggap tertinggal.



Gambar 2.3. : a) *Right hand circular polarization.*  
b) *Left hand circular polarization.*

(Sumber: : Punit, 2004 : 21)

### 2.2.1.3. Polarisasi Elips

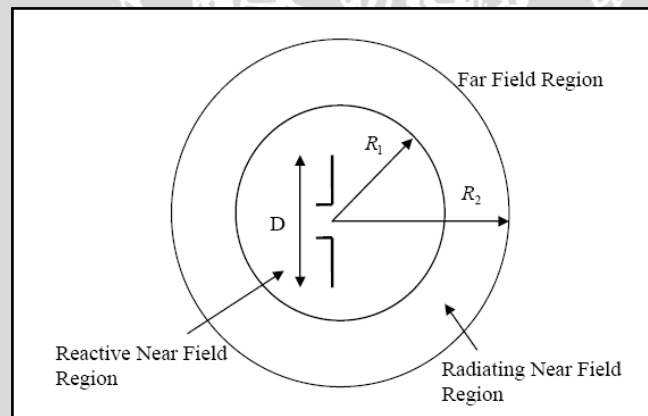
Suatu gelombang dikatakan terpolarisasi elips apabila ujung vektor medan elektrik (atau medan magnetik) pada suatu titik membentuk kedudukan elips dalam ruang. Pada variasi waktu sesaat, medan vektor berubah secara kontinyu seiring waktu dengan cara yang sama untuk menggambarkan tempat kedudukan elips. Arah rotasi ditentukan dengan menggunakan aturan yang sama seperti halnya pada polarisasi sirkular. Sebagai tambahan untuk mengetahui arah rotasi, gelombang yang terpolarisasi *elliptical* juga dinyatakan dengan rasio aksial yang besarnya merupakan perbandingan sumbu *major* terhadap sumbu *minor*nya.

Kondisi yang memenuhi hal ini adalah apabila vektor medan (elektrik atau magnetik) memiliki :

- a. Medan harus mempunyai dua komponen *orthogonal linear*, dan
- b. Kedua komponen dapat memiliki besaran yang sama atau berbeda.
- c. (1) Jika keduanya memiliki besaran yang berbeda, beda fasa-waktu diantara keduanya tidak boleh  $0^\circ$  atau perkalian  $180^\circ$  (karena akan bersifat linier).
- (2) Jika kedua komponen memiliki besaran yang sama, beda fasa-waktu diantara keduanya tidak boleh kelipatan bilangan ganjil dari  $90^\circ$  (karena akan bersifat *circular*).

### 2.2.2 Daerah Medan Radiasi

Daerah medan radiasi suatu antenna adalah daerah di mana radiasi antenna tersebut masih dapat diterima dengan baik. Daerah medan radiasi ini disebut juga jangkauan sinyal dari suatu antenna sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 2.4.



Gambar 2.4. Pembagian Daerah Medan Radiasi Antena

(Sumber : Balanis, 1997 :33)

dengan  $r_1 = 0,62\sqrt{D^3/\lambda}$  , (2-1)

$$r_2 = 2D^2/\lambda$$

$r_1$  dan  $r_2$  = jarak medan radiasi (m)

D = dimensi antenna (m)

Daerah medan radiasi terbagi menjadi tiga, yaitu :

- *Reactive Near-Field Zone*

Pada daerah ini, medan reaktif sangat mendominasi.

Batas daerah ini:

$$r < 0,62\sqrt{D^3/\lambda} \quad (2-2)$$

dengan  $r$  = jarak medan radiasi (m)

$\lambda$  = panjang gelombang (m)

$D$  = dimensi antenna (m)

- *Radiating Near-Field (Fresnel) Zone*

Adalah daerah medan di antara *reactive near field zone* dan *far field zone*.

Pada daerah ini, medan radiasi sangat berpengaruh. Dan distribusi medan sudut (*angular field distribution*) bergantung pada jarak dari antenna.

Batas daerah ini :

$$0,62\sqrt{D^3/\lambda} \leq \text{daerah Fresnel} < 2D^2/\lambda \quad (2-3)$$

- *Far-Field (Fraunhofer) Zone*

Adalah daerah medan antenna dengan distribusi medan sudut sangat tidak bergantung pada jarak dari antenna.

Batas daerah ini :

$$2D^2/\lambda \leq r < \infty \quad (2-4)$$

Pola medan pada daerah ini mempunyai komponen-komponen medan saling tegak lurus.

### 2.2.3 Pola Radiasi

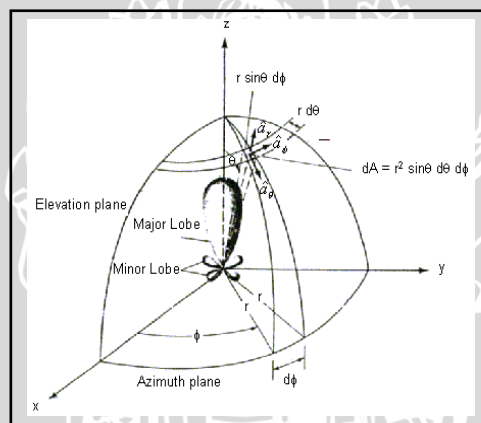
Karakteristik antenna seperti *beamwidth*, *Front to Back Ratio* (F/B) akan lebih mudah ditentukan bila diketahui bentuk pola radiasinya. Pola radiasi antenna



didefinisikan gambaran secara grafis sifat-sifat radiasi medan jauh dari antena sebagai fungsi koordinat ruang (tiga dimensi). Sifat-sifat radiasi ini meliputi intensitas radiasi, kuat medan, dan polarisasi (Balanis, 1982).

Pengukuran pola radiasi dilakukan dari sudut  $0^\circ$  sampai  $360^\circ$ . Hasil perhitungan dapat diplot pada grafik polar, yang selanjutnya dapat dicari nilai -3 dB *beamwidth* setengah dayanya. Nilai -3 dB *beamwidth* setengah daya yang telah diketahui diplot terhadap fungsi frekuensi kerja, baik untuk pola radiasi horisontal maupun pola radiasi vertikal.

Pola radiasi dapat diukur dengan menggerakkan *probe* antena di sekitar antena yang diukur pada jarak yang tetap, kemudian mencatat respons sebagai fungsi koordinat sudut  $(\theta, \phi)$  pada radius konstan.



Gambar 2.5. Pola Medan Radiasi Antena  
(Sumber: Balanis, 1982)

#### 2.2.4 Lobe-lobe Pola Radiasi dan Beamwidth

Pola radiasi terdiri dari *lobe-lobe* radiasi yang meliputi *Main Lobe* dan *Minor Lobe*. *Main Lobe* adalah arah radiasi maksimum antena. Sedangkan *Minor Lobe* yang terdiri dari *Side Lobe* dan *Back Lobe* adalah radiasi pada arah lain yang biasanya tidak dikehendaki.

Sebagian besar antena dirancang untuk mengkonsentrasikan energi pada satu arah tertentu. Ukuran konsentrasi pada *main lobe* tersebut dinamakan *Beamwidth*. *Half Power Beamwidth* (HPBW) didefinisikan sebagai sudut antara titik-titik di mana pada titik tersebut pancaran utama dari pola daya adalah

setengah daya maksimum. *Beam Area* adalah sudut solid dari daya yang diradiasikan antena, yang terdiri dari *main beam area* dan *minor-lobe beam area* dengan rumusan sebagai berikut (Kraus, 1988) :

$$\Omega_A \approx \Omega_M + \Omega_m \quad (\text{steradian}) \quad (2-5)$$

dengan :

$$\Omega_A = \text{beam area (steradian) atau (radian}^2\text{) atau (derajat}^2\text{)}$$

$$\Omega_M = \text{main beam area (steradian) atau (radian}^2\text{) atau (derajat}^2\text{)}$$

$$\Omega_m = \text{minor-lobe beam area (steradian) atau (radian}^2\text{) atau (derajat}^2\text{)}$$

dengan mengabaikan *minor lobe*, maka diperoleh (Kraus, 1988) :

$$\Omega_A \approx \theta_{HP} \cdot \phi_{HP} \quad (\text{steradian}) \quad (2-6)$$

atau

$$\Omega_A \approx 3283 \times \theta^{\circ}_{HP} \cdot \phi^{\circ}_{HP} \quad (\text{derajat}^2) \quad (2-7)$$

dengan:

$$\theta_{HP} = \text{half-power beam width pada bidang } \theta \text{ (radian)}$$

$$\phi_{HP} = \text{half-power beam width pada bidang } \phi \text{ (radian)}$$

$$\theta^{\circ}_{HP} = \text{half-power beam width pada bidang } \theta \text{ (derajat)}$$

$$\phi^{\circ}_{HP} = \text{half-power beam width pada bidang } \phi \text{ (derajat)}$$

$$\Omega_A = \text{beam area (steradian) atau (radian}^2\text{) atau (derajat}^2\text{)}$$

### 2.2.5 Directivity (Keterarahan)

Keterarahan suatu antena didefinisikan sebagai perbandingan antara intensitas radiasi maksimum antena dengan intensitas radiasi dari sumber isotropis. Keterarahan dapat dihitung dengan menggunakan hasil pengukuran pola radiasi, salah satu metode yang diperkenalkan oleh Kraus menggunakan prosedur sebagai berikut:

1. Mengukur pola radiasi horisontal dan vertikal antena yang diuji
2. Menentukan nilai -3dB *beamwidth* setengah daya dari pola radiasi horisontal dan vertikal
3. Menghitung *directivity* dengan persamaan 2-8:

$$D = \frac{4\pi_{(\text{steradian})}}{\theta \cdot \phi_{(\text{radian}^2)}} \quad (2-8)$$

$$1 \text{ steradian} = 1 \text{ radian}^2$$

dengan :

$D$  = *directivity* (tanpa satuan)

$\theta$  = -3dB *beamwidth* pola radiasi vertikal (rad)

$\Phi$  = -3dB *beamwidth* pola radiasi horisontal (rad)

### 2.2.6 Gain Antena (Penguatan)

Penguatan daya disini mempunyai pengertian yang tidak sama dengan penguatan daya yang sering dijumpai pada *amplifier*. Penguatan daya disini mempunyai pengertian perbandingan daya yang dipancarkan oleh suatu antena tertentu dibandingkan dengan daya yang dipancarkan oleh suatu antena isotropis yang bentuk polanya seperti bola. *Radiator* isotropis sebenarnya adalah konsep teoritis, sedang pada praktisnya *gain* antena biasanya dibandingkan dengan intensitas radiasi sebuah antena standar *dipole*  $\frac{1}{2} \lambda$  yang kira-kira 1,64 kali atau 2,15 dB dibandingkan dengan suatu radiator isotropis. Sehingga besar *gain* terhadap sumber isotropis adalah :

$$G = 1,64 \times \frac{P_U}{P_R} \quad (2-9)$$

$$G(\text{dB}) = 10 \log 1,64 \frac{P_U}{P_R}$$

$$G_{(\text{dBi})} = 2,15 + P_U(\text{dBm}) - P_R(\text{dBm}) \quad (2-10)$$

dengan :

$G$  = *gain* antena uji (dB)

$P_U$  = daya yang diterima antena uji (W)

$P_R$  = daya yang diterima antena referensi (W)

### 2.2.7 Return Loss

*Return loss* ( $S_{11}$ ) adalah salah satu parameter yang digunakan untuk mengetahui berapa banyak daya yang hilang pada beban dan tidak kembali sebagai pantulan. Seperti halnya *VSWR*, *return loss* merupakan parameter yang menggambarkan kesesuaian impedansi (*matching*) antena. Koefisien refleksi merupakan perbandingan antara tegangan yang dipantulkan terhadap tegangan maju. Antena yang sangat bagus dapat memiliki nilai *return loss* yang lebih rendah dari  $-10$  dB sehingga 90% sinyal diserap dan hanya 10% yang dipantulkan kembali.

Koefisien refleksi dinyatakan sebagai

$$\Gamma = \frac{V_o^-}{V_o^+} \quad (2-11)$$

dengan  $V_o^-$  adalah tegangan pantul dan  $V_o^+$  adalah tegangan pancar.

*Return loss* dinyatakan sebagai bentuk logaritmik dari koefisien pantul.

$$S_{11} = -20 \log |\Gamma| \quad (2-12)$$

Untuk *matching* sempurna antara *transmitter* dan antena, maka nilai  $\Gamma = 0$  dan  $RL = \infty$  yang berarti tidak ada daya yang dipantulkan, sebaliknya jika  $\Gamma = 1$  dan  $RL = 0$  dB maka semua daya dipantulkan.

### 2.2.8 VSWR (Voltage Standing Wave Ratio)

VSWR suatu antena merupakan perbandingan antara jumlah tegangan datang dan tegangan pantul dengan selisih antara tegangan datang dan tegangan pantul. Nilai VSWR dapat diperoleh dari koefisien pantul dengan persamaan (Edgar Hund, 1989: 43):

$$VSWR = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \quad (2-13)$$

dengan  $\Gamma$  dapat diperoleh dari persamaan :

$$P_r = \Gamma^2 \cdot P_{out} \quad (2-14)$$

$$\Gamma^2 = \frac{P_r}{P_{out}} \quad (2-15)$$

dengan :

$\Gamma$  = koefisien pantul

$P_r$  = daya terpantul (W)

$P_{out}$  = daya keluaran (W)

### 2.2.9 Bandwidth

*Bandwidth* didefinisikan sebagai jangkauan frekuensi dimana performa antena, dengan mengacu pada beberapa karakteristik, dapat memenuhi standar yang telah ditentukan. Untuk antena *broadband*, *bandwidth* biasanya dinyatakan sebagai perbandingan frekuensi atas dengan frekuensi bawah dalam rentang frekuensi kerja. Untuk antena *narrowband*, *bandwidth* dinyatakan sebagai persentase beda frekuensi (frekuensi atas kurang frekuensi bawah) terhadap frekuensi tengah dari lebar pita.

Untuk persamaan *bandwidth* dalam persen ( $B_p$ ) atau sebagai *bandwidth* rasio ( $B_r$ ) dinyatakan sebagai (Punit, 2004 : 22) :

$$B_p = \frac{f_u - f_l}{f_c} \times 100\% \quad (2-16)$$

$$f_c = \frac{f_l + f_u}{2} \quad (2-17)$$

$$B_r = \frac{f_u}{f_l} \quad (2-18)$$

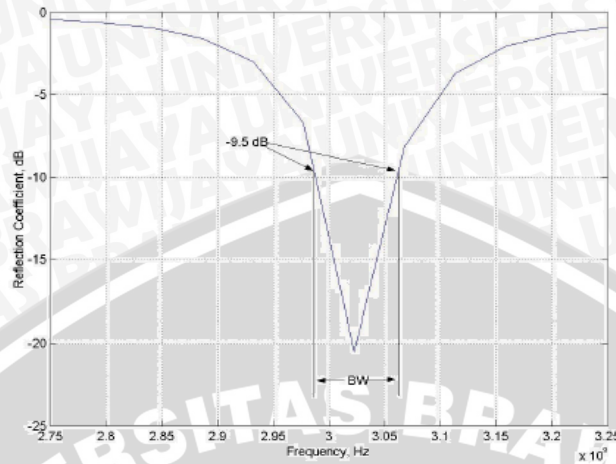
dengan :

$B_p$  = *bandwidth* dalam persen (%)

$B_r$  = *bandwidth* rasio

$f_u$  = jangkauan frekuensi atas (Hz)

$f_l$  = jangkauan frekuensi bawah (Hz)



Gambar 2.6. Pengukuran *bandwidth* berdasarkan *plot return loss*

(Sumber: Punit S. Nakar, 2004 : 22)

Salah satu cara untuk menentukan *bandwidth* dapat dilakukan dengan mengukur lebar rentang frekuensi dengan batasan -10 dB pada grafik *return loss*.

### 2.2.10 Impedansi Input

Impedansi input didefinisikan sebagai impedansi yang ditunjukkan oleh antenna pada terminal-terminalnya atau perbandingan antara tegangan terhadap arus pada pasangan terminalnya (Balanis, 1997: 73). Transfer daya maksimum hanya dapat terjadi jika impedansi antenna tersebut *matching* dengan bebannya, dimana melibatkan *conjugate kompleks* dari impedansi beban. Perbandingan tegangan dan arus pada terminal-terminal tanpa beban, memberikan impedansi masukan antenna sebesar

$$Z_{in} = R_{in} + jX_{in} \tag{2-19}$$

dengan :

$Z_{in}$  = impedansi antenna di terminal ( $\Omega$ )

$R_{in}$  = resistansi antenna di terminal ( $\Omega$ )

$X_{in}$  = reaktansi antenna di terminal ( $\Omega$ )

Dalam tugas akhir ini menggunakan saluran mikrostrip yang juga memiliki resistansi merupakan rugi-rugi dalam saluran mikrostrip. Resistensi rugi-rugi pada antenna mikrostrip sama dengan resistansi rugi-rugi pada antenna

konvensional, yaitu terdiri dari rugi konduktor dan rugi radiasi yang dinyatakan oleh persamaan berikut :

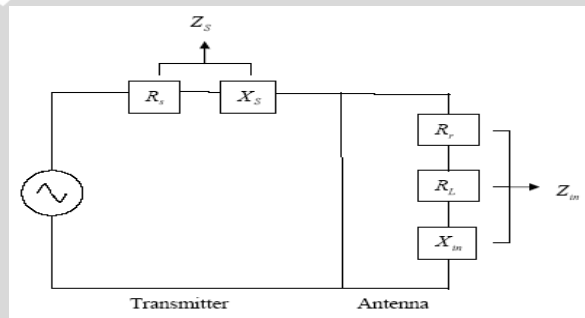
$$R_A = R_r + R_S \quad (2-20)$$

dengan :

$R_r$  = resistansi radiasi ( $\Omega$ )

$R_S$  = resistansi konduktor ( $\Omega$ )

Resistansi radiasi pada antena penerima adalah suatu resistansi khayal akibat adanya radiasi pada antena sehingga mengurangi daya yang disalurkan pada antena penerima sedangkan resistansi konduktor dipengaruhi oleh konduktivitas bahan yang digunakan.



Gambar 2.7. Rangkaian ekivalen antena pemancar

(Sumber: Punit S. Nakar, 2004 : 31)

Pada Gambar 2.7, impedansi dari sumber ( $Z_S$ ) terdiri dari resistansi sumber ( $R_S$ ) dan reaktansi dari sumber ( $X_S$ ). Sedangkan  $Z_{in}$  terdiri dari  $R_{in}$  dan  $X_{in}$ . Nilai  $R_{in}$  terdiri dari dua komponen resistif, resistansi radiasi ( $R_r$ ) dan resistansi rugi-rugi ( $R_L$ ). Daya yang hilang akibat resistansi rugi-rugi adalah rugi-rugi yang disebabkan karena panas antena. Panas antena ini disebabkan oleh rugi dielektrik dan rugi konduksi. Sedangkan  $X_{in}$  adalah reaktansi antena yang menunjukkan daya yang disimpan di daerah medan dekat.

Daya maksimum diradiasikan dari antena pada frekuensi dimana impedansi input mendekati nilai riil. Biasanya antena dicatu oleh saluran transmisi seperti kabel koaksial, mikrostrip dan sebagainya. Tujuannya adalah untuk menyesuaikan impedansi antena dengan impedansi karakteristik saluran transmisi. Jika kondisi *matching* tidak tercapai, kemungkinan terjadi pemantulan dan hal ini yang menyebabkan terjadinya gelombang berdiri (*standing waves*).

Sebagai tambahan,  $Z_{in}$  dapat diperoleh dengan menghitung data *return loss* ( $S_{11}$ ) terukur dan impedansi karakteristik ( $Z_0$ ) dengan menggunakan persamaan berikut:

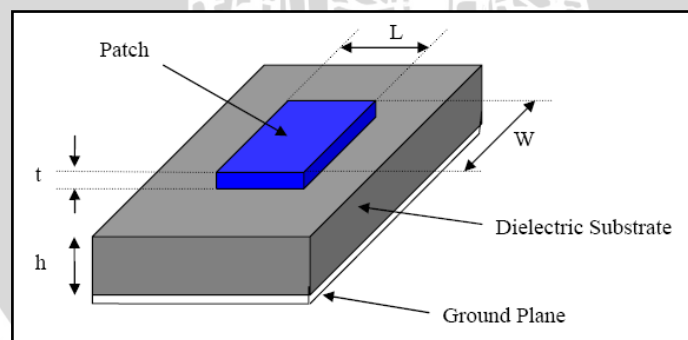
$$S_{11} = \frac{Z_{in} - Z_0}{Z_{in} + Z_0} \quad (2-21)$$

Persamaan diatas dapat dituliskan secara eksplisit untuk menghitung impedansi masukan antenna sebagaimana persamaan berikut:

$$Z_{in} = Z_0 \frac{S_{11} - 1}{S_{11} + 1} \quad (2-22)$$

### 2.3 Bentuk Antena Mikrostrip

Antena mikrostrip adalah antenna yang terdiri atas elemen radiasi (konduktor) yang sangat tipis yang diletakkan di bidang pentanahan (*ground plane*), dimana antara bidang tersebut dengan elemen radiasi (konduktor) dipisahkan oleh substrat dielektrik. Dalam berbagai bentuk pada umumnya antenna mikrostrip tersusun atas *patch* atau bidang radiasi pada satu sisi dan sisi lain adalah bidang pentanahan (*ground*) yang dibatasi oleh substrat tertentu dengan nilai permitifitas tertentu seperti ditunjukkan pada Gambar 2.8.

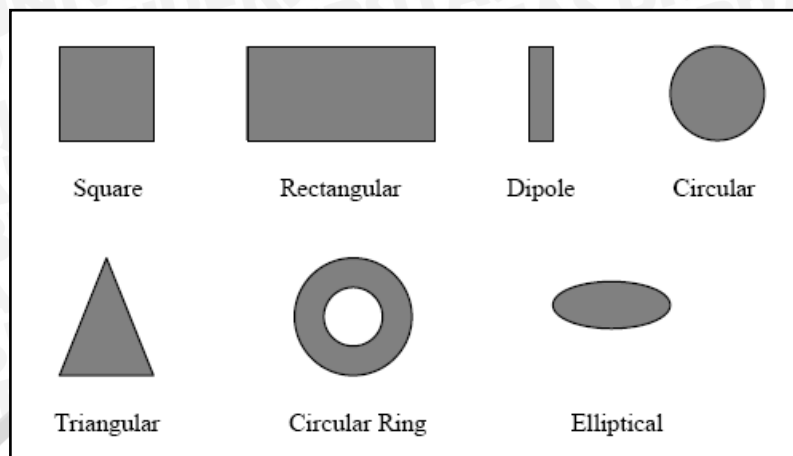


Gambar 2.8. Struktur antenna mikrostrip

(Sumber: Punit S. Nakar, 2004 : 40)

Antena mikrostrip mempunyai berbagai macam bentuk geometri dalam perancangan biasanya digunakan bentuk-bentuk yang sederhana, umumnya berbentuk kotak, persegi, lingkaran, segitiga, elips atau bentuk umum lainnya seperti terdapat pada Gambar 2.9.





Gambar 2.9. Macam-macam bentuk elemen mikrostrip

(Sumber: Punit S. Nakar, 2004 : 32)

Kelebihan/kekurangan antenna mikrostrip:

- *Annular Ring Patch* memiliki ukuran konduktor yang relatif paling kecil, untuk bandwidth dan gain yang dihasilkan relatif kecil. Selain itu tidak mudah untuk mendapatkan impedansi yang sesuai dengan resonansi.
- *Rectangular patch* adalah bentuk antenna yang paling sering digunakan, bentuk ini memiliki *bandwidth* yang paling besar dibandingkan dengan bentuk antenna yang lain.
- Bentuk *circular* dan *elliptical* sedikit lebih kecil dari *rectangular patch* sehingga memiliki *bandwidth* dan *gain* yang lebih kecil. Bentuk ini sukar dianalisis karena geometrinya yang *inherent*.
- *Triangular patch* merupakan bentuk yang lebih kecil dari bentuk *rectangular* dan *circular*, untuk *bandwidth* dan *gain* yang dihasilkan kecil. Bentuk ini menghasilkan *cross-polarization* yang lebih besar dikarenakan bentuknya yang tidak simetris, selain itu juga dapat dihasilkan *patch* dengan *dual polarization*.

Setiap substrat memiliki nilai konstanta dielektrik ( $\epsilon_r$ ) yang berkisar antara  $2.2 \leq \epsilon_r \leq 12$ , misalnya *Teflon RT / Duroid* atau *alumina* atau FR – 4 dengan rugi-rugi *tangent* dari 0,0001 sampai 0,018.

Untuk performansi antenna pemilihan substrat sangat berpengaruh, semakin tebal substrat maka konstanta dielektriknya kecil sehingga *bandwidth* juga

semakin lebar tetapi dimensi akan bertambah besar begitu juga sebaliknya. Karena itu perlu dipikirkan antara bentuk antena dengan performansinya.

Dalam menentukan bahan atau *substrat* harus diketahui batasan jangkauan frekuensi maksimum yang masih bisa dilewatkan pada substrat dengan persamaan 2-23: (Johan L, 2002 : 33)

$$h \leq \frac{0.3c}{2\pi f_r \sqrt{\epsilon_r}} \quad (2-23)$$

dengan:

$h$  = ketebalan substrat (m)

$c$  = kecepatan cahaya (m/s)

$f_r$  = frekuensi kerja (Hz)

$\epsilon_r$  = konstanta dielektrik bahan

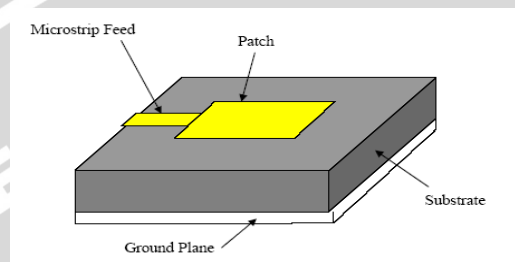
### 2.3.1 Teknik Pencatuan Antena Mikrostrip

Teknik *feed* atau pencatuan adalah teknik yang digunakan untuk menghubungkan antena mikrostrip dengan saluran transmisi lainnya, umumnya yang dihubungkan adalah bagian *patch* antena mikrostrip. *Patch* antena mikrostrip dapat dicatu dengan berbagai macam metode. Metode-metode tersebut dapat dikelompokkan kedalam dua kategori: metode kontak langsung (*contacting method*) dan metode kontak tak langsung (*non-contacting method*). Dalam *contacting method* daya RF dicatu secara langsung ke *patch* peradiasi dengan menggunakan elemen penghubung seperti saluran mikrostrip. Sedangkan dalam skema *non-contacting method*, kopling medan elektromagnet dilakukan untuk mentransfer daya antara saluran transmisi dan *patch* peradiasi. Ada 2 teknik pencatuan yang sering digunakan yaitu mikrostrip *line*, *coaxial feed* (keduanya menggunakan skema kontak langsung).

#### 2.3.1.1 Mikrostrip Line Feed

Pada tipe pencatuan ini, bagian konduktor dihubungkan secara langsung dengan bagian tepi *patch* mikrostrip. Lebar *strip* konduktor lebih kecil dari pada elemen peradiasi antena mikrostrip. Tipe pengaturan pencatuan semacam ini

mempunyai keuntungan bahwasanya pencatuan dapat diberikan pada substrat yang sama untuk menyediakan suatu struktur planar. Tujuan memberikan potongan menjorok (*inset*) kedalam *patch* adalah untuk menyesuaikan impedansi saluran dengan *patch* tanpa memerlukan elemen penyesuai tambahan. Hal ini dapat diperoleh melalui pengaturan posisi *inset* yang benar. Model pencatuan ini ditunjukkan pada Gambar 2.10 berikut.

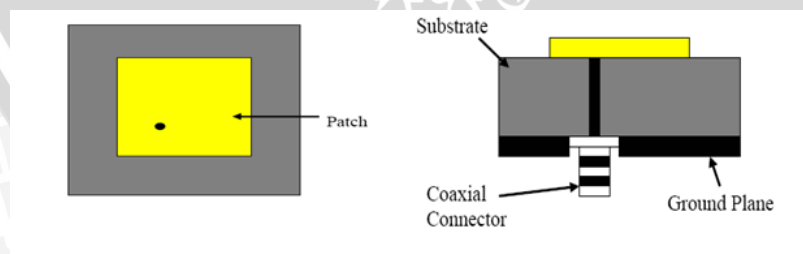


Gambar 2.10. Mikrostrip *Line Feed*  
(Sumber: Punit S. Nakar, 2004 : 34)

Oleh karena itu metode ini menawarkan skema pencatuan yang mudah disamping kemudahan dalam proses pembuatan dan pemodelan untuk mendapatkan kesesuaian impedansi.

### 2.3.1.2 Coaxial Feed

*Coaxial feed* atau *probe feed* adalah teknik yang umum digunakan pada pencatuan antenna. Seperti terlihat pada Gambar 2.11 konduktor bagian dalam dari kabel koaksial dihubungkan dengan elemen peradiasi dan konduktor bagian luar dari kabel koaksial dihubungkan dengan bidang pentanahan (*ground plane*).



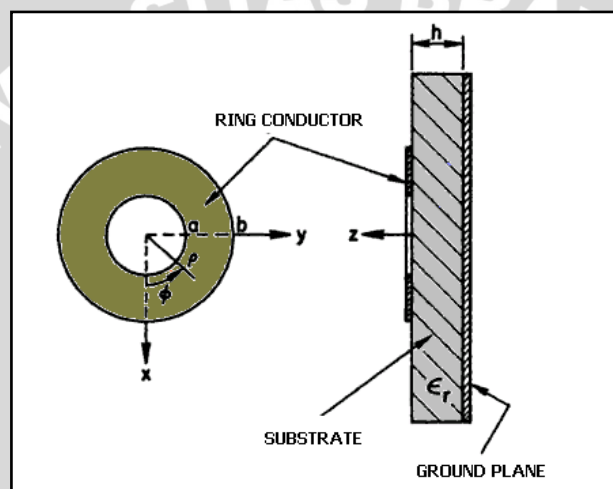
Gambar 2.11. Metode *Coaxial feed*  
(Sumber: Punit S. Nakar, 2004 : 35)

Kelebihan dari metode pencatuan seperti ini adalah pencatuan dapat diletakkan pada setiap lokasi didalam *patch* yang diinginkan untuk mendapatkan

*matching* impedansi dari antenna. Akan tetapi metode ini mempunyai kekurangan yaitu *bandwidth* yang sempit dan kesulitan dalam pemodelan.

### 2.3.2 Antena Mikrostrip *Annular Ring*

Struktur antena mikrostrip *annular ring* dengan sistem koordinat ditunjukkan pada Gambar 2.12. *Annular ring* terdiri dari suatu konduktor (bidang radiasi) yang berbentuk cincin pada salah satu sisi, terdapat lapisan substrat dielektrik dengan sisi belakangnya bidang pentanahan (*ground plane*).



Gambar 2.12. Struktur antena mikrostrip *annular ring*

(Sumber: Ramesh Garg, 2001 : 368)

Dengan struktur *annular ring* pada Gambar 2.12, dengan jari-jari lingkaran luar *b* dan jari-jari lingkaran dalam *a*.

untuk menentukan frekuensi resonansi suatu antena mikrostrip *annular ring*. didapat dari persamaan 2-24 (Ramesh Garg, 2001 ):

$$f_r = \frac{k_{nm}c}{2\pi\sqrt{\epsilon_r}} = \frac{X_{nm}c}{2\pi a_{ef}\sqrt{\epsilon_r}} \tag{2-24}$$

Dimana

$$X_{nm} = k_{nm}a_{ef} \tag{2-25}$$

Untuk nilai  $X_{nm} = k_{nm}a_{ef}$  didapatkan dari persamaan karakteristik yang ditunjukkan pada Gambar 2.13 berikut.

m → n ↓	1	2	3	4	5
0	—	3.1966	5.6123	9.4445	12.5812
1	0.6773	3.2825	5.6532	9.4713	12.6012
2	1.3406	3.5313	6.4747	9.5516	12.6612
3	1.9789	3.9201	6.6738	9.6842	12.7607
4	2.5876	4.4182	6.9461	9.8677	12.8989
5	3.1694	4.9929	7.2868	10.1000	13.0750

Gambar 2.13. Tabel dari Persamaan Karakteristik *Annular Ring*  
(Sumber: Ramesh Garg, 2001 : 371)

Dengan:

$f_r$  = frekuensi resonansi

$a_{eff}$  = dimensi jari-jari lingkaran

$\epsilon_r$  = konstanta dielektrik substrat

$c$  = kecepatan cahaya =  $3 \times 10^8$  m/s

$k_{nm}$  = nilai *integer* dari mode ditribusi gelombang  $TM_{nm}$  pada *patch*

### 2.3.3 Dimensi Elemen Peradiasi

Untuk menentukan dimensi elemen peradiasi, maka terlebih dahulu harus ditentukan frekuensi acuan ( $f$ ) yang digunakan untuk mencari panjang gelombang diruang bebas ( $\lambda_0$ ).

$$\lambda_0 = \frac{c}{f_r} \quad (\text{m}) \quad (2-26)$$

Setelah nilai  $\lambda_0$  diperoleh, maka panjang gelombang pada saluran transmisi mikrostrip ( $\lambda_d$ ) dapat dihitung dengan persamaan :

$$\lambda_d = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (\text{m}) \quad (2-27)$$

Nilai  $\lambda_0$  tidak sama dengan  $\lambda_d$ , hal ini disebabkan karena panjang gelombang dipengaruhi nilai konstanta dielektrik pada mediumnya. Konstanta dielektrik udara bernilai 1 sedangkan konstanta dielektrik *patch* bernilai 4,5.

### 2.3.4 Impedansi Masukan

Pada frekuensi resonansi nilai besarnya impedansi masukan elemen peradiasi adalah dengan persamaan 2-28 (Herrera.M, 1999:3) :

$$Z_A = 90 \frac{\epsilon_r^2}{\epsilon_r - 1} \left( \frac{L}{W} \right)^2 \Omega \quad (2-28)$$

Dengan :

$Z_A$  = impedansi masukan elemen peradiasi ( $\Omega$ )

$L$  = Panjang elemen peradiasi (mm)

$W$  = Lebar elemen peradiasi (mm)

Dengan memperbesar lebar patch antenna maka besarnya impedansi input dapat berkurang.

### 2.3.5 Penyesuaian Impedansi (*matching impedance*)

Impedansi masukan tiap elemen peradiasi harus ada kesesuaian dengan impedansi saluran transmisi agar sinyal yang diterima akan maksimum, penyesuaian ini menggunakan impedansi *transformer*  $\frac{1}{4} \lambda$  dengan persamaan 2-29:

$$Z_T = \sqrt{Z_0 Z_L} \quad (2-29)$$

dengan:

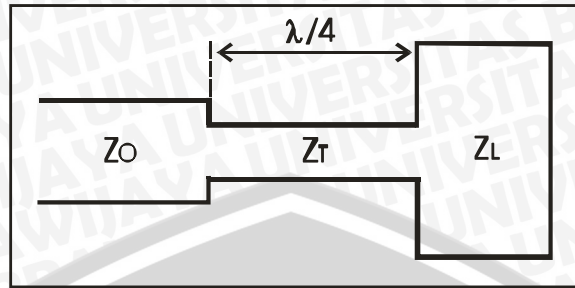
$Z_T$  = impedansi *transformer* ( $\Omega$ )

$Z_0$  = impedansi karakteristik saluran transmisi ( $\Omega$ )

$Z_L$  = impedansi beban/antena ( $\Omega$ )

Penggunaan impedansi *transformer*  $\lambda/4$  di antara saluran transmisi dimaksudkan agar saluran transmisi yang ada *match* satu dengan yang lain.

Penggunaan *transformer* untuk *matching* saluran transmisi dapat dilihat pada gambar 2.14.



Gambar 2.14. Penggunaan *transformer* untuk *matching* saluran transmisi

Sumber: Perancangan

### 2.3.6 Dimensi Saluran Transmisi

Untuk menghitung dimensi saluran transmisi mikrostrip digunakan persamaan 2-30 (Garg, 2001: 775):

$$W_0 = \frac{\eta_0}{Z_0} \times \frac{h}{\sqrt{\epsilon_r}} \text{ (mm)} \tag{2-30}$$

dengan :

- $W_0$  = lebar saluran transmisi (mm)
- $\eta_0$  = impedansi intrinsik ruang bebas ( $120\pi \Omega$ )
- $h$  = ketebalan substrat (mm)
- $Z_0$  = impedansi karakteristik ( $\Omega$ )
- $\epsilon_r$  = permitivitas dielektrik bahan (F/m)

### 2.3.7 Dimensi Saluran *Transformer*

Untuk menghitung dimensi saluran *transformer* mikrostrip digunakan persamaan 2-31 :

$$W_T = \frac{\eta_0}{Z_T} \times \frac{h}{\sqrt{\epsilon_r}} \text{ (mm)} \tag{2-31}$$

dengan :

- $W_T$  = lebar saluran *transformer* (mm)
- $\eta_0$  = impedansi intrinsik ruang bebas ( $120\pi \Omega$ )
- $h$  = ketebalan substrat (mm)
- $Z_T$  = impedansi *transformer* ( $\Omega$ )

$\epsilon_r$  = permitivitas dielektrik bahan (F/m)

Karena menggunakan *transformer*  $\frac{1}{4} \lambda$  maka panjang *transformer* dapat dicari dengan persamaan 2-32 (Astoto, 2004: 23) :

$$L_t = \frac{1}{4} \lambda_d \text{ (mm)} \quad (2-32)$$

dengan :

$L_t$  = panjang *transformer* (mm)

$\lambda_d$  = panjang gelombang pada saluran transmisi *microstrip* (mm)

### 2.3.8 Jarak Antar Elemen

Jarak antar elemen peradiasi ditentukan dengan persamaan 2-33 berikut (Johan L, 2002 : 24) :

$$r \geq 0,6\lambda_d \text{ (mm)} \quad (2.33)$$

dengan :

$r$  = jarak antar elemen peradiasi (mm)

$\lambda_d$  = panjang gelombang pada saluran transmisi mikrostrip (mm)

### 2.4 Antena Array

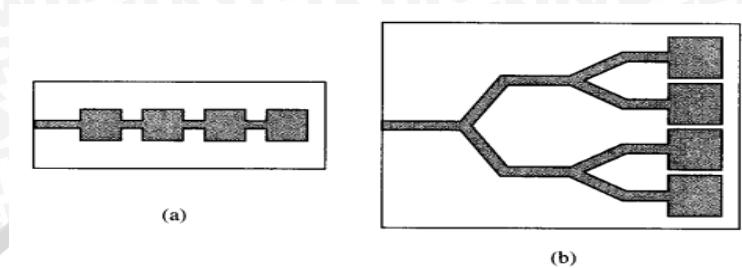
Desain antena dengan penguatan yang tinggi sangat diperlukan untuk komunikasi jarak jauh. Salah satu cara yang lebih praktis adalah dengan membuat antena yang terdiri dari beberapa elemen peradiasi (*array*). Dengan kata lain *array* adalah beberapa elemen antena yang disusun dan saling berhubungan untuk menghasilkan pola radiasi tertentu (Stutzman, 1981: 108).

Konfigurasi geometris antena array terdiri atas linier dan planar. Disebut *array* linier bila pusat pusat elemen *array* terletak pada sepanjang garis lurus. Sedangkan apabila pusat-pusat elemen terletak pada sebuah bidang disebut planar *array*. Dengan konfigurasi array, karakteristik antena seperti level daya (*gain*) yang tinggi, *beam scanning*, *steering capability* dapat dihasilkan.

Beberapa aplikasi memerlukan karakteristik radiasi yang mungkin dapat dicapai oleh elemen tunggal. Perencanaan susunan dari penambahan elemen dapat memberikan radiasi maksimum sebagai arah utama dan minimum pada arah yang



lainnya dan hal inilah yang diinginkan. Pada antenna mikrostrip *array* sendiri dikenal beberapa teknik pengaturan *feed*. Dua diantaranya adalah *series feed array* dan *corporate feed array*, seperti ditunjukkan gambar 2.15a dan 2.15.b.



Gambar 2.15. Pengaturan *feed* pada Antena Mikrostrip Array

a. *Series feed*      b. *corporate feed*

(Sumber : Balanis, 1982:773)

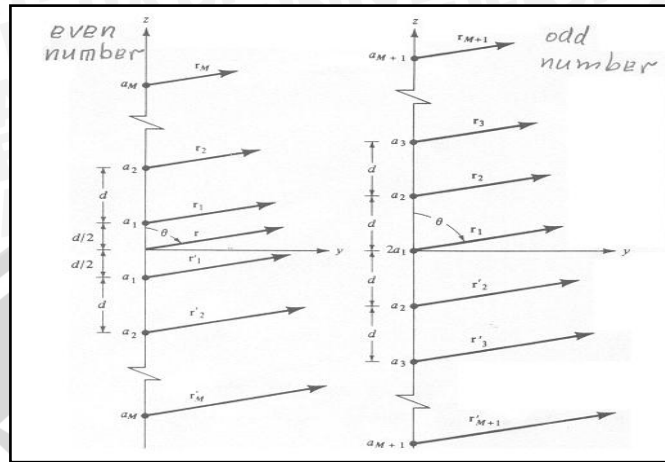
Antena mikrostrip elemen tunggal terkadang belum dapat memenuhi karakteristik antena yang diinginkan, karena keterbatasan seperti *gain* yang rendah, *bandwidth* yang sempit. Ada beberapa teknik dasar untuk memperluas *bandwidth* seperti menaikkan ketebalan substrat, atau menggunakan substrat dengan konstanta dielektrik rendah. Teknik lain yang bisa digunakan yaitu membuat antena menjadi suatu susunan elemen antena (*array*). Selain itu, karakteristik antena yang menjadi dasar dibuat antena mikrostrip *array* adalah untuk mendapatkan *gain* yang lebih tinggi dan pola radiasi antena (termasuk *beamwidth* antena), dimana parameter-parameter tersebut dapat dipengaruhi oleh beberapa factor :

- Karakteristik antena satu elemen
- Konfigurasi geometri *array*
- Jarak antar elemen
- Pencatuan pada setiap elemen

#### 2.4.1 Faktor Array

Faktor *array* (AF) dari suatu antena adalah merupakan sebuah fungsi dari konfigurasi geometris elemen antena, dan jarak antar elemen. Geometri suatu antena linier faktor array dengan elemen radiasi identik berjarak tidak seragam

ditunjukkan pada Gambar 2.16 berikut dimana elemen-elemen tersebut disusun sepanjang sumbu z dari sistem koordinat.



Gambar 2.16 Bentuk Antena Susun Linier Faktor Array

Sumber : Antennas\_L17-Linear Array Theory-Part III.pdf

Untuk mendapatkan distribusi amplitudo faktor array (AF) antena linier didapatkan persamaan (2-34) (2-35) berikut:

$$AF^e = \sum_{n=1}^M a_n \cos[(2n - 1)u], \text{ dimana } N=2M \tag{2-34}$$

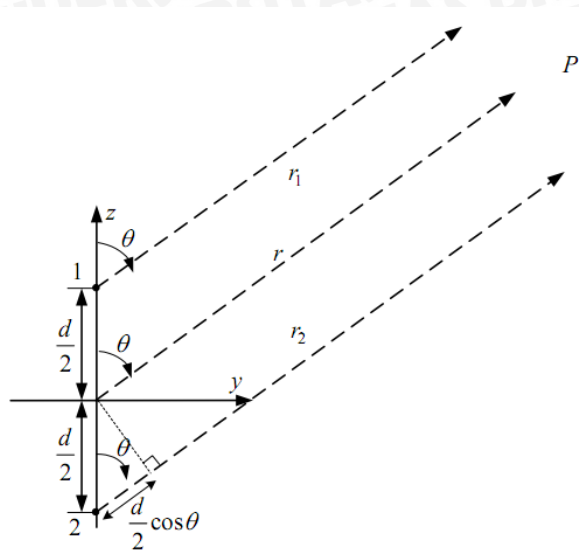
$$AF^o = \sum_{n=1}^{M+1} a_n \cos[2(n - 1)u], \text{ dimana } N=2M + 1 \tag{2-35}$$

untuk  $u = \frac{\pi d}{\lambda} \cos \theta$

### 2.4.2 Antena Array dua elemen

Medan elektrik pada medan jauh antena array dua elemen dapat direpresentasikan pada gambar 2.17 dibawah ini.





Gambar 2.17. Superposisi Vektor Medan Elektrik *Array* Dua Elemen

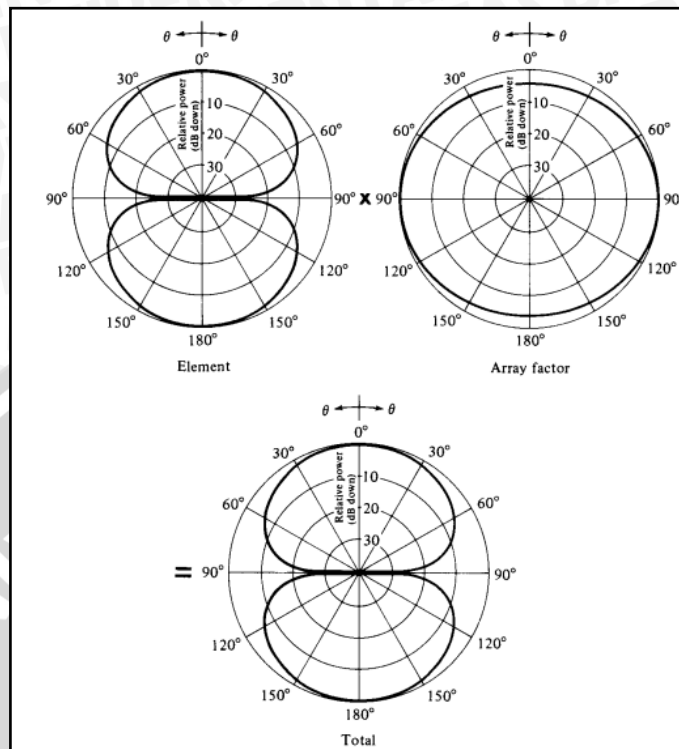
Sumber : Antennas\_L15-Linear Array Theory-Part I.pdf

Medan total dari *array* dua elemen sama dengan jumlah medan yang dihasilkan setiap elemen dengan asumsi bentuk elemen *array* dan polarisasinya identik, serta dicatu oleh daya dengan amplitudo sama. Dari sini didapatkan persamaan *array* faktor untuk dua elemen yaitu :

$$AF_n = \cos\left(\frac{kd \cos \theta + \beta}{2}\right) \quad (2-36)$$

$$f_n(\theta, \phi) = E_n(\theta, \phi) \times AF_n(\theta, \phi) \quad (2-37)$$

Faktor *Array* (AF) nilainya tergantung pada beda fasa  $\beta$ , sebagai contoh untuk antenna dipol *array* dengan susunan seperti gambar 2.17 dengan beda fasa nol pola radiasinya ditunjukkan seperti gambar 2.18.



Gambar 2.18. Pola Radiasi *Array Dipole* Dua Elemen Beda Fase Nol Derajat

Sumber : Balanis,1997:255

## 2.5 *Wireless Local Area Network (WLAN)*

*Wireless LAN* merupakan sebuah sistem komunikasi data yang fleksibel dan dapat menggantikan atau bahkan memperluas fungsi jaringan *LAN* dengan kabel (*wired LAN*). *Wireless LAN* menghubungkan beberapa komputer (*wireless client*) dengan titik akses (*access point*) menggunakan gelombang radio sebagai media transmisinya sehingga dapat mentransmisikan dan menerima data melalui udara, melewati dinding serta plafon dan bahkan menembus dinding semen tanpa menggunakan kabel. Untuk *mobile user*, penggunaan *wireless LAN* sangatlah efisien karena komunikasi antara *server* dengan *user* dapat tetap berjalan tanpa harus kehilangan komunikasi di antara keduanya. Selain itu *wireless LAN* juga menawarkan layanan dan keuntungan yang lebih menjanjikan daripada teknologi jaringan biasa.

### 2.5.2 Standar IEEE 802.11

Standar IEEE 802.11 mengkhususkan pengembangan teknologi lapisan fisik dan link *wireless* LAN (Lapisan 1 dan 2 OSI). Ada 5 standar yang dipakai yaitu:

1. 802.11a, 5 GHz dengan teknologi OFDM (*Othogonal Frequency Division Multiplex*).
2. 802.11b DSSS pada lapisan fisik dengan transfer data 1 sampai 11Mbps.
3. 802.11e, pengembangan aplikasi LAN dengan *Quality of Service* (QoS), keamanan dan autentifikasi untuk aplikasi seperti suara, *streaming* media dan konferensi video.
4. 802.11f, rekomendasi praktis untuk *Multi – Vendor Access Point Interoperability* melalui *Inter – Access Point Protocol Access Distribution System Support*.
5. 802.11g, standar untuk penggunaan DSSS dengan transfer 20Mbps dan OFDM 54Mbps. Standar ini *backward – compatible* dengan 802.11b dan bisa dikembangkan sampai lebih dari 20Mbps.

Dari kelima standar protokol yang ada, protokol 802.11a, 802.11b, 802.11g lah yang paling banyak digunakan sekarang ini. 802.11b dipandang unggul karena harganya yang relatif lebih murah dari yang lain. 802.11a memiliki kelebihan pada jangkauan spektrum frekuensi yang lebih tinggi (5-6 GHz), sedang 802.11g memiliki kompatibilitas dengan semua keluarga protokol 802.11 dan *throughputnya* lebih besar. Berikut merupakan tabel standar Standar IEEE 802.11 yang ditunjukkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Standar IEEE 802.11

	802.11	802.11a	802.11b	802.11g
Dikeluarkan	Juli 1997	September 1999	September 1999	2002
Bandwidth	83.5 MHz	300 MHz	83.5 MHz	83.5 MHz
Frekuensi	2.4 – 2.4835 GHz DSSS, FHSS	5.15-5.35 GHz OFDM 5.725-5.825 GHz OFDM	2.4-2.4835 GHz DSSS	2.4-2.4835 GHz DSSS, OFDM
Jumlah kanal yang tidak overlapping	3 (indoor/outdoor)	4 (indoor/outdoor)	3 (indoor/outdoor)	3 (indoor/outdoor)
Data rate	2 Mbps, 1 Mbps	54, 48, 36, 24, 18, 12, 9, 6 Mbps	11, 5.5, 2, 1 Mbps	54, 36, 33, 24, 22, 12, 11, 9, 6, 5.5, 2, 1 Mbps
Tipe modulasi	DQPSK (2 Mbps DSSS) DBPSK (1 Mbps DSSS) 4GFSK (2 Mbps FHSS) 2GFSK (1 Mbps FHSS)	BPSK (6,9 Mbps) QPSK (12, 18 Mbps) 16-QAM (24,36 Mbps) 64-QAM (48, 54 Mbps)	DQPSK/CCK (11, 5,5 Mbps) DQPSK (2 Mbps) DBPSK (1 Mbps)	OFDM/CCK (6,9,12,18,24,36,48, 54) OFDM (6,9,12,18,24,36,48, 54 Mbps) DQPSK/CCK (22,33,11,5.5 Mbps) DQPSK (2 Mbps) DBPSK (1 Mbps)

(Sumber : <http://www.wlana.org>)

Jalur frekuensi yang tersedia pada band ISM 2,4 GHz sekitar 83,5 MHz yang terbentang antara 2,4 sampai 2,4835 GHz. FCC (*Federal Communication Commission*) membagi *band* ini menjadi 11 kanal dengan *guard band* antar kanal sebesar 5 MHz.

## BAB III METODOLOGI

Penyusunan skripsi ini dilakukan dengan perancangan dan perealisasi-an antenna mikrostrip *annular ring array* pada frekuensi 2,4 GHz agar dapat menampilkan unjuk kerja sesuai dengan yang direncanakan dengan mengacu pada rumusan masalah.

Langkah-langkah yang perlu dilakukan untuk dalam penyusunan skripsi ini menggunakan metodologi sebagai berikut:

### 3.1 Studi Literatur

Dalam melakukan studi literatur, kegiatan yang dilakukan adalah :

1. Melakukan kajian pustaka untuk memahami parameter-parameter dalam perancangan antenna *annular ring array*.
2. Perencanaan bentuk fisik antenna, serta pemahaman mengenai antenna *annular ring array* itu sendiri.

### 3.2 Pengumpulan Data

Data-data yang digunakan dalam penyusunan skripsi ini adalah berupa data primer dan data sekunder.

#### a. Data primer

Data primer adalah data yang didapatkan dari hasil pengukuran di Laboratorium Telakomunikasi Politeknik Negeri Malang.

#### b. Data sekunder

Data sekunder adalah data yang diperoleh dari studi literatur (buku, jurnal-jurnal, dan internet) dan simulasi meliputi perancangan antenna, standar frekuensi kerja antenna yang akan dikerjakan beserta parameter-parameter antenna yang ada meliputi VSWR, *Return Loss*, *Directivity*, koefisien

pantul, *gain*, pola radiasi dan polarisasi dari data yang telah ada dari literatur ataupun riset yang telah ada.

### 3.3 Perancangan dan Simulasi

Perancangan antenna mikrostrip dilakukan secara matematis berdasarkan pada materi dan referensi yang diperoleh dari hasil studi pustaka. Hasil rancangan kemudian disimulasikan menggunakan *software* perancangan untuk mengetahui parameter antenna. *Software* yang digunakan disini menggunakan program Zeland IE3D™. Tahap pra-pembuatan antenna ini penting untuk melihat kualifikasi dari hasil rancangan apakah sudah sesuai atau belum dengan yang direncanakan. Setelah rancangan ditentukan kemudian dilakukan fabrikasi antenna yang bersangkutan.

Sebelum melakukan simulasi, kegiatan yang dilakukan adalah:

1. Menentukan frekuensi kerja yaitu 2400 Mhz dan substrat yang digunakan dalam perancangan yaitu FR4.
2. Penghitungan dimensi antenna *annular ring array* dan dimensi saluran transmisi berdasarkan rumus yang umum digunakan. Kemudian hasilnya akan disimulasikan menggunakan *software* IE3D™.

Untuk menentukan jari-jari lingkaran, digunakan persamaan (Ramesh Garg, 2001):

$$f_r = \frac{k_{nm}c}{2\pi\sqrt{\epsilon_r}} = \frac{X_{nm}c}{2\pi a_{ef}\sqrt{\epsilon_r}}$$

dimana :

$f_r$  = frekuensi resonansi

$a_{eff}$  = dimensi jari-jari lingkaran

$\epsilon_r$  = konstanta dielektrik substrat

$c$  = kecepatan cahaya =  $3 \times 10^8$  m/s

$k_{nm}$  = nilai *integer* dari mode distribusi gelombang  $TM_{nm}$  pada *patch*

Penghitungan dimensi saluran transmisi berdasarkan rumus yang umum digunakan.



3. Jika hasil simulasi dan optimasi sudah mendekati parameter-parameter yang diharapkan, maka dilanjutkan dengan fabrikasi antenna *annular ring array*.

### 3.4 Pengukuran

Untuk dapat mengetahui karakteristik dan performansi dari antenna yang telah dibuat maka dilakukan pengukuran terhadap beberapa parameter antenna pada frekuensi kerjanya. Pengukuran parameter-parameter antenna tersebut dilaksanakan di Laboratorium Telekomunikasi Politeknik Negeri Malang. Pengukuran ini meliputi:

1. *Return Loss*

Tujuan dari pengukuran ini adalah untuk dapat mengetahui nilai *return loss* antenna hasil pembuatan. Alat yang digunakan untuk pengukuran parameter ini adalah *spectrum analyzer* yang dioperasikan pada jangkauan frekuensi tertentu. Standar nilai *return loss* adalah sebesar  $< -10$  dBi. Setelah didapatkan nilai *return loss*, selanjutnya dapat dihitung nilai dari koefisien pantul dan VSWR dengan menggunakan persamaan:

$$RL = 20 \log \Gamma \quad (\text{dB})$$

2. VSWR

Setelah didapatkan nilai *return loss*, selanjutnya dapat dihitung nilai dari koefisien pantul dan VSWR dengan menggunakan persamaan:

$$VSWR = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|}$$

3. Koefisien pantul

4. *Gain*

Tujuan dari pengukuran *gain* antenna adalah untuk mengetahui besar penguatan antenna uji dibandingkan dengan penguatan antenna referensi yang digunakan. Alat - alat yang digunakan meliputi *Sweep Oscillator*, *Spectrum Analyzer* dan 2 buah antenna *dipole*  $\lambda/2$  (sebagai antenna referensi dan pemancar). Antenna ini digunakan sebagai antenna standar dengan nilai penguatan sudah diketahui

sebelumnya. Penguatan antenna ini kemudian dibandingkan dengan penguatan antenna yang diukur (antenna *equilateral triangular array*).

*Gain* antenna hasil pengukuran dihitung dengan persamaan:

$$G_{AUT(dBi)} = P_{RX(dBm)} - P_{ref(dBm)} + 2.14 \text{ dBi}$$

Keterangan :

$G_{AUT(dBi)}$  = *gain* antenna yang diukur

$P_{RX(dBm)}$  = level daya terima antenna yang diukur

$P_{REF(dBm)}$  = level daya terima antenna referensi

#### 5. Pola radiasi

Tujuan dari pengukuran ini adalah untuk mengetahui bentuk pola radiasi antenna mikrostrip hasil pembuatan. Peralatan yang digunakan adalah *Sweep Oscillator*, *Spectrum Analyzer* dan antenna *dipole  $\lambda/2$*  sebagai antenna referensi.

#### 6. Polarisasi.

Pengukuran polarisasi antenna dilakukan untuk mengetahui vektor medan listrik antenna hasil pembuatan. Pengukuran dilakukan dengan cara memutar antenna penerima (antenna yang diuji) dengan *interval* sudut tertentu ( $10^\circ$ ) terhadap bidang vertikal sampai  $360^\circ$ .

#### 7. Perhitungan *bandwidth*

Perhitungan *bandwidth* antenna yang diuji dilakukan dengan menghitung selisih antara frekuensi atas dengan frekuensi bawah antenna uji. Penentuan frekuensi atas dan frekuensi bawah antenna dilakukan dengan cara menentukan frekuensi tertinggi dan terendah antenna dimana masih memiliki  $VSWR \leq 2$ .

$$B = f_u - f_l$$

Dengan

$f_u$  : frekuensi *upper* (Hz)

$f_l$  : frekuensi *lower* (Hz)

#### 8. Perhitungan *directivity*

Perhitungan ini dilakukan dengan menghitung nilai HPBW (*Half Power Beamwidth*)  $-3$  dB pada hasil pengukuran pola radiasi horizontal dan vertikal.

### 3.5 Analisis Antena

Tahap selanjutnya adalah analisis antena yang telah dibuat. Pada tahap ini dilakukan pembahasan parameter-parameter antena hasil perencanaan dan parameter-parameter antena hasil pengujian dan pengukuran.

### 3.6 Pengambilan Kesimpulan dan Saran

Pengambilan kesimpulan ditulis setelah mendapatkan hasil dari pengukuran parameter-parameter antena yang diuji dan dibandingkan dengan perencanaan yang ada, serta memberikan saran untuk lebih meningkatkan performansi antena yang telah dibuat.



## BAB IV

### PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ANTENA MIKROSTRIP ANNULAR RING ARRAY

#### 4.1 Tinjauan Umum

Antena mikrostrip adalah antena yang dibuat diatas bahan substrat tertentu dengan elemen peradiasi yang terletak di salah satu sisi substrat dan sisi yang lain adalah bidang konduktor yang berfungsi sebagai bidang pentanahan (*ground plane*).

Antena *array* dengan teknologi mikrostrip, seperti antena *array* pada umumnya yaitu merupakan gabungan dari beberapa elemen peradiasi pada satu bidang. Termasuk diantaranya saluran transmisi sebagai pencatu setiap elemen tersebut.

Pada bab ini akan dibahas mengenai penentuan bahan substrat, konduktor dan dimensi elemen peradiasi. Selanjutnya akan dilakukan penghitungan pola radiasi, *VSWR*, *return loss*, *directivity*, *gain* dan polarisasi pada frekuensi kerja antena dengan menggunakan teori yang telah dijelaskan pada bab II.

#### 4.2 Spesifikasi substrat dan bahan konduktor

Dalam perancangan antena mikrostrip perlu diketahui terlebih dahulu mengenai substrat yang akan digunakan

Bahan substrat yang digunakan adalah sebagai berikut :

Bahan Epoxy fiberglass – FR 4

Konstanta dielektrik ( $\epsilon_r$ ) = 4.5

Ketebalan lapisan dielektrik ( $h$ ) = 0.0016 m = 1.6 mm

*Loss tangent* = 0.018

Bahan pelapis substrat (konduktor) tembaga

Ketebalan bahan konduktor ( $t$ ) = 0.0001 m

Konduktifitas tembaga ( $\sigma$ ) =  $5.80 \times 10^7$  mho m<sup>-1</sup>

$$\text{Frekuensi kerja } (f_r) = 2400 \text{ MHz}$$

$$\text{Impedansi karakteristik saluran} = 50 \Omega$$

Batasan frekuensi kerja yang bisa dilewatkan pada substrat ini dengan menggunakan persamaan (2-23) :

$$1,6 \cdot 10^{-3} \leq \frac{0,3 \cdot 10^8}{2\pi f_r \sqrt{4,5}}$$

$$f_r \leq 4223,78 \text{ MHz}$$

### 4.3 Perencanaan Dimensi Elemen Peradiasi

Untuk menentukan dimensi elemen radisi maka terlebih dahulu harus direncanakan nilai frekuensi kerja ( $f_r$ ) yaitu 2400 MHz dengan nilai perambatan diruang bebas ( $c$ ) sebesar  $3 \times 10^8 \text{ m/s}$ . Dengan menggunakan persamaan (2-26) :

$$\lambda_0 = \frac{c}{f_r} \text{ (m)}$$

$$\lambda_0 = \frac{3 \times 10^8}{2,4 \times 10^9} = 0,125 \text{ m}$$

Maka panjang gelombang pada saluran transmisi mikrostrip dapat dihitung dengan persamaan (2-27) :

$$\lambda_d = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_r}} \text{ (m)}$$

$$\lambda_d = \frac{0,125}{\sqrt{4,5}} = 0,058 \text{ m}$$

Kemudian menghitung besarnya elemen peradiasi antenna mikrostrip pada  $a$  jari-jari dalam cincin dan  $b$  jari-jari luar cincin dengan menggunakan persamaan (2-24) dan (2-25):

$$f_r = \frac{k_{nm}c}{2\pi\sqrt{\epsilon_r}} = \frac{X_{nm}c}{2\pi a_{ef}\sqrt{\epsilon_r}}$$

Sehingga

$$f_r = \frac{X_{nm}c}{2\pi a_{ef}\sqrt{\epsilon_r}}, \text{ untuk frekuensi } 2400 \text{ MHz} :$$

$$2400 \times 10^6 = \frac{X_{nm} \times 3.10^8}{2\pi a_{ef} \sqrt{4,5}}$$

$$a_{ef} = \frac{X_{nm} \times 3.10^8}{2\pi \sqrt{4,5}}$$

Untuk nilai  $X_{nm}$  dengan melihat pada Gambar 2.14 merupakan bentuk tabel dari persamaan karakteristik, dimana nilai  $nm$  yang digunakan yaitu  $n=2$  dan  $m=1$ , sehingga nilai  $X_{nm}$  adalah 1,3406. Maka  $a_{eff}$  jari-jari dalam cincin didapat :

$$a_{ef} = \frac{1,3406 \times 3.10^8}{2\pi \sqrt{4,5}}$$

$$= 12,4 \text{ mm}$$

Selanjutnya untuk nilai  $b_{eff}$  jari-jari luar cincin didapat :

$$b_{ef} = 2a$$

$$= 2 \times 12,4$$

$$= 24,8 \text{ mm}$$

Perencanaan impedansi masukan untuk setiap elemen peradiasi dapat dihitung dengan persamaan (2-28) :

$$Z_A = 90 \frac{\epsilon_r^2}{\epsilon_r - 1} \left( \frac{L}{W} \right)^2 \Omega$$

Dengan nilai  $\epsilon_r = 4.5$ ; karena elemen peradiasi berbentuk cincin (lingkaran) sehingga  $L = W$ , maka  $\frac{L}{W} = 1$ . Jadi nilai impedansi masukannya adalah:

$$Z_A = 90 \frac{4,5^2}{4,5 - 1} = 520,7 \Omega$$

#### 4.4 Perencanaan Dimensi Saluran Transmisi

Untuk perhitungan dimensi saluran transmisi dapat digunakan persamaan (2-31) berikut:

$$W_T = \frac{\eta_0}{Z_T} \times \frac{h}{\sqrt{\epsilon_r}} \text{ (mm)}$$

Pada saluran transmisi untuk perencanaan antenna mikrostrip satu elemen dengan nilai impedansinya dengan  $Z_A$  sebesar 520,7  $\Omega$

Dengan nilai  $h = 1.6$  mm dan  $\epsilon_r = 4.5$  maka diperoleh nilai  $W_T$  (lebar saluran transmisi) untuk tiap-tiap nilai impedansi.

Nilai  $Z_A = Z_T = 520,71 \Omega$  :

$$W_T = \frac{120\pi}{520,71} \times \frac{1.6}{\sqrt{4,5}} \text{ (mm)}$$

$$W_T = 0,546 \text{ mm}$$

Untuk panjang saluran transformer dapat dicari dengan persamaan (2-32)

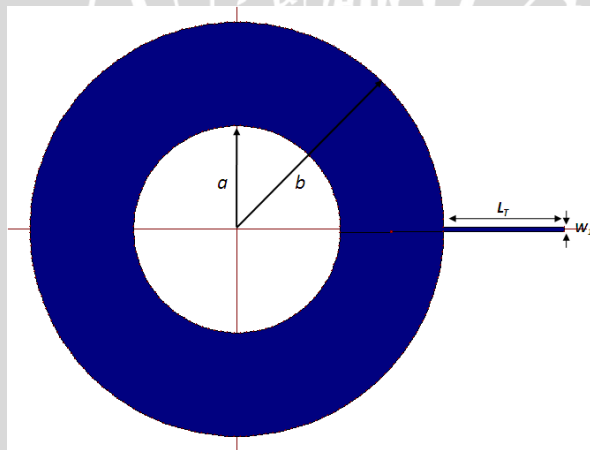
$$L_t = \frac{1}{4} \lambda_d \text{ (m)}$$

Dengan  $\lambda_d = 0,058$  m, maka panjang saluran transformer adalah :

$$L_t = \frac{1}{4} \cdot 0,058 = 0,0145 \text{ m} = 14,5 \text{ mm}$$

#### 4.5. Simulasi dan Optimasi Satu Elemen Peradiasi

Setelah dilakukan perhitungan dimensi elemen peradiasi dan saluran transmisi, maka didapatkan antenna seperti gambar 4.1 berikut.



Gambar 4.1. Antena Mikrostrip *Annular Ring* Satu Elemen

Sumber : Simulasi

Keterangan Gambar 4.1:

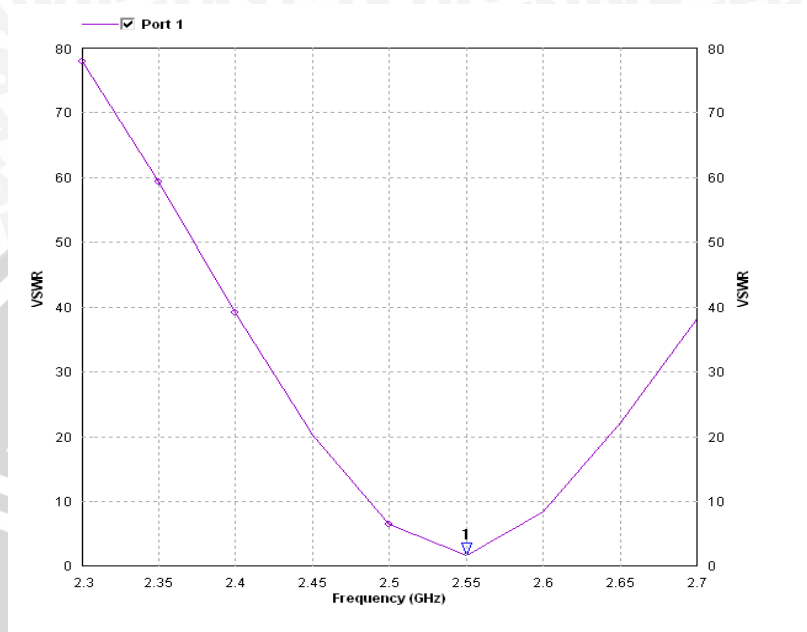
$$a = 12,4 \text{ mm}$$

$$b = 24,8 \text{ mm}$$

$$W_T = 0.546 \text{ mm}$$

$$L_T = 14,5 \text{ mm}$$

Kemudian dilakukan simulasi dengan menggunakan simulator program *Zeland IE3D<sup>TM</sup>*, dan didapatkan hasil simulasi ditunjukkan pada Gambar 4.2:



Gambar 4.2. Grafik Hasil Simulasi VSWR Satu Elemen Sebelum Optimasi

Sumber : Simulasi

Simulasi pada Gambar 4.2 menunjukkan grafik nilai VSWR dari elemen peradiasi. Berdasarkan parameter VSWR diatas, dapat kita lihat bahwa antenna belum dapat bekerja dengan baik pada frekuensi yang diinginkan. Frekuensi kerja antenna justru bergeser ke 2,55 GHz sehingga tidak sesuai dengan frekuensi kerja yang direncanakan yaitu 2,4 GHz.

Kemudian dilakukan optimasi agar antenna dapat bekerja sesuai dengan frekuensi yang diinginkan yaitu bekerja pada frekuensi 2400 MHz. Selain itu optimasi juga diperlukan untuk memperbaiki parameter antenna yang telah didapatkan sebelumnya agar antenna yang dirancang bisa bekerja secara lebih optimal.

Untuk melakukan optimasi dapat dilakukan dengan cara merubah dimensi elemen peradiasi hingga didapatkan hasil yang optimal pada frekuensi yang diinginkan. Metode optimasi yang digunakan adalah dengan cara mengubah dimensi secara manual pada simulasi *IE3D*. Dalam skripsi ini selain dengan cara



mengubah dimensi elemen peradiasi, optimasi juga dilakukan dengan mengubah lebar saluran transmisi.

Langkah 1: Mengubah dimensi elemen peradiasi *annular ring* (jari-jari  $a$  dan  $b$ ) dengan lebar saluran transmisi ( $W_I$ ) 0,546 mm panjang saluran transmisi ( $L_T$ ) 14,5 mm.

Tabel 4.1. Hasil Optimasi Dimensi Elemen Peradiasi dengan Frekuensi Kerja

No	$a$ (mm)	$b$ (mm)	Frekuensi Kerja (GHz)
1	11	26,8	2,41
2	11,6	25,9	2,48
3	10,8	27,2	2,4048
4	11,2	27,3	2,4
5	11,9	27	2,412
6	12,00	25,10	2,52

Sumber : Simulasi

Dari Tabel 4.1 dapat dilihat bahwa pada nilai  $a$  sebesar 11,2 mm dan nilai jari-jari  $b$  sebesar 27,3 yaitu pada frekuensi kerja 2,4 GHz, sesuai dengan frekuensi kerja yang diinginkan. Selanjutnya dilakukan optimasi dengan mengubah lebar saluran transmisi untuk mendapatkan nilai VSWR yang maksimum.

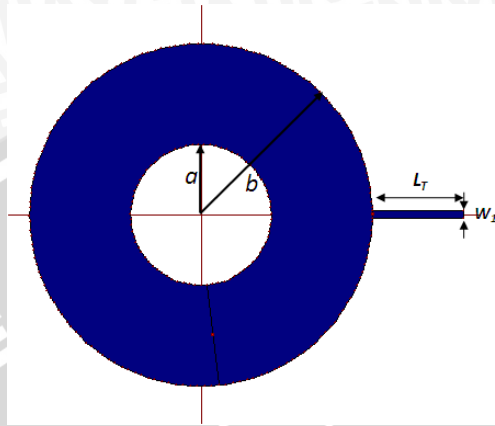
Langkah 2: Mengubah lebar saluran transmisi ( $W$ ) dengan panjang saluran ( $L$ ) 14,5 mm serta jari-jari *annular ring* ( $a$ ) 11,2 mm dan ( $b$ ) 27,3 mm.

Tabel 4.2. Hasil Optimasi dengan Nilai VSWR

No	$W_I$ (mm)	$L_T$	VSWR
1	0,546	14,5	1,83
2	0,7	14,5	1,68
3	0,9	14,5	1,46
4	1	14,5	1,36
5	1,2	14,5	1,19
6	1,6	14,5	1,21
7	1,7	14,5	1,28

Sumber : Simulasi

Dari tabel 4.2 diatas didapatkan nilai VSWR terbaik didapatkan saat  $W$  sebesar 1,2 mm. Setelah melakukan optimasi didapatkan hasil optimasi ditunjukkan pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3. Hasil Optimasi satu elemen peradiasi

Sumber : Simulasi

Keterangan gambar 4.3 :

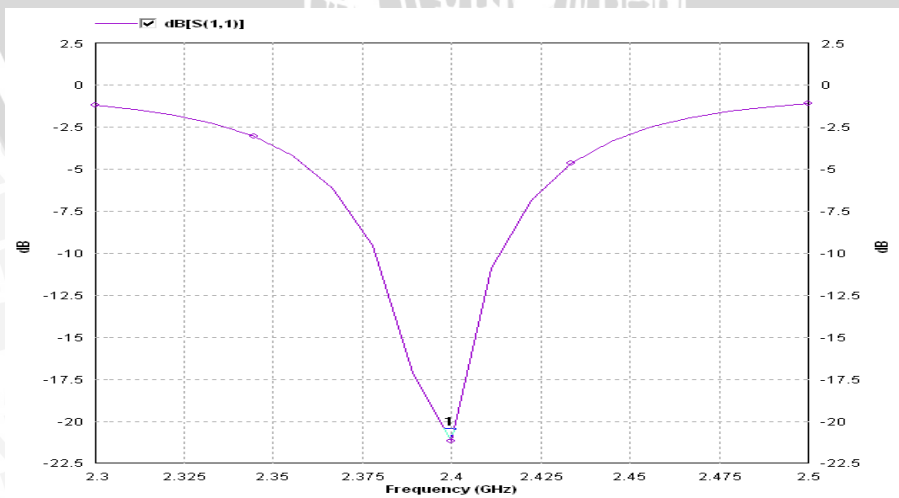
$a = 11,2 \text{ mm}$

$b = 27,3 \text{ mm}$

$W_1 = 1,2 \text{ mm}$

$L_T = 14,5 \text{ mm}$

Kemudian dilakukan simulasi dengan menggunakan program *Zeland IE3D<sup>TM</sup>*, dan didapatkan hasil simulasi terlihat pada Gambar 4.4 :

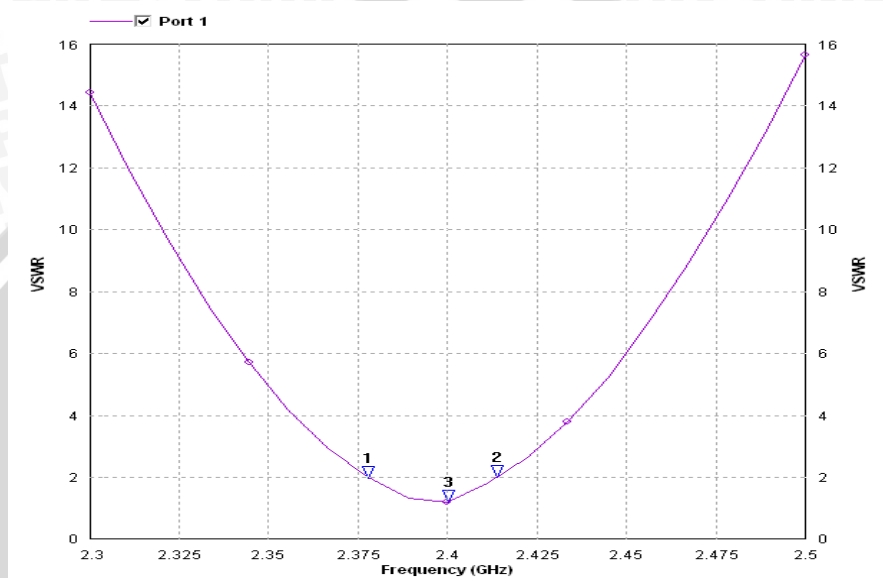


Gambar 4.4. Hasil Simulasi *Return Loss* Satu Elemen Setelah Optimasi

Sumber : Simulasi

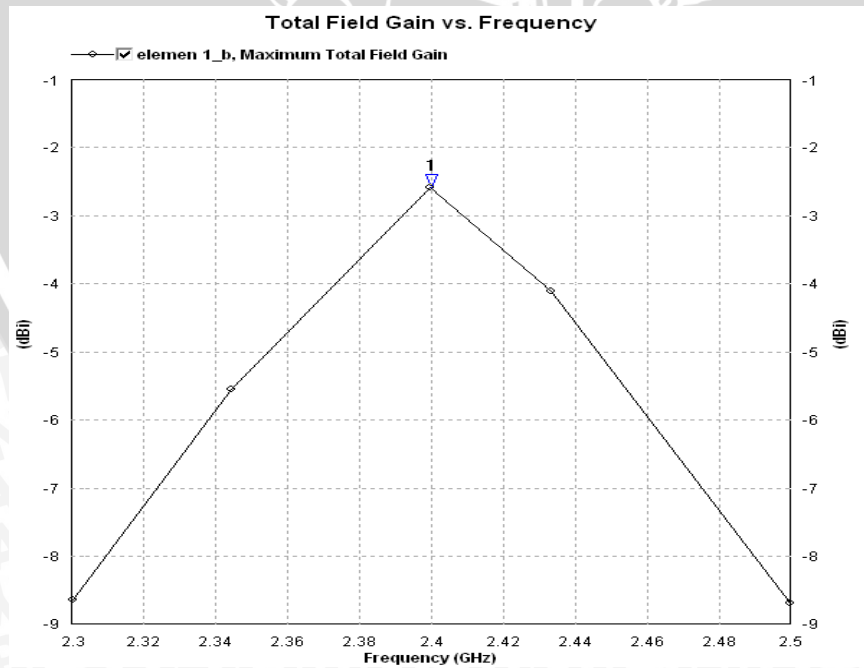
Dari hasil optimasi pada Gambar 4.4 dapat dilihat bahwa elemen peradiasi bekerja pada frekuensi 2400 MHz dengan nilai *return loss* -21,1913 dB.

Untuk simulasi VSWR dapat dilihat pada gambar 4.5 bentuk grafik dari VSWR.



Gambar 4.5. Hasil Simulasi VSWR Satu Elemen Setelah Optimasi

Sumber : Simulasi

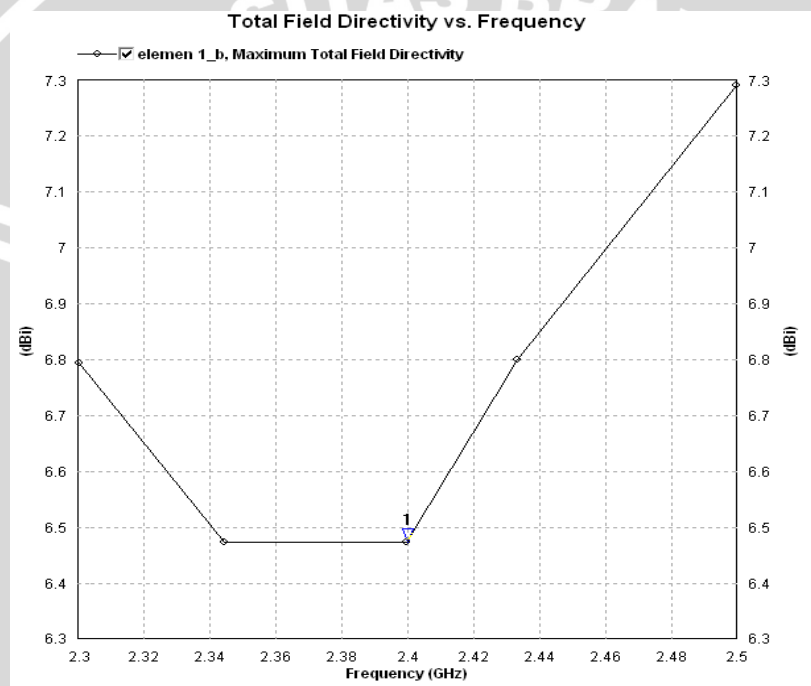


Gambar 4.6. Hasil Simulasi *gain* Satu Elemen Setelah Optimasi

Sumber : Simulasi

Dari Gambar 4.5 dan 4.6 hasil simulasi setelah optimasi diatas dapat dilihat bahwa elemen peradiasi bekerja paling maksimal pada frekuensi kerja 2400 MHz dengan VSWR sebesar 1,19. Pada frekuensi kerja 2400 MHz nilai VSWR < 2 dimulai dari 2378 MHz sampai 2413 MHz, dengan nilai *bandwidth* adalah (2413-2378) MHz sebesar 35 MHz. Untuk nilai *gain* pada frekuensi 2400 MHz sebesar -2,58 dBi. *Bandwidth* dan *gain* yang didapat memang relatif sangat kecil karena antenna hanya berupa dimensi satu elemen peradiasi.

Selanjutnya parameter *directivity* dapat dilihat pada Gambar 4.7.



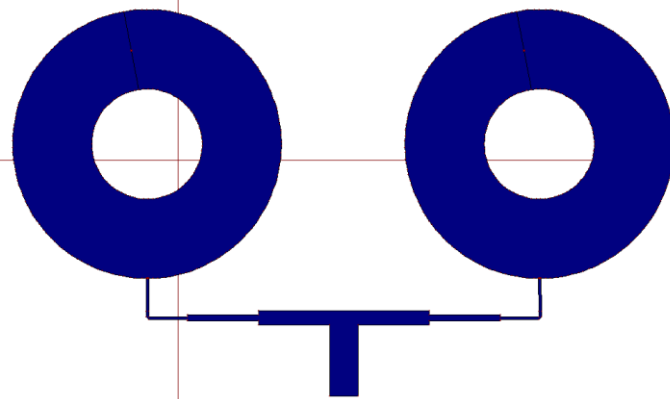
Gambar 4.7. Hasil Simulasi *directivity* Satu Elemen Setelah Optimasi

Sumber : Simulasi

Pada Gambar 4.7 di atas dapat dilihat bahwa elemen peradiasi pada frekuensi 2400 MHz memiliki nilai *directivity* sebesar 6,472 dBi.

#### 4.6 Perancangan dan Simulasi Antena Mikrostrip *Array* Dua Elemen

Dalam perancangan ini akan digunakan dua elemen peradiasi dalam satu bidang. Adapun bentuk antena mikrostrip dua elemen yang direncanakan adalah terlihat pada Gambar 4.8 berikut :



Gambar 4.8. Antena Mikrostrip *Annular Ring Array* Dua Elemen

Sumber : Simulasi

Untuk dimensi elemen peradiasi seperti pada subbab 4.4 sebelumnya, nilai jari-jari cincin dalam dan luar elemen peradiasi setelah optimasi ( $a = 11,2$  mm dan  $b = 27,3$  mm), nilai ini juga yang akan digunakan sebagai dimensi elemen peradiasi pada antena *array* dua elemen.

Perencanaan impedansi masukan untuk setiap elemen peradiasi dapat dihitung dengan persamaan (2-28) :

$$Z_A = 90 \frac{\epsilon_r^2}{\epsilon_r - 1} \left( \frac{L}{W} \right)^2 \Omega$$

Dengan nilai  $\epsilon_r = 4.5$ ; karena elemen peradiasi berbentuk cincin (lingkaran) sehingga  $L = W$ , maka  $\frac{L}{W} = 1$ , jadi nilai impedansi masukkannya adalah:

$$Z_A = 90 \frac{4,5^2}{4,5 - 1} = 520,7 \Omega$$

Untuk perhitungan dimensi saluran transmisi dapat digunakan persamaan (2-31) :

$$W_T = \frac{\eta_0}{Z_T} x \frac{h}{\sqrt{\epsilon_r}} \text{ (mm)}$$

Pada perencanaan antena mikrostrip ini nilai impedansi pada setiap saluran direncanakan sebesar  $100 \Omega$ , untuk mendapatkan impedansi total  $50 \Omega$ , serta besarnya impedansi elemen peradiasi adalah  $520,71 \Omega$ .

Dengan nilai  $h = 1.6$  mm dan  $\epsilon_r = 4.5$  maka diperoleh nilai  $W_T$  (lebar saluran transmisi) untuk tiap-tiap nilai impedansi.

Nilai  $Z_A = Z_I = 520,71 \Omega$  :

$$W_1 = \frac{120\pi}{520,71} \times \frac{1.6}{\sqrt{4,5}} \text{ (mm)}$$

$$W_1 = 0,546 \text{ mm}$$

Nilai  $Z_3 = 100 \Omega$  :

$$W_3 = \frac{120\pi}{100} \times \frac{1.6}{\sqrt{4,5}} \text{ (mm)}$$

$$W_3 = 2,84 \text{ mm}$$

Nilai  $Z_4 = 50 \Omega$  :

$$W_4 = \frac{120\pi}{50} \times \frac{1.6}{\sqrt{4,5}} \text{ (mm)}$$

$$W_4 = 5,68 \text{ mm}$$

Untuk menghitung impedansi matching antar saluran transmisi digunakan impedansi *transformer*  $\frac{1}{4} \lambda$  dengan persamaan (2-29) :

$$Z_T = \sqrt{Z_o \cdot Z_L}$$

Impedansi matching antara saluran  $100 \Omega$  dan saluran  $520,71 \Omega$

$$Z_T = \sqrt{520,71 \times 100} \Omega = 228,19 \Omega$$

Nilai  $Z_T = Z_2 = 228,19 \Omega$  :

$$W_2 = \frac{120\pi}{228,19} \times \frac{1.6}{\sqrt{4,5}} \text{ (mm)}$$

$$W_2 = 1,24 \text{ mm}$$

Untuk panjang saluran transformer dapat dicari dengan persamaan (2-32)

$$L_t = \frac{1}{4} \lambda_d \text{ (m)}$$

Dengan  $\lambda_d = 0,058$  m, maka panjang saluran transformer adalah :

$$L_t = \frac{1}{4} \cdot 0,058 = 0,0145 \text{ m} = 14,5 \text{ mm}$$

Penentuan jarak antara elemen peradiasi dapat digunakan persamaan (2.38) berikut:

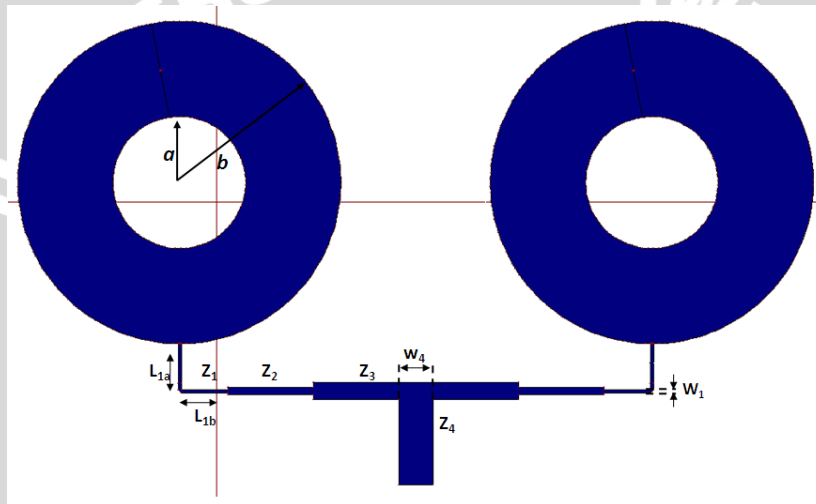
$$r \geq 0,6\lambda_d \text{ (mm)}$$

Dengan  $\lambda_d = 0,058 \text{ m}$ , maka panjang  $r$  sebesar :

$$r \geq 0,6\lambda_d \text{ (mm)}$$

$$r \geq 0,6 \times 0,058 \geq 0,0348 \text{ m} = 34,8 \text{ mm}$$

Setelah dilakukan perhitungan dan diketahui semua ukurannya, Maka dimensi keseluruhan dan saluran transmisinya dapat dilihat pada Gambar 4.9 :



Gambar 4.9. Antena Array Dua Elemen Sebelum Optimasi

Sumber : Simulasi

Keterangan Gambar 4.9:

Elemen Peradiasi :  $a = 11,2 \text{ mm}$ ,  $b = 27,3 \text{ mm}$

$Z_1 = 520,71 \Omega$  :  $W_1 = 0,546 \text{ mm}$ ,  $L_{1a} = 7,25 \text{ mm}$ ,  $L_{1b} = 7,25 \text{ mm}$

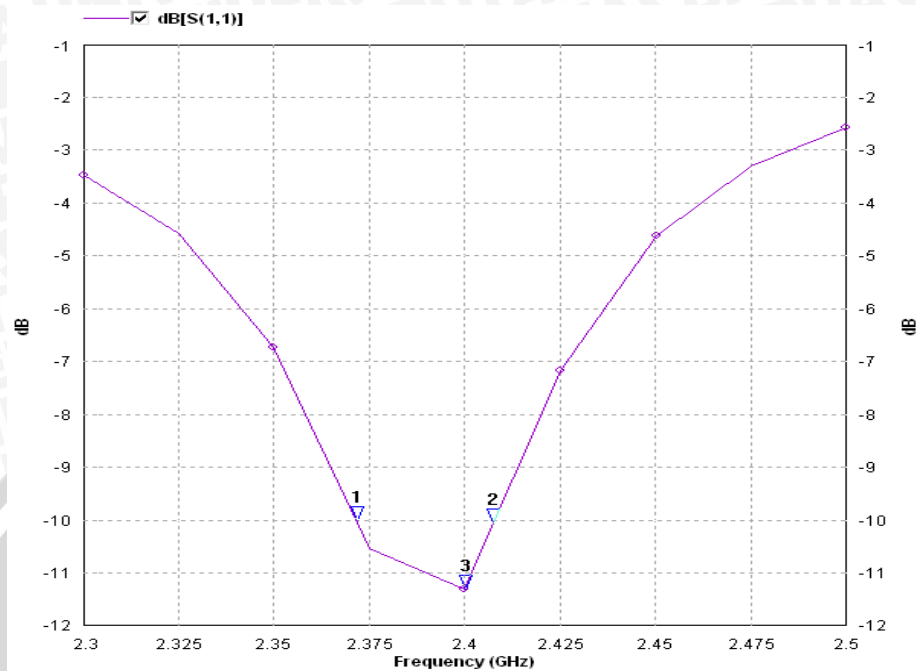
$Z_2 = 228,19 \Omega$  :  $W_2 = 1,24 \text{ mm}$ ,  $L = 14,5 \text{ mm}$

T-junction 1:  $Z_3 = 100 \Omega$  :  $W_3 = 2,84 \text{ mm}$ ,  $L = 14,5 \text{ mm}$

$Z_4 = 50 \Omega$  :  $W_4 = 5,68 \text{ mm}$ ,  $L = 14,5 \text{ mm}$

Jarak antar elemen peradiasi  $r \geq 34,8 \text{ mm}$

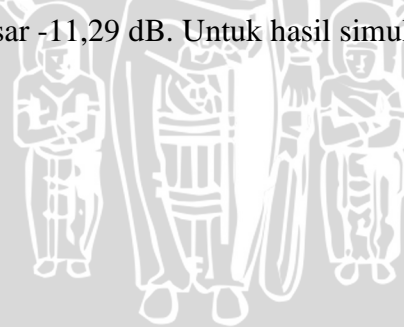
Kemudian dilakukan simulasi menggunakan program *Zeland IE3D<sup>TM</sup>*, Hasil simulasi dari antena mikrostrip *annular ring array* dua elemen sebelum optimasi dilihat pada Gambar 4.10 berikut:



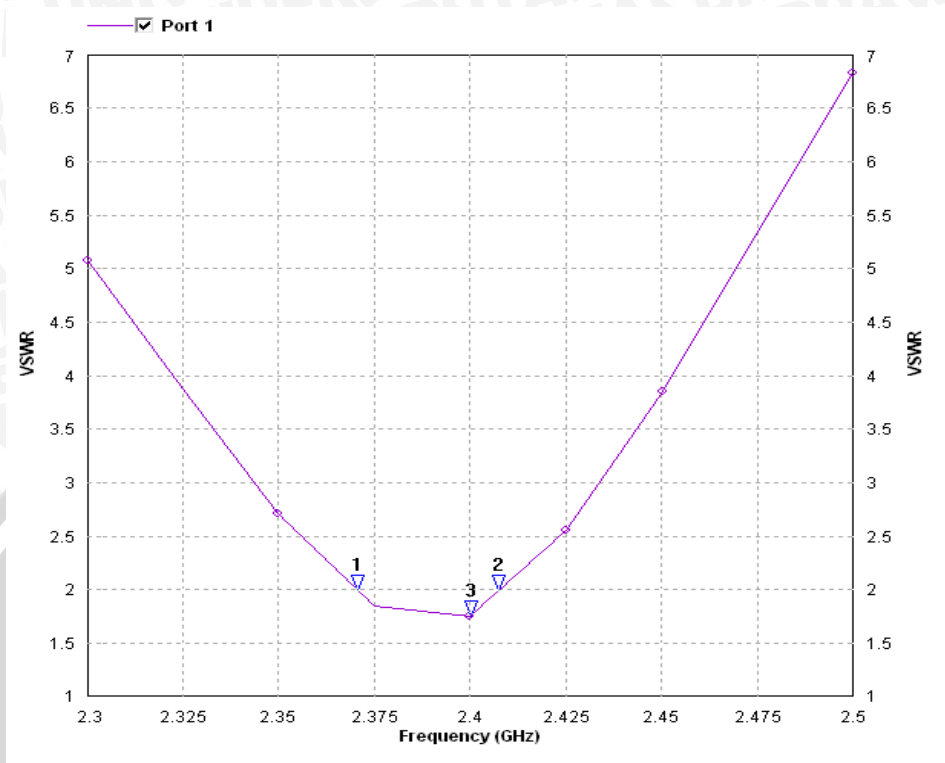
Gambar 4.10. Hasil Simulasi *Return Loss Array* Dua Elemen Sebelum Optimasi

Sumber : Simulasi

Hasil simulasi pada Gambar 4.9 menunjukkan nilai *return loss* dari simulasi dua elemen peradiasi. Dari simulasi dapat dilihat pada frekuensi 2400 MHz nilai *return loss* sebesar -11,29 dB. Untuk hasil simulasi VSWR ditunjukkan pada Gambar 4.11 berikut:







Gambar 4.11. Hasil Simulasi VSWR Array Dua Elemen Sebelum Optimasi  
 Sumber : Simulasi

Gambar 4.11 menunjukkan nilai VSWR dari simulasi dua elemen peradiasi. Untuk nilai VSWR sebuah antenna bekerja dengan baik jika nilai VSWR < 2. Dari simulasi dapat dilihat pada frekuensi kerja 2400 MHz dengan VSWR sebesar 1,748. Pada frekuensi kerja 2400 MHz nilai VSWR < 2 dimulai dari 2370 MHz sampai 2407 MHz, dengan nilai *bandwidth* adalah (2407-2370) MHz sebesar 37 MHz.

Dari hasil simulasi dua elemen *array* antenna sudah bekerja pada frekuensi 2400 MHz, sedangkan untuk nilai *bandwidth* masih relatif kecil. Sehingga perlu dilakukan optimasi agar antenna dapat bekerja dengan maksimum. Pada optimasi ini dilakukan secara manual pada simulasi program *Zeland IE3D™* dengan mengubah dimensi saluran transmisi.

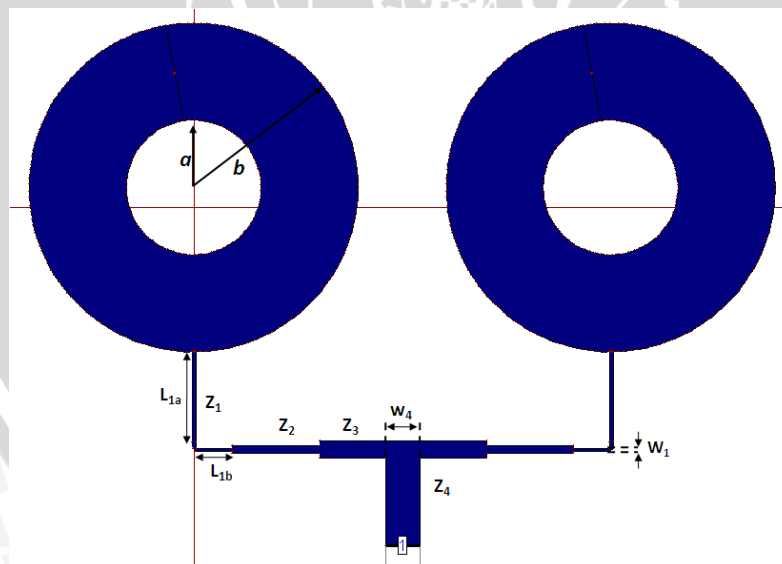
- Langkah 1 : dengan mengubah panjang dari saluran transmisi antar elemen peradiasi ( $L_{1a}$ ,  $L_{1b}$  dan  $L_T$ ).

Tabel 4.3. Hasil Optimasi  $L_{1a}$ ,  $L_{1b}$ , dan  $L_2$ ,  $L_3$  dengan Nilai VSWR dan *bandwidth*

No.	$L_{1a}$ (mm)	$L_{1b}$ (mm)	$L_2$ (mm)	$L_3$ (mm)	VSWR	Bandwidth (MHz)
1	7,25	7,25	14,5	14,5	1,748	37
2	9	7,75	14,5	14,5	1,569	37
3	9,5	7,75	14,5	7	2,07	-
4	5	6	14,5	11	2,08	-
5	10	7,75	18	7	1,668	39
6	16	7,75	14,5	14,5	1,183	39
7	16	11	14,5	11	1,207	37
8	16	6	14,5	9	1,601	40
9	16	6	14,5	11	1,487	41
10	10	6	14,5	11	1,89	24
11	16	10	20	11	1,566	27
16						

Sumber : Simulasi

Setelah dilakukan optimasi secara menyeluruh pada dimensi elemen peradiasi dan saluran transmisi, terjadi perubahan pada saluran transmisi. Hasil simulasi ditunjukkan pada Gambar 4.12:



Gambar 4.12. Antena Array Dua Elemen Setelah Optimasi

Sumber : Simulasi

Keterangan Gambar 4.12:

Elemen Peradiasi :  $a = 11,2$  mm,  $b = 27,3$  mm

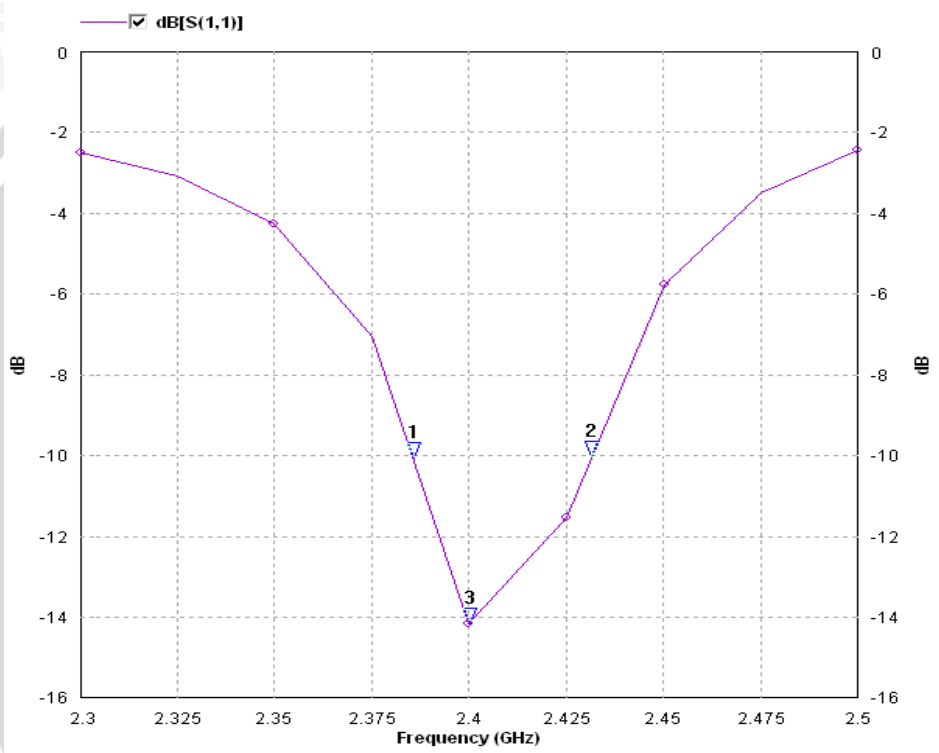
$Z_1 = 520,71 \Omega$  :  $W_1 = 0,56 \text{ mm}$ ,  $L_{1a} = 16 \text{ mm}$ ,  $L_{1b} = 6 \text{ mm}$

$Z_2 = 228,19 \Omega$  :  $W_2 = 1,24 \text{ mm}$ ,  $L = 14,5 \text{ mm}$

T-junction 1:  $Z_3 = 100 \Omega$  :  $W_3 = 2,84 \text{ mm}$ ,  $L = 11 \text{ mm}$

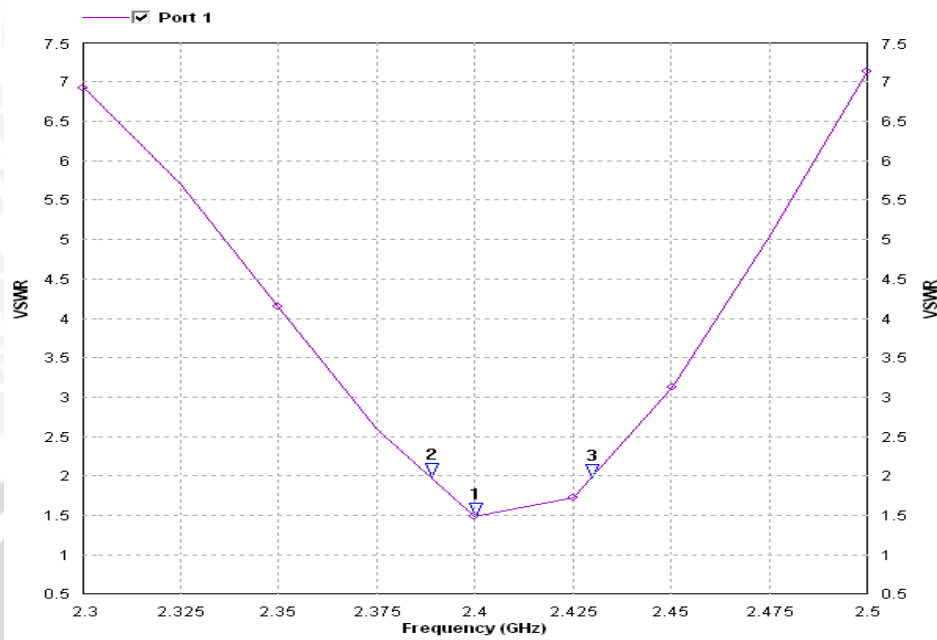
$Z_4 = 50 \Omega$  :  $W_4 = 5,68 \text{ mm}$ ,  $L = 14,5 \text{ mm}$

Dari hasil simulasi dua elemen peradiasi nilai *return loss* ditunjukkan pada Gambar 4.13.



Gambar 4.13. Hasil Simulasi *Return Loss Array* Dua Elemen Setelah Optimasi  
 Sumber : Simulasi

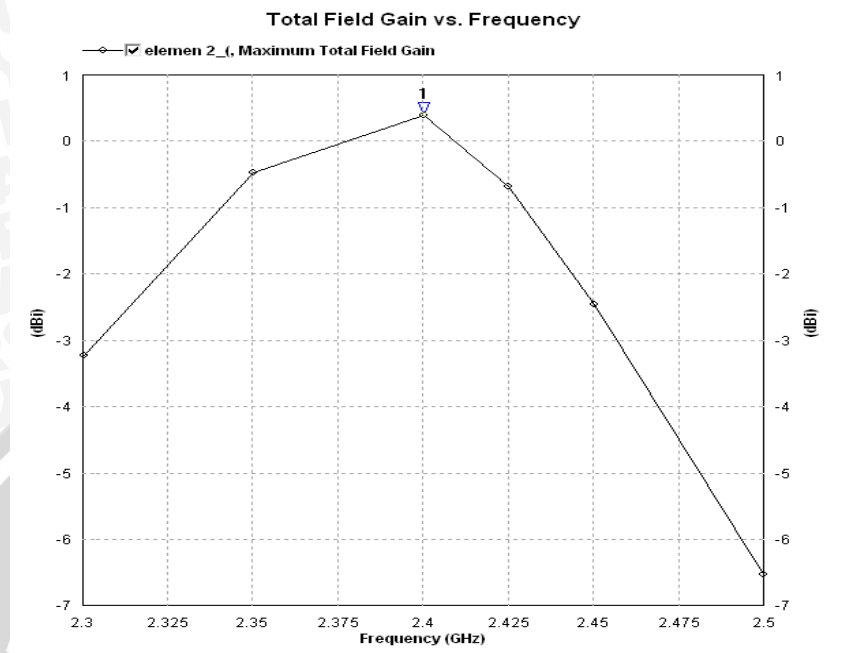
Dari simulasi dapat dilihat pada Gambar 4.13, Dari simulasi dapat dilihat pada frekuensi 2400 MHz nilai *return loss* sebesar -14,15 dB. Untuk hasil simulasi VSWR pada dimensi dua elemen ditunjukkan pada Gambar 4.14.



Gambar 4.14. Hasil Simulasi VSWR Array Dua Elemen Setelah Optimasi

Sumber : Simulasi

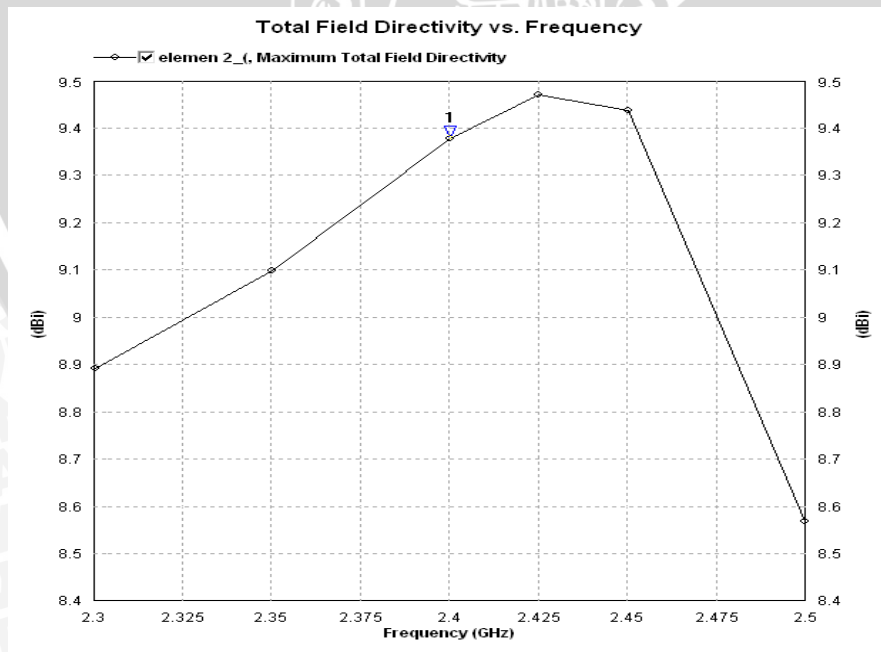
Dari grafik hasil optimasi pada Gambar 4.16 dapat dilihat bahwa elemen peradiasi sudah bekerja paling maksimal pada frekuensi 2400 MHz. Pada grafik diatas dapat diketahui nilai VSWR sebesar 1,487, untuk besarnya *bandwidth* yaitu dimulai dari 2388 MHz sampai 2429 MHz, sehingga antenna mempunyai *bandwidth* sebesar  $(2429-2388)$  MHz = 41 MHz. Parameter selanjutnya adalah *gain* seperti yang ditunjukkan grafik 4.15 berikut.



Gambar 4.15. Hasil Simulasi *gain* Array Dua Elemen Setelah Optimasi

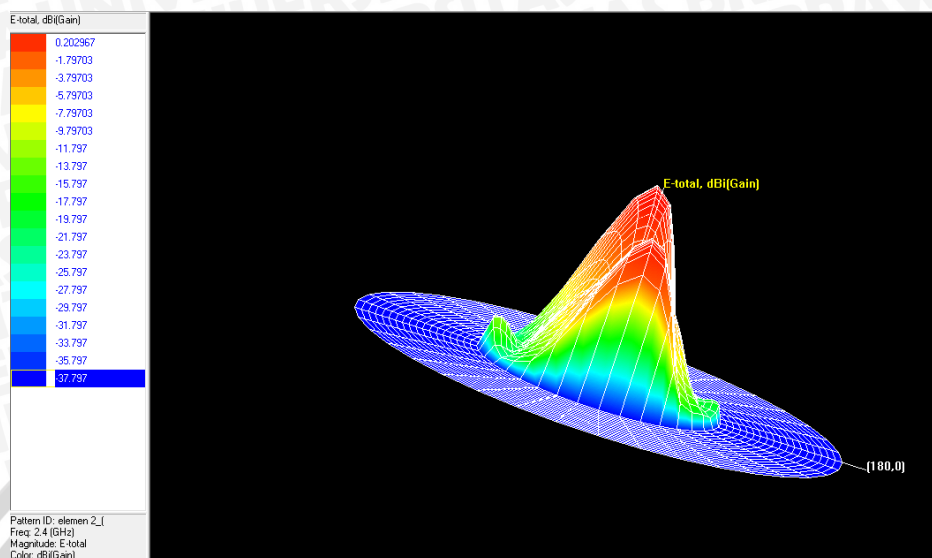
Sumber : Simulasi

Pada Gambar 4.15 hasil simulasi optimasi dapat dilihat pada frekuensi 2400 MHz hasil nilai *gain* sebesar 0,389 dBi. Untuk parameter berikut merupakan *directivity* hasil simulasi pada Gambar 4.16.



Gambar 4.16. Hasil Simulasi *directivity* Array Dua Elemen Setelah Optimasi

Sumber : Simulasi



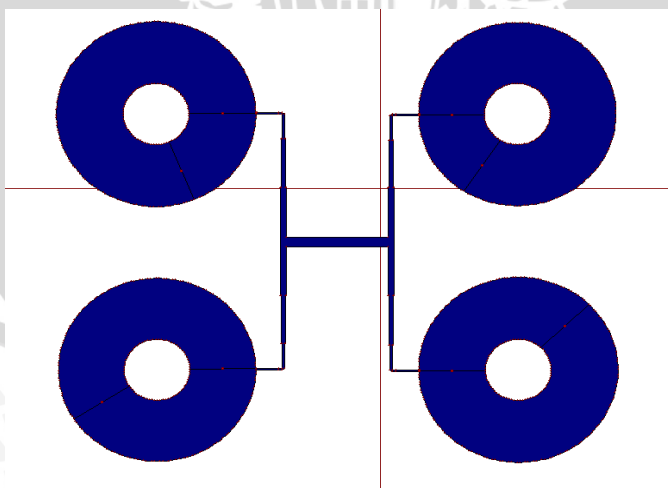
Gambar 4.17. Hasil Simulasi *Gain Pattern* 3D Antena *Array* Dua Elemen

Sumber : Simulasi

Dari Gambar 4.16 hasil simulasi optimasi dihasilkan nilai *directivity* pada frekuensi 2400 MHz sebesar 9,378 dBi.

#### 4.7 Perancangan dan Simulasi Antena Mikrostrip *Array* Empat Elemen

Dalam perencanaan ini akan dibuat antena mikrostrip *annular ring* yang disusun secara *array*, terdiri dari empat elemen peradiasi. Adapun bentuk antena yang direncanakan adalah ditunjukkan pada Gambar 4.18 :



Gambar 4.18. Antena Mikrostrip *Annular Ring Array* Empat Elemen

Sumber : Simulasi

Pada perencanaan awal, untuk dimensi elemen peradiasi seperti hasil dari dari perencanaan antenna dua elemen setelah optimasi.

Perencanaan impedansi masukan untuk setiap elemen peradiasi dapat dihitung dengan persamaan (2-28) :

$$Z_A = 90 \frac{\epsilon_r^2}{\epsilon_r - 1} \left( \frac{L}{W} \right)^2 \Omega$$

Dengan nilai  $\epsilon_r = 4.5$ ; karena elemen peradiasi berbentuk gelang (lingkaran) sehingga  $L = W$ , maka  $\frac{L}{W} = 1$ , jadi nilai impedansi masukannya adalah:

$$Z_A = 90 \frac{4,5^2}{4,5 - 1} = 520,71 \Omega$$

Untuk perhitungan dimensi saluran transmisi dapat digunakan persamaan (2-30) :

$$W_0 = \frac{\eta_0}{Z_0} x \frac{h}{\sqrt{\epsilon_r}} \text{ (mm)}$$

Pada perencanaan antenna mikrostrip empat elemen ini nilai impedansi pada setiap saluran direncanakan sebesar  $200 \Omega$ ,  $100 \Omega$ , untuk mendapatkan impedansi total  $50 \Omega$ , serta besarnya impedansi elemen peradiasi adalah  $520,71 \Omega$ . Dengan nilai  $h = 1.6 \text{ mm}$  dan  $\epsilon_r = 4.5$  maka diperoleh nilai  $W_T$  (lebar saluran transmisi) untuk tiap-tiap nilai impedansi.

Nilai  $Z_A = Z_I = 520,71 \Omega$  :

$$W_1 = \frac{120\pi}{520,71} x \frac{1.6}{\sqrt{4,5}} \text{ (mm)}$$

$$W_1 = 0,546 \text{ mm}$$

Nilai  $Z_3 = 200 \Omega$  :

$$W_3 = \frac{120\pi}{200} x \frac{1.6}{\sqrt{4,5}} \text{ (mm)}$$

$$W_3 = 1,42 \text{ mm}$$

Nilai  $Z_4 = 100 \Omega$  :

$$W_4 = \frac{120\pi}{100} x \frac{1.6}{\sqrt{4,5}} \text{ (mm)}$$

$$W_4 = 2,84 \text{ mm}$$

Untuk menghitung impedansi matching antar saluran transmisi digunakan impedansi *transformer*  $\frac{1}{4} \lambda$  dengan persamaan (2-29) :

$$Z_T = \sqrt{Z_o \cdot Z_L}$$

Impedansi matching antara saluran 200  $\Omega$  dan saluran 520,71  $\Omega$

$$Z_T = \sqrt{520,71 \times 200} \Omega = 322,71 \Omega$$

Nilai  $Z_T = Z_2 = 322,71 \Omega$  :

$$W_2 = \frac{120\pi}{322,71} \times \frac{1,6}{\sqrt{4,5}} \text{ (mm)}$$

$$W_2 = 0,88 \text{ mm}$$

Untuk panjang saluran transformer dapat dicari dengan persamaan (2-32)

$$L_t = \frac{1}{4} \lambda_d \text{ (m)}$$

Dengan  $\lambda_d = 0,058 \text{ m}$ , maka panjang saluran transformer adalah :

$$L_t = \frac{1}{4} \cdot 0,058 = 0,0145 \text{ m} = 14,5 \text{ mm}$$

Penentuan jarak antara elemen peradiasi dapat digunakan persamaan (2.38) berikut:

$$r \geq 0,6\lambda_d \text{ (mm)}$$

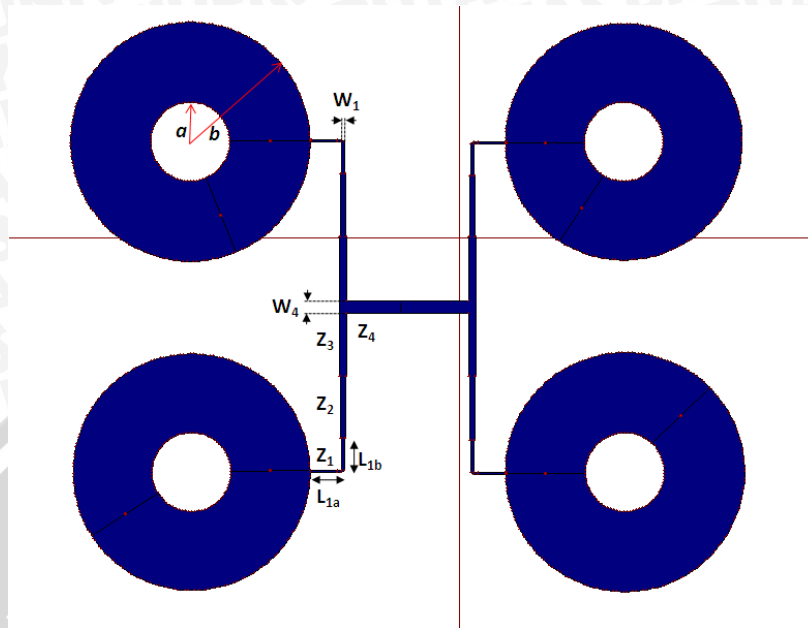
Dengan  $\lambda_d = 0,058 \text{ m}$ , maka panjang  $r$  sebesar :

$$r \geq 0,6\lambda_d \text{ (mm)}$$

$$r \geq 0,6 \times 0,058 \geq 0,0348 \text{ m} = 34,8 \text{ mm}$$

Setelah dilakukan perhitungan dan diketahui semua ukurannya, Maka dimensi keseluruhan dan saluran transmisinya dapat dilihat pada Gambar 4.19:





Gambar 4.19. Antena Array Empat Elemen Sebelum Optimasi

Sumber : Simulasi

Keterangan Gambar 4.19:

Elemen Peradiasi :  $a = 11,2$  mm,  $b = 27,3$  mm

$Z_1 = 520,71 \Omega$  :  $W_1 = 0,546$  mm,  $L_{1a} = 7,25$  mm,  $L_{1b} = 7,25$  mm

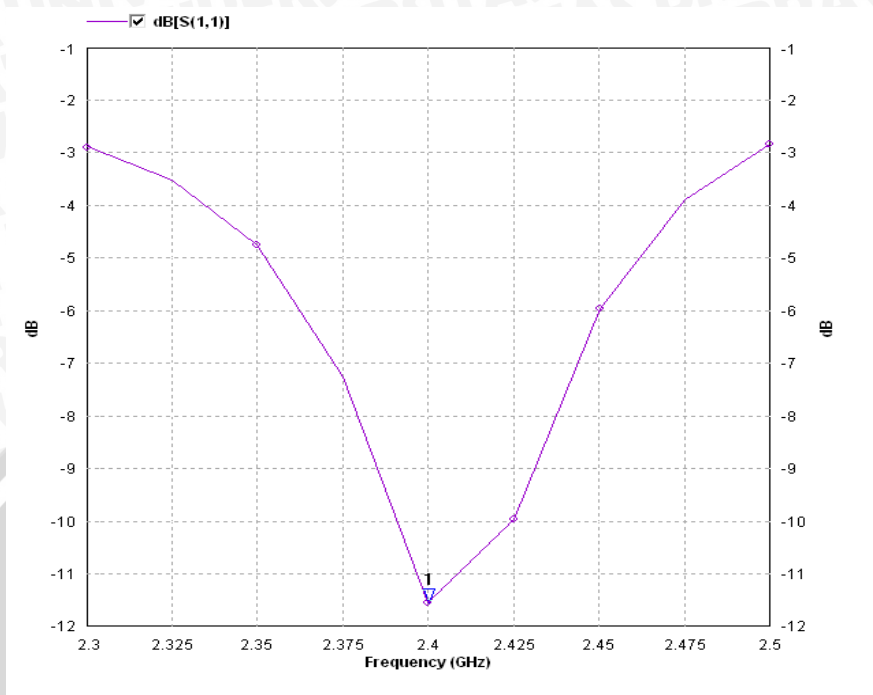
$Z_2 = 322,71 \Omega$  :  $W_2 = 0,88$  mm,  $L = 14,5$  mm

T-junction 1:  $Z_3 = 200 \Omega$  :  $W_3 = 1,42$  mm,  $L = 14,5$  mm

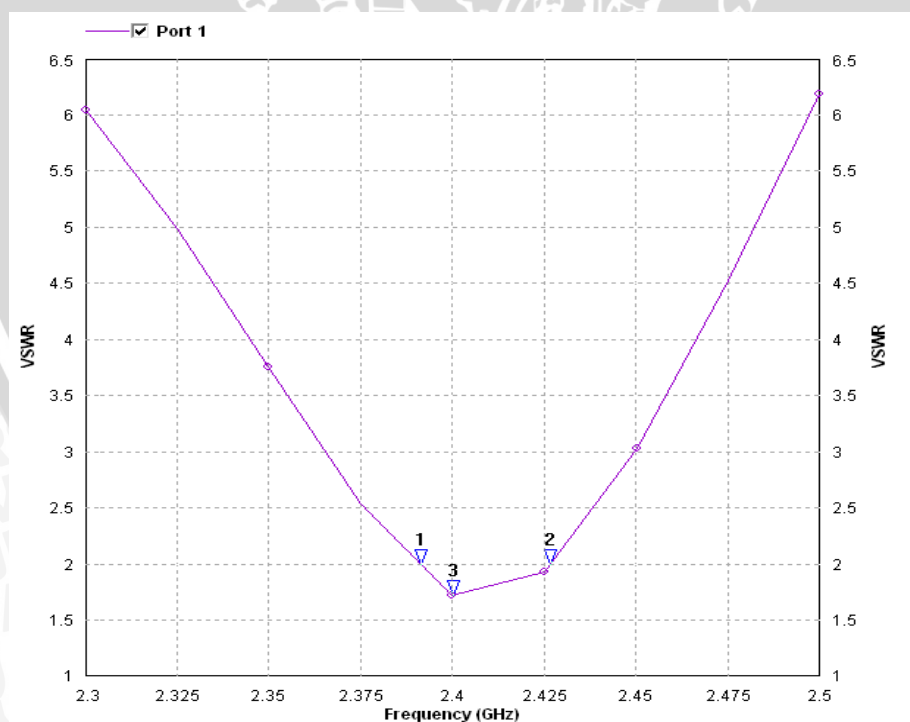
$Z_4 = 100 \Omega$  :  $W_4 = 2,84$  mm,  $L = 14,5$  mm

Jarak antar elemen peradiasi  $r \geq 34,8$  mm

Hasil simulasi dari antena mikrostrip *annular ring array* empat elemen sebelum optimasi adalah dilihat pada Gambar 4.20 :



Gambar 4.20. Hasil Simulasi *Return Loss* Array Empat Elemen Sebelum Optimasi  
 Sumber : Simulasi



Gambar 4.21. Hasil Simulasi VSWR Array Empat Elemen Sebelum Optimasi  
 Sumber : Simulasi

Hasil Simulasi pada Gambar 4.20 menunjukkan nilai *return loss* dari empat elemen peradiasi. Dari hasil simulasi dapat dilihat bahwa pada frekuensi 2400 MHz antenna mempunyai nilai *return loss* sebesar -11,547 dB.

Simulasi pada Gambar 4.21 menunjukkan nilai VSWR dari empat elemen peradiasi. Untuk nilai VSWR sebuah antenna bekerja dengan baik jika nilai VSWR  $< 2$ . Dari hasil simulasi dapat dilihat bahwa pada frekuensi 2400 MHz antenna mempunyai nilai VSWR sebesar 1,7196 dan nilai VSWR  $< 2$  dimulai dari frekuensi 2391 MHz sampai frekuensi 2426 MHz. sehingga untuk nilai *bandwidth* yaitu (2426-2391) MHz sebesar 35 MHz.

Berdasarkan hasil dari simulasi parameter di atas yaitu VSWR dan *return loss*, dapat dilihat bahwa antenna sudah dapat bekerja pada frekuensi 2400 MHz. Tetapi hasil yang diperoleh belum maksimal, sehingga perlu dilakukan optimasi terhadap antenna hasil perancangan di atas.

Pada optimasi ini dilakukan secara manual pada simulasi program *Zeland IE3D<sup>TM</sup>* dengan mengubah beberapa bagian dari rancangan antenna mikrostri empat elemen, yaitu:

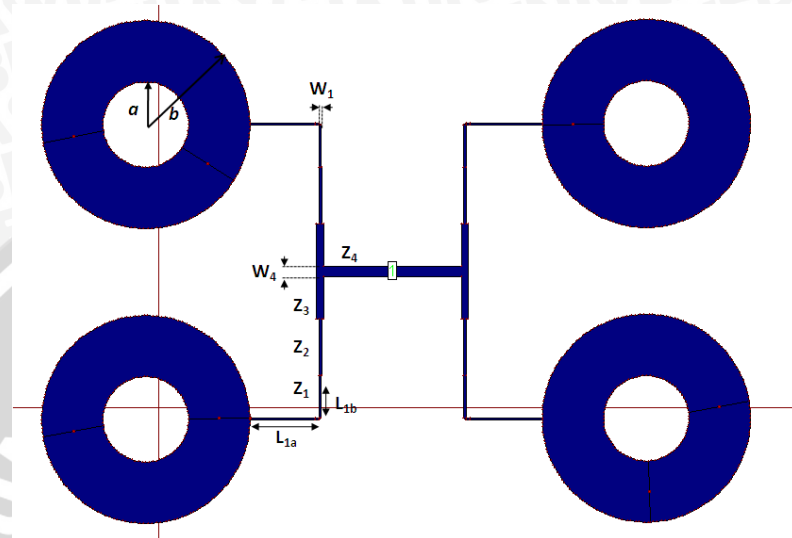
- Langkah 1 : dengan mengubah panjang dari saluran transmisi dan transformer antar elemen peradiasi ( $L_1, L_2, L_3$  dan  $L_4$ ).

Tabel 4.4. Hasil Optimasi  $L_1, L_2, L_3$ , dan  $L_4$  dengan Nilai VSWR dan *bandwidth*

No.	$L_{1a}$ (mm)	$L_{1b}$ (mm)	$L_2$ (mm)	$L_3$ (mm)	$L_4$ (mm)	VSWR	<i>Bandwidth</i> (MHz)
1	9	7,25	14,5	14,5	14,5	1,54	39
2	11	11	15	11	18	1,14	61
3	11	11	15	11	21	1,115	105
4	12	7	15	9	16	1,41	43
5	13	7	14	9	16	1,52	44
6	16	10	17	9	14,5	1,28	24
7	16	10	15	9	14,5	1,41	37
8	16	7,75	17	6	14,5	1,54	41
9	16	13,5	15	9	14,5	1,28	29

Sumber : Simulasi

Setelah dilakukan optimasi secara menyeluruh pada dimensi elemen peradiasi dan saluran transmisi, maka hasil simulasi ditunjukkan pada Gambar 4.22 berikut:



Gambar 4.22. Antena Array Empat Elemen Setelah Optimasi

Sumber : Simulasi

Keterangan Gambar 4.22:

Elemen Peradiasi :  $a = 11,2 \text{ mm}$ ,  $b = 27,3 \text{ mm}$

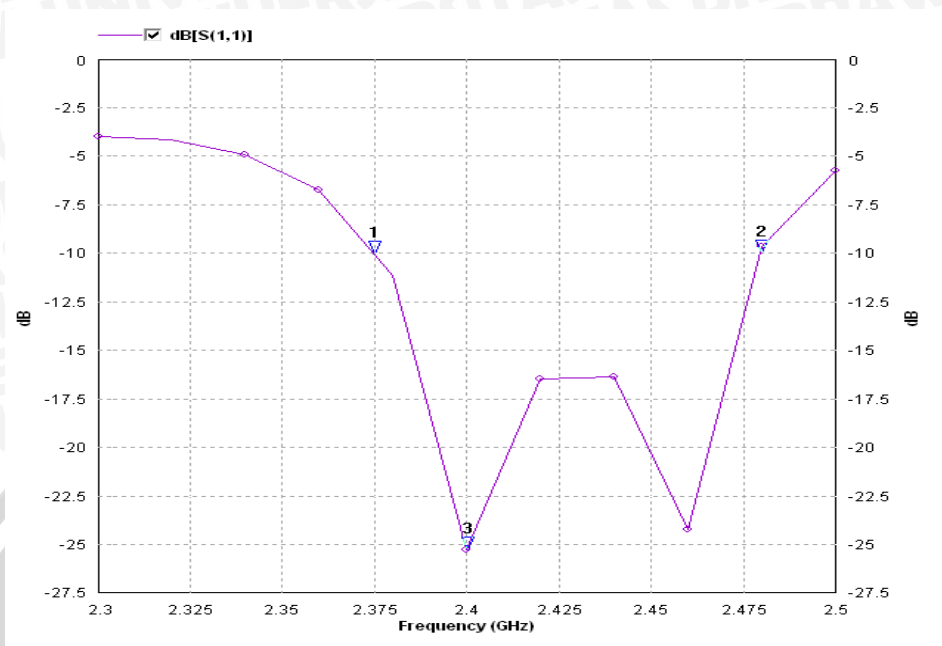
$Z_1 = 520,71 \Omega$  :  $W_1 = 0,56 \text{ mm}$ ,  $L_{1a} = 11 \text{ mm}$  dan  $L_{1a} = 19 \text{ mm}$ ,  $L_{1b} = 11 \text{ mm}$

$Z_2 = 322,71 \Omega$  :  $W_2 = 0,88 \text{ mm}$ ,  $L = 15 \text{ mm}$

T-junction 1:  $Z_3 = 200 \Omega$  :  $W_3 = 1,9 \text{ mm}$ ,  $L = 11 \text{ mm}$

$Z_4 = 100 \Omega$  :  $W_4 = 2,84 \text{ mm}$ ,  $L = 21 \text{ mm}$

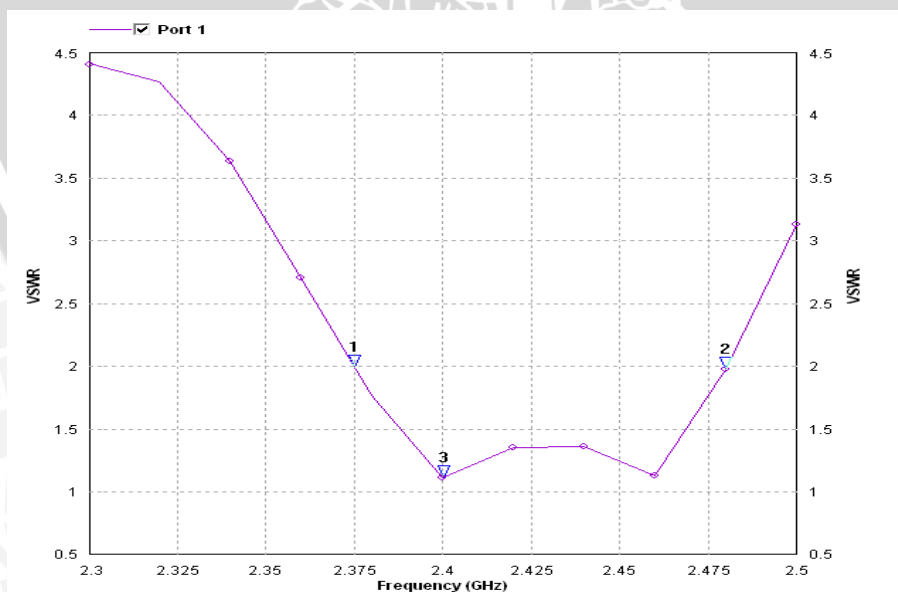
Berikut hasil simulasi nilai *return loss* setelah optimasi, dapat dilihat pada Gambar 4.23.



Gambar 4.23. Hasil Simulasi *Return Loss* Array Empat Elemen Setelah Optimasi

Sumber : Simulasi

Dari simulasi dapat dilihat pada Gambar 4.23 pada frekuensi 2400 MHz nilai *return loss* sebesar -25,278 dB. Dari hasil tersebut *return loss* sudah dapat bekerja sesuai frekuensi yang diinginkan. Untuk hasil simulasi VSWR pada dimensi empat elemen ditunjukkan pada Gambar 4.24.

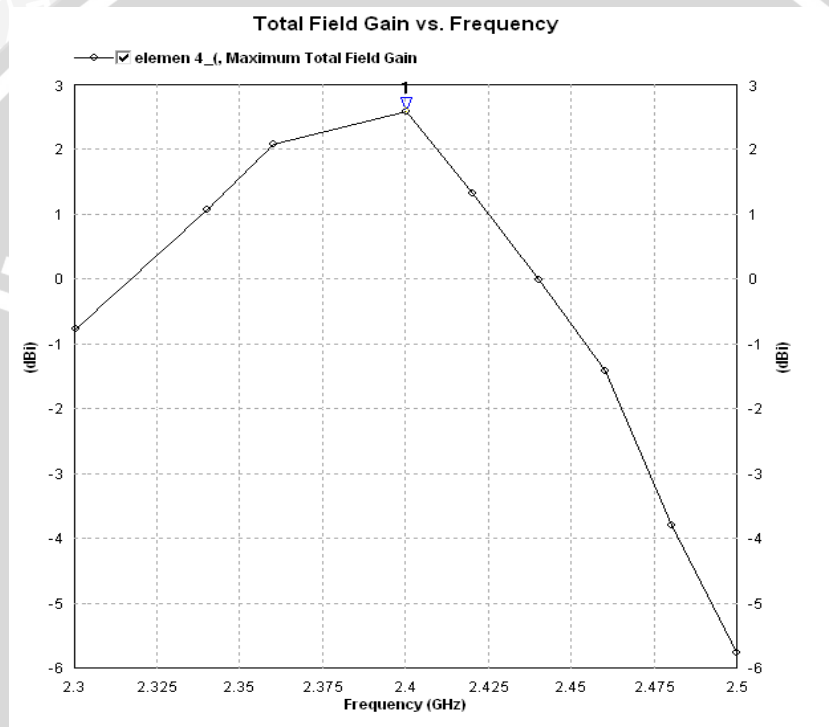


Gambar 4.24. Hasil Simulasi VSWR Array Empat Elemen Setelah Optimasi

Sumber : Simulasi

Dari hasil optimasi pada Gambar 4.24 dapat dilihat bahwa elemen peradiasi sudah dapat bekerja pada frekuensi 2400 MHz. Pada frekuensi 2400 MHz nilai VSWR sebesar 1,115. Grafik diatas juga dapat diketahui besarnya *bandwidth* yaitu pada nilai VSWR < 2 dimulai dari 2375 MHz sampai 2480 MHz, sehingga antenna mempunyai *bandwidth* sebesar (2468-2375) MHz = 105 MHz.

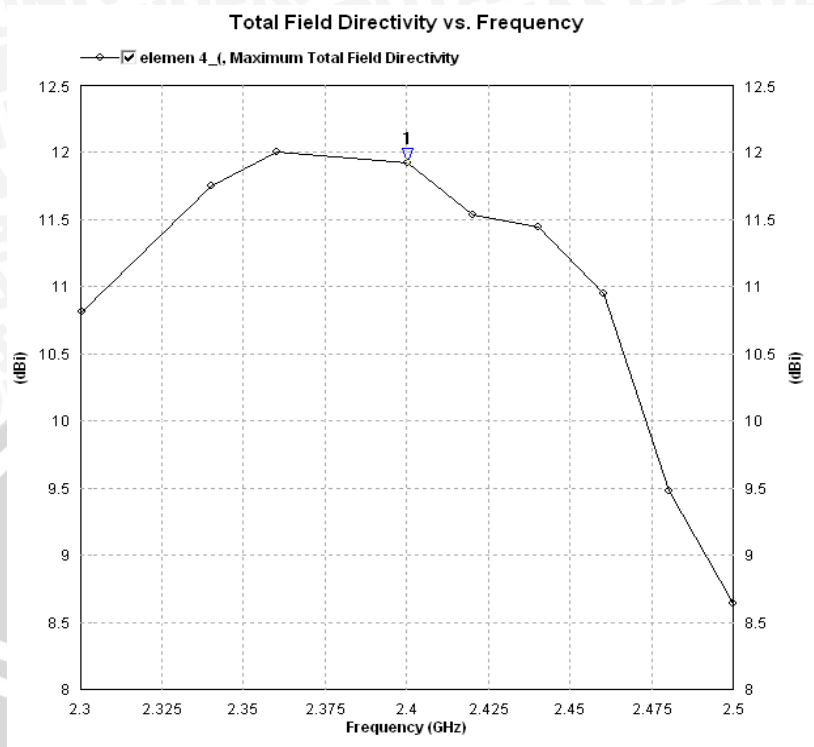
Hasil simulasi *Gain* pada dimensi empat elemen ditunjukkan pada Gambar 4.25.



Gambar 4.25. Hasil Simulasi *Gain* Antena Array Empat Elemen Setelah Optimasi  
Sumber : Simulasi

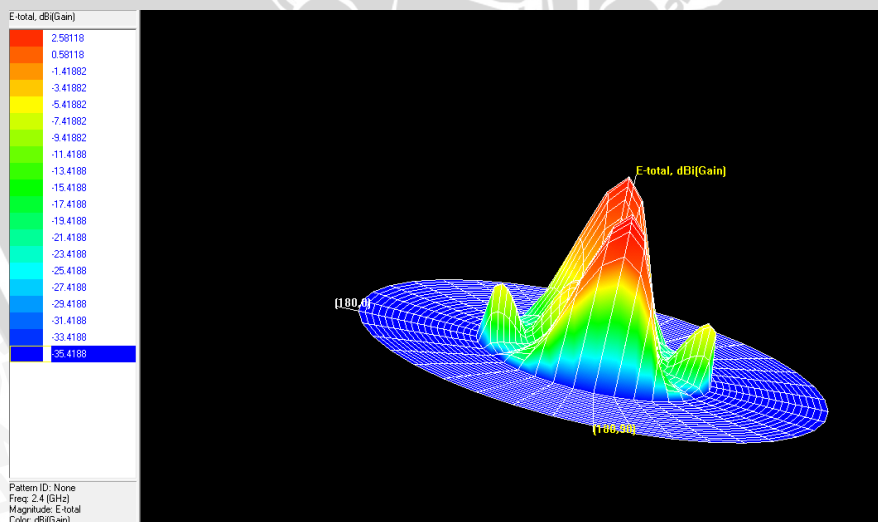
Dari hasil simulasi pada gambar 4.25 dilihat pada frekuensi 2400 MHz nilai *Gain* pada simulasi empat elemen setelah optimasi didapat sebesar 2,58 dBi.

Berikut hasil simulasi *directivity* ditunjukkan pada gambar 4.26.



Gambar 4.26. Hasil Simulasi Optimasi Nilai *Directivity Array* Empat Elemen

Sumber : Simulasi



Gambar 4.27. *Gain Pattern 3D Annular Ring Array* Empat Elemen

Sumber : Simulasi

Hasil optimasi simulasi dari empat elemen peradiasi, pada Gambar 4.27 merupakan nilai *directivity* pada frekuensi 2400 MHz sebesar 11,91 dBi.

#### 4.8 Analisis Hasil Simulasi

Berdasarkan hasil simulasi yang telah dilakukan pada parameter-parameter antenna yang meliputi *VSWR*, *return loss*, *directivity*, *gain*, serta *bandwidth*, pada frekuensi kerja 2,4 GHz setelah melalui optimasi. Perbandingan antara performansi hasil simulasi antenna mikrostrip *annular ring array* satu elemen, *array* dua elemen dan *array* empat elemen dapat dilihat pada Tabel 4.5 berikut.

Tabel 4.5. Perbandingan Jumlah Elemen Radiasi Hasil Simulasi Antena *Annular Ring Array*

No	Jumlah Elemen	VSWR	<i>Return Loss</i> (dB)	<i>Gain</i> (dBi)	<i>Directivity</i> (dBi)	<i>Bandwidth</i> (MHz)
1	1	1,19	-21,191	-2,58	6,472	35
2	2	1,487	-14,15	0,389	9,378	41
3	4	1,115	-25,27	2,58	11,91	105

Sumber : Simulasi

Dengan demikian berdasarkan hasil perbandingan parameter pada Tabel 4.5 pada frekuensi 2,4 GHz. Antena mikrostrip *annular ring array* dengan empat elemen radiasi hasil perancangan memiliki nilai *VSWR* sebesar 1,04 telah memenuhi persyaratan  $VSWR \leq 2$ , *return loss* sebesar -25,27 dB serta mempunyai *bandwidth* sebesar 105 MHz.

Langkah selanjutnya adalah fabrikasi antenna yang desainnya sesuai dengan hasil simulasi yaitu menggunakan antenna mikrostrip *annular ring array* empat elemen peradiasi.

#### 4.9 Pembuatan Antena Mikrostrip

Pada umumnya teknik pembuatan rangkaian-rangkaian mikrostrip dilakukan dengan mencetaknya di atas substrat tertentu. Pada skripsi ini substrat yang digunakan adalah FR4 yang sudah dalam bentuk PCB *double layer* dan lapisan konduktornya dari bahan tembaga.



#### 4.9.1 Alat-alat dan Bahan yang Digunakan

Bahan dan alat yang digunakan dalam pembuatan antena mikrostrip ini adalah sebagai berikut :

1. *Layout* rancangan dengan *AutoCAD 2008* dicetak di atas kertas kalkir dengan skala 1:1
2. PCB dengan bahan substrat FR4 dengan lapisan konduktornya dari logam tembaga.
3. *Acrylic*
4. Jangka sorong
5. Ulano – 133
6. *Screen T* – 180
7. *Amplas waterproof CC – Cw*
8. Gergaji besi
9. Kikir penghalus
10. Konektor antena standar BNC
11. Bor dan mata bor dengan diameter 1 mm
12. Solder dan timah

#### 4.9.2 Pencetakan pola antena mikrostrip pada substrat

Pola antena mikrostrip yang akan dicetak di atas PCB terlebih dahulu digambar dengan program *AutoCAD 2008*, untuk kemudian dicetak di atas kertas kalkir sebagai *sample layout*. Untuk menghasilkan cetakan *layout* yang bagus lebih baik menggunakan *printer* dengan teknologi laser, supaya ketelitian dari dimensi jalur-jalurnya tetap terjaga. Selain itu hasil *layout* dengan kertas kalkir ini harus terjaga kebersihannya, agar kotoran yang mungkin melekat padanya tidak ikut tercetak pada proses pembuatan antena mikrostrip ini.

Sebelum proses pencetakan, lembaran PCB harus dibersihkan dari debu dan kotoran lainnya yang mungkin melekat pada PCB tersebut. Pembersihan dilakukan dengan menggosokkan kompon atau kit, kemudian dicuci dengan menggunakan deterjen agar tidak ada lagi sisa kotoran yang menempel. Kemudian *screen T*-180 dibersihkan dengan air sabun hingga benar-benar bersih, lalu

dikeringkan. Setelah *screen* kering lapisi dengan ulano-133, pelapisan ini prosesnya dilakukan pada tempat yang tidak terkena cahaya apapun secara langsung (bebas dari sinar *ultraviolet*). Setelah selesai pelapisan tersebut, maka *screen* dikeringkan dengan menggunakan *hairdryer*.

Setelah itu lembar *layout* yang dibuat sebelumnya diletakkan di atas *screen* yang telah terlapis ulano-133 tersebut, untuk selanjutnya sinari dengan cahaya matahari  $\pm 1$  menit. Kemudian *screen* tersebut dibawa kembali ke ruang yang tidak terkena sinar secara langsung, untuk proses pembasahan dengan menggunakan air, agar tercetak pola antena mikrostrip pada *screen* tersebut. Selanjutnya *screen* ini dapat digunakan untuk mencetak (menyablon) pola antena mikrostrip yang diinginkan pada PCB yang digunakan.

#### 4.9.3 Etching (Pelarutan)

Setelah tercetak pola antena mikrostrip yang diinginkan, melakukan proses selanjutnya, yaitu proses pelarutan PCB dengan menggunakan larutan yang merupakan campuran  $\text{HCl} + \text{H}_2\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O}$  dengan perbandingan 1 : 2 : 9 sampai lapisan konduktor yang tidak diinginkan larut dan hanya tersisa gambar pola antena yang direncanakan.

Proses selanjutnya pelapisan konduktor antena mikrostrip dengan menggunakan cairan perak nitrat, yaitu dengan cara mencelupkannya ke dalam cairan perak nitrat dalam waktu  $\pm 15$  menit, sampai benar-benar seluruh lapisan konduktor telah terlapis dengan perak. Setelah itu antena mikrostrip ini dicuci dan dibersihkan.

#### 4.9.4 Penyolderan

Tahap berikutnya proses terakhir melakukan penyolderan, yaitu dengan menghubungkan konektor BNC dengan antena mikrostrip. Sebelum disolder, dilakukan pengeboran pada PCB di titik catunya dan pemasangan konektor pada PCB dengan disolder menggunakan timah sebagai perekat.

Setelah melakukan proses-proses pembuatan antena diatas, selanjutnya antena mikrostrip siap dilakukan pengukuran pada Laboratorium.

## BAB V

### PENGUJIAN DAN ANALISIS HASIL PENGUKURAN ANTENA MIKROSTRIP ANNULAR RING ARRAY

#### 5.1 Pendahuluan

Untuk mengetahui karakteristik antena mikrostrip *annular ring array* yang telah dirancang dan dibuat, maka dilakukan pengukuran terhadap parameter-parameter antena serta analisisnya terhadap frekuensi kerjanya. Selanjutnya, dari pengukuran parameter-parameter antena mikrostrip dapat diketahui bagaimana karakteristik dan performansi dari antena tersebut.

Tujuan dari pengukuran ini adalah untuk mendapatkan data-data parameter serta karakteristik antena yang telah dirancang dan dibuat. Dalam hal ini pengukuran yang dilakukan meliputi :

- Pengukuran *return loss*, Perhitungan VSWR dan Perhitungan koefisien pantul
- Pengukuran *gain* antena.
- Pengukuran pola radiasi.
- Pengukuran polarisasi.
- Perhitungan *bandwidth*
- Perhitungan *directivity*

Pengukuran parameter-parameter tersebut dilakukan di Laboratorium Telekomunikasi Politeknik Negeri Malang.

#### 5.2 Pengukuran *Return Loss*, Perhitungan VSWR dan Koefisien Pantul

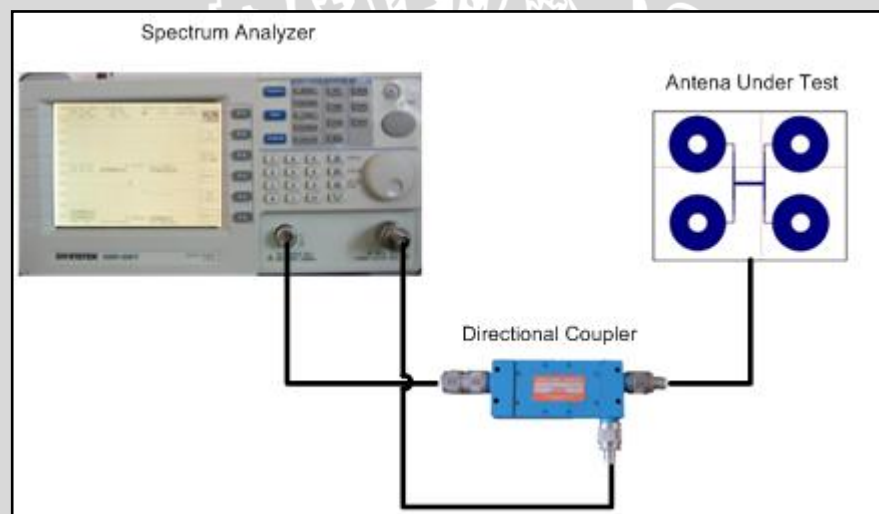
##### 5.2.1 Alat-alat yang digunakan

- *GW Instek GSP-827 Spectrum Analyzer 2,7 GHz.*
- *Directional coupler*
- Antena uji (Antena Mikrostrip *Annular Ring Array*).

- Kabel koaksial RG-58A/U.
- Konektor N *Female* dan *converter* N to BNC

### 5.2.2 Prosedur Pengukuran

1. Menghidupkan alat ukur *spectrum analyzer* dan tunggu  $\pm 5$  menit untuk persiapan pengukuran.
2. Menghubungkan kabel koaksial RG-58A/U dengan alat ukur *Spectrum Analyzer* kemudian menghubungkan ujung lain kabel koaksial RG-58A/U dengan *directional coupler* sedangkan ujung *coupler* yang lain dihubungkan dengan antenna uji sehingga terbentuk rangkaian seperti pada Gambar 5.1.
3. Mengkalibrasi alat ukur *spectrum analyzer* yang telah dihubungkan kabel koaksial RG-58A/U.



Gambar 5.1 Rangkaian Pengukuran *Return Loss*

Sumber : Pengukuran

4. Mengatur alat ukur *spectrum analyzer* pada range frekuensi 2200 MHz – 2700 MHz.
5. Mencatat nilai *return loss* yang ditunjukkan oleh alat ukur *spectrum analyzer* pada range frekuensi 2200 MHz - 2700 MHz dengan *step* kenaikan setiap 50 MHz.

### 5.2.3 Hasil Pengukuran

Dari hasil pengukuran *return loss* dapat dihitung nilai koefisien pantul dan nilai VSWR antena. Perhitungan nilai VSWR dan koefisien pantul dengan persamaan 2-17 dan 2-18 berikut.

$$f_r = 2400 \text{ MHz}$$

$$RL = -16,1 \text{ dB}$$

$$RL = 20 \log \Gamma \text{ (dB)},$$

$$\Gamma = 0,1566$$

$$VSWR = \frac{1+|\Gamma|}{1-|\Gamma|} = \frac{1+|0,1566|}{1-|0,1566|} = 1,3713$$

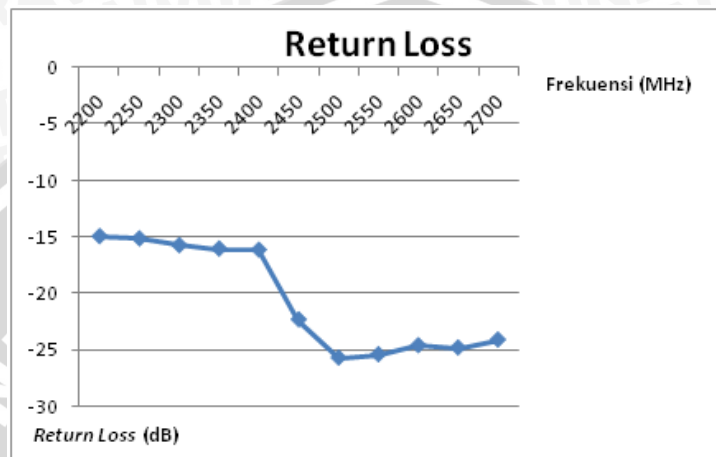
Dengan cara perhitungan yang sama, data hasil pengukuran *return loss*, maka VSWR dan koefisien pantul antena mikrostrip *Annular Ring Array* dapat dilihat pada Tabel 5.1 berikut.

Tabel 5.1 Hasil Pengukuran VSWR Antena Mikrostrip *Annular Ring Array*

No.	Frekuensi (MHz)	Return Loss (dB)	Koefisien Pantul	VSWR
1	2200	-14.9	0.179887092	1.438688599
2	2250	-15.1	0.175792361	1.426572997
3	2300	-15.7	0.164058977	1.392513282
4	2350	-16	0.158489319	1.376678093
5	2400	-16.1	0.156675107	1.371565237
6	2450	-22.3	0.076736149	1.166227994
7	2500	-25.7	0.051880004	1.109437633
8	2550	-25.4	0.05370318	1.113501765
9	2600	-24.6	0.058884366	1.125137365
10	2650	-24.8	0.057543994	1.122114971
11	2700	-24.1	0.062373484	1.133045477

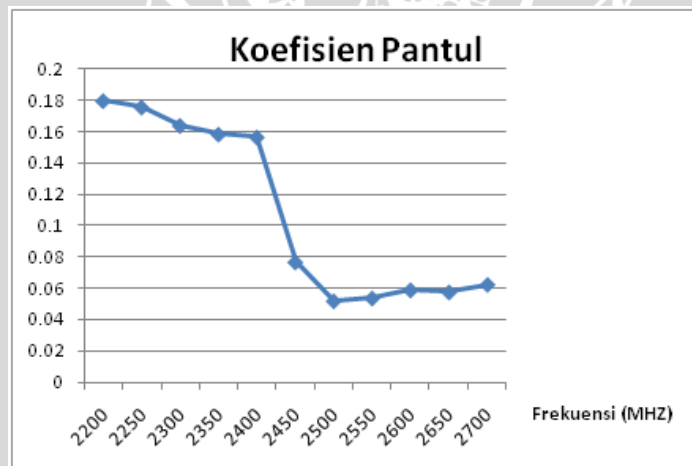
Sumber : Hasil Pengukuran

Selanjutnya dari data hasil pengukuran *return loss*, koefisien pantul dan VSWR dapat dibuat grafik fungsi terhadap frekuensi, seperti ditunjukkan pada Gambar grafik berikut.



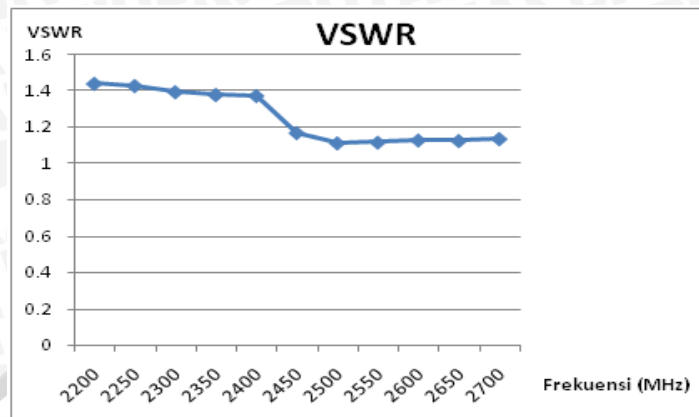
Gambar 5.2 Grafik Fungsi *Return Loss* Terhadap Frekuensi

Sumber : Hasil Pengukuran



Gambar 5.3 Grafik Fungsi Koefisien Pantul Terhadap Frekuensi

Sumber : Hasil Pengukuran



Gambar 5.4 Grafik Fungsi VSWR Terhadap Frekuensi

Sumber : Hasil Pengukuran

#### 5.2.4 Analisis Hasil Pengukuran

Berdasarkan hasil pengukuran, antenna mikrostrip *Annular ring Array* pada frekuensi 2400 MHz antenna memiliki nilai *return loss* sebesar  $-16,1$  dB, koefisien pantul sebesar  $0,1566$ , dan nilai VSWR sebesar  $1,3715$ . Hal ini berarti antenna dapat bekerja pada frekuensi kerja yang direncanakan dan masih dalam batas yang diijinkan yaitu  $VSWR \leq 2$ .

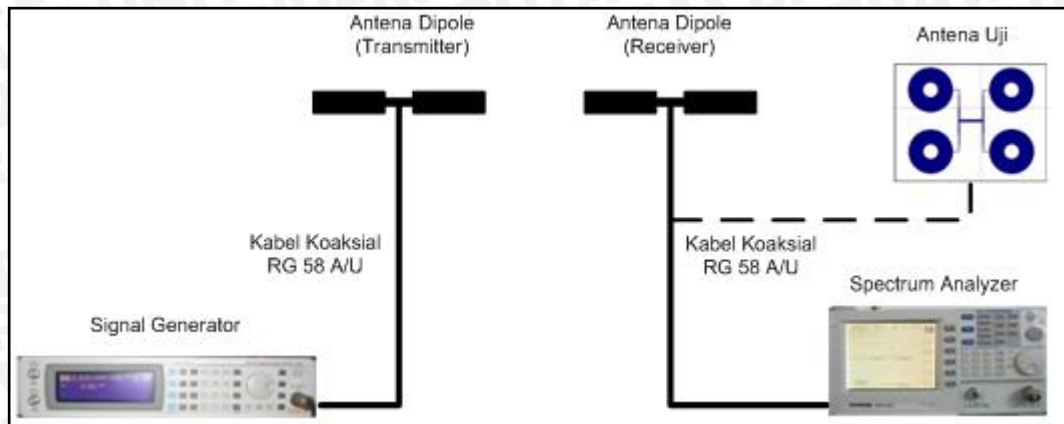
### 5.3 Pengukuran Gain Antena

#### 5.3.1 Alat-alat yang digunakan

- *Signal Generator Aeroflex IFR 3413 250 kHz-3 GHz.*
- *Spectrum Analyzer GW Instek GSP-827 2,7 GHz*
- Dua buah antenna standar *dipole sleeve  $\lambda/2$*
- Antena uji (Antena Mikrostrip *Annular Ring Array*)
- Kabel koaksial RG-58A/U
- Konektor tipe N *Female* dan *converter N to BNC*
- Dua Buah Tiang penyangga

#### 5.3.2 Prosedur Pengukuran

1. Merangkai peralatan seperti pada Gambar 5.6.



Gambar 5.6 Rangkaian Pengukuran *Gain* Antena

Sumber : Pengukuran

2. Pasang satu antena *dipole*  $\lambda/2$  sebagai antena pemancar dan satu antena *dipole*  $\lambda/2$  dipasang sebagai antena referensi pada sisi penerima.
3. *Signal generator* diatur pada frekuensi 2300 MHz dan catat daya antena yang terukur pada *spectrum analyzer*.
4. Naikkan frekuensi pada *signal generator* dengan *step* kenaikan sebesar 10 MHz dan catat hasilnya.
5. Antena *dipole*  $\lambda/2$  pada penerima (referensi) diganti dengan antena uji (Antena mikrostrip *Annular Ring Array*) hasil perancangan.
6. Mengulangi langkah 4 dan 5.

### 5.3.3 Hasil Pengukuran

Pada pengukuran *gain* antena ini, akan diperoleh parameter-parameter yaitu daya yang diterima antena referensi ( $P_R$ ), daya antena yang diuji ( $P_U$ ), dan *gain* antena yang diuji ( $G_{AUT}$ ). Nilai *Gain* antena ( $G$ ) yang diuji diperoleh dari perhitungan data hasil pengukuran dengan menggunakan persamaan 2-15 berikut.

$$G_{AUT}(dBi) = G_R(dBi) + 10 \log \left( \frac{W_U}{W_R} \right)$$

$$G_{AUT}(dBi) = G_R(dBi) + P_U(dBm) - P_R(dBm)$$

$$G(dBi) = 2,15(dBi) + P_U(dBm) - P_R(dBm)$$

$$G(dBi) = 2,15(dBi) - 64,1(dBm) - (-65,4)(dBm) = 3,45 dBi$$

Untuk hasil pengukuran dapat dilihat pada Tabel 5.2 berikut.



Tabel 5.2 Hasil pengukuran *Gain* Antena Mikrostrip *Annular Ring Array*

No.	Frekuensi (MHz)	$P_R$ (dBm)	$P_U$ (dBm)	<i>Gain</i> (dBi)
1	2310	-68.2	-69.2	1.15
2	2320	-69.9	-68.8	3.25
3	2330	-62.4	-63.5	1.05
4	2340	-59.1	-60.6	0.65
5	2350	-62.6	-64.6	0.15
6	2360	-61	-62.2	0.95
7	2370	-70.9	-68.1	4.95
8	2380	-66.9	-67.4	1.65
9	2390	-67.8	-68.7	1.25
10	2400	-65.4	-64.1	3.45
11	2410	-61.8	-60.8	3.15
12	2420	-62.5	-61.3	3.35
13	2430	-68.5	-66.1	4.55
14	2440	-71.6	-68.5	5.25
15	2450	-61.1	-62.1	1.15
16	2460	-61.3	-61.2	2.25
17	2470	-61.5	-59.5	4.15
18	2480	-63.1	-59.2	6.05
19	2490	-66.7	-60.7	8.15
20	2500	-69.5	-61.9	9.75

Sumber : Hasil Pengukuran

#### 5.3.4 Analisis Hasil Pengukuran

Pada pengukuran ini digunakan antenna referensi adalah antenna *dipole*  $\lambda/2$  isotropis dengan nilai *gain* standar 2,15 dBi.

Dilihat pada Tabel 5.2 frekuensi antenna yaitu 2400 MHz mempunyai nilai *gain* sebesar 3,45 dBi, antenna ini memiliki nilai *gain* yang cukup besar. Nilai ini

juga telah memenuhi persyaratan yang diinginkan pada *gain* antenna mikrostrip yang umumnya  $> 3$  dBi.

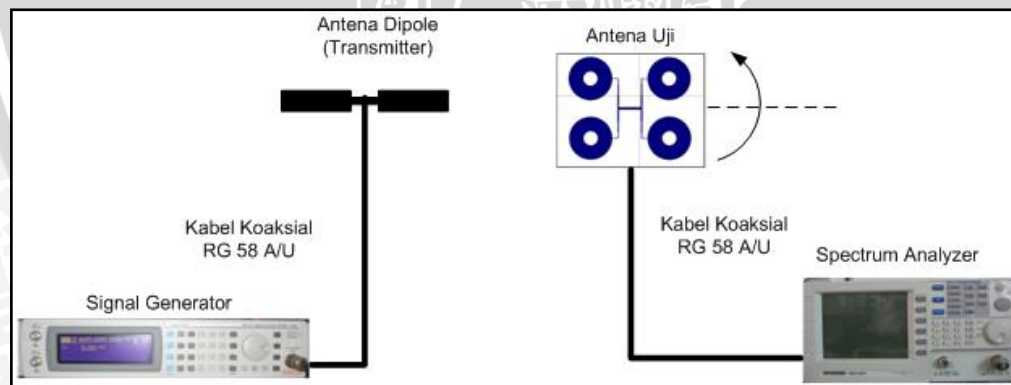
## 5.4. Pengukuran Polarisasi

### 5.4.1 Alat-alat yang digunakan

- *Aeroflex IFR 3413 Signal Generator 250 kHz-3 GHz.*
- *GW Instek GSP-827 Spectrum Analyzer 2,7 GHz*
- Satu buah antenna standar *dipole sleeve  $\lambda/2$*  sebagai transmitter
- Antena uji (*Antena Mikrostrip Annular Ring Array*)
- Kabel koaksial RG-58A/U
- Konektor tipe N *Female* dan *converter N to BNC*
- Dua buah tiang penyangga dengan interval sudut putar tiap  $10^0$

### 5.4.2 Prosedur Pengukuran

1. Memasang antenna *dipole  $\lambda/2$*  sebagai antenna pemancar dengan menghubungkannya ke *signal generator* menggunakan kabel koaksial RG-58A/U, seperti ditunjukkan pada Gambar 5.7 berikut.



Gambar 5.7 Rangkaian Pengukuran Polarisasi Antena

Sumber : Pengukuran

2. Memasang antenna uji (*Antena Mikrostrip Annular Ring Array*) sebagai antenna penerima dengan menghubungkannya ke *Spectrum Analyzer* menggunakan kabel koaksial RG-58A/U, seperti ditunjukkan pada gambar 5.3.

3. Memposisikan antenna pemancar sejajar dengan antenna uji, kemudian mengatur *Signal Generator* pada frekuensi 2400 MHz.
4. Memutar antenna uji pada sumbu horizontal antenna, dari  $0^\circ$  sampai  $360^\circ$  dengan interval  $10^\circ$ , dan mencatat nilai daya diterima yang ditunjukkan oleh *Spectrum Analyzer* pada tiap-tiap interval pemutaran.
5. Menghitung nilai normalisasi untuk tiap sudut putarnya.

### 5.4.3 Hasil Pengukuran

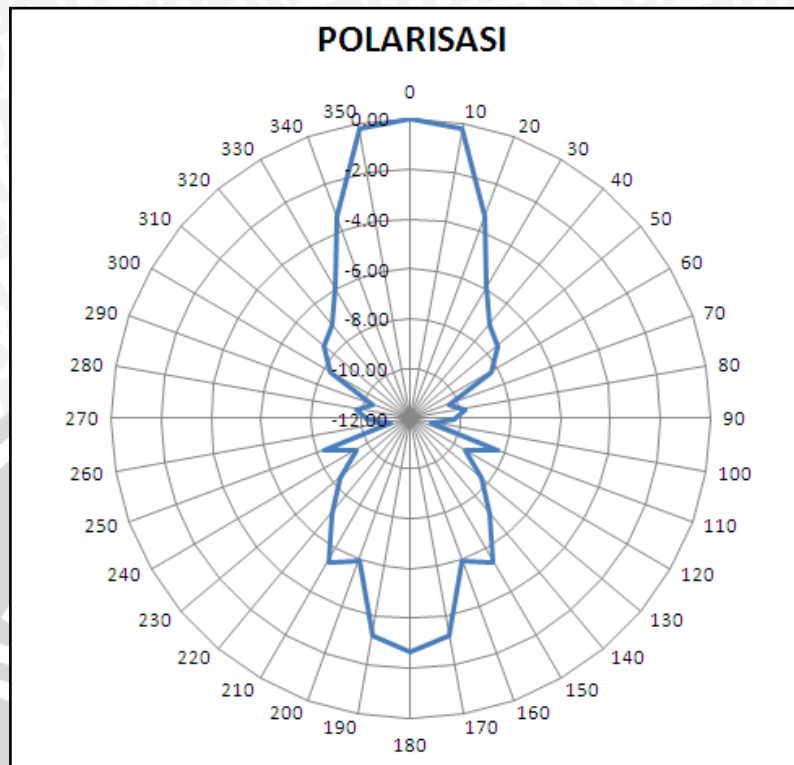
Berdasarkan hasil pengukuran polarisasi yang dilakukan, maka diperoleh nilai daya yang diterima oleh antenna uji (*Antena Mikrostrip Annular Ring Array*) yang diputar  $10^\circ$  pada sumbu horizontal. Nilai normalisasi hasil pengukuran kemudian diubah ke dalam bentuk diagram polar. Data hasil pengukuran polarisasi terlihat dalam Tabel 5.3 berikut ini.



Tabel 5.3 Hasil Pengukuran Polarisasi Antena Mikrostrip *Annular Ring Array*

No	Sudut (°)	Level Terima (dBm)	Normalisasi
1.	0	-64.10	0.00
2.	10	-64.30	-0.20
3.	20	-67.50	-3.40
4.	30	-70.00	-5.90
5.	40	-71.20	-7.10
6.	50	-71.60	-7.50
7.	60	-72.40	-8.30
8.	70	-74.50	-10.40
9.	80	-73.90	-9.80
10.	90	-74.40	-10.30
11.	100	-74.80	-10.70
12.	110	-72.40	-8.30
13.	120	-73.60	-9.50
14.	130	-72.40	-8.30
15.	140	-71.20	-7.10
16.	150	-69.50	-5.40
17.	160	-70.10	-6.00
18.	170	-67.30	-3.20
19.	180	-66.20	-2.10
20.	190	-67.30	-3.20
21.	200	-70.10	-6.00
22.	210	-69.50	-5.40
23.	220	-71.20	-7.10
24.	230	-72.40	-8.30
25.	240	-73.60	-9.50
26.	250	-72.40	-8.30
27.	260	-74.80	-10.70
28.	270	-74.40	-10.30
29.	280	-73.90	-9.80
30.	290	-74.50	-10.40
31.	300	-72.40	-8.30
32.	310	-71.60	-7.50
33.	320	-71.20	-7.10
34.	330	-70.00	-5.90
35.	340	-67.50	-3.40
36.	350	-64.30	-0.20

Sumber : Hasil Pengukuran



Gambar 5.8 Diagram Polar Polarisasi Antena Mikrostrip *Annular Ring Array*

Sumber : Hasil Pengukuran

#### 5.4.4 Analisis Hasil Pengukuran

Berdasarkan data hasil pengukuran polarisasi Tabel 5.3, dengan mengubah data nilai daya yang telah dinormalisasi ke dalam bentuk diagram polar, maka dapat diketahui bentuk polarisasi antena. Bentuk polarisasi antena yang diuji dapat dilihat dalam Gambar 5.8 di atas.

Berdasarkan Gambar 5.8 antena ini dapat digolongkan sebagai antena yang berpolarisasi linier. Walaupun tidak linier sempurna namun dengan memiliki nilai maksimum pada sudut  $0^{\circ}$  dan  $180^{\circ}$  serta minimum pada sekitar  $100^{\circ}$  dan  $260^{\circ}$  maka sudah dapat dikatakan memiliki polarisasi linier. Bentuk polarisasi sesuai dengan teori bahwa antena mikrostrip memiliki polarisasi linier.

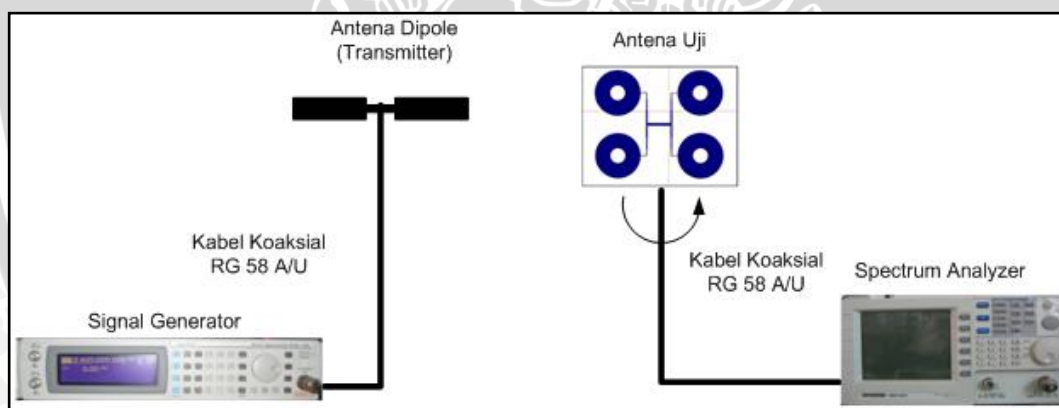
## 5.5 Pengukuran Pola Radiasi

### 5.5.1 Alat-alat yang digunakan

- *Aeroflex IFR 3413 Signal Generator 250 kHz-3 GHz.*
- *GW Instek GSP-827 Spectrum Analyzer 2,7 GHz*
- Satu buah antenna standar *dipole sleeve  $\lambda/2$*  sebagai transmitter
- Antena uji (Antena Mikrostrip *Annular Ring Array*)
- Kabel koaksial RG-58A/U
- Konektor tipe N *Female* dan *converter N to BNC*
- Dua buah tiang penyangga dengan interval sudut putar  $10^\circ$

### 5.5.2 Prosedur pengukuran

1. Memasang antenna *dipole kedua* sebagai antenna pemancar dengan menghubungkannya ke *Signal Generator* menggunakan kabel koaksial RG-58A/U, seperti ditunjukkan pada Gambar 5.9 berikut.



Gambar 5.9 Rangkaian Pengukuran Pola Radiasi Antena

Sumber : Pengukuran

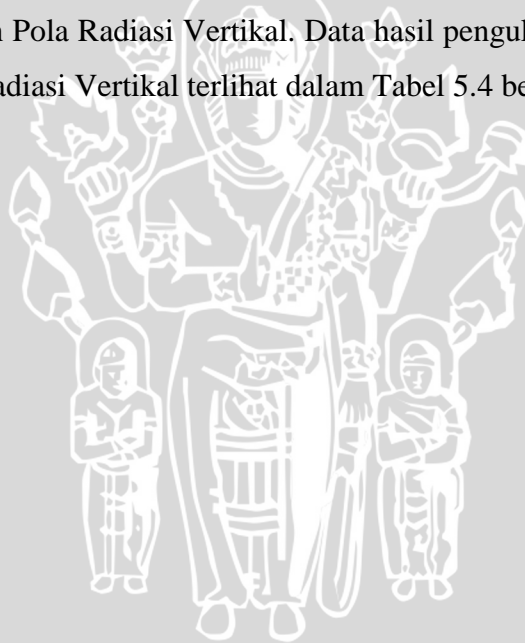
2. Memasang antenna uji (antena mikrostrip *Annular Ring Array*) sebagai antenna penerima dengan menghubungkannya ke *Spectrum Analyzer* menggunakan kabel koaksial RG-58A/U, seperti ditunjukkan pada Gambar 5.9.
3. Mengatur *Signal Generator* pada frekuensi 2400 MHz.
4. Memutar antenna uji (antena mikrostrip *Annular Ring Array*) secara horizontal, dari  $0^\circ$  sampai  $360^\circ$  dengan interval  $10^\circ$ , dan mencatat nilai

daya yang ditunjukkan oleh *Spectrum Analyzer* pada tiap-tiap interval pemutaran untuk mendapatkan nilai pola radiasi horizontal.

5. Menghitung harga normalisasi untuk tiap sudut putarnya.
6. Memutar antenna pemancar dan antenna uji (antenna mikrostrip *Annular Ring Array*) pada sumbunya sejauh  $90^\circ$ , untuk mendapatkan nilai Pola Radiasi Vertikal.
7. Mengulangi langkah 4 dan 5.

### 5.5.3 Hasil Pengukuran

Berdasarkan hasil pengukuran pola radiasi yang dilakukan, maka diperoleh nilai daya yang diradiasikan oleh antenna uji. Pola radiasi yang diperoleh yaitu Pola Radiasi Horizontal dan Pola Radiasi Vertikal. Data hasil pengukuran Pola Radiasi Horizontal dan Pola Radiasi Vertikal terlihat dalam Tabel 5.4 berikut.



Tabel 5.4 Hasil Pengukuran Pola Radiasi Horizontal Antena Mikrostrip Annular Ring Array.

No	Sudut (°)	Level Terima (dBm)	Normalisasi
1.	0	-67.8	-1.70
2.	10	-66.1	0.00
3.	20	-69.8	-3.70
4.	30	-73.3	-7.20
5.	40	-72.6	-6.50
6.	50	-71.1	-5.00
7.	60	-70.4	-4.30
8.	70	-70.3	-4.20
9.	80	-70.5	-4.40
10.	90	-69.3	-3.20
11.	100	-73.2	-7.10
12.	110	-71.1	-5.00
13.	120	-72.7	-6.60
14.	130	-71.3	-5.20
15.	140	-73.4	-7.30
16.	150	-74.2	-8.10
17.	160	-74.6	-8.50
18.	170	-74.4	-8.30
19.	180	-73.5	-7.40
20.	190	-74.4	-8.30
21.	200	-74.6	-8.50
22.	210	-74.2	-8.10
23.	220	-73.4	-7.30
24.	230	-71.3	-5.20
25.	240	-72.7	-6.60
26.	250	-71.1	-5.00
27.	260	-73.2	-7.10
28.	270	-69.3	-3.20
29.	280	-70.5	-4.40
30.	290	-70.3	-4.20
31.	300	-70.4	-4.30
32.	310	-71.1	-5.00
33.	320	-72.6	-6.50
34.	330	-73.3	-7.20
35.	340	-69.8	-3.70
36.	350	-66.1	0.00

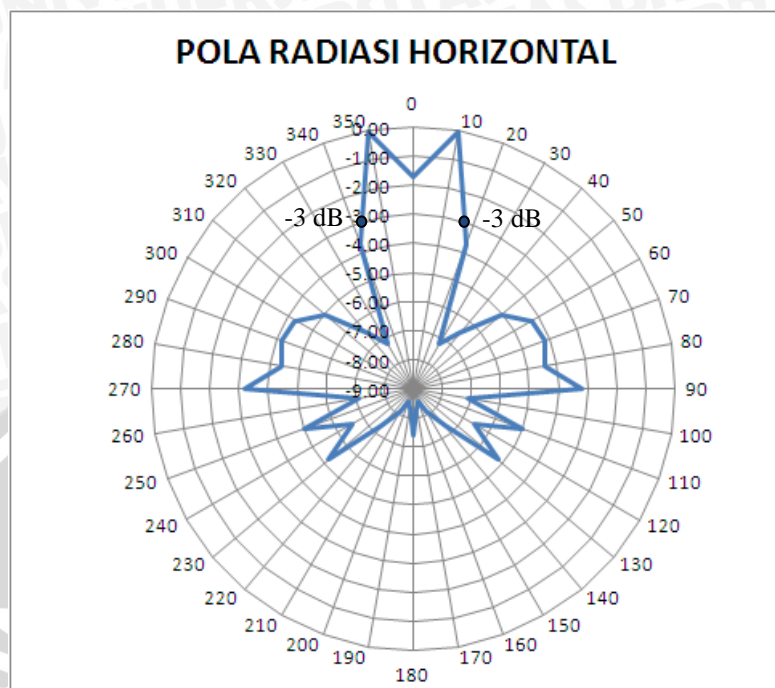
Sumber : Hasil Pengukuran



Tabel 5.5 Hasil Pengukuran Pola Radiasi Vertikal Antena Mikrostrip Annular Ring Array.

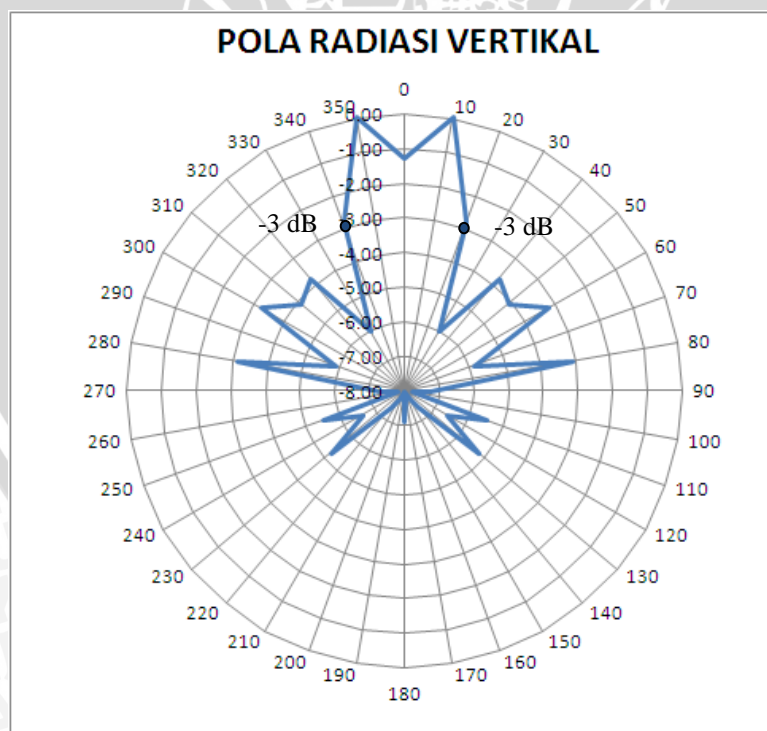
No	Sudut (°)	Level Terima (dBm)	Normalisasi
1.	0	-68.30	-1.30
2.	10	-67.00	0.00
3.	20	-69.80	-2.80
4.	30	-73.00	-6.00
5.	40	-70.80	-3.80
6.	50	-71.10	-4.10
7.	60	-70.20	-3.20
8.	70	-72.90	-5.90
9.	80	-70.10	-3.10
10.	90	-74.30	-7.30
11.	100	-74.80	-7.80
12.	110	-72.50	-5.50
13.	120	-73.60	-6.60
14.	130	-72.20	-5.20
15.	140	-74.40	-7.40
16.	150	-74.70	-7.70
17.	160	-75.00	-8.00
18.	170	-74.80	-7.80
19.	180	-74.10	-7.10
20.	190	-74.80	-7.80
21.	200	-75.00	-8.00
22.	210	-74.70	-7.70
23.	220	-74.40	-7.40
24.	230	-72.20	-5.20
25.	240	-73.60	-6.60
26.	250	-72.50	-5.50
27.	260	-74.80	-7.80
28.	270	-74.30	-7.30
29.	280	-70.10	-3.10
30.	290	-72.90	-5.90
31.	300	-70.20	-3.20
32.	310	-71.10	-4.10
33.	320	-70.80	-3.80
34.	330	-73.00	-6.00
35.	340	-69.80	-2.80
36.	350	-67.00	0.00

Sumber : Hasil Pengukuran



Gambar 5.10 Pola Radiasi Horizontal Antena Mikrostrip *Annular Ring Array*

Sumber : Hasil Pengukuran



Gambar 5.11 Pola Radiasi Vertikal Antena Mikrostrip *Annular Ring Array*

Sumber : Hasil Pengukuran

#### 5.5.4 Analisis Hasil Pengukuran

Berdasarkan Tabel 5.4 dan Tabel 5.5 dapat digambarkan bentuk pola radiasi antenna hasil perancangan pada diagram polar, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 5.10 dan Gambar 5.11. Berdasarkan Gambar tersebut dapat diketahui bahwa bentuk pola radiasi antenna hasil perancangan adalah *unidirectional*, yaitu memiliki intensitas radiasi maksimum hanya pada satu arah tertentu saja.

Berdasarkan Gambar 5.10 dan Gambar 5.11 juga diperoleh nilai -3dB *beamwidth* pola radiasi horizontal untuk frekuensi 2400 MHz adalah  $32^\circ$  ( $\phi_{HP} = 32^\circ$ ), dan nilai -3dB *beamwidth* pola radiasi vertikal adalah  $40^\circ$  ( $\theta_{HP} = 40^\circ$ ).

#### 5.6 Perhitungan Keterarahan (*Directivity*)

Untuk mengetahui nilai keterarahan (*directivity*) antenna yang diuji, dapat digunakan data hasil pengukuran pola radiasi.

##### 5.6.1 Cara Perhitungan

*Directivity* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2-8 berikut:

$$D = \frac{4\pi_{(\text{steradian})}}{\theta \cdot \phi_{(\text{radian}^2)}}$$

$$\begin{aligned} 1 \text{ steradian} &= 1 \text{ radian}^2 \\ &= \left(\frac{180}{\pi}\right)^2 (\text{derajat}^2) \end{aligned}$$

sehingga,

$$D \approx \frac{4\pi \left(\frac{180}{\pi}\right)^2 (\text{derajat}^2)}{\theta_{HP}^\circ \phi_{HP}^\circ (\text{derajat}^2)} \approx \frac{41000}{\theta_{HP}^\circ \phi_{HP}^\circ}$$

dengan :

$$D = \text{directivity}$$

$$\theta = \text{beamwidth pola radiasi vertikal (rad)}$$

$$\Phi = \text{beamwidth pola radiasi horisontal (rad)}$$

$\theta_{HP}$  = *beamwidth* pola radiasi vertikal (derajat)

$\phi_{HP}$  = *beamwidth* pola radiasi horisontal (derajat)

### 5.6.2 Hasil perhitungan

Berdasarkan data hasil pengukuran pola radiasi, diperoleh nilai -3dB *beamwidth* pola radiasi horizontal untuk frekuensi 2400 MHz adalah  $32^\circ$  ( $\phi_{HP} = 32^\circ$ ), dan nilai -3dB *beamwidth* pola radiasi vertikal adalah  $40^\circ$  ( $\theta_{HP} = 40^\circ$ ). Maka nilai *directivity* antenna mikrostrip *Annular Ring Array* hasil pembuatan adalah:

$$D = \frac{41000}{32^\circ \cdot 40^\circ}$$

$$= 32,03$$

$$D_{(dB)} = 10 \log 32,03 = 15,06 \text{ dB}$$

### 5.7 Perhitungan Bandwidth

Perhitungan *bandwidth* antenna yang diuji dilakukan dengan cara menghitung selisih antara frekuensi atas dengan frekuensi bawah antenna uji. Penentuan frekuensi atas dan frekuensi bawah antenna dilakukan dengan cara menentukan frekuensi tertinggi dan terendah antenna dimana masih memiliki nilai  $VSWR \leq 2$  atau *return loss*  $< -10$  dB.

Berdasarkan data hasil pengukuran *return loss*, antenna ini memiliki frekuensi terendah pada frekuensi 2200 MHz, dan frekuensi tertinggi pada frekuensi 2700 MHz. Sehingga *bandwidth* antenna ini adalah:

$$B = f_u - f_l$$

$$B = 2700 \text{ MHz} - 2200 \text{ MHz} = 500 \text{ MHz}$$

Jadi, antenna memiliki *bandwidth* lebih dari 500 MHz.

*Bandwidth* antenna hasil pengukuran masih lebih besar dari *bandwidth* hasil perancangan yaitu sebesar 105 MHz.

### 5.8 Analisis Parameter Antena

Berdasarkan hasil pengukuran antenna pembuatan yang telah dilakukan, dapat dilihat beberapa parameter-parameter antenna mikrostrip *annular ring array*

hasil pembuatan yang meliputi *Return Loss*, VSWR, Koefisien Pantul, *Gain*, Pola Radiasi, Polarisasi, *Bandwidth*, dan *Directivity* yang menunjukkan antenna sesuai dengan perencanaan, yakni pada frekuensi 2400 MHz nilai *return loss* sebesar -16,1 dB sesuai dengan nilai standar *return loss*  $< -10$  dB dan nilai VSWR sebesar 1,3715 berarti sesuai dengan perencanaan yaitu nilai VSWR  $\leq 2$ . Koefisien pantul sebesar 0,1566 yang menunjukkan bahwa sebagian besar sinyal dari antenna dapat tersalurkan. Nilai *gain* sebesar 3,45 dBi. Pola radiasi antenna adalah *unidirectional* dengan polarisasinya yang berbentuk linier. *Bandwidth* antenna sebesar 500 MHz dengan *directivity* antenna sebesar 15,06 dB. Sehingga dapat diketahui karakteristik antenna mikrostrip *annular ring array* hasil pengukuran yang ditunjukkan pada Tabel 5.6 berikut.

Tabel 5.6 Karakteristik Antena Mikrostrip *Annular Ring Array* Hasil Pengukuran

Frekuensi kerja	2400 MHz
<i>Return Loss</i>	-16,1 dB
VSWR	1,371
Koefisien Pantul	0,156
<i>Gain</i>	3,45 dBi
Pola Radiasi	<i>Unidirectional</i>
Polarisasi	Linier
<i>Bandwidth</i>	500 MHz
<i>Directivity</i>	15,06 dB

Sumber : Hasil Pengukuran

## BAB VI PENUTUP

### 6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan antenna, pembuatan antenna, pengujian dan pengukuran antenna, serta analisis parameter-parameter antenna, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Berdasarkan hasil perancangan dan pembuatan, antenna mikrostrip *annular ring array* ini dibuat dengan menggunakan bahan FR-4 dengan nilai konstanta dielektrik ( $\epsilon_r$ ) 4,5 ketebalan lapisan dielektrik ( $h$ ) 1,6 mm dan *loss tangent* 0,018.

2. Berdasarkan hasil dari simulasi perancangan, dimensi antenna mikrostrip *annular ring array* setelah dilakukan proses optimasi adalah sebagai berikut:

Elemen Peradiasi :  $a = 11,2$  mm,  $b = 27,3$  mm

$Z_1 = 520,71 \Omega$  :  $W_1 = 0,56$  mm,  $L_{1a} = 11$  mm :  $L_{1a} = 19$  mm,  $L_{1b} = 11$  mm

$Z_2 = 322,71 \Omega$  :  $W_2 = 0,88$  mm,  $L = 15$  mm

T-junction 1:  $Z_3 = 200 \Omega$  :  $W_3 = 1,9$  mm,  $L = 11$  mm

$Z_4 = 100 \Omega$  :  $W_4 = 2,84$  mm,  $L = 21$  mm

3. Berdasarkan Hasil Pengukuran antenna mikrostrip *Annular Ring Array* hasil pembuatan, dihasilkan parameter sebagai berikut:

➤ Pada frekuensi 2400 MHz nilai *VSWR* antenna mikrostrip hasil pembuatan yaitu sebesar 1,37 dan nilai *Return Loss* sebesar -16,1 dB. Nilai *VSWR* dan *Return Loss* antenna ini masih dalam batas yang diijinkan yaitu  $VSWR \leq 2$  dan  $RL < -10$  dB.

➤ Pengukuran *gain* antenna mikrostrip *Annular Ring Array* hasil pembuatan pada frekuensi 2400 MHz nilai *gain* sebesar 3,45 dBi. Nilai ini telah memenuhi syarat perancangan (yaitu : penguatan  $> 3$  dBi).

- Hasil pengukuran pola radiasi pada bidang horizontal maupun vertikal menunjukkan bahwa antenna mikrostrip *Annular Ring Array*, menunjukkan hasil perancangan bersifat *unidirectional* dengan sudut  $\phi_{HP}^o = 32^o$  dan  $\theta_{HP} = 40^o$ .
- Hasil pengukuran polarisasi menunjukkan bahwa antenna mikrostrip *Annular Ring Array* hasil perancangan memiliki polarisasi *linier*.
- Hasil pengukuran *directivity* antenna mikrostrip *Annular Ring Annular* sebesar 15,06 dB.

## 6.2. Saran

1. Pada penelitian selanjutnya, disarankan agar digunakan metode simulasi dan perhitungan yang sama agar didapatkan parameter hasil simulasi ukuran antenna sesuai dengan hasil perhitungan rumus.
2. Dalam proses pembuatan antenna mikrostrip, perlu diperhatikan ketebalan substrat dielektrik dan lapisan tembaga untuk elemen peradiasi yang digunakan, agar didapatkan antenna mikrostrip yang dapat bekerja optimal sesuai dengan yang direncanakan.
3. Pada pembuatan antenna mikrostrip, untuk proses pemasangan konektor pada antenna juga memerlukan ketepatan. Karena konektor yang terpasang pada antenna juga akan mempengaruhi pada daya yang dicatukan pada saluran transmisi antenna.
4. Dalam melakukan pengukuran, untuk ketepatan dan ketelitian hasil pengukuran disarankan agar pengukuran dilakukan di tempat yang bebas dari benda-benda yang dapat mempengaruhi hasil pengukuran. Sehingga diperlukan ruangan khusus untuk pengukuran dan pengujian antenna yang disebut *Anechoic Chamber*. Serta diperlukan bahan penyangga antenna berupa isolator yang baik.

## DAFTAR PUSTAKA

Balanis, Constantine A. 1982. *Antena Theory: Analysis and Design, 2nd Edition*. John Wiley and Sons, Inc.

Hund, Edgar. 1989. *Microwave Communications*. McGraw-Hill International, New York.

Kraus, John Daniel. 1988. *Antennas*. McGraw-Hill International, New York.

Nakar, Punit S. 2004. *Design of a Compact Microstrip Patch Antenna for use in Wireless/Cellular Devices*. The Florida State University. Thesis.

Stutzman, Warren L. and G. A. Thiele. 1981. *Antenna Theory and Design*. John Willey and Son, Inc. New York.

Garg, Ramesh., Bhartia, P., Bahl, I., dan Apisak. 2001. *Microstrip Antenna Design Handbook*. Artech House. Norwood.

Natarius, Yoswa. 2007. "Perencanaan dan Pembuatan Antena Mikrostrip Array 2x2". Skripsi, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya. Malang.

Juniardi, Shofwan. 2008. *Perencanaan dan Pembuatan Antena Mikrostrip Array 2x2 pada frekuensi 1575 MHz* Tugas Akhir, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Malang.

J R James & P S Hall. 1989. *Handbook of Microstrip Antennas*. Institution of Electrical Engineers.

Kraus, John Daniel. 1988. *Antennas*. McGraw-Hill International, New York.



Lagerqvist, Johan. 2002. *Design and Analysis of an Electrically Steerable Microstrip Antenna for Ground to Air Use*. Lulea University of Technology. Thesis

IE3D User's Manual, Zeland Software Inc.

Antennas\_L17-Linear Array Theory-Part III.pdf

Anonymous . [http://www.hp.com/rnd/pdf\\_html/antenna.htm](http://www.hp.com/rnd/pdf_html/antenna.htm) diakses tanggal 14 Oktober 2009.

[http://www.Books.google.com/microstrip\\_antenna](http://www.Books.google.com/microstrip_antenna). diakses tanggal 20 Oktober 2009

<http://www.google.com/ppt>. diakses tanggal 23 juni 2010



## LAMPIRAN

### 1. LANGKAH-LANGKAH SIMULASI

Pada Bab IV skripsi ini yaitu perancangan dan simulasi, digunakan *software* simulator IE3D™ dari *Zeland Incorporation* untuk mensimulasikan antena dan melihat hasil parameter-parameter dari antena hasil perancangan. Selain itu IE3D™ juga dapat memperlihatkan visualisasi arus dan perhitungan pola radiasi. Dalam melakukan perancangan dan simulasi *annular ring array* dengan IE3D ini ada beberapa langkah yang harus dilakukan. Dengan parameter dasar dari antena mikrostrip *annular ring array* hasil perancangan adalah sebagai berikut

Bahan Epoxy fiberglass – FR 4

Konstanta dielektrik ( $\epsilon_r$ ) = 4.5

Ketebalan lapisan dielektrik ( $h$ ) = 1.6 mm

*Loss tangent* = 0.018

Bahan pelapis substrat (konduktor) tembaga

Ketebalan bahan konduktor ( $t$ ) = 0.1 mm

Konduktivitas tembaga ( $\sigma$ ) =  $5.80 \times 10^7$  mho  $m^{-1}$

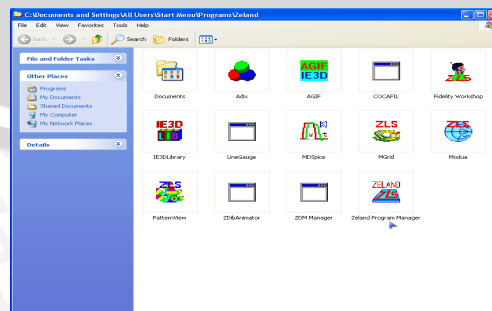
Frekuensi kerja ( $f_r$ ) = 2400 MHz

Impedansi karakteristik saluran = 50  $\Omega$

#### Tahap 1. Simulasi Satu Elemen Peradiasi

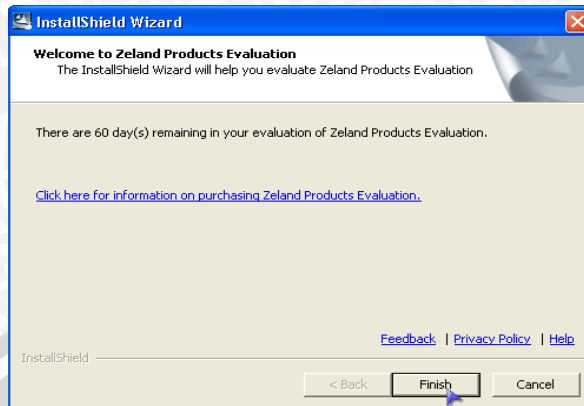
1. Pertama install program IE3D hingga didapatkan tampilan sebagai berikut.

Kemudian stand-by pada Zeland Program Manager.



Gambar 1. Tampilan Zeland Folder

Sumber : Simulasi



Gambar 2. Zeland InstallShield Wizard

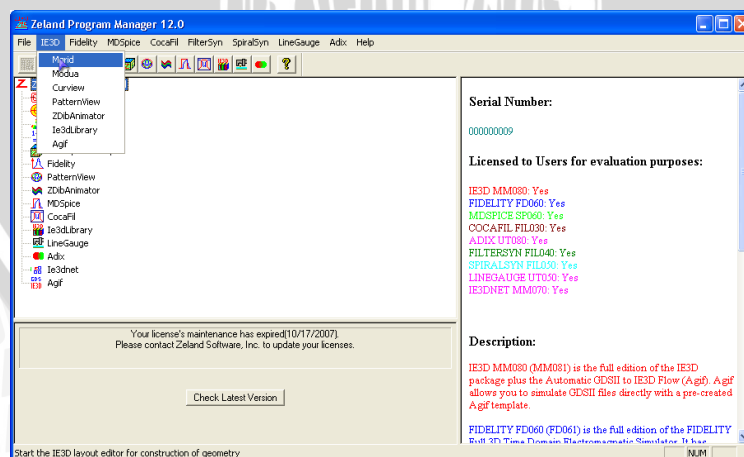
Sumber : Simulasi



Gambar 3. Zeland User Agreement

Sumber : Simulasi

2. Setelah muncul tampilan *stand-by* Zeland maka klik pada “IE3D” lalu pada “Mgrid”.

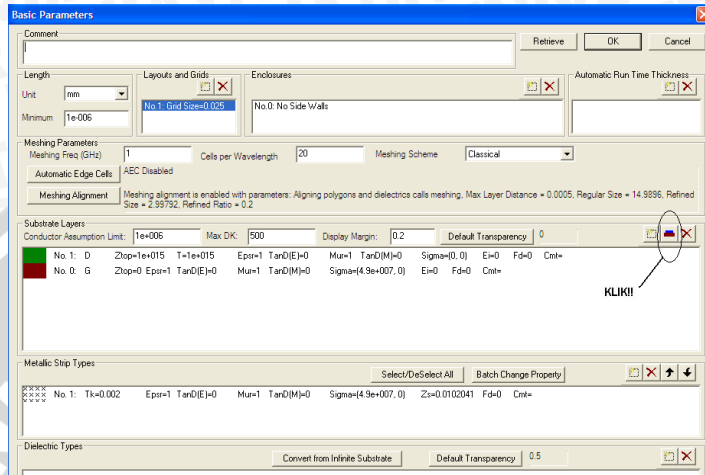


Gambar 4. Zeland Program Manager 12.0

Sumber : Simulasi



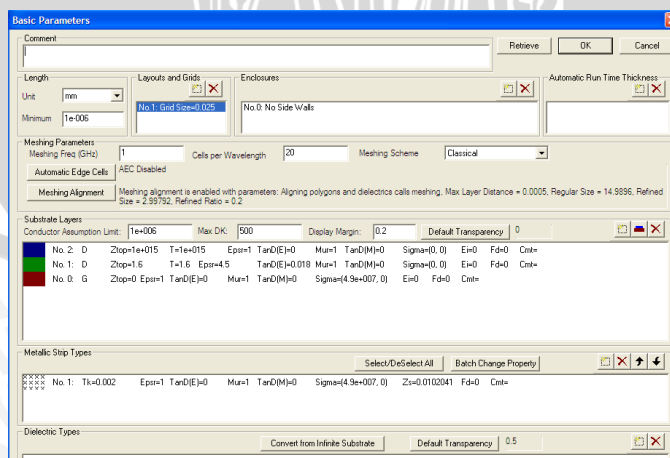
- Setelah itu pilih *File* → *New*, lalu muncul tampilan mengenai *Basic Parameters* seperti pada Gambar 5. *Basic Parameters* ini digunakan untuk memasukkan nilai-nilai parameter spesifikasi bahan yang akan kita gunakan.



Gambar 5. Tampilan *window Basic Parameters*

Sumber : Simulasi

- Bahan utama FR-4 ada dua (2) lapisan, yakni lapisan konduktor dan *groundplane* (lapisan udara adalah *default layer* pada *Basic Parameters* ini) . Pada Gambar 5 ada dua lapisan pada kolom *Substrate Layers*, yakni berwarna hijau dan merah. Kedua lapisan itu menyimbolkan masing-masing untuk udara dan *groundplane*. Untuk menambahkan lapisan konduktor, tekan *icon Add Substrate Layer by Thickness* seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 5, tekan *OK*. Lalu muncul tampilan seperti ditunjukkan oleh Gambar 6 berikut.

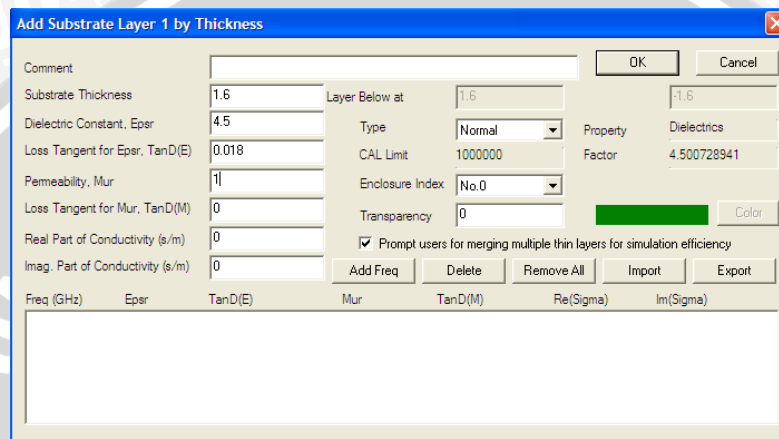


Gambar 6. Tampilan *Basic Parameters* Untuk Tiga Lapisan Bahan FR-4

Sumber : Simulasi



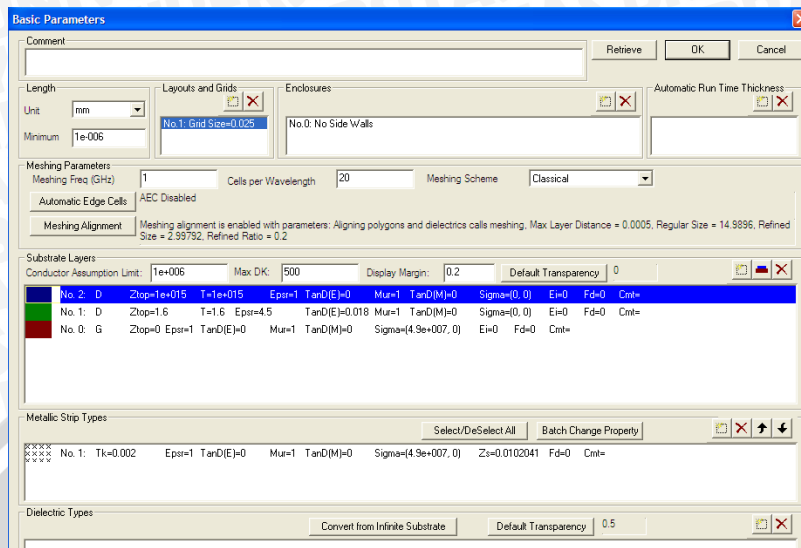
- Terlihat ada 3 lapisan diatas. Biru untuk udara (perhatikan  $Z_{top}$ -nya bernilai sebesar  $1e+015$ ), hijau untuk lapisan konduktor (tembaga), sedangkan yang merah untuk lapisan *groundplane*-nya. Untuk meng-*edit* nilai-nilai dari parameter spesifikasi bahan pada tiap lapisan, tekan 2 kali pada tiap lapisan yang diinginkan. Sebagai contoh untuk lapisan konduktor ditekan 2 kali, maka kemudian muncul tampilan seperti Gambar 7 berikut.



Gambar 7. Tampilan Untuk Mengubah Parameter Lapisan Konduktor

Sumber : Simulasi

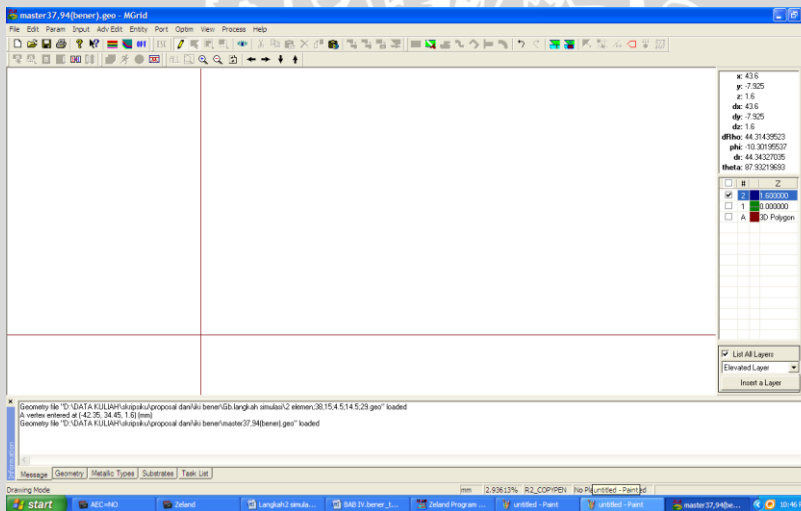
- Terlihat ada variabel-variabel seperti *Top Surface*, *Dielectric Constant*, serta *Loss Tangent for Epsr* yang masing-masingnya berarti ketebalan bahan (dalam satuan mm), Konstanta Dielektrik, serta *Loss Tangent* untuk bahan yang dimaksud. Untuk simulasi kali ini disesuaikan dengan spesifikasi bahan yang telah tersebut diatas, sehingga setelah semua nilai (untuk lapisan konduktor) dimasukkan maka tampilan akan terlihat seperti Gambar 7. Lalu tekan *OK*.
- Lakukan langkah yang sama untuk lapisan *groundplane*, tetapi yang diubah hanyalah *Real Part of Conductivity*-nya. Ubahlah menjadi nilai  $5.8e+007$  sehingga diperoleh tampilan seperti ditunjukkan pada Gambar 8. Lalu tekan *OK*, dan akan muncul tampilan menu *MGRID* seperti ditunjukkan oleh Gambar 9.



Gambar 8. Tampilan Spesifikasi Semua *Layer* Setelah Diubah

Sumber : Simulasi

Kemudian berikut ini adalah tampilan menu MGRID.

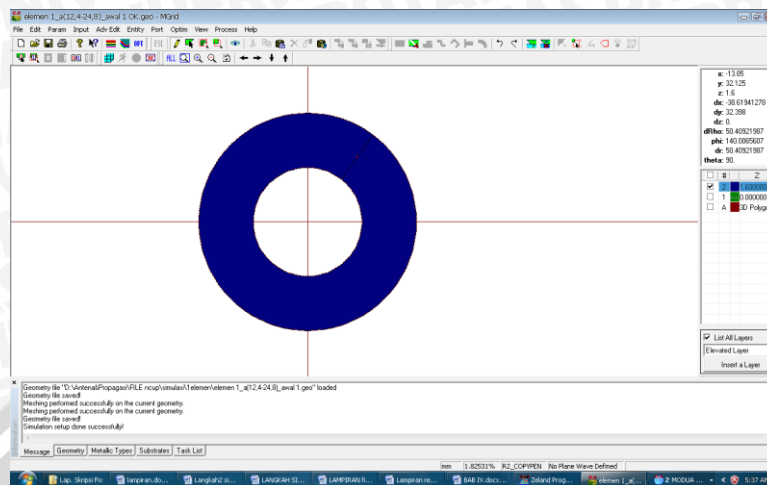


Gambar 9. Tampilan menu MGRID

Sumber : Simulasi

8. Untuk membuat geometri pilih *Entity* → *Ring*. Masukkan Number of segments for circle pada maksimum (100). Kemudian untuk *Inner Radius* dan *Outher Radius* masukkan nilai dari dimensi *Ring* yang telah ditentukan pada perancangan, yaitu  $a = 12,4$  mm dan  $b = 24,8$  mm. Pilih *OK* maka bentuk *Ring* pada tampilan MGRID ditunjukkan pada Gambar 10.

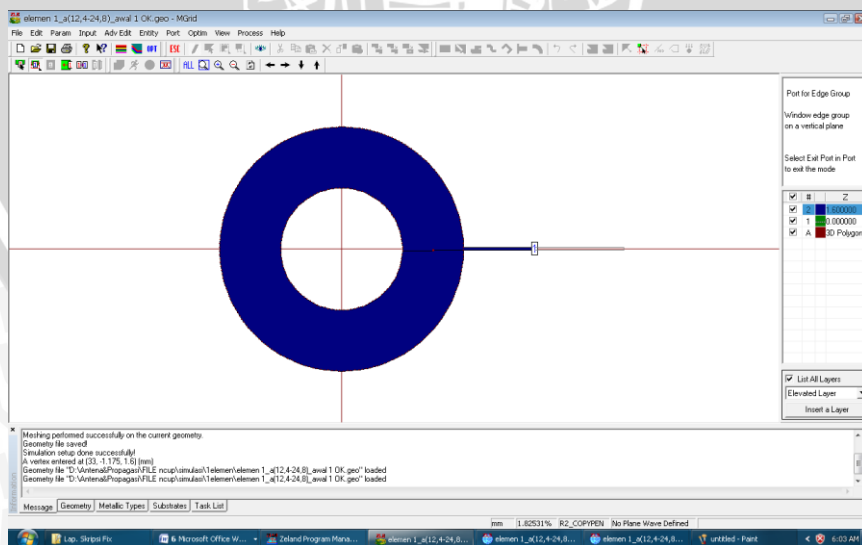




Gambar 10. Tampilan *Patch* Bentuk Ring

Sumber : Simulasi

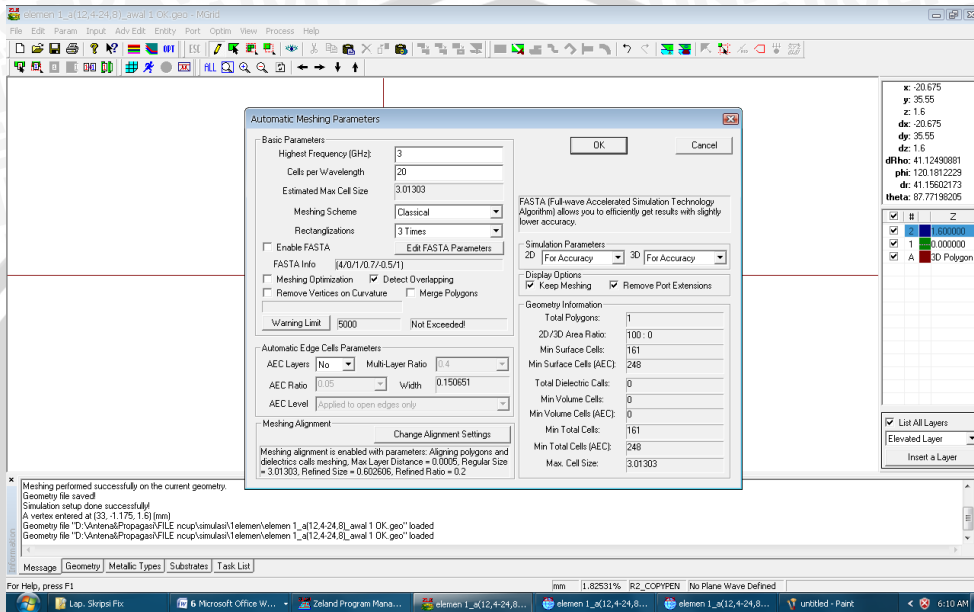
9. Untuk memulai membuat saluran transmisi pilih *Select Vertices* → Drag pada ujung *Ring* hingga muncul 2 titik. Kemudian klik *Continue Striagth Path*, Isikanlah pada *Path Length* = 14,5 dan *Path Start Width* = 0,546, tekan OK untuk melanjutkan.
10. Untuk membuat *port*, pilih *Port* → *Port for Edge Group*, pada kotak *De Embedding Scheme* pilih *Advanced Extension* tekan OK untuk melanjutkan. Kemudian Drag pada ujung saluran transmisi sampai muncul seperti yang ditunjukkan gambar 11.



Gambar 11. Tampilan Satu Elemen Dengan Saluran Transmisi

Sumber : Simulasi

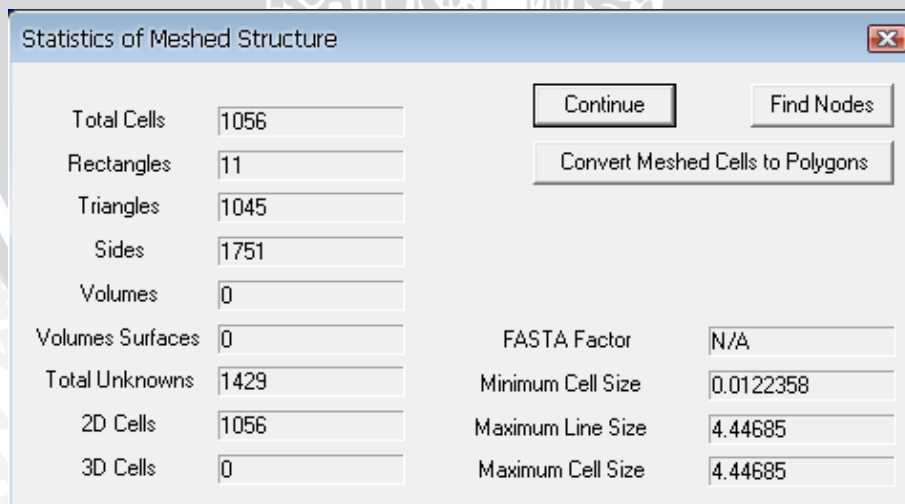
11. Langkah selanjutnya adalah *meshing*. Sebelumnya pilih *Port*→*Exit Port*. Kemudian pilih *Process*→*Display Meshing*. Lalu muncul *window Automatic Meshing Parameters*. Kemudian pengisian variabelnya seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 12. Lalu tekan *OK*.



Gambar 12. Tampilan Perubahan Variabel-variabel *Meshing*

Sumber : Simulasi

12. Kemudian muncul tampilan seperti Gambar 13. Tekan *Continue*.

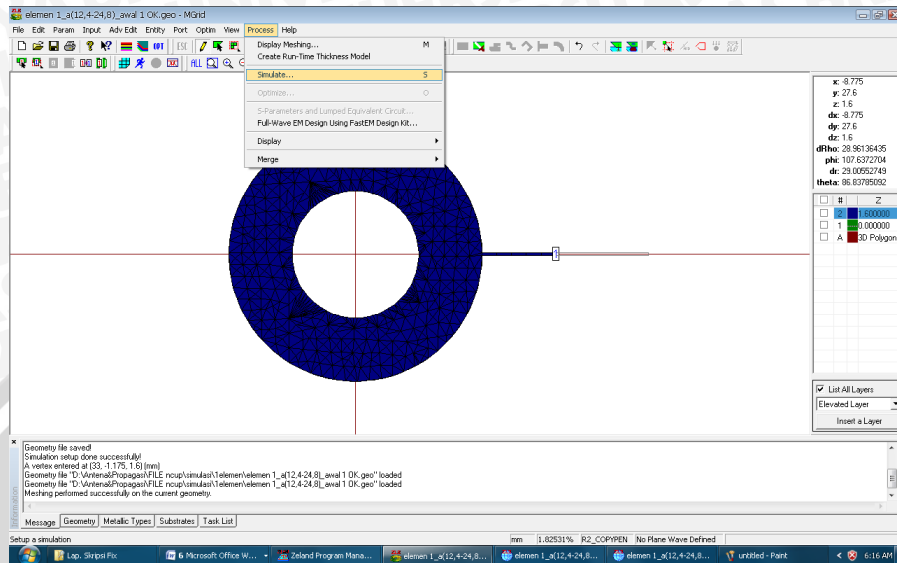


Gambar 13. Variabel-variabel yang Berubah Setelah *Meshing*

Sumber : Simulasi



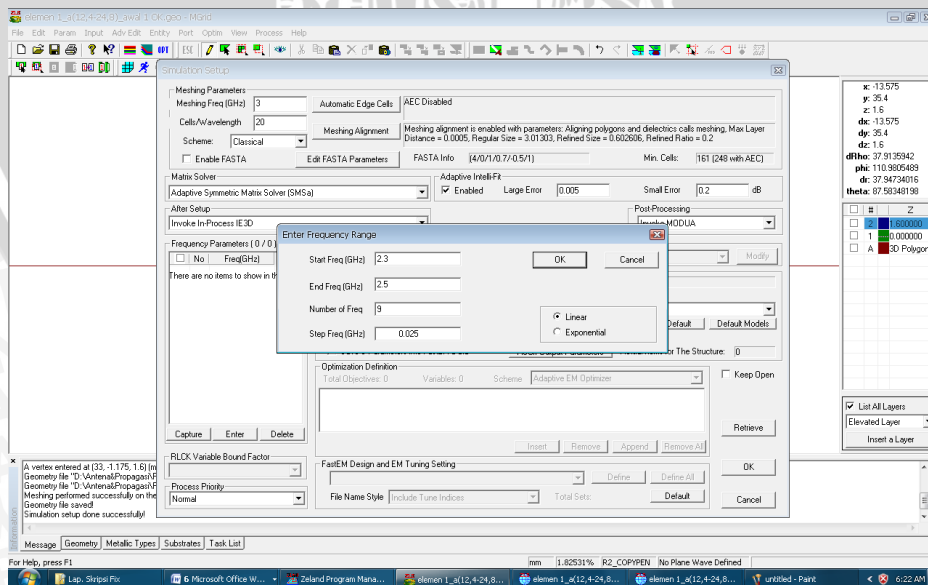
13. Untuk memulai simulasi, pilih *Process* → *Simulate*



Gambar 14. Simulasi

Sumber : Simulasi

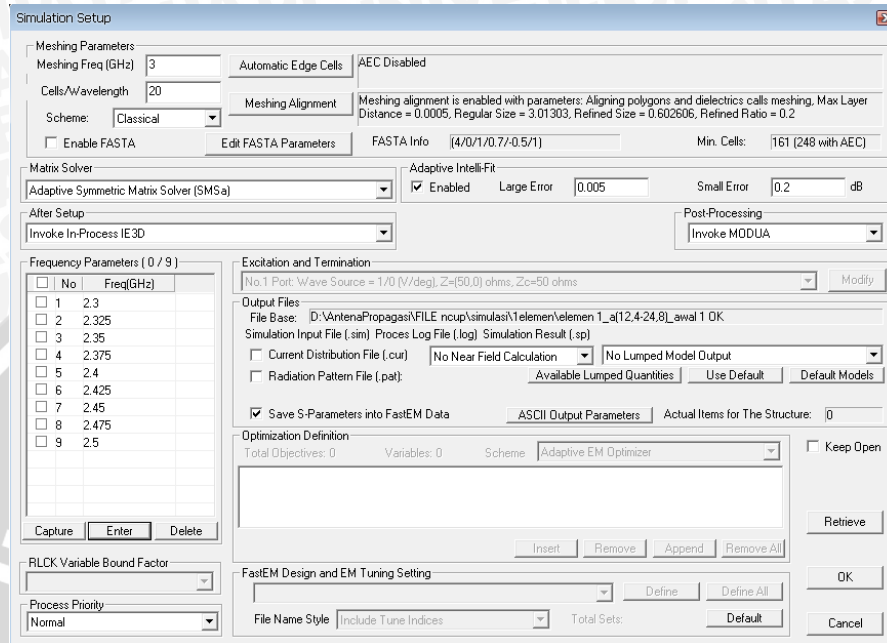
14. Selanjutnya pada kolom *Frequency Parameter* Tekan *Enter*. Kemudian muncul kotak seperti pada gambar 15. Masukkan nilai-nilai sebagai berikut *Start Freq* = 2.3 *End Freq* = 2.5 *Step Freq* = 0.02. Tekan OK untuk melanjutkan



Gambar 15. Tampilan *Frequency Range*

Sumber : Simulasi

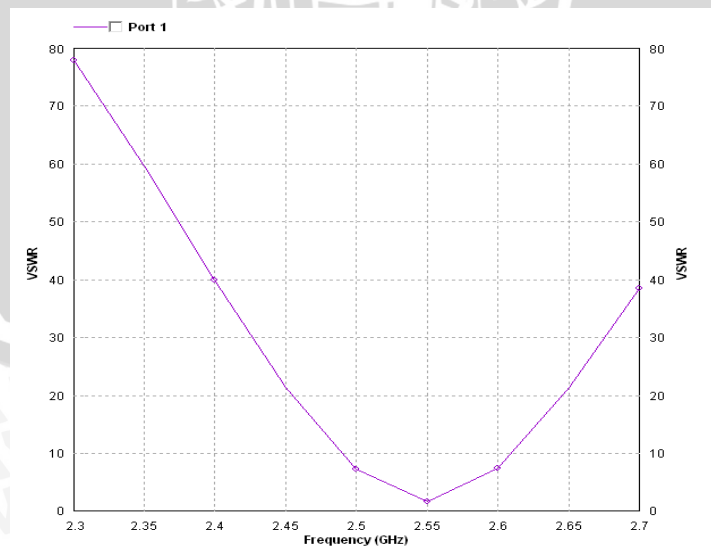
15. Selanjutnya untuk menjalankan simulasi. Setelah muncul tampilan seperti pada gambar 16. Tekan OK untuk melanjutkan



Gambar 16. Tampilan *Simulation Setup*

Sumber : Simulasi

Kemudian proses Simulasi membutuhkan waktu beberapa menit, setelah simulasi selesai akan muncul tampilan grafik yang akan menampilkan hasil simulasi VSWR ditunjukkan pada Gambar 17.



Gambar 17. Grafik VSWR Hasil Simulasi Satu Elemen

Sumber : Simulasi

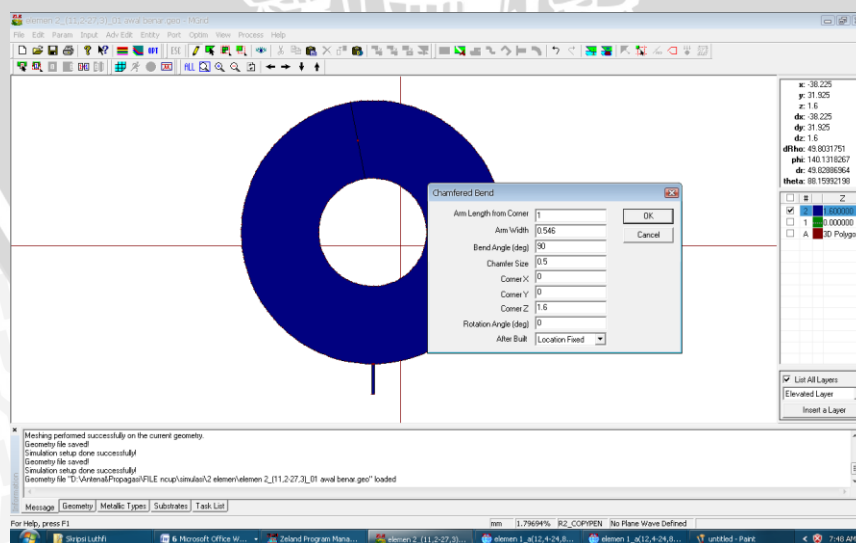
Dari hasil perencanaan awal di atas hasil kurang maksimal sehingga harus dioptimasi untuk mendapatkan hasil sesuai yang diinginkan pada frekuensi 2400 MHz. Optimasi dalam hal ini dilakukan secara manual dengan mengubah dimensi elemen dari antenna untuk menentukan frekuensi kerja yang tepat dan lebar saluran transmisi untuk menentukan *matching* yang terbaik dari antenna ini. Proses optimasi dilakukan seperti langkah-langkah simulasi diatas (langkah 8-15).

## Tahap 2. Tahap Perencanaan Array

Pada pembuatan geometri *array* dibutuhkan *fitur* tambahan untuk membuat saluran transmisi diantaranya adalah, *symetrycal T-junctiun* dan *transformer* dengan terlebih dahulu melakukan perancangan perhitungan dimensi pada saluran transmisinya.

### Tahap 2.1 Dua Elemen

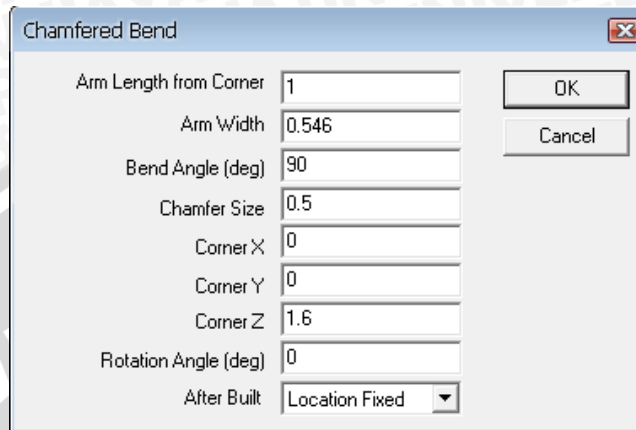
1. Lakukan kembali seperti langkah 8 dan 9 (**Tahap 1**) diatas sehingga didapatkan bentuk *Ring* (untuk ukuran didapat dari optimasi satu elemen).
2. Pilih *Chamfered Bend* untuk membuat belokan pada saluran transmisi. Pilih *Entity* → *Chamfered Bend* Kemudian masukkan nilai dalam *Chamfered Bend* seperti ditunjukkan pada Gambar 18. Tekan *OK* untuk melanjutkan



Gambar 18. Tampilan membuat *Chamfered Bend*

Sumber : Simulasi

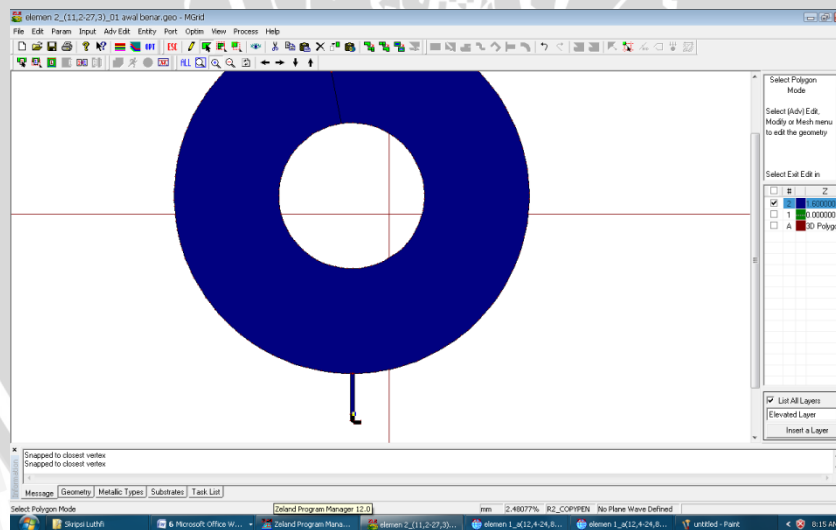
Kemudian akan keluar kotak dialog *Chamfered Bend* pada Gambar 19. Masukkan panjang saluran dari belokan, lebar saluran, besarnya sudut belokan dan potongan pada belokan (*Bend*).



Gambar 19. Tampilan *Chamfered Bend*

Sumber : Simulasi

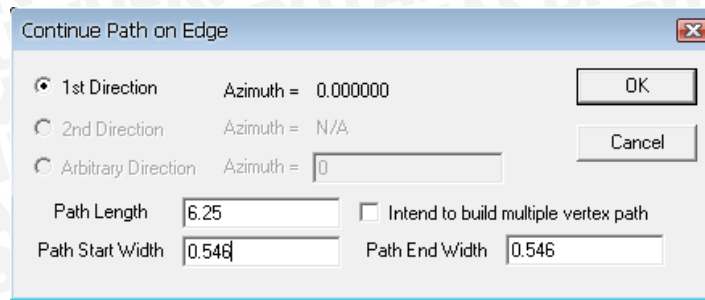
3. Hubungkan *Bend* dengan saluran transmisi dengan cara pilih *Select Polygon* pada *Chamfered Bend* sesuaikan posisi vertex yang akan disambung. Klik *Move Object* dan hubungkan dengan saluran transmisi.



Gambar 20. Pemasangan *Chamfered Bend*

Sumber : Simulasi

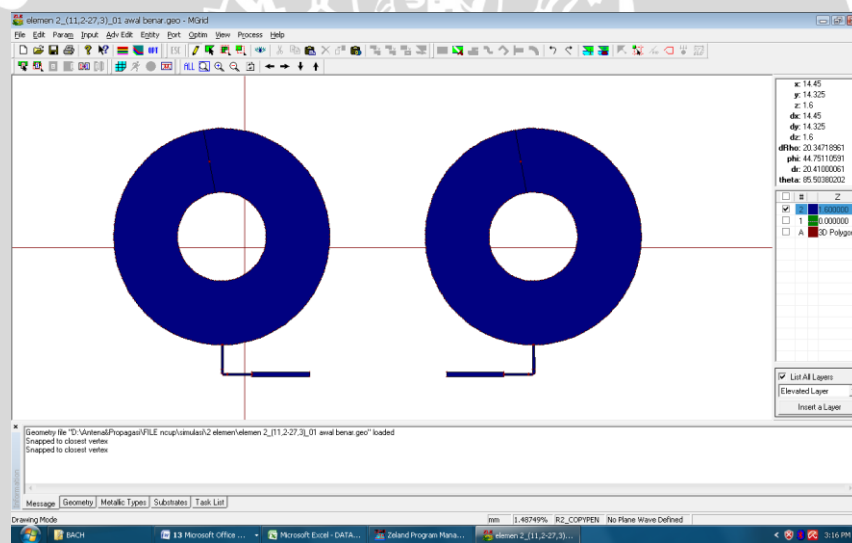
4. Untuk saluran transmisi pilih *Select Vertices* kemudian drag pada ujung bidang *Band*. Selanjutnya pilih *Continue Straight Path*, isikan pada kotak dialog seperti pada Gambar 21. Tekan OK untuk melanjutkan



Gambar 21. Tampilan *Continue Straight Path*

Sumber : Simulasi

- Untuk membuat tranformer, pilih *Select Vertices* kemudian drag pada ujung saluran. Selanjutnya pilih *Continue Straight Path*, isikan pada *Path Length* = 14.5 dan *Path Start Width* = 1.42 dan *Path Start End* = 1.42, tekan OK untuk melanjutkan. Untuk membuat dua elemen, lakukan langkah 1-5 sehingga hasilnya dapat dilihat pada Gambar 21.

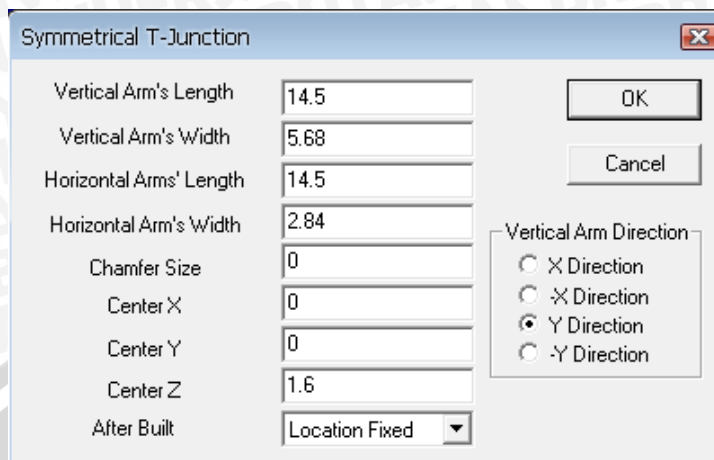


Gambar 21. Tampilan Saluran *Transformer*

Sumber : Simulasi

- Membuat T-junction Pilih *Entity* → *Symmetrical T-junction* untuk membuat saluran transmisi pembagi. kemudian akan keluar kotak dialog *Symmetrical T-junction* seperti Gambar 22. Masukkan panjang dan lebar saluran transmisi yang vertikal dan horisontal.

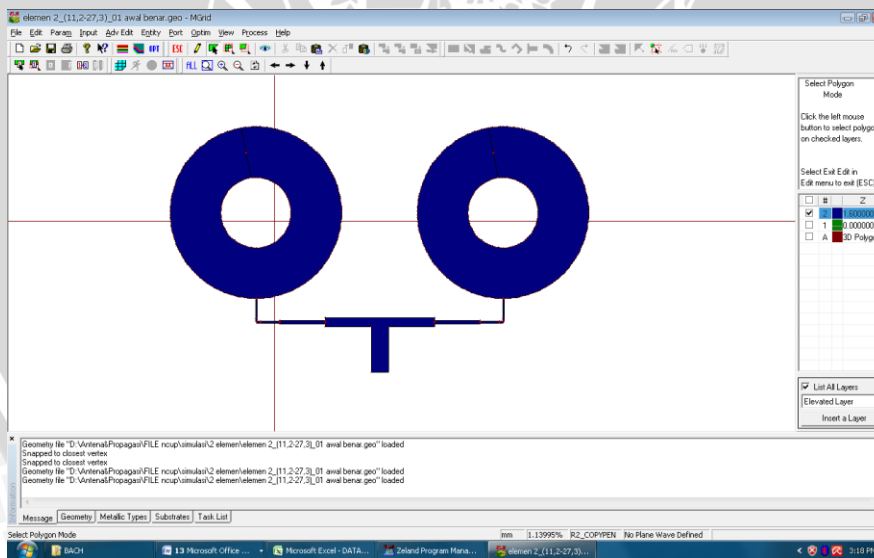




Gambar 22. Tampilan Kotak Dialog *Symetrical T-junction*

Sumber : Simulasi

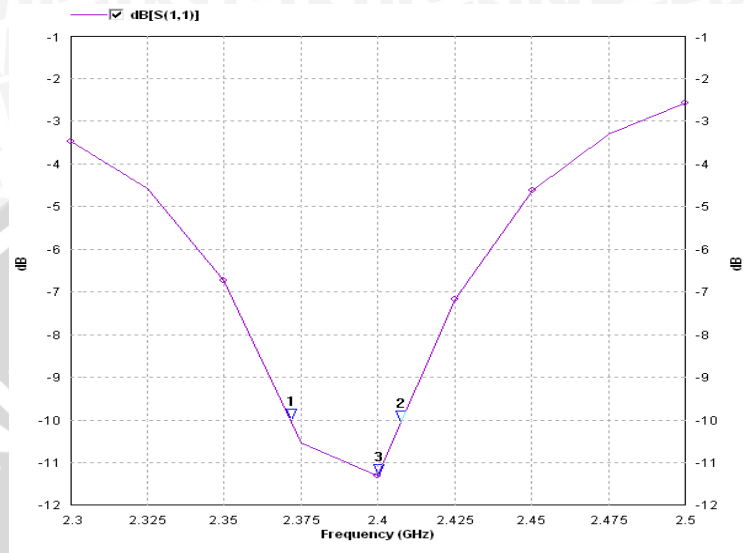
- Untuk menyusun antenna array elemen peradiasi dan *Symetrical T-junction* dihubungkan secara manual dengan saluran transmisi. Hubungkan *Symetrical T-junction* dengan saluran transmisi dengan cara pilih *Select Polygon* sesuaikan posisi vertex yang akan disambung. Klik *Move Object* dan hubungkan dengan saluran transmisi.



Gambar 23. Tampilan *Symetrical T-junction*

Sumber : Simulasi

8. Untuk melakukan proses simulasi lakukan langkah-langkah pada proses **Tahap 1** (langkah 10-15). Sehingga dapat diketahui hasil simulasi untuk dua elemen ditunjukkan pada Gambar 24.

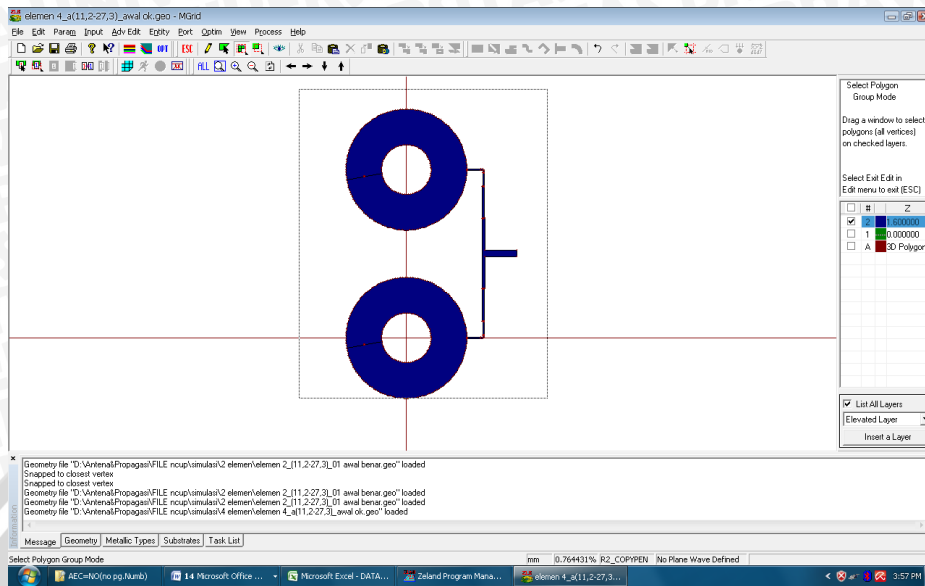


Gambar 24. Grafik *Return Loss* Hasil Simulasi Satu Elemen

Sumber : Simulasi

### Tahap 2.2 Empat Elemen

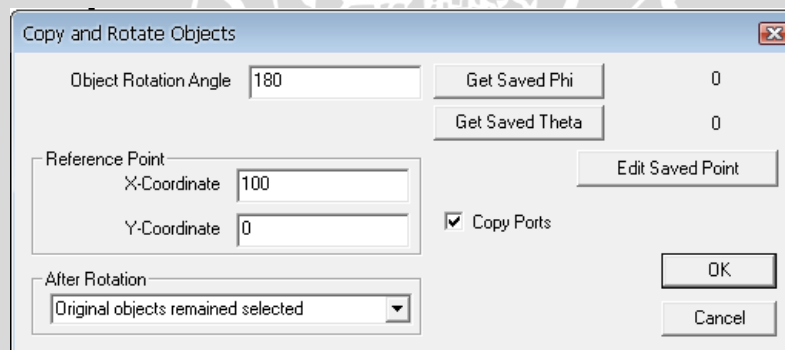
1. Pada tahap penyusunan empat elemen pada simulasi dilakukan perancangan perhitungan kembali untuk mendapatkan dimensi pada saluran transmisi empat elemen.
2. Untuk tahap simulasi dilakukan penyusunan dimensi elemen dan saluran transmisi hasil perancangan empat elemen dengan cara seperti langkah-langkah pada tahap 2.1 pada langkah untuk dua elemen (langkah 1-7). Kemudian pilih *Select Polygon Group* lalu drag pada bidang dapat ditunjukkan pada Gambar 25.



Gambar 25. *Select Polygon Group* pada bidang

Sumber : Simulasi

3. Tekan *Edit* → *Copy and Rotate* akan keluar kotak dialog yang ditunjukkan pada Gambar 26 selanjutnya isikan *Object Rotation Angle* = 180 dan *X-Coordinate* = 100. Tekan *OK* untuk melanjutkan.

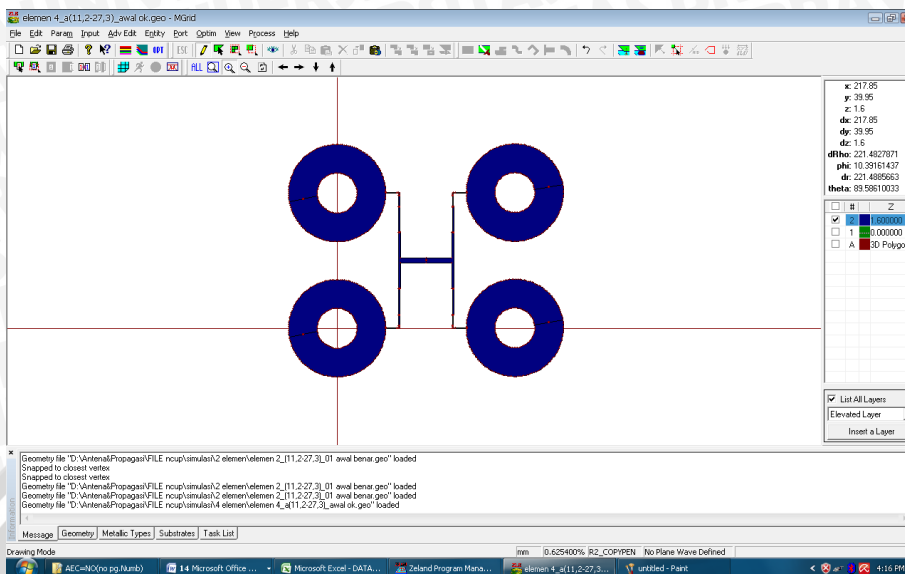


Gambar 26. Tampilan Kotak Dialog

Sumber : Simulasi

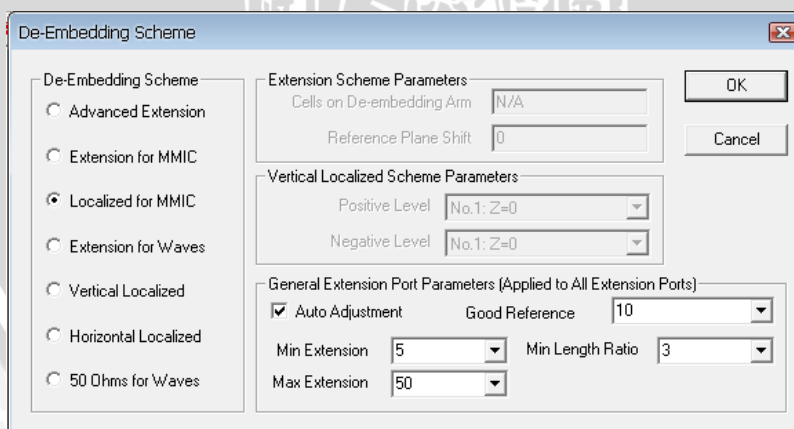
4. Setelah terbentuk dua bidang (empat elemen), drag pada bidang kedua lalu tekan *Shift+M*. kemudian hubungkan bidang kedua dengan bidang yang pertama sampai terbentuk bidang seperti Gambar 27.





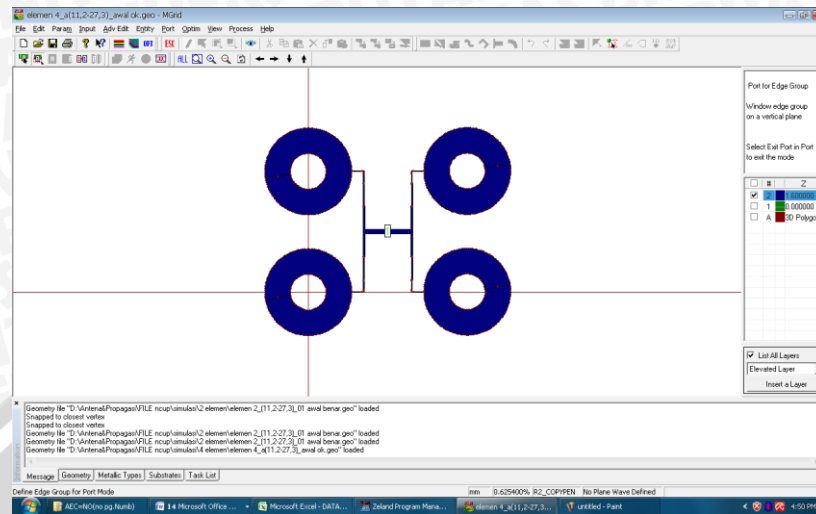
Gambar 27. Empat Elemen  
Sumber : Simulasi

- Setelah semua bidang terhubung, maka dibuat *port* untuk antenna. Untuk mendefinisikan letak *port* maka ditentukan dulu jenis *port* yang digunakan. Untuk simulasi ini dipilih dulu menu *Port* → *Port For Edge Group*. Tampil kotak dialog pilih *Localized for MMIC* ditunjukkan pada Gambar 28, tekan *OK* untuk melanjutkan.



Gambar 30. Tampilan Pilihan Jenis *Port*  
Sumber : Simulasi

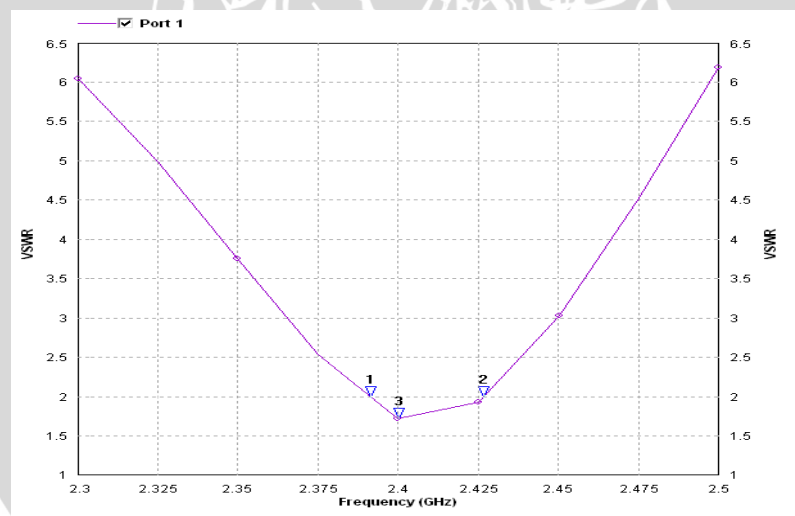
- Kemudian *drag* pada bagian yang akan diberi *port*, maka akan muncul *port* dan hasilnya dapat dilihat pada Gambar 30 berikut.



Gambar 30. Tampilan *Patch* Setelah Diberi *Port*

Sumber : Simulasi

- Untuk melakukan proses simulasi lakukan langkah-langkah pada proses **Tahap 1** (langkah 11-15). Sehingga dapat diketahui hasil simulasi untuk dua elemen ditunjukkan pada Gambar 31.

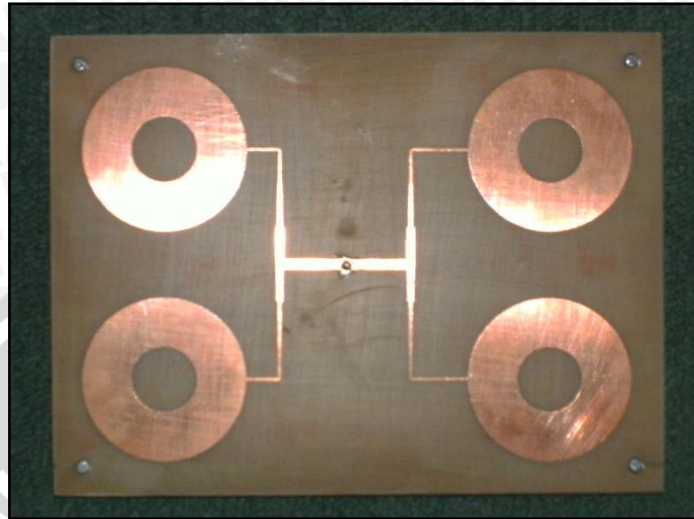


Gambar 31. Grafik VSWR Hasil Simulasi Satu Elemen

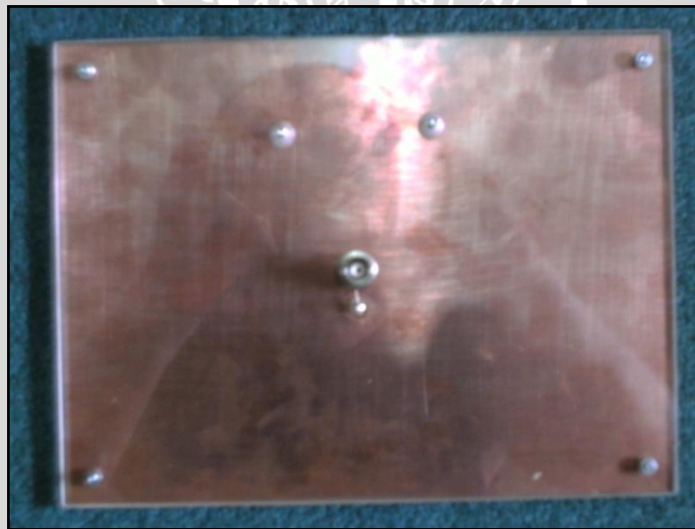
Sumber : Simulasi

Dari hasil simulasi awal yang didapat kurang maksimal sehingga harus dioptimasi untuk mendapatkan hasil sesuai dengan standar parameter yang diinginkan pada frekuensi 2400 MHz. Optimasi dalam hal ini dilakukan secara manual dengan langkah-langkah mengubah dimensi dan panjang saluran *transformer* untuk mendapatkan performansi yang terbaik dari antenna.

2. DOKUMENTASI PENGUKURAN



(a) Tampak Depan



(b) Tampak Belakang

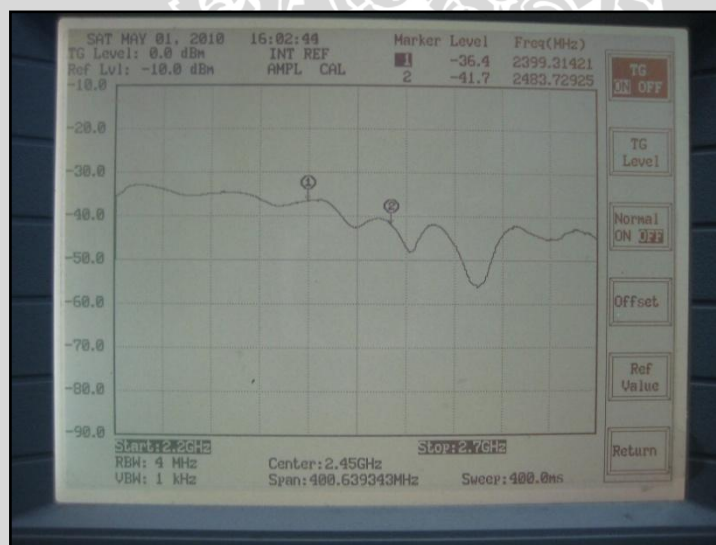
Gambar 32. Antena Mikrostrip *Annular Ring Array*

Sumber : Fabrikasi



Gambar 33. Antena Mikrostrip *Annular Ring Array* terhubung dengan *GW Instek Spectrum Analyzer GSP-827 2,7 GHz*

Sumber : Pengukuran



Gambar 34. Hasil Pengukuran *Return Loss* pada Rentang Frekuensi 2,2 – 2,7 GHz

Sumber : Pengukuran



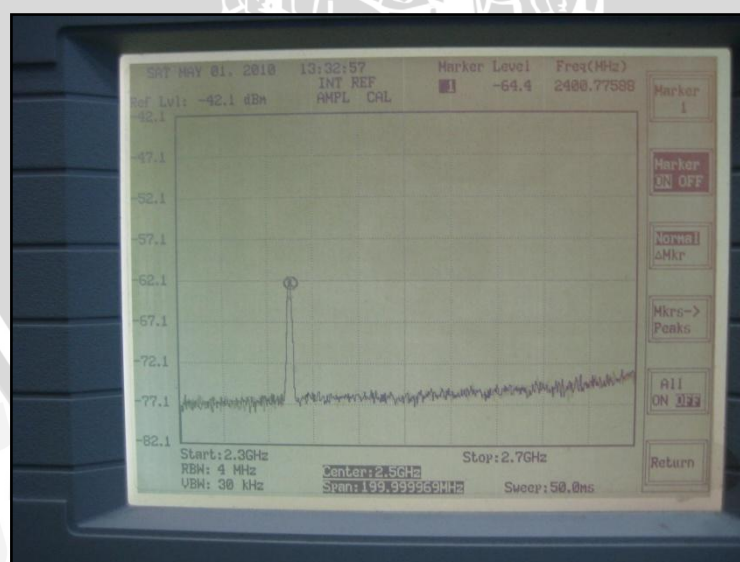
(a)

(b)

Gambar 35. Pengukuran *Gain* Antena Mikrostrip *Annular Ring Array*

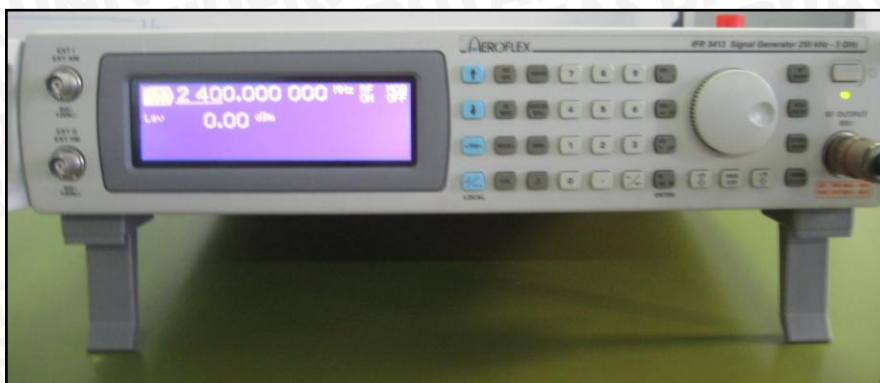
(a) Antena Dipole di sisi pemancar

(b) Antena Mikrostrip *Annular Ring Array* di sisi penerima



Gambar 36. Pengukuran *Gain* pada Frekuensi 2,4 GHz

Sumber : Pengukuran



Gambar 37. Aeroflex IFR 3413 Signal Generator 250 kHz-3 GHz

Sumber : Pengukuran



Gambar 38. GW Instek Spectrum Analyzer 2,7 GHz.

Sumber : Pengukuran

## DAFTAR RIWAYAT HIDUP



**Yusuf Mulyo**, lahir di Paguyaman, 7 November 1983, dari pasangan Bapak Sudjiono Mulyo dan Ibu Sri Sudjiati, telah menyelesaikan pendidikan :

### 1. Pendidikan Formal :

- ✚ Pendidikan Sekolah Dasar, pada tahun 1996 di SDN 1 Bongo 1.
- ✚ Pendidikan Sekolah Menengah Pertama, pada tahun 1999 di SLTP Negeri 2 Paguyaman.
- ✚ Pendidikan Sekolah Menengah Kejuruan jurusan Elektronika, pada tahun 2002 di SMK Negeri 3 Gorontalo.
- ✚ Pendidikan Diploma III (D3) Jurusan Teknik Elektro, pada tahun 2006 di Fakultas Teknik Universitas Negeri Gorontalo.
- ✚ Pendidikan Strata 1 (S1) Jurusan Teknik Elektro, pada tahun 2010 di Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.

### 2. Pendidikan Non Formal :

- ✚ Kursus Komputer Program Aplikasi *Microsoft Office*, pada tahun 2006 di Ichsan Computer Gorontalo.
- ✚ Kursus Komputer Program Aplikasi *Flash MX*, pada tahun 2009 di ITCC Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.
- ✚ Pelatihan Komputer Program *Autocad*, pada tahun 2009 di UPT Pusat Komputer Universitas Brawijaya Malang.