

**PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ANTENA MIKROSTRIP  
EQUILATERAL TRIANGULAR ARRAY FREKUENSI 2,4 GHz**

**SKRIPSI**

**KONSENTRASI TEKNIK TELEKOMUNIKASI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh:

**BACHTIAR EFFENDY**

**NIM. 0510630025-63**

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN NASIONAL**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**

**FAKULTAS TEKNIK**

**MALANG**

**2010**

**LEMBAR PERSETUJUAN**

**PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ANTENA MIKROSTRIP  
EQUILATERAL TRIANGULAR ARRAY FREKUENSI 2,4 GHz**

**SKRIPSI**

**KONSENTRASI TEKNIK TELEKOMUNIKASI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh:

**BACHTIAR EFFENDY**

**NIM. 0510630025-63**

**Telah diperiksa dan disetujui oleh:**

**Dosen Pembimbing I**

**Dosen Pembimbing II**

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

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

## LEMBAR PENGESAHAN

### PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ANTENA MIKROSTRIP *EQUILATERAL TRIANGULAR ARRAY* FREKUENSI 2,4 GHz

#### SKRIPSI

#### KONSENTRASI TEKNIK TELEKOMUNIKASI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh:

**BACHTIAR EFFENDY**

**NIM. 0510630025-63**

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

Majelis Penguji :

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

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

Gaguk Asmungi, ST., MT.  
NIP. 19670627 199802 1 001

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 Equilateral Triangular 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 zaman.

Dengan kesungguhan dan rasa rendah hati, penyusun mengucapkan terima kasih kepada Bapak Ir. Erfan Achmad Dahlan, MT. dan Bapak Rudy Yuwono, ST., M.Sc 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 M. 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 tercinta, kakakku terima kasih atas doa, kasih sayang, perhatian serta dorongan yang telah engkau berikan padaku.
6. Sahabat-sahabat yang telah membantu memberikan saran-saran dari awal hingga akhir pengerjaan skripsi ini, *Tahuers*, *Touring Club* dan seluruh mahasiswa elektro angkatan 2005. Terima kasih atas dukungan, semangat, kebersamaan, *sharing*, bantuan ilmu, doa serta perhatiannya.
7. Bapak Koesmarijanto selaku Kepala Laboratorium Telekomunikasi Polinema atas bantuan ilmu dan waktunya.
8. Semua pihak yang tidak dapat kami sebutkan satu persatu. Terima kasih, sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan sebaik – baiknya.

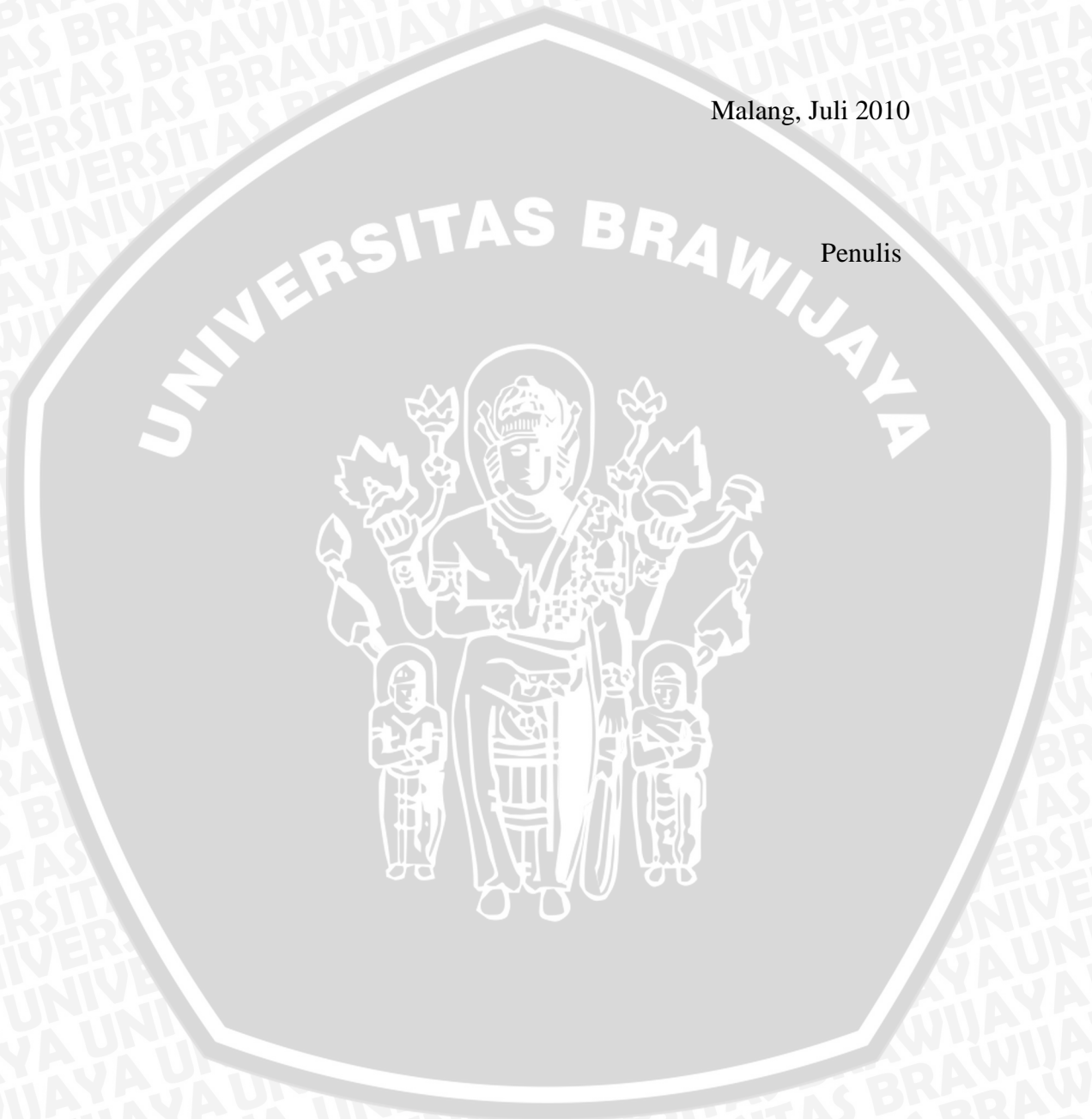
Penyusun menyadari bahwa yang tersusun dalam skripsi ini masih banyak kekurangan-kekurangan dan jauh dari sempurna, hal ini tidak lain karena keterbatasan

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, Juli 2010

Penulis



## DAFTAR ISI

<b>PENGANTAR</b> .....	i
<b>DAFTAR ISI</b> .....	iii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	vii
<b>DAFTAR GRAFIK</b> .....	ix
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	x
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xi
<b>RINGKASAN</b> .....	xii
<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 Dasar Antena .....	5
2.2.1. Pola radiasi.....	6
2.2.1.1. Pola <i>Isotropic, Directional, dan Omnidirectional</i> .....	6
2.2.1.2. <i>Lobe</i> Pola Radiasi.....	6
2.2.1.3 Daerah Medan Radiasi.....	8
2.2.1.4 Intensitas Radiasi.....	9
2.2.2. <i>Directivity</i> (Keterarahan).....	10
2.2.3. <i>Gain</i> (Penguatan).....	11
2.2.4. <i>Return Loss</i> .....	12
2.2.5 <i>VSWR</i> .....	13
2.2.6. <i>Bandwidth</i> .....	13
2.2.7. Polarisasi.....	14
2.2.7.1. Polarisasi Linier.....	15
2.2.7.2. Polarisasi Lingkaran.....	15
2.2.7.3. Polarisasi Elips.....	16

2.2.8. Impedansi Masukan.....	16
2.3. Antena Mikrostrip.....	17
2.3.1. Teknik Pencatuan Antena Mikrostrip.....	19
2.3.1.1. <i>Microstrip Line Feed</i> .....	19
2.3.1.2. <i>Coaxial Feed</i> .....	20
2.3.2. Metode Analisis Antena Mikrostrip.....	21
2.3.2.1. Dimensi Antena Mikrostrip.....	22
2.3.2.2. Dimensi Elemen Radiasi.....	22
2.3.2.2.1 Panjang sisi elemen radiasi.....	22
2.3.2.3. Impedansi Masukan.....	23
2.3.2.4. Penyepadanan Impedansi.....	24
2.3.2.5. Dimensi Saluran Transmisi Mikrostrip.....	25
2.4. Perencanaan <i>Array</i> .....	26
2.4.1. <i>Array</i> Dua Elemen.....	27
2.4.2. <i>Array</i> N-Elemen.....	28
2.5. <i>Wireless Local Area Network</i> .....	31
2.5.1. Standar IEEE 802.11.....	31

### **BAB III. METODOLOGI**

3.1. Studi Literatur .....	34
3.2. Pengumpulan Data.....	34
3.3. Perancangan dan Pembuatan .....	34
3.4. Pengukuran .....	35
3.5. Analisa Antena.....	36
3.6. Pengambilan Kesimpulan dan Saran.....	36

### **BAB IV. PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ANTENA MIKROSTRIP EQUILATERAL TRIANGULAR ARRAY**

4.1. Tinjauan Umum .....	37
4.2. Spesifikasi Dimensi Substrat dan Bahan Konduktor.....	37
4.3. Perancangan Dimensi Elemen Peradiasi.....	38
4.3.1. Perencanaan Impedansi Masukan Satu Elemen Radiasi.....	39
4.3.2. Perencanaan Dimensi Saluran Transmisi .....	40

4.4. Simulasi dan Optimasi Satu Elemen Peradiasi .....	40
4.5. Perancangan Antena <i>Array</i> .....	47
4.5.1 Perencanaan Antena Mikrostrip <i>Equilateral Triangular Array</i> 2 Elemen .....	48
4.5.2. Perencanaan Antena Mikrostrip <i>Equilateral Triangular Array</i> 3 Elemen .....	48
4.5.3 Perencanaan Antena Mikrostrip <i>Equilateral Triangular Array</i> 4 Elemen .....	55
4.5.4. Analisis Hasil Simulasi Antena .....	61
4.6. Pembuatan Antena Mikrostrip.....	69
4.6.1. Alat – alat dan Bahan Yang Digunakan.....	70
4.6.2. Pencetakan Pola Antena Mikrostrip Pada Substrat.....	70
4.6.3. <i>Etching</i> .....	71
4.6.4. Pemasangan Konektor .....	71

**BAB V. PENGUKURAN DAN ANALISIS ANTENA MIKROSTRIP  
*EQUILATERAL TRIANGULAR ARRAY***

5.1. Pendahuluan.....	72
5.2. Pengukuran <i>Return Loss</i> .....	72
5.2.1. Alat-alat yang digunakan .....	72
5.2.2. Prosedur Pengukuran .....	73
5.2.3. Hasil Pengukuran .....	73
5.2.4. Analisa Hasil Pengukuran.....	75
5.3. Perhitungan Koefisien Pantul dan <i>VSWR</i> .....	75
5.3.1. Analisa Hasil Perhitungan.....	77
5.4. Pengukuran <i>Gain</i> Antena.....	77
5.4.1. Alat-alat yang digunakan .....	77
5.4.2. Prosedur Pengukuran .....	78
5.4.3. Hasil Pengukuran .....	78
5.4.4. Analisa Hasil Pengukuran.....	79
5.5. Pengukuran Polarisasi.....	79
5.5.1. Alat-alat yang digunakan .....	79
5.5.2. Prosedur Pengukuran .....	80
5.5.3. Hasil Pengukuran .....	80





5.5.4. Analisa Hasil Pengukuran.....	83
5.6. Pengukuran Pola Radiasi.....	84
5.6.1. Alat-alat yang digunakan.....	84
5.6.2. Prosedur Pengukuran.....	84
5.6.3. Hasil Pengukuran.....	85
5.6.4. Analisa Hasil Pengukuran.....	88
5.7. Perhitungan <i>Directivity</i> .....	88
5.7.1. Cara Perhitungan.....	88
5.7.2. Hasil Perhitungan.....	89
5.8. Perhitungan <i>Bandwidth</i> .....	89
5.9. Analisa Parameter Antena.....	89
 <b>BAB VI. PENUTUP</b>	
6.1. Kesimpulan.....	91
6.2. Saran.....	92
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	94
<b>LAMPIRAN</b> .....	95



## DAFTAR GAMBAR

No	Judul	Halaman
Gambar 2.1.	<i>Lobe-lobe</i> Pola Radiasi.....	6
Gambar 2.2.	Pembagian Daerah Medan Radiasi Antena.....	8
Gambar 2.3.	Tipe Polarisasi.....	14
Gambar 2.4.	Struktur Antena Mikrostrip.....	18
Gambar 2.5.	Macam-macam Bentuk Elemen Mikrostrip.....	18
Gambar 2.6.	<i>Microstrip Line Feed</i> .....	20
Gambar 2.7.	Metode <i>Coaxial Feed</i> .....	21
Gambar 2.8.	Rancangan Antena Mikrostrip <i>Equilateral Triangular</i> ...	23
Gambar 2.9.	Bentuk <i>Equilateral Triangular</i> yang Ekuivalen Dengan <i>Rectangular Patch</i> .....	24
Gambar 2.10.	Penggunaan <i>Transformer</i> untuk <i>Matching</i> Saluran Transmisi.....	25
Gambar 2.11.	Pengaturan <i>Feed</i> Pada Antena Mikrostrip <i>Array</i> .....	26
Gambar 2.12.	Superposisi Vektor Medan Elektrik <i>Array</i> Dua Elemen.	28
Gambar 2.13.	Pola Radiasi <i>Array Dipole</i> Dua Elemen Beda Fase Nol Derajat.....	29
Gambar 2.14.	Superposisi Vektor Medan Elektrik <i>Array</i> N Elemen.....	30
Gambar 4.1.	Satu Dimensi Elemen Radiasi.....	39
Gambar 4.2.	Satu Dimensi Elemen Radiasi dengan Saluran Transmisi.....	40
Gambar 4.3.	Hasil Optimasi Antena Mikrostrip <i>Equilateral Triangular</i> Satu Elemen.....	43
Gambar 4.4.	<i>Gain Pattern</i> 3D Satu Elemen pada Frekuensi 2400 MHz.....	47
Gambar 4.5.	Antena Mikrostrip <i>Equilateral Triangular Array</i> 2 Elemen.....	49
Gambar 4.6.	Antena Mikrostrip <i>Equilateral Triangular Array</i> 2 Elemen Hasil Optimasi.....	51

Gambar 4.7.	<i>Gain Pattern</i> 3D untuk Array Dua Elemen pada Frekuensi 2,4 GHz.....	54
Gambar 4.8.	Antena Mikrostrip <i>Equilateral Triangular Array</i> 3 Elemen.....	55
Gambar 4.9.	Antena Mikrostrip <i>Equilateral Triangular Array</i> 3 Elemen Setelah Optimasi.....	57
Gambar 4.10.	<i>Gain Pattern</i> 3D untuk Array 3 Elemen pada Frekuensi 2,4 GHz.....	60
Gambar 4.11.	Antena Mikrostrip <i>Equilateral Triangular Array</i> 4 Elemen.....	62
Gambar 4.12.	Antena Mikrostrip <i>Equilateral Triangular Array</i> 4 Elemen Hasil Optimasi.....	64
Gambar 4.13.	<i>Gain Pattern</i> 3D untuk Array 4 Elemen pada Frekuensi 2,4 GHz.....	68
Gambar 5.1.	Rangkaian Pengukuran <i>Return Loss</i> .....	73
Gambar 5.2.	Tampilan Pengujian <i>Return Loss</i> pada <i>Spectrum Analyzer</i> .....	75
Gambar 5.3.	Rangkaian Pengukuran <i>Gain</i> Antena.....	78
Gambar 5.4.	Rangkaian Pengukuran <i>Polarisasi</i> Antena.....	80
Gambar 5.5.	Diagram Polar <i>Polarisasi</i> Antena Mikrostrip <i>Equilateral Triangular Array</i> pada frekuensi 2400MHz.....	83
Gambar 5.6.	Rangkaian Pengukuran <i>Pola Radiasi</i> Antena.....	84
Gambar 5.7.	<i>Pola Radiasi</i> Horizontal Antena Mikrostrip <i>Equilateral Triangular Array</i> pada Frekuensi 2400 MHz.....	87
Gambar 5.8.	<i>Pola Radiasi</i> Vertikal Antena Mikrostrip <i>Equilateral Triangular Array</i> pada Frekuensi 2400 MHz.....	87

## DAFTAR GRAFIK

No	Judul	Halaman
Grafik 4.1.	Hasil Simulasi VSWR Satu Elemen Sebelum Optimasi...	41
Grafik 4.2.	<i>Return Loss</i> Satu Elemen Peradiasi Hasil Optimasi.....	44
Grafik 4.3.	VSWR Satu Elemen Peradiasi Hasil Optimasi.....	44
Grafik 4.4.	Nilai <i>Directivity</i> Terhadap Frekuensi Untuk Satu Elemen Peradiasi Hasil Optimasi.....	45
Grafik 4.5.	Nilai <i>Gain</i> Terhadap Frekuensi untuk Satu Elemen Hasil Optimasi.....	46
Grafik 4.6.	VSWR Antena Mikrostrip <i>Equilateral Triangular Array</i> 2 Elemen.....	47
Grafik 4.7.	VSWR Antena Mikrostrip <i>Equilateral Triangular Array</i> 2 Elemen Hasil Optimasi.....	52
Grafik 4.8.	<i>Return Loss</i> Antena Mikrostrip <i>Equilateral Triangular Array</i> 2 Elemen Hasil Optimasi.....	52
Grafik 4.9.	Nilai <i>Gain</i> Terhadap Frekuensi Untuk <i>Array</i> Dua Elemen Hasil Optimasi.....	53
Grafik 4.10.	Nilai <i>Directivity</i> Terhadap Frekuensi Untuk <i>Array</i> Dua Elemen Hasil Optimasi.....	54
Grafik 4.11.	VSWR Antena Mikrostrip <i>Equilateral Triangular Array</i> 3 Elemen.....	56
Grafik 4.12.	<i>Return Loss</i> Antena Mikrostrip <i>Equilateral Triangular Array</i> 3 Elemen.....	56
Grafik 4.13.	VSWR Antena Mikrostrip <i>Equilateral Triangular Array</i> 3 Elemen Hasil Optimasi.....	58
Grafik 4.14.	<i>Return Loss</i> Antena Mikrostrip <i>Equilateral Triangular Array</i> 3 Elemen Hasil Optimasi.....	59
Grafik 4.15.	Nilai <i>Gain</i> Terhadap Frekuensi Antena untuk <i>Array</i> 3 Elemen Hasil Optimasi.....	60
Grafik 4.16.	Nilai <i>Directivity</i> Terhadap Frekuensi untuk <i>Array</i> 3 Elemen Hasil Optimasi.....	61

Grafik 4.17.	VSWR Antena Mikrostrip <i>Equilateral Triangular Array</i> 4 Elemen.....	63
Grafik 4.18.	<i>Return Loss</i> Antena Mikrostrip <i>Equilateral Triangular</i> <i>Array</i> 4 Elemen.....	63
Grafik 4.19.	VSWR Antena Mikrostrip <i>Equilateral Triangular Array</i> 4 Elemen Hasil Optimasi.....	65
Grafik 4.20.	<i>Return Loss</i> Antena Mikrostrip <i>Equilateral Triangular</i> <i>Array</i> 4 Elemen Hasil Optimasi.....	65
Grafik 4.21.	Nilai <i>Gain</i> Terhadap Frekuensi Antena untuk <i>Array</i> 4 Elemen Hasil Optimasi.....	67
Grafik 4.22.	Nilai <i>Directivity</i> Terhadap Frekuensi untuk <i>Array</i> 4 Elemen Hasil Optimasi.....	68
Grafik 5.1.	Grafik Fungsi <i>Return Loss</i> Terhadap Frekuensi.....	74
Grafik 5.2.	Grafik Fungsi Koefisien Pantul Terhadap Frekuensi.....	76
Grafik 5.3.	Grafik Fungsi VSWR Terhadap Frekuensi.....	77



DAFTAR TABEL

No	Judul	Halaman
Tabel 2.1.	Standar IEEE 802.11 .....	32
Tabel 4.1.	Frekuensi Tengah dengan Optimasi Dimensi Sisi Segitiga $a$ .....	42
Tabel 4.2.	Nilai VSWR dengan Optimasi Lebar Saluran Transmisi..	43
Tabel 4.3.	Frekuensi Tengah dengan Optimasi Dimensi Sisi Segitiga $a$ .....	50
Tabel 4.4.	Frekuensi Tengah dengan Optimasi Dimensi Sisi Segitiga $a$ .....	57
Tabel 4.5.	Frekuensi Tengah dengan Optimasi Dimensi Sisi Segitiga $a$ .....	64
Tabel 4.6.	Perbandingan Jumlah Elemen Radiasi Terhadap Parameter Antena pada Frekuensi 2,4 GHz .....	69
Tabel 5.1.	Hasil Pengukuran <i>Return Loss</i> Antena Mikrostrip <i>Equilateral Triangular Array</i> .....	74
Tabel 5.2.	Hasil perhitungan Koefisien Pantul dan VSWR Antena Mikrostrip <i>Equilateral Triangular Array</i> .....	76
Tabel 5.3.	Hasil pengukuran <i>Gain</i> Antena Mikrostrip <i>Equilateral Triangular Array</i> .....	79
Tabel 5.4.	Hasil Pengukuran Polarisasi Antena Mikrostrip <i>Equilateral Triangular Array</i> pada Frekuensi 2400 MHz.	82
Tabel 5.5.	Hasil Pengukuran Pola Radiasi Antena Mikrostrip <i>Equilateral Triangular Array</i> pada frekuensi 2400 MHz..	86



## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Langkah-Langkah Simulasi

Lampiran 2. Dokumentasi Pengukuran



## ABSTRAK

**BACHTIAR EFFENDY**, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Juli 2010. *Perancangan dan Pembuatan Antena Mikrostrip Equilateral Triangular Array Frekuensi 2,4 GHz*, Dosen Pembimbing : Erfan Achmad Dahlan dan Rudy Yuwono.

*Wireless* LAN merupakan suatu sistem komunikasi data yang digunakan untuk komunikasi antar jaringan komputer dengan menggunakan udara sebagai media komunikasinya (*nirkabel*). Dalam komunikasi menggunakan *wireless*, salah satu piranti penting yang harus diperhatikan adalah antena. Maka dari itu diperlukan antena yang memiliki karakteristik dimensi kecil dan antena tipe mikrostrip menjadi pilihan utama. Penelitian yang dilakukan terhadap antena mikrostrip ini juga semakin banyak, salah satunya pada bentuknya yang beragam. Salah satunya adalah antena mikrostrip dengan bentuk *equilateral triangular* (segitiga sama sisi).

Parameter yang digunakan untuk menilai kerja antena adalah VSWR, *return loss*, *bandwidth*, *gain*, *directivity*, pola radiasi dan polarisasi. Untuk mendapatkan parameter yang diinginkan, dilakukan optimasi dengan mengubah dimensi antena. *Gain* dapat ditingkatkan dengan menambah jumlah elemen. Optimasi juga dilakukan pada saluran transmisi antena mikrostrip.

Pada perancangan dan pembuatan antena digunakan substrat *epoxy fiberglass* FR-4 dengan konstanta dielektrik ( $\epsilon_r$ ) = 4,5. Elemen peradiasi berbentuk *equilateral triangular* yang disusun secara *array* sejumlah empat elemen peradiasi. Antena hasil perancangan disimulasikan dengan *software* simulator IE3D™. Setelah memenuhi parameter yang diinginkan, dilakukan fabrikasi antena dan pengukuran terhadap parameter-parameter antena hasil fabrikasi tersebut.

Hasil pengukuran antena mikrostrip *equilateral triangular array* pada frekuensi 2,4 GHz yaitu nilai VSWR sebesar 1,222; *return loss* sebesar -20 dB; nilai *gain* sebesar 3,95 dBi; nilai *directivity* sebesar 14,08 dBi dan polarisasi linier. Bentuk pola radiasi mikrostrip *equilateral triangular array* ini adalah *bidirectional* dengan  $\phi_{HP} = 40^\circ$  dan  $\theta_{HP} = 40^\circ$ . Berdasarkan parameter-parameter tersebut antena hasil perancangan ini dapat bekerja dengan baik pada frekuensi yang diinginkan yaitu 2,4 GHz.

Kata kunci : Antena mikrostrip, *equilateral triangular*, 2,4 GHz



## BAB I

### PENDAHULUAN

#### 1.1 Latar Belakang

Teknologi komunikasi telah mengalami perkembangan yang sangat pesat sejalan dengan perkembangan karakteristik masyarakat modern yang memiliki mobilitas tinggi dan mengejar efisiensi di segala aspek. Dengan semakin meningkatnya kebutuhan manusia akan kemudahan akses informasi dan komunikasi, semakin beragam pula aplikasi dan teknologi komunikasi yang ditawarkan. Komunikasi bergerak, sambungan tanpa kabel, jaringan area lokal tanpa kabel dan teknologi telepon selular adalah beberapa contoh dari sekian banyak aplikasi yang telah mengubah tren pasar industri yang berkembang paling cepat saat ini.

Seiring dengan perkembangan teknologi komunikasi, maka teknologi jaringan komputer pun mengalami evolusi ke arah teknologi tanpa kabel (*wireless*), satu diantaranya adalah *Wireless LAN* (WLAN). Teknologi *wireless LAN* (WLAN) dibuat dan dikembangkan oleh *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE), berdasarkan standar teknis perangkat ada 4 protokol untuk kelompok 802.11 yaitu 802.11f, 802.11b, 802.11a, 802.11g. Namun yang akan dibahas dalam hal ini adalah WLAN dengan standar teknologi IEEE 802.11b dengan frekuensi 2,4 GHz.

Dalam penerapan komunikasi *wireless* ini, dibutuhkan antena yang berfungsi sebagai sarana untuk memancarkan dan/atau menerima gelombang elektromagnetik yang didalamnya terkandung sinyal informasi. Sejalan dengan perkembangan perangkat telekomunikasi, sangatlah penting untuk memilih antena yang tepat untuk perangkat tersebut. Antena yang ada pada umumnya mempunyai keterbatasan akan dimensi yang relatif besar dan harga yang mahal sehingga mempengaruhi fleksibilitasnya. Oleh karena itu dibutuhkan antena dengan dimensi yang lebih kecil, fleksibel, murah, praktis dan kehandalan yang tinggi.

Antena mikrostrip sendiri merupakan antena yang tersusun atas bagian lapisan tipis konduktor berbahan metal atau logam di atas sebuah substrat yang

dapat merambatkan gelombang elektromagnetik, sedangkan pada salah satu sisi lain dilapisi konduktor sebagai bidang pentanahan (*ground plane*). Antena mikrostrip dapat bekerja pada alokasi frekuensi UHF (300 MHz – 3 GHz) sampai dengan *X Band* (5,2 GHz – 10,9 GHz) sehingga antena mikrostrip dapat digunakan untuk kebutuhan antena telepon seluler/*wireless* hingga komunikasi satelit.

Perancangan dan pembuatan antena mikrostrip akan menggunakan substrat FR4 dengan elemen peradiasi berbentuk segitiga sama sisi (*equilateral triangular*) yang disusun secara *array* dengan jumlah elemen peradiasi sebanyak empat elemen. Penggunaan empat elemen diharapkan akan dapat menambah *gain* antena mikrostrip. Antena direncanakan bekerja pada frekuensi 2,4 GHz.

### 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan permasalahan yang ada maka rumusan masalah perancangan dan pembuatan antena mikrostrip *equilateral triangular array* adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang dan membuat antena mikrostrip *equilateral triangular array* pada frekuensi kerja 2,4 GHz.
2. Bagaimana mensimulasikan antena mikrostrip *equilateral triangular array* dengan menggunakan program Zeland IE3D™.
3. Bagaimana hasil pengukuran terhadap antena untuk mengetahui performansi antena yang meliputi *return loss*, *Voltage Standing Wave Ratio* (VSWR), *directivity*, *gain*, pola radiasi, dan polarisasi.

### 1.3 Batasan Masalah

Dalam skripsi ini pembahasan akan dititikberatkan pada perancangan dan pembuatan antena mikrostrip *equilateral triangular array*, dengan batasan sebagai berikut:

1. Frekuensi kerja antena yang dirancang adalah 2,4 GHz.
2. Antena yang dirancang mempunyai nilai impedansi input 50  $\Omega$ , dengan nilai  $VSWR \leq 2$  dan *gain* >3 dBi pada frekuensi yang diinginkan.

3. Pengukuran parameter antenna meliputi *return loss*, VSWR, *bandwidth*, *gain*, pola radiasi dan polarisasi antenna.
4. Rumus-rumus yang digunakan adalah rumus dasar perancangan dan pendesainan yang lazim digunakan untuk antenna mikrostrip *equilateral triangular array* dan saluran transmisi.
5. Pengukuran antenna mikrostrip *equilateral triangular array* untuk mengetahui performansi kerja antenna yang telah dirancang dan difabrikasi dilakukan di Laboratorium Radio Frekuensi Politeknik Negeri Malang.
6. Alat yang akan digunakan yaitu *Spectrum Analyzer* GW Instek GSP-827 2,7 GHz, *Signal Generator Aeroflex IFR 3413 250 kHz-3 GHz*.
7. Tidak membahas pola perambatan gelombang elektromagnetik serta rugi-rugi di ruang bebas.

#### 1.4 Tujuan

Tujuan dari penulisan skripsi ini adalah merancang dan membuat antenna mikrostrip *equilateral triangular 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 antenna dan teori dasar yang berhubungan dengan perancangan dan pembuatan antenna 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 *Equilateral Triangular Array***

Memuat proses perancangan, simulasi dan pembuatan antena *equilateral triangular 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.



## BAB II

### DASAR TEORI

#### 2.1 Konsep Dasar Antena

Antena merupakan instrumen yang penting dalam suatu sistem komunikasi radio. 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, 1997 :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 Dasar 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 antena yang perlu dan penting untuk diketahui dalam pemilihan maupun perancangan sebuah antena. Karakteristik itu antara lain: pola radiasi, intensitas radiasi, polarisasi, *directivity*, *gain*, *bandwidth*, *VSWR*, *antena efficiency*, *input impedance*, dan *return loss*.

### 2.2.1 Pola Radiasi

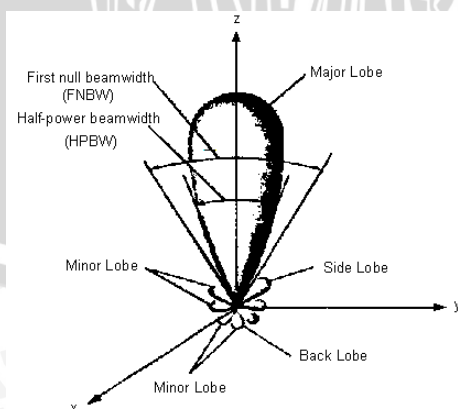
Pola radiasi antenna didefinisikan sebagai fungsi matematis atau representasi grafis dari sifat-sifat radiasi antenna sebagai fungsi dari koordinat ruang.

#### 2.2.1.1 Pola *Isotropic*, *Directional*, dan *Omnidirectional*

Berdasarkan pola radiasinya, antenna terbagi atas antenna dengan pola radiasi *Isotropic*, *Directional*, dan *Omnidirectional*. Radiator isotropis didefinisikan sebagai hipotesis antenna tanpa rugi yang mempunyai radiasi sebanding dalam semua arah. Meskipun pola seperti ini adalah pola ideal yang secara fisik tidak mungkin direalisasikan, namun seringkali dijadikan acuan untuk menyatakan sifat keterarahan suatu antenna. Antenna *directional* adalah antenna yang mempunyai sifat radiasi atau penerimaan gelombang EM yang lebih efektif pada suatu arah tertentu dibandingkan arah lainnya. Sedangkan antenna *omnidirectional* adalah antenna yang mempunyai pola *directional* pada suatu bidang tertentu dan pola *non-directional* pada bidang tegak lurus lainnya.

#### 2.2.1.2 *Lobe* Pola Radiasi

Pola radiasi terdiri atas bagian-bagian yang disebut *Lobes*, yang dikelompokkan ke dalam *major* dan *minor* (*side* dan *back lobe*). Bentuk-bentuk *lobe* pola radiasi ditunjukkan dengan gambar 2.1.



Gambar 2.1 *Lobe-lobe* Pola Radiasi

Sumber : Balanis, 1997 :31

- *HPBW (Half Power Beamwidth)* dapat didefinisikan sebagai sudut yang terbentuk oleh titik setengah daya dari *Major Lobe*
- *Major Lobe* : Bagian dari daerah radiasi kearah radiasi maksimum.
- *Minor lobe* : Bagian ini menyatakan daerah radiasi yang tidak diinginkan. Level dari *minor lobe* ini menyatakan besarnya rasio densitas daya atau *side lobe level*.
- *Back lobe* : Bagian dari *minor lobe* yang berlawanan dengan *major lobe*.
- *Side lobe* : Bagian dari *minor lobe* yang bersebelahan dengan *major lobe*.

Pola radiasi antenna dapat dihitung dengan perbandingan antara daya pada sudut nol derajat (radiasi daya maksimum) dengan daya pada sudut tertentu. Maka pola radiasi ( $P$ ) dinyatakan (Balanis, 1997) :

$$P(\text{dB}) = 10 \cdot \log \frac{P_o}{P_T} (\text{dB}) \quad (2-1)$$

$$P(\text{dB}) = 10 \cdot \log P_o - 10 \cdot \log P_T \quad (2-2)$$

dengan :

$P$  = intensitas radiasi antenna pada sudut tertentu ( $\text{dB}$ )

$P_o$  = daya yang diterima antenna pada sudut  $0^\circ$  ( $\text{watt}$ )

$P_T$  = daya yang diterima antenna pada sudut tertentu ( $\text{watt}$ )

Sebagian besar antenna dirancang untuk mengkonsentrasikan energi pada satu arah tertentu. Ukuran konsentrasi pada *major 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.

Nilai  $F/B$  suatu antenna merupakan perbandingan daya pada arah pancar terbesar yang dikehendaki (*major lobe*) dengan daya pada arah pancar yang berlawanan dengan *major lobe (minor lobe)*, sehingga nilai  $F/B$  adalah:

$$\frac{F}{B} = \frac{P_m}{P_l} \quad (2-3)$$

$$F/B (\text{dB}) = P_m(\text{dBm}) - P_l(\text{dBm})$$

dengan :

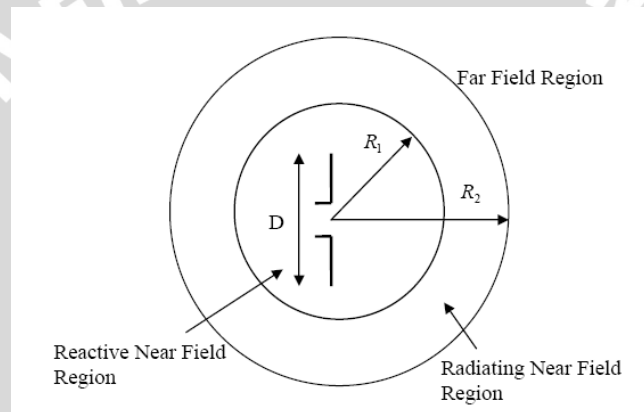
$F/B$  = *Front to Back ratio* (dB)

$P_m$  = daya puncak *major lobe* (dBm)

$P_l$  = daya puncak *back lobe* (dBm)

### 2.2.1.3 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 2.2.



Gambar 2.2 Pembagian Daerah Medan Radiasi Antena

Sumber : Balanis, 1997 :33

dengan  $r_1 = 0,62\sqrt{D^3/\lambda}$  ,

(2-4)

$r_2 = 2D^2/\lambda$

(2-5)

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

Daerah medan radiasi terbagi menjadi tiga, yaitu :

- *Reactive Near-Field Zone*

Pada daerah ini, medan reaktif sangat mendominasi.

Batas daerah ini:



$$r < 0,62\sqrt{D^3/\lambda} \quad (2-6)$$

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 :

$$0,62\sqrt{D^3/\lambda} \leq \text{daerah Fresnel} < 2D^2/\lambda \quad (2-7)$$

- *Far-Field (Franhouffer) Zone*

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

Batas daerah ini :

$$2D^2/\lambda \leq r < \infty \quad (2-8)$$

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

#### 2.2.1.4 Intensitas Radiasi

Intensitas Radiasi dalam arah tertentu didefinisikan sebagai daya yang diradiasikan dari suatu antenna per satuan sudut solid. Intensitas radiasi adalah parameter medan jauh dan dapat diperoleh melalui perkalian rapat radiasi dengan kuadrat jarak. Dalam bentuk persamaan matematis Intensitas radiasi dinyatakan sebagai :

$$U = r^2 W_{rad} \quad (2-9)$$

dengan

$U$  = intensitas radiasi (W/satuan sudut solid)

$W_{rad}$  = rapat radiasi (W/m<sup>2</sup>)

Intensitas radiasi juga berhubungan dengan medan elektrik jauh (*far-zone*), yang dinyatakan dengan persamaan

$$U(\theta, \phi) \cong \frac{1}{2\eta} \left[ E_{\theta}^o(\theta, \phi)^2 + E_{\phi}^o(\theta, \phi)^2 \right] \quad (2-10)$$

dengan

$E$  = intensitas medan elektrik jauh suatu antenna

$E_{\theta}, E_{\phi}$  = komponen medan elektrik jauh suatu antenna

$\eta$  = impedansi intrinsik medium

Sehingga pola daya juga merupakan pengukuran intensitas radiasi. Total daya diperoleh dengan mengintegalkan intensitas radiasi, seperti dinyatakan dalam persamaan (2-8) terhadap luasan sudut solid,  $4\pi$ . Sehingga

$$P_{rad} = \oiint_{\Omega} I d\Omega = \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} I \sin \theta d\theta d\phi \quad (2-11)$$

dengan:  $d\Omega$  = elemen sudut solid =  $\sin \theta d\theta d\phi$

### 2.2.2 Directivity (Keterarahan)

*Directivity* sebuah antenna didefinisikan sebagai perbandingan antara intensitas radiasi antenna pada suatu arah tertentu dengan intensitas radiasi rata-rata dari segala arah. Intensitas radiasi rata-rata sebanding dengan total daya yang diradiasikan oleh antenna dibagi dengan  $4\pi$ . Dengan kata lain *directivity* adalah kemampuan suatu antenna untuk mengkonsentrasikan energinya pada satu arah tertentu. Secara sederhana, keterarahan sumber *non-isotropic* sebanding dengan rasio intensitas radiasinya pada suatu arah tertentu terhadap intensitas radiasi sumber isotropis.

$$D = \frac{U}{U_0} = \frac{4\pi U}{P_{rad}} \quad (2-12)$$

Jika arah tidak ditentukan, maka arah yang dimaksud menyatakan arah dari intensitas radiasi maksimum yang dinyatakan sebagai

$$D_{\max} = D_0 = \frac{U_{\max}}{U_0} = 10 \log \frac{4\pi U_{\max}}{P_{rad}} \quad (2-13)$$

dengan :

$D_0$  = directivity (dB)

$U_{\max}$  = intensitas radiasi maksimum (watt)

$P_{rad}$  = daya radiasi total (watt)

Nilai keterarahan sebuah antenna dapat diketahui dari pola radiasi antenna tersebut, semakin sempit *Major Lobe* maka keterarahannya semakin baik dibanding *Major Lobe* yang lebih lebar. Nilai keterarahan jika dilihat dari pola radiasi sebuah antenna adalah sebagai berikut (Balanis, 1997 : 20)

$$D_0 = 10 \log \frac{4\pi \left(\frac{180}{\pi}\right)^2}{\theta_{HP} \cdot \phi_{HP}} \quad (2-14)$$

$$D_0 = 10 \log \frac{41252.96125}{\theta_{HP} \cdot \phi_{HP}} \quad (2-15)$$

dengan

$D_{dB}$  = keterarahan (*directivity*) (dB)

$\theta_{HP}$  = lebar berkas daya pada polarisasi horisontal ( $^{\circ}$ )

$\phi_{HP}$  = lebar berkas daya pada polarisasi vertikal ( $^{\circ}$ )

### 2.2.3 Gain (Penguatan)

Salah satu pengukuran yang penting untuk menggambarkan performa suatu antenna adalah *gain* (penguatan). *Gain* adalah pengukuran yang memperhitungkan efisiensi antenna maupun keterarahannya.

Pada praktiknya pengukuran *gain* dilakukan dengan menggunakan metode perbandingan (*Gain-comparison Method*) atau *gain transfer mode*. Prinsip pengukuran ini adalah dengan menggunakan antenna referensi (biasanya antenna *dipole* standar) yang sudah diketahui nilai *gain*nya (Stutzman, 1981: 39).

Sehingga besar *gain* terhadap sumber isotropis adalah :

$$G = G_{ref} \times \frac{P_U}{P_R} \quad (2-16)$$

$$G = 1,64 \times \frac{P_U}{P_R} \quad (2-17)$$

$$G(\text{dB}) = 10 \log 1,64 \frac{P_U}{P_R} \quad (2-18)$$

$$G = 2,15 + P_U(\text{dBm}) - P_R(\text{dBm}) \quad (2-19)$$

dengan

$G$  = gain antenna uji (dB)

$G_{ref}$  = gain antenna referensi (dB)

$P_U$  = daya yang diterima antenna uji (dBm)

$P_R$  = daya yang diterima antenna referensi (dBm)

#### 2.2.4 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*) antenna. 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

$$\Gamma = \frac{V_o^-}{V_o^+} \quad (2-20)$$

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

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

$$S_{11} = -20 * \log|\Gamma| \quad (2-21)$$

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.

### 2.2.5 VSWR

VSWR adalah rasio amplitudo tegangan maksimum terhadap amplitudo tegangan minimum dalam pola tegangan berdiri. Fluktuasi level daya yang dikarenakan adanya ketidaksesuaian saluran transmisi dengan beban. Besarnya nilai VSWR bervariasi antara 1 sampai tak terhingga. Semakin tinggi VSWR, semakin besar pula ketidaksesuaian.

$$VSWR = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \quad (2-22)$$

### 2.2.6 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) :

$$B_p = \frac{f_u - f_l}{f_c} \times 100\% \quad (2-23)$$

$$f_c = \frac{f_l + f_u}{2} \quad (2-24)$$

$$B_r = \frac{f_u}{f_l} \quad (2-25)$$

dengan :

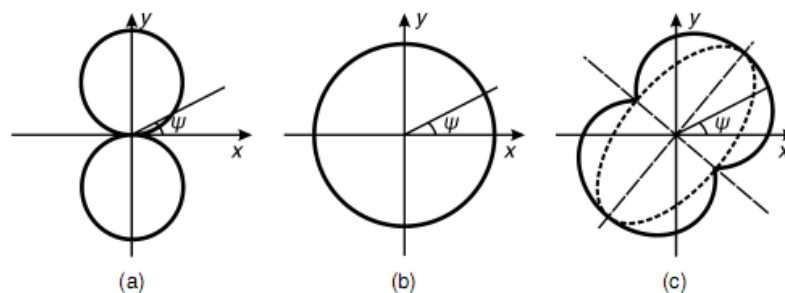
- $B_p$  = *bandwidth* dalam persen (%)  
 $B_r$  = *bandwidth* rasio  
 $f_u$  = jangkauan frekuensi atas (Hz)  
 $f_i$  = jangkauan frekuensi bawah (Hz)

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

### 2.2.7 Polarisasi

Suatu medan elektromagnetik terdiri atas medan listrik dan medan magnet yang saling tegak lurus satu sama lain. Energi dari medan elektromagnetik mengalir bolak-balik dari satu medan ke medan lainnya dengan cara beresilasi. Fenomena ini disebut polarisasi. Polarisasi gelombang teradiasi merupakan sifat gelombang elektromagnet yang menggambarkan vektor medan elektrik yang arahnya berubah terhadap waktu dan besaran relatif dari vektor medan elektrik tersebut.

Polarisasi suatu antenna dalam arah tertentu didefinisikan sebagai polarisasi gelombang yang diradiasikan oleh antenna. Ketika arahnya tidak diberitahukan, maka polarisasi yang dianggap adalah polarisasi pada arah *gain* maksimum. Pada kenyataannya polarisasi dari energi radiasi bervariasi dengan arah dari pusat antenna, sehingga bagian pola yang berbeda mungkin mempunyai polarisasi yang berbeda. Seperti yang ditunjukkan gambar 2.3, terdapat tiga tipe polarisasi, yaitu polarisasi *linear*, *circular* dan *elliptical*.



Gambar 2.3 Tipe Polarisasi (a) *Linear* (b) *Circular* (c) *Elliptical*

Sumber : Sahalos, 2006 :12

### 2.2.7.1 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 :

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

### 2.2.7.2 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 :

- a. Medan harus mempunyai dua komponen *orthogonal linear*, dan
- b. Kedua komponen harus mempunyai besaran yang sama, dan
- c. 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.

### 2.2.7.3 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*).

### 2.2.8 Impedansi Masukan

Impedansi masukan 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

$$Z_{in} = R_{in} + jX_{in} \quad (2-26)$$

dengan :

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



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

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

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:

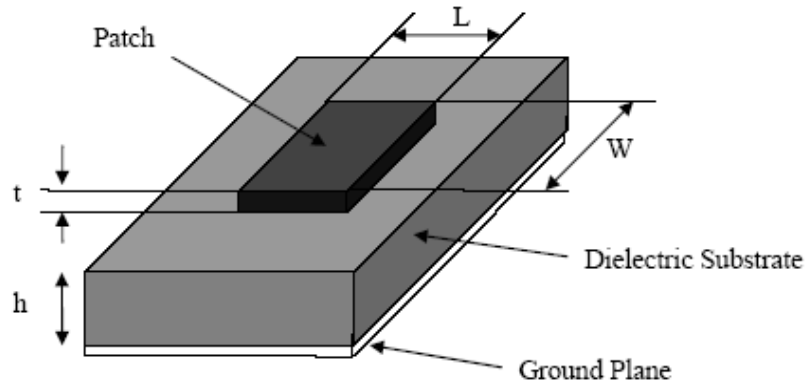
$$S_{11} = \frac{Z_{in} - Z_0}{Z_{in} + Z_0} \quad (2-27)$$

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

$$Z_{in} = Z_0 \frac{S_{11} - 1}{S_{11} + 1} \quad (2-28)$$

### 2.3 Antena *Microstrip*

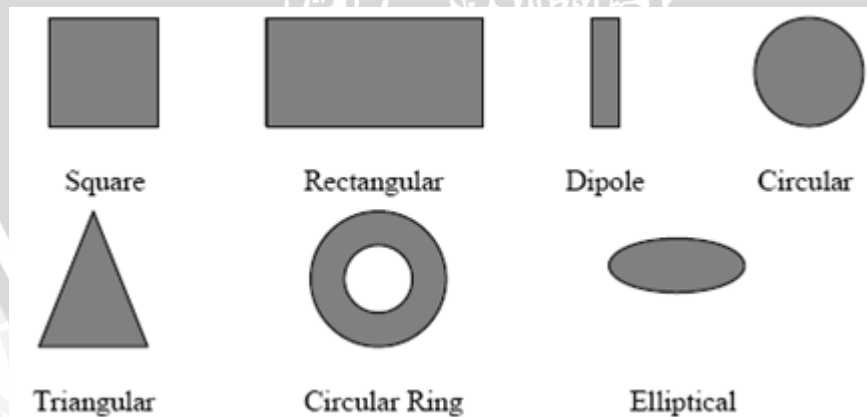
Pada dasarnya antena *microstrip* terdiri atas lapisan radiasi (*patch*) yang berada pada suatu lapisan (*substrate*) dielektrik yang mempunyai bidang pentanahan pada salah satu sisinya. Lapisan radiasi pada umumnya terbuat dari bahan penghantar (konduktor) dan dapat memiliki bentuk yang bermacam-macam. Lapisan radiasi dan saluran transmisi biasanya dicetak diatas bahan dielektrik. Struktur antena mikrostrip dapat dilihat pada gambar 2.4.



Gambar 2.4 Struktur antenna mikrostrip

Sumber: Punit S. Nakar, 2004 : 31

Untuk mempermudah dalam hal memprediksi dan menganalisis kinerja antenna, lapisan radiasi umumnya berbentuk kotak, persegi, lingkaran, segitiga, elips atau bentuk umum lainnya sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 2.5. 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.



Gambar 2.5 Macam-macam bentuk elemen mikrostrip

Sumber: Punit S. Nakar, 2004 : 32

Untuk performansi antenna pemilihan *substrat* sangat berpengaruh, semakin tebal *substrat*, *bandwidth* juga semakin lebar tetapi dimensi akan bertambah besar

begitu juga sebaliknya. Karena itu perlu diperhitungkan pencapaian antara dimensi antena dan performansinya.

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

$$h \leq \frac{0.3c}{2\pi f_r \sqrt{\epsilon_r}} \quad (2-29)$$

dengan:

$h$  = ketebalan substrat (m)

$c$  = kecepatan cahaya (m/s)

$f_r$  = frekuensi kerja (Hz)

$\epsilon_r$  = konstanta dielektrik bahan

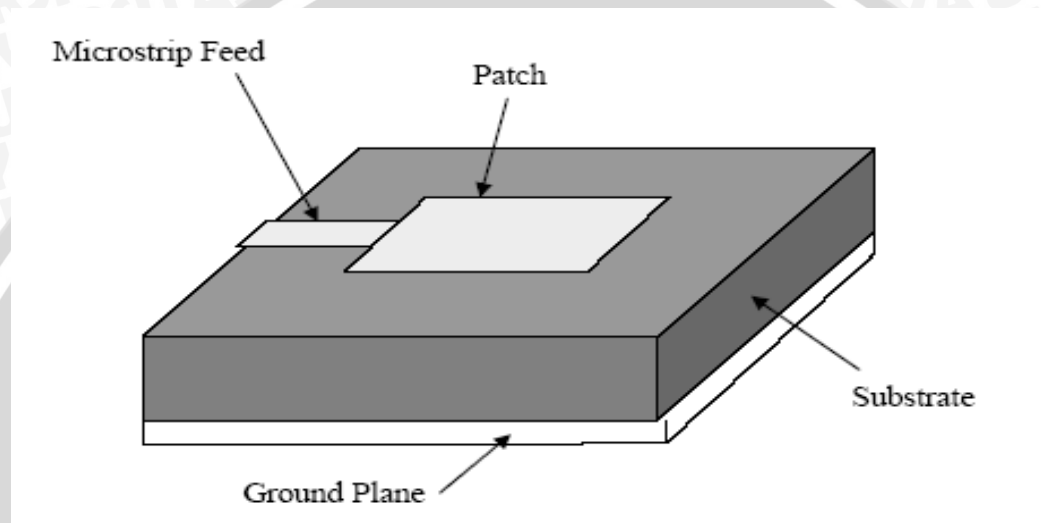
### 2.3.1 Teknik Pencatuan Antena Mikrostrip

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* radiasi 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* radiasi. Ada dua teknik pencatuan yang menggunakan skema kontak langsung yaitu *microstrip line* dan *coaxial feed*.

#### 2.3.1.1 Microstrip Line Feed

Seperti yang ditunjukkan gambar 2.6 pada tipe pencatuan ini, bagian konduktor dihubungkan secara langsung dengan bagian tepi *patch* mikrostrip. Lebar *strip* konduktor lebih kecil dari pada elemen radiasi antena mikrostrip. Tipe

pengaturan pencatutan semacam ini mempunyai keuntungan bahwasanya pencatutan 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.



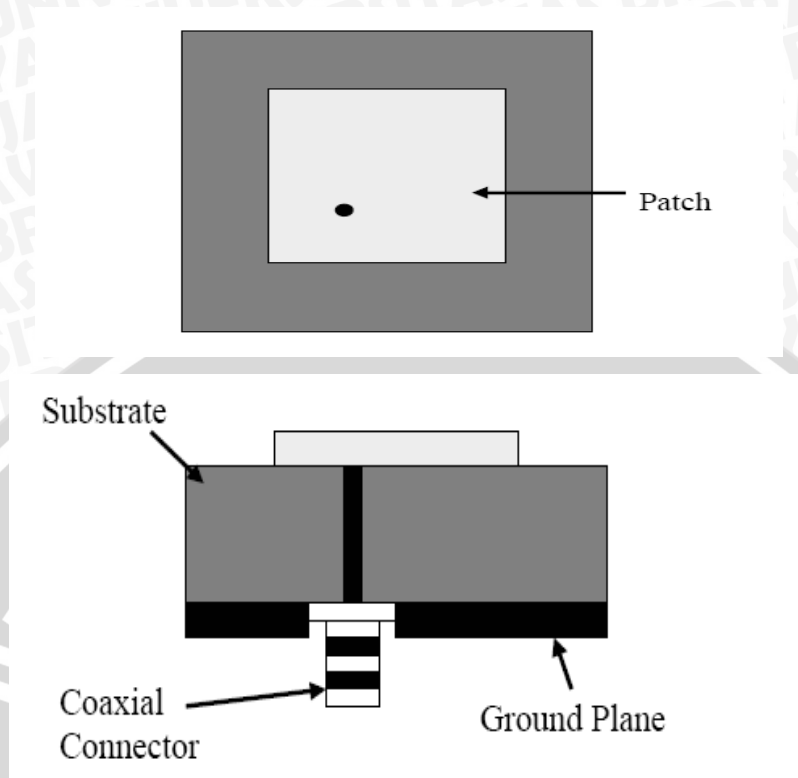
Gambar 2.6 *Microstrip Line Feed*

Sumber: Punit S. Nakar, 2004 : 34

Oleh karena itu metode ini menawarkan skema pencatutan 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 pencatutan antenna. Seperti terlihat pada Gambar 2.7 konduktor bagian dalam dari kabel koaksial dihubungkan dengan elemen radiasi dan konduktor bagian luar dari kabel koaksial dihubungkan dengan bidang pentanahan (*ground plane*).



Gambar 2.7 Metode *Coaxial feed*

Sumber: Punit S. Nakar, 2004 : 35

Kelebihan dari metode pencatutan seperti ini adalah pencatutan 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.

### 2.3.1 Metode Analisis Antena Mikrostrip

Terdapat beberapa metode yang paling umum digunakan untuk analisis antenna mikrostrip, yaitu model saluran transmisi, model *cavity*, dan metode gelombang penuh (yang meliputi persamaan integral primer/metode momen). Model saluran transmisi merupakan yang paling sederhana dan mampu memberikan pemahaman yang bagus, akan tetapi kurang akurat jika dibandingkan dengan model lainnya. Model *cavity* mampu memberikan tingkat akurasi yang lebih baik, namun bersifat lebih kompleks dan sulit. Sedangkan metode

gelombang penuh adalah metode yang paling sulit untuk difahami namun mampu memberikan analisis dengan tingkat keakuratan yang sangat tinggi.

### 2.3.2.1 Dimensi Antena Mikrostrip

Pada model saluran transmisi antena mikrostrip direpresentasikan oleh dua *slot* dengan lebar ( $W$ ) dan tinggi ( $h$ ), terpisah oleh saluran transmisi sepanjang ( $L$ ).

### 2.3.2.2 Dimensi elemen radiasi

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

$$\lambda_0 = \frac{c}{f_r} \quad (\text{m}) \quad (2-30)$$

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

$$\lambda_d = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (\text{m}) \quad (2-31)$$

#### 2.3.2.2.1 Panjang sisi elemen radiasi

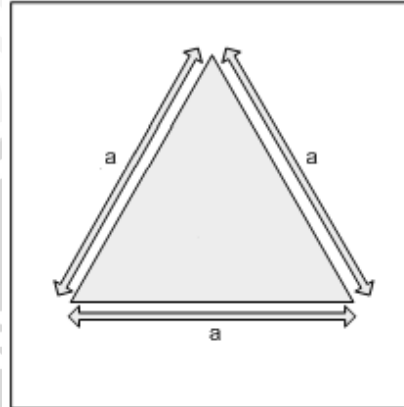
Panjang sisi elemen radiasi *equilateral triangular* diperoleh dengan menggunakan rumus: (Garg, 2001:429)

$$f_r = \frac{2c}{3a\sqrt{\epsilon_r}} \sqrt{m^2 + mn + n^2} \quad (2-32)$$

Dengan:

- $f_r$  = frekuensi resonansi
- $a$  = dimensi sisi segitiga
- $c$  = kecepatan cahaya ( $3 \times 10^8$  m/s)
- $\epsilon_r$  = konstanta dielektrik substrat
- $m, n$  = nilai *integer* dari mode distribusi gelombang elektromagnetik pada *patch*

Rancangan satu dimensi antenna mikrostrip *equilateral triangular* dapat dilihat pada gambar 2.8.



Gambar 2.8 Rancangan Antena Mikrostrip *Equilateral Triangular* (tampak atas)

Sumber: Perancangan

### 2.3.2.3 Impedansi masukan

Pada frekuensi resonansi nilai besarnya impedansi masukan elemen radiasi adalah (Herrera.M, 1999: 3) :

$$Z_A = 90 \frac{\epsilon_r^2}{\epsilon_r - 1} \left( \frac{L}{W} \right)^2 \Omega \tag{2-33}$$

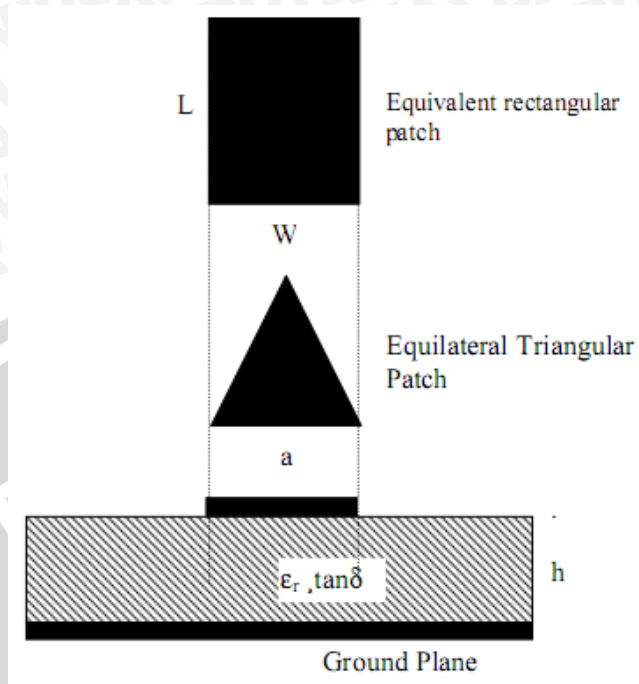
dengan :

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

$L$  = panjang elemen radiasi (mm)

$W$  = lebar elemen radiasi (mm)

Persamaan 2-33 digunakan untuk mencari impedansi masukan elemen radiasi berbentuk segi empat (*rectangular*) sedangkan untuk mencari impedansi masukan elemen radiasi berbentuk segitiga sama sisi (*equilateral triangular*) nilai  $L$  dan  $W$  dari persamaan 2-33 didapatkan dari ekuivalensi antara *patch* berbentuk *equilateral triangular* dan *rectangular* seperti yang ditunjukkan gambar 2.9.



Gambar 2.9 Bentuk *equilateral triangular* yang ekuivalen dengan *rectangular patch*

Sumber: Nasimuddin, 2004: 107

Keterangan gambar 2.9 :

$$W = a \tag{2-34}$$

$$L = \sqrt{a^2 - \left(\frac{1}{2}a\right)^2} \tag{2-35}$$

$$L = \frac{\sqrt{3}}{2}a \tag{2-36}$$

### 2.3.2.4 Penyepadanan impedansi

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

$$Z_T = \sqrt{Z_o \cdot Z_L} \tag{2-37}$$

dengan:

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

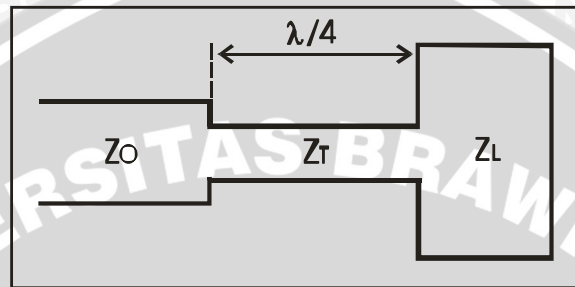
$Z_o$  = impedansi karakteristik saluran transmisi ( $\Omega$ )



$Z_L$  = 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 2.10.



Gambar 2.10 Penggunaan transformer untuk *matching* saluran transmisi

Sumber: Perancangan

Sedangkan untuk menghitung lebar saluran transformer dapat dicari setelah didapatkan nilai impedansi saluran transformer, dengan cara yang sama seperti cara menghitung lebar saluran transmisi *microstrip*.

### 2.3.2.5 Dimensi saluran transmisi mikrostrip

Untuk menghitung dimensi saluran transmisi mikrostrip digunakan persamaan di bawah ini (Garg, 2001: 775):

$$W_o = \frac{\eta_0}{Z_o} x \frac{h}{\sqrt{\epsilon_r}} \text{ (mm)} \quad (2-38)$$

dengan :

$W_o$  = lebar saluran transmisi (mm)

$\eta_0$  = impedansi intrinsik ruang bebas ( $120\pi \Omega$ )

$h$  = ketebalan substrat (mm)

$Z_o$  = impedansi karakteristik ( $\Omega$ )

$\epsilon_r$  = konstanta dielektrik substrat (F/m)

Panjang saluran transmisi dapat dicari dengan persamaan (Astoto, 2004: 23)

$$L_t = \frac{1}{4} \lambda_d \text{ (mm)} \quad (2-39)$$

dengan :

$L_t$  = panjang *transformer* (mm)

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

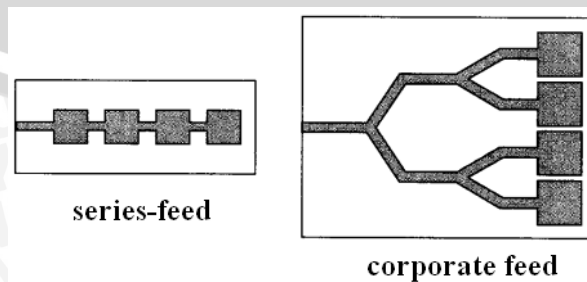
#### 2.4 Perencanaan Array

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 radiasi (*array*). Dengan kata lain *array* adalah beberapa elemen antena yang disusun dan saling berhubungan untuk menghasilkan pola radiasi tertentu (Stutzman, 1981: 108).

Pada antena *array* selain mempunyai keuntungan, juga mempunyai kerugian. Kerugiannya yaitu adanya kopel bersama (*mutual coupling*) yang terjadi antara elemen radiasi dengan elemen radiasi yang lain, antara elemen radiasi dengan saluran transmisi maupun saluran transmisi dengan saluran transmisi yang lain. Tetapi kerugian ini dapat dikurangi dengan mengatur jarak antar elemen radiasi.

Penguatan antena *array* adalah merupakan penjumlahan dari daya yang dipancarkan dari daya yang dipancarkan dari setiap elemen radiasi pada arah tertentu, sehingga semakin banyak elemen *array* penguatan akan semakin besar.

Pada antena mikrostrip *array* sendiri dikenal beberapa teknik pengaturan *feed*. Dua diantaranya adalah *series feed array* dan *corporate feed array*, seperti ditunjukkan gambar 2.11.



Gambar 2.11 Pengaturan *feed* pada antena mikrostrip array

Sumber : Balanis, 1997:773

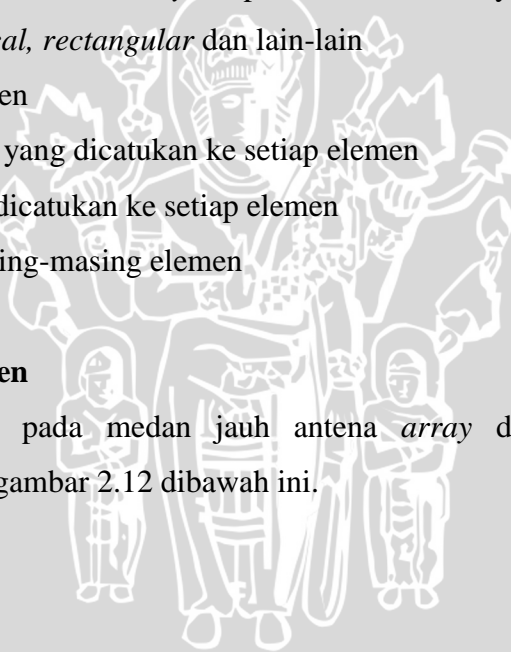
Konfigurasi geometris antena array terdiri atas linier dan planar. Disebut *array* linier bila pusat-pusat elemen *array* terletak pada sepanjang garis lurus. Sedangkan apabila pusat-pusat elemen terletak pada sebuah bidang disebut planar *array*.

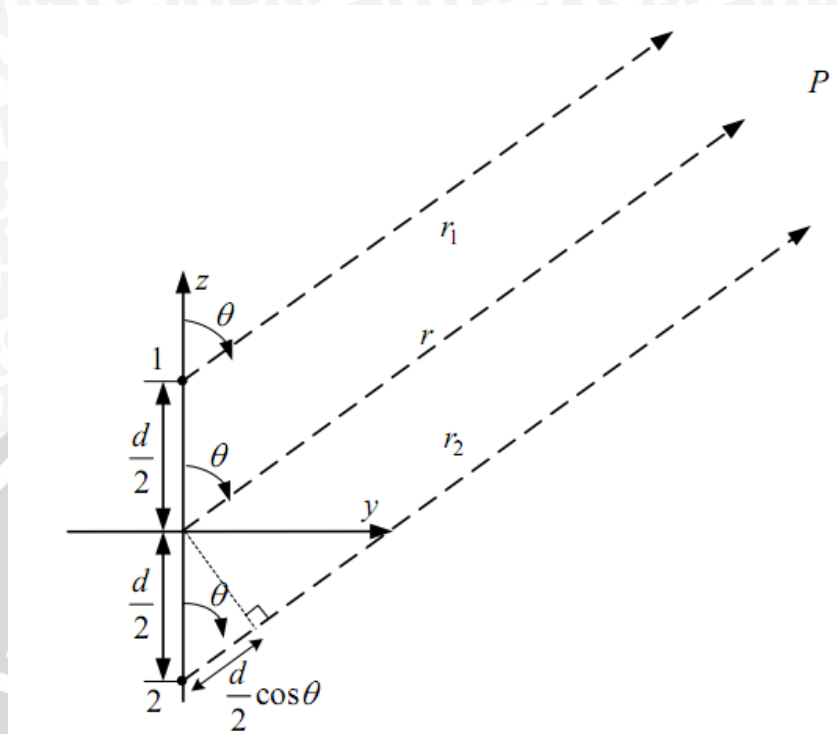
*Array* juga akan mengubah pola radiasi. Medan radiasi total dari sebuah *array* merupakan superposisi vektor dari medan yang diradiasikan setiap elemen. Untuk membuat pola radiasi menjadi lebih terarah, sebaiknya medan yang diradiasikan setiap elemen saling berinterferensi pada arah yang diinginkan. Ada 5 metode yang umum dipakai untuk mengatur total medan radiasi antena yaitu,

1. Konfigurasi geometris *array* tiap elemen, misalnya *linear*, *planar*, *circular*, *spherical*, *rectangular* dan lain-lain
2. Jarak antar elemen
3. Amplitudo daya yang dicatukan ke setiap elemen
4. Fase daya yang dicatukan ke setiap elemen
5. Pola radiasi masing-masing elemen

#### 2.4.1 *Array* dua elemen

Medan elektrik pada medan jauh antena *array* dua elemen dapat direpresentasikan pada gambar 2.12 dibawah ini.





Gambar 2.12 Superposisi Vektor Medan Elektrik Array Dua Elemen

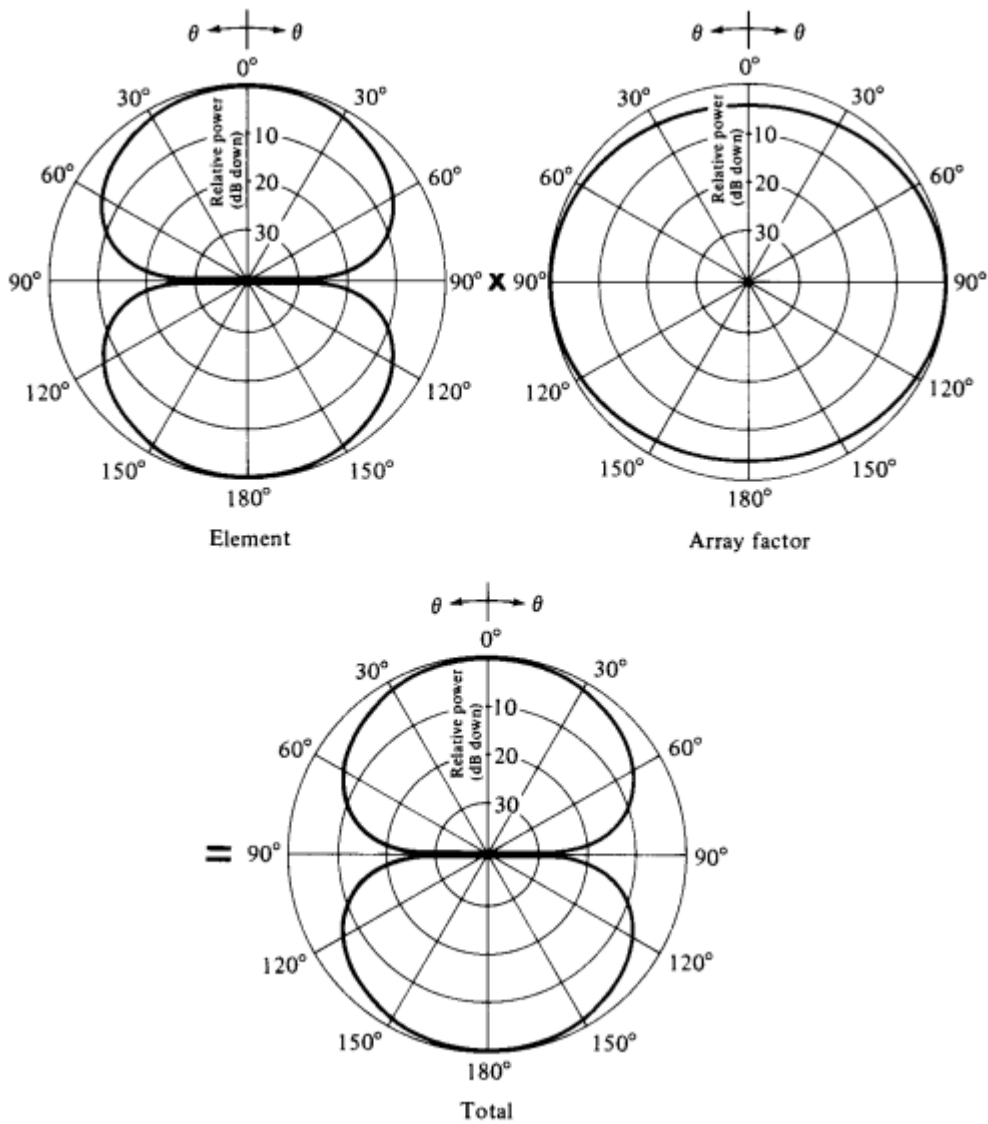
Sumber : [www.google.com/Antennas\\_L15-Linear Array Theory-Part I.pdf](http://www.google.com/Antennas_L15-Linear Array Theory-Part I.pdf)

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

$$AF_n = \cos\left(\frac{kd \cos \theta + \beta}{2}\right) \tag{2-40}$$

$$f_n(\theta, \phi) = E_n(\theta, \phi) \times AF_n(\theta, \phi) \tag{2-41}$$

*Array factor* *AF* nilainya tergantung pada beda fasa  $\beta$ , sebagai contoh untuk antena dipol *array* dengan susunan seperti gambar 2.12 dengan beda fasa nol pola radiasinya ditunjukkan seperti gambar 2.13

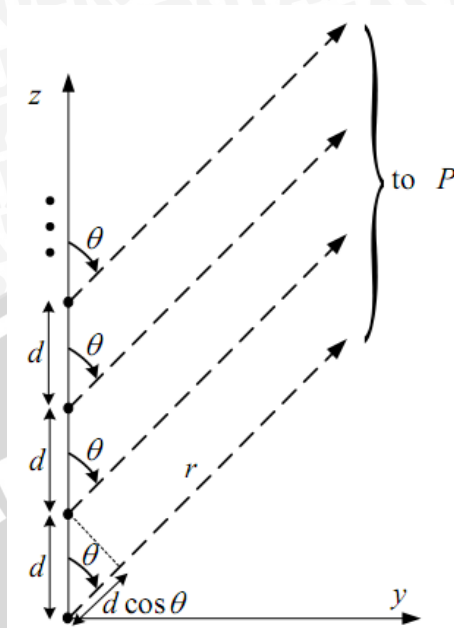


Gambar 2.13 Pola Radiasi *Array Dipole* Dua Elemen Beda Fase Nol Derajat

Sumber : Balanis,1997:255

### 2.4.2 *Array N*-elemen

Untuk memperoleh faktor *array* sebagai suatu *array* linier dengan 4 elemen, kita perhatikan gambar 2.14



Gambar 2.14 Superposisi Vektor Medan Elektrik Array N-Element

Sumber : [www.google.com/Antennas\\_L15-Linear Array Theory-Part I.pdf](http://www.google.com/Antennas_L15-Linear Array Theory-Part I.pdf)

Jika elemen sebanyak  $N$  diletakkan segaris pada sumbu  $z$ , serta jarak antar elemen dinyatakan dalam  $d$ . Didapatkan persamaan untuk mencari faktor *array* untuk konfigurasi *array* linear dengan N-elemen.

$$AF_n = \frac{1}{N} \frac{\sin \left[ N \frac{\psi}{2} \right]}{N \sin \left[ \frac{\psi}{2} \right]} \tag{2-41}$$

Dimana,

$$\psi = kd \cos \theta + \beta \tag{2-42}$$

Beberapa hal yang dapat diperhatikan berkaitan dengan variasi jumlah elemen pada *array* adalah :

1. Dengan meningkatnya jumlah elemen  $N$ , akan mempersempit pancaran utama (*main lobe*)
2. Meningkatnya  $N$ , juga menambah jumlah *side lobe*
3. Puncak dari *side lobe* turun sebanding dengan meningkatnya  $N$
4. Fungsi  $AF_n(\theta, \phi)$  simetri pada  $\psi = 180^\circ$



## 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.

### 2.4.1 **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.

IEEE 802.11b menggunakan band ISM (*Industry, Science and Medical*) 2,4 GHz dan mampu mencapai kecepatan data 11 Mbps. Kecepatan data yang didukung adalah 1, 2, 5.5, dan 11 Mbps. Dengan teknologi *spread spectrum*, memiliki jangkauan sampai 800 ft atau 50,000 ft<sup>2</sup>.

Perbandingan standar protokol 802.11a, 802.11b dan 802.11g dapat dilihat 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 <i>overlapping</i>	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 (6,9,12,18,24,3, 6,48,54) OFDM (6,9,12,18,24,3, 6,48,54 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 *equilateral triangular array* untuk frekuensi kerja 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 *equilateral triangular array*.
2. Perencanaan bentuk fisik antenna, serta pemahaman mengenai antenna *equilateral triangular array* itu sendiri.

### 3.2 Pengumpulan Data

Data yang digunakan adalah data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh dari hasil pengukuran di Laboratorium Radio Frekuensi Politeknik Negeri Malang. Data sekunder diperoleh dari studi literatur dan simulasi hasil perancangan.

### 3.3 Perancangan dan Pembuatan

Dalam perancangan sebuah antenna *equilateral triangular array*, kegiatan yang dilakukan adalah:

1. Menentukan frekuensi kerja yaitu 2400 MHz dan substrat yang digunakan dalam perancangan yaitu FR4.

2. Penghitungan dimensi antena *equilateral triangular array* dan dimensi saluran transmisi berdasarkan rumus yang umum digunakan. Kemudian hasilnya akan disimulasikan menggunakan *software IE3D™*.
3. Jika hasil simulasi dan optimasi sudah mendekati parameter-parameter yang diharapkan, maka dilanjutkan dengan fabrikasi antena *equilateral triangular array*.

### 3.4 Pengukuran

Untuk dapat mengetahui karakteristik dan performansi dari antena yang telah dibuat maka dilakukan pengukuran terhadap beberapa parameter antena pada rentang frekuensi 2,2 – 2,7 GHz. Pengukuran parameter-parameter antena tersebut dilaksanakan di Laboratorium Radio Frekuensi Politeknik Negeri Malang. Pengukuran ini meliputi:

1. Pengukuran *return loss*, koefisien pantul dan VSWR

Alat yang digunakan untuk pengukuran parameter ini adalah *spectrum analyzer* yang dioperasikan pada jangkauan frekuensi tertentu. Standar nilai yang digunakan *return loss* adalah sebesar  $< -10$  dB dan nilai VSWR sebesar  $< 2$ .

2. Pengukuran *gain* antena

Alat yang digunakan adalah *Signal Generator*, *Spectrum Analyzer* dan 2 buah antena dipole  $\lambda/2$  (sebagai antena referensi). Antena ini digunakan sebagai antena standar dengan nilai penguatan sudah diketahui sebelumnya. Penguatan antena ini kemudian dibandingkan dengan penguatan antena yang diukur (antena *equilateral triangular*).

3. Pengukuran pola radiasi

Peralatan yang digunakan adalah *Signal Generator*, *Spectrum Analyzer* dan antena dipole  $\lambda/2$  sebagai antena referensi. Tujuan dari pengukuran ini adalah untuk mengetahui pola radiasi antena pada bidang vertikal maupun horizontal.

#### 4 Pengukuran polarisasi

Tujuan dari pengukuran ini adalah untuk mengetahui pola perambatan medan listrik dari antenna yang dibuat. Pengukuran dilakukan dengan cara memutar antenna penerima (antenna yang diuji) dengan interval sudut tertentu ( $10^\circ$ ) terhadap bidang vertikal sampai  $360^\circ$ .

#### 5 Penghitungan *bandwidth*

Penghitungan ini dilakukan dengan menghitung selisih antara frekuensi atas dan frekuensi bawah pada pengukuran nilai  $VSWR \leq 2$  atau  $RL < -10$  dB.

#### 6 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 antenna yang telah dibuat. Pada tahap ini dilakukan pembahasan parameter-parameter antenna hasil perencanaan dan parameter-parameter antenna hasil pengujian dan pengukuran.

### 3.6 Pengambilan Kesimpulan dan Saran

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

## BAB IV

### PERENCANAAN DAN PEMBUATAN ANTENA MIKROSTRIP *EQUILATERAL TRIANGULAR ARRAY*

#### 4.1 Tinjauan Umum

Antena mikrostrip adalah antena yang dibuat dengan merealisasikan di atas bahan substrat, dimana sebagai elemen radiasinya (*radiating element*) terletak pada salah satu sisi permukaan substrat dan sisi permukaan lainnya dari substrat tersebut terdapat bidang konduktor yang berfungsi sebagai bidang pentanahan (*ground plane*).

Dalam bab ini akan dibahas mengenai penentuan bahan substrat, konduktor dan dimensi elemen radiasi. Selanjutnya akan dilakukan simulasi dengan program simulator IE3D untuk mendapatkan *VSWR*, *return loss*, *directivity*, *gain* dan *bandwidth* berdasarkan hasil perancangan dengan menggunakan dasar teori yang ada pada Bab II.

#### 4.2 Spesifikasi Dimensi Substrat dan Konduktor

Dalam menentukan bahan suatu antena mikrostrip harus diketahui terlebih dahulu parameter serta batasan frekuensi maksimum yang masih bisa dilewatkan pada substrat. Pada perencanaan antena ini bahan substrat yang digunakan adalah sebagai berikut :

- Bahan *Epoxy fiberglass* – FR4
 

Konstanta dielektrik relatif ( $\epsilon_r$ )	= 4,5
Ketebalan lapisan dielektrik ( $h$ )	= 0,0016 m = 1,6 mm
<i>Loss tangent</i>	= 0,018
- Bahan pelapis substrat (konduktor) tembaga
 

Ketebalan bahan konduktor ( $t$ )	= 0,0001 m
Konduktifitas tembaga ( $\sigma$ )	= $5,8 \times 10^{-7}$ mho m <sup>-1</sup>
- Frekuensi kerja ( $f_r$ ) = 2,4 GHz
- Impedansi karakteristik saluran = 50  $\Omega$

Batasan frekuensi kerja yang bisa dilewatkan pada substrat ini dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

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

$$f_r \leq 4176,23 \text{ MHz}$$

Dengan batasan frekuensi sebesar ini maka jenis substrat *epoxy fiberglass* – FR4 ini memungkinkan untuk digunakan sebagai substrat dalam membuat antena dengan menggunakan dasar saluran mikrostrip.

#### 4.3 Perencanaan Dimensi Elemen Radiasi

Untuk perencanaan dimensi elemen radiasi, maka terlebih dahulu harus ditentukan nilai frekuensi kerja ( $f_r$ ) yang direncanakan yaitu  $2400 \times 10^6$  (Hz) dengan nilai perambatan di ruang bebas ( $c$ )  $3 \times 10^8$  (m/s). Dengan menggunakan persamaan (2-30) :

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

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

Maka panjang gelombang pada saluran transmisi mikrostrip dapat dihitung dengan persamaan (2-31) :

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

$$\lambda_d = \frac{0,125}{\sqrt{4,5}} = \frac{0,125}{2,1213} = 0,0589 \text{ m}$$

Kemudian dihitung besarnya sisi ( $a$ ) elemen peradiasi antena mikrostrip dengan persamaan (2-32) :

$$f_r = \frac{2c}{3a\sqrt{\epsilon_r}} \sqrt{m^2 + mn + n^2}$$

Mode distribusi gelombang TM yang digunakan adalah 10, sehingga nilai  $m$  dan  $n$  berturut turut ialah 1 dan 0, maka nilai  $a_{eff}$ -nya :

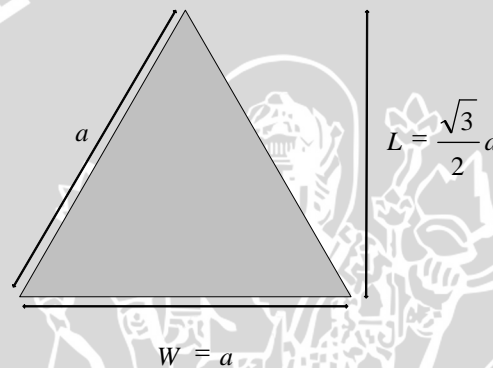
$$a = \frac{2 \times 3 \times 10^8}{3 \times 2400 \sqrt{4.5}} \sqrt{1^2 + 1 \times 0 + 0^2}$$

$$a = 39,3 \text{ mm}$$

Jadi untuk elemen peradiasi dengan bentuk *equilateral triangular* pada frekuensi 2400 MHz dimensinya adalah  $a = 39,3 \text{ mm}$  atau  $3,93 \text{ cm}$ .

#### 4.3.1 Perencanaan Impedansi Masukan Satu Elemen Radiasi

Untuk menghitung impedansi masukan satu elemen radiasi seperti pada gambar 4.1, dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2-34) dan (2-36).



Gambar 4.1 Satu Dimensi Elemen Radiasi

Sumber : Perencanaan

$$L = \frac{\sqrt{3}}{2} a$$

$$L = 34,0348$$

$$W = a = 39,3$$

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

$$= 90 \cdot \frac{4,5^2}{4,5 - 1} \left( \frac{34,0348}{39,3} \right)^2$$

$$= 390,5357 \ \Omega \approx 390 \ \Omega$$

### 4.3.2 Perencanaan Dimensi Saluran Transmisi

Untuk menghitung dimensi saluran transmisi dapat digunakan persamaan (2-38).

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

Pada saluran transmisi untuk perencanaan antena mikrostrip satu elemen *equilateral triangular* dengan panjang sisi  $a$  ini nilai impedansinya sama dengan  $Z_A$  sebesar  $390 \Omega$  (dengan  $h = 1,6 \text{ mm}$ ;  $\epsilon_r = 4,5$ ):

Sehingga,

$$W_1 = \frac{\eta_0}{Z_A} x \frac{h}{\sqrt{\epsilon_r}}$$

$$W_1 = \frac{120\pi}{390} x \frac{1,6}{\sqrt{4,5}} = 0,7287 \text{ mm}$$

Dalam perencanaan ini panjang saluran transmisi yang digunakan dapat dicari dengan persamaan (2-39) berikut :

$$L_o = 0,25 \cdot \lambda_d \text{ (m)}$$

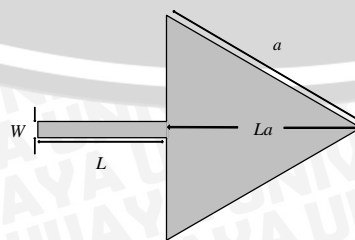
dengan  $\lambda_d = 0,058 \text{ m}$ , maka panjang saluran transmisi :

$$L_1 = 0,25 \cdot \lambda_d = 0,25 \cdot 0,058 = 0,014570387 \text{ m} \approx 14,57 \text{ mm}$$

$$L_1 = 14,57 \text{ mm}$$

### 4.4 Simulasi dan Optimasi Satu Elemen Radiasi

Setelah dilakukan perhitungan panjang dan lebar saluran transmisi ( $W$  dan  $L$ ) serta panjang sisi elemen radiasi ( $a$ ), maka didapatkan antena seperti gambar 4.2 dibawah.



Gambar 4.2 Satu Dimensi Elemen Radiasi dengan Saluran Transmisi

Sumber : Perencanaan



dengan :

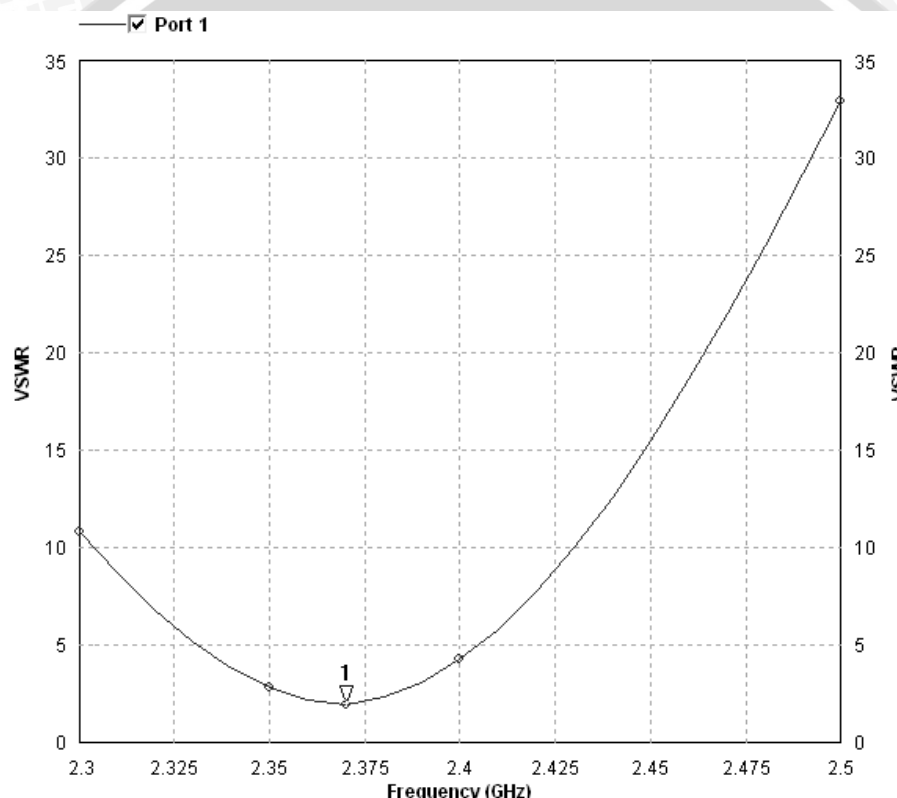
$$a = 38,546 \text{ mm}$$

$$La = 33,382 \text{ mm}$$

$$W = 0,7287 \text{ mm}$$

$$L = 14,57 \text{ mm}$$

Kemudian dilakukan simulasi, yang menghasilkan hasil simulasi sebagai berikut



Grafik 4.1 Hasil Simulasi VSWR Satu Elemen Sebelum Optimasi

Sumber : Perencanaan

Berdasarkan grafik 4.1 diatas, dapat kita lihat bahwa antenna belum dapat bekerja dengan baik pada frekuensi yang diinginkan. Frekuensi kerja antenna justru bergeser ke 2370 MHz sehingga tidak sesuai dengan frekuensi kerja yang direncanakan yaitu 2400 MHz.

Supaya antena dapat bekerja sesuai dengan yang kita inginkan, dapat dilakukan optimasi dengan cara merubah dimensi elemen peradiasi hingga

didapatkan hasil yang optimal pada frekuensi yang diinginkan. Dalam tugas akhir ini selain secara manual dengan mengubah dimensi elemen peradiasi, optimasi juga dilakukan dengan mengubah lebar saluran transmisi.

Langkah 1: Mengubah dimensi sisi segitiga  $a$  dengan lebar saluran transmisi 0,7287 mm panjang saluran transmisi 14,57 mm

Tabel 4.1 Frekuensi Tengah dengan Optimasi Dimensi Sisi Segitiga  $a$

No	$a$ (mm)	Frekuensi Tengah (MHz)
1	38,546	2420
2	38,75	2400
3	39	2380
4	39,3	2370

Sumber : Simulasi

Dari Tabel 4.1 dapat dilihat bahwa nilai  $a$  pada 38,75 mm merupakan yang frekuensi tengahnya tepat pada 2400 MHz sesuai dengan frekuensi yang diinginkan. Oleh karena itu optimasi selanjutnya akan dilakukan pada kedua dimensi ini dengan mengubah lebar saluran transmisi.

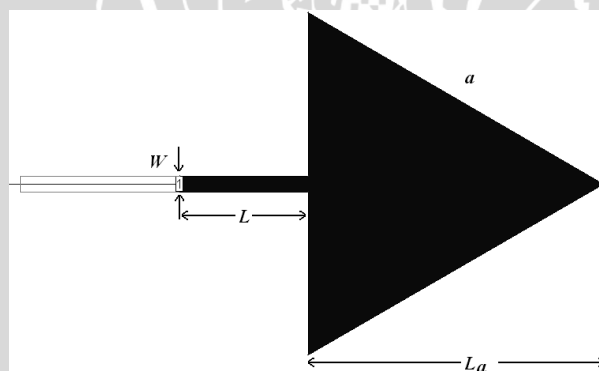
Langkah 2: Mengubah lebar saluran transmisi dengan panjang saluran 14,57 mm dan panjang sisi segitiga 38,75 mm

Tabel 4.2 Nilai VSWR pada frekuensi 2,4 GHz dengan optimasi lebar saluran transmisi

No	W(mm)	VSWR
1	0,7287	2,01
2	1	1,6
3	1,5	1,247
4	1,55	1,22
5	1,65	1,19
6	1,8	1,17
7	2	1,22
8	2,2	1,399
9	2,5	1,52

Sumber : Simulasi

Hasil optimasi adalah sebagai berikut



Gambar 4.3 Hasil Optimasi Antena Mikrostrip *Equilateral Triangular* Satu Elemen

Sumber : Simulasi

Keterangan Gambar 4.3 :

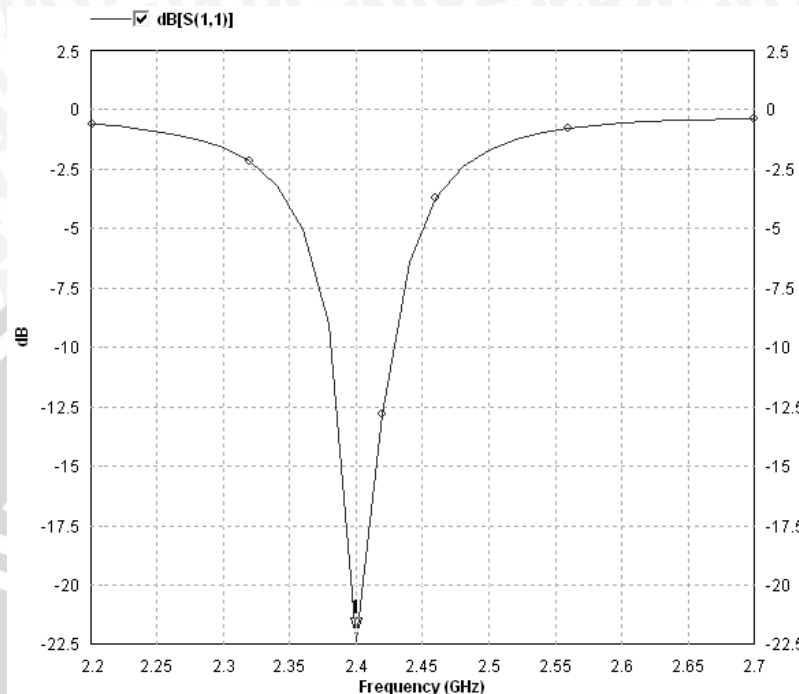
$$a = 38,75 \text{ mm}$$

$$La = 33,5585 \text{ mm}$$

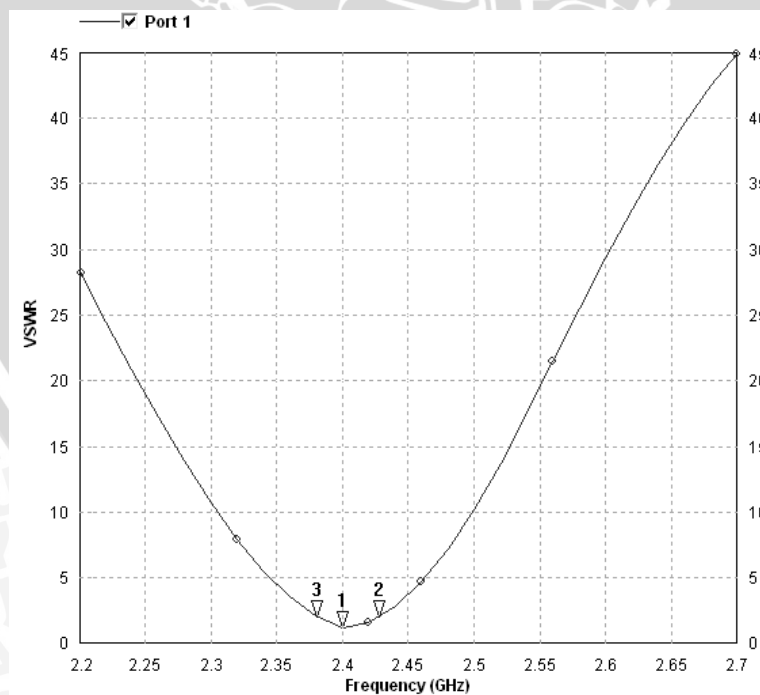
$$W = 1,8 \text{ mm}$$

$$L = 14,57 \text{ mm}$$

Kemudian dilakukan simulasi dengan menggunakan simulator IE3D, dan didapatkan hasil simulasi sebagai berikut :



Grafik 4.2 Return Loss Satu Elemen Peradiasi Hasil Optimasi  
 Sumber : Simulasi

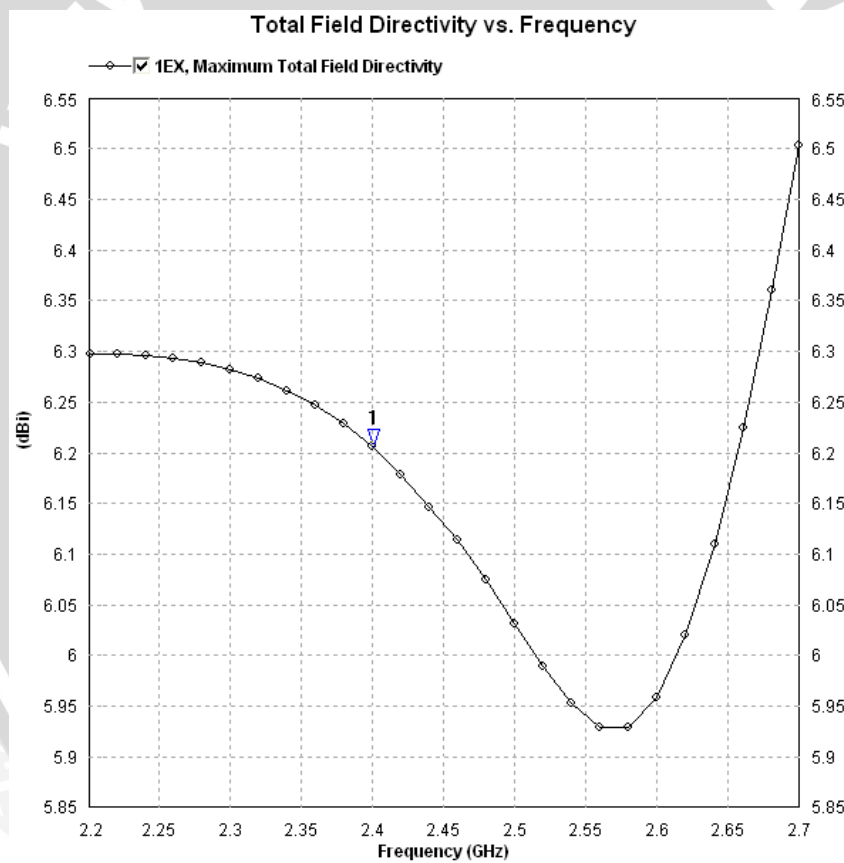


Grafik 4.3 VSWR Satu Elemen Peradiasi Hasil Optimasi  
 Sumber : Simulasi

Dari grafik 4.2 dan 4.3 dapat dilihat bahwa elemen peradiasi sudah bekerja paling maksimal pada frekuensi 2400 MHz dengan nilai VSWR untuk frekuensi 2400 MHz sebesar 1,187. Serta *return loss* pada frekuensi 2400 MHz sebesar -22,0565 dB.

Dari gambar diatas juga dapat diketahui besarnya *bandwidth* yaitu pada rentang nilai VSWR  $\leq 2$ . Pada frekuensi kerja 2400 MHz sebagai frekuensi center, nilai VSWR  $< 2$  dimulai dari 2380 MHz sampai 2427 MHz, sehingga nilai *bandwidth*nya adalah  $(2426 - 2381) \text{ MHz} = 45 \text{ MHz}$ .

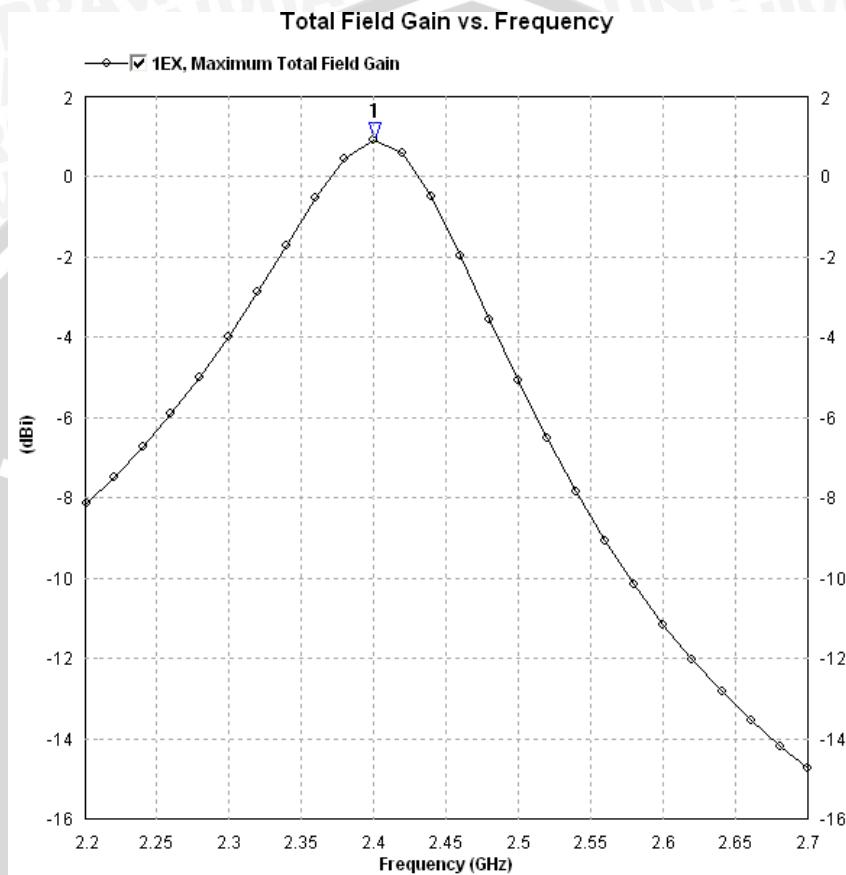
Selanjutnya parameter *directivity* dapat dilihat pada grafik 4.4.



Grafik 4.4 Nilai *Directivity* Terhadap Frekuensi Untuk Satu Elemen Peradiasi Hasil Optimasi

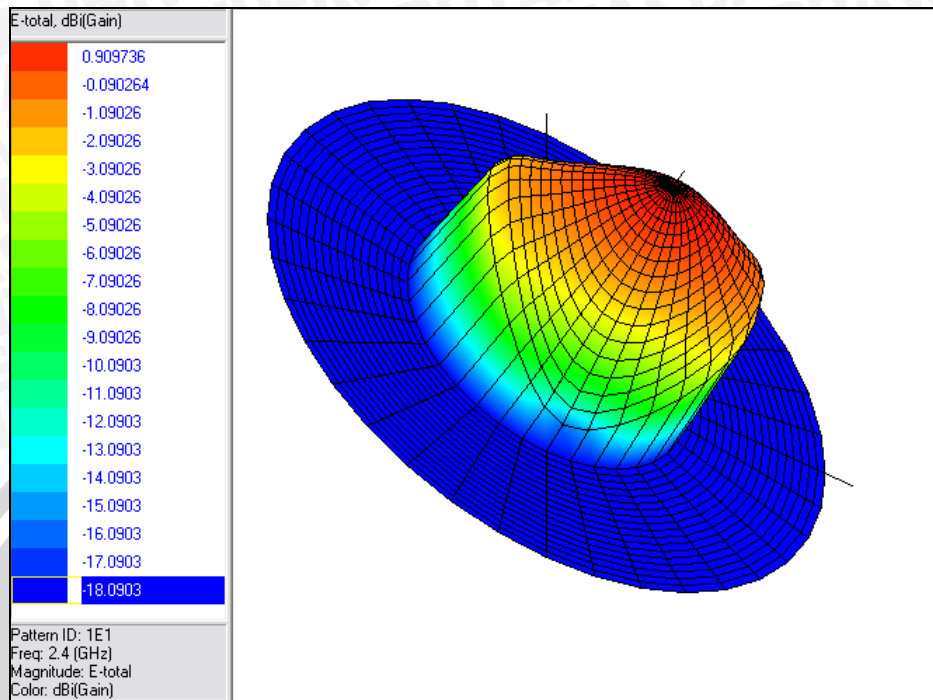
Sumber : Simulasi

Dari Grafik 4.4 di atas dapat dilihat bahwa elemen peradiasi pada frekuensi 2,4 GHz memiliki nilai *directivity* sebesar 6,205 dBi. Parameter berikutnya yaitu *gain* pada grafik 4.5 berikut.



Grafik 4.5 Nilai *Gain* Terhadap Frekuensi untuk Satu Elemen Hasil Optimasi

Sumber : Simulasi



Gambar 4.4 Gain Pattern 3D Satu Elemen pada Frekuensi 2400 MHz

Sumber : Simulasi

Dari grafik di atas dapat dilihat bahwa antenna mikrostrip *equilateral triangular* dengan satu elemen peradiasi pada frekuensi 2,4 GHz memiliki nilai *gain* sebesar 0,909 dBi.

#### 4.5 Perancangan Antena Array

Antena mikrostrip yang menggunakan *array*, seperti antena *array* pada umumnya, merupakan gabungan dari beberapa elemen peradiasi dalam satu bidang, termasuk di dalamnya saluran transmisi yang bertindak sebagai saluran pengumpan (*feed point*) untuk tiap elemen tersebut. Dalam perancangan ini akan digunakan beberapa elemen radiasi dalam satu bidang yang disusun secara seri (*series array*).

Saluran transmisi yang direncanakan pada antena mikrostrip *equilateral triangular array* ini menggunakan saluran *transformer*.

#### 4.5.1 Perencanaan Antena Mikrostrip *Equilateral Triangular Array* 2

##### Elemen

Pada perhitungan saluran transmisi untuk antena mikrostrip ini direncanakan nilai  $W_2 = W_1 = 1,8 \text{ mm}$ , sedangkan nilai impedansi karakteristik  $Z_0$  sebesar  $50 \Omega$ , maka dapat diperoleh nilai  $W_0$  ( $W_6$ ) (dengan  $h = 1,6 \text{ mm}$ ;  $\epsilon_r = 4,6$ ) :

- Untuk  $Z_0 = 50 \Omega$  ;

$$W_6 = \frac{120\pi}{50} \times \frac{1,6}{\sqrt{4,5}} = 5,7 \text{ mm}$$

Dalam perencanaan ini panjang saluran transmisi yang digunakan dapat dicari dengan persamaan 2-39 :

$$L_0 = 0,25 \cdot \lambda_d \text{ (m)}$$

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

$$L_1 = 0,25 \cdot \lambda_d = 0,25 \cdot 0,058282 = 0,0145703 \text{ m} \approx 14,57 \text{ mm}$$

$$L_1 = L_2 = L_0 = 14,57 \text{ mm}$$

Impedansi saluran transformer  $Z_T$  didapat dengan menggunakan persamaan (2-37) berikut :

$$\begin{aligned} Z_T &= \sqrt{Z_0 \cdot Z_L} \\ &= \sqrt{50 \cdot 390} = 139,7383 \Omega \approx 140 \Omega \end{aligned}$$

Dengan nilai impedansi saluran transformer sebesar  $140 \Omega$  maka dapat dihitung lebar saluran transformer dengan menggunakan persamaan (2-38) berikut :

$$W_0 = \frac{\eta_0}{Z_0} \times \frac{h}{\sqrt{\epsilon_r}}$$

$$W_T = \frac{\eta_0}{Z_T} \times \frac{h}{\sqrt{\epsilon_r}}$$

$$W_T = \frac{120\pi}{140} \times \frac{1,6}{\sqrt{4,5}} = 2 \text{ mm}$$

dapat diketahui panjang saluran transformer :

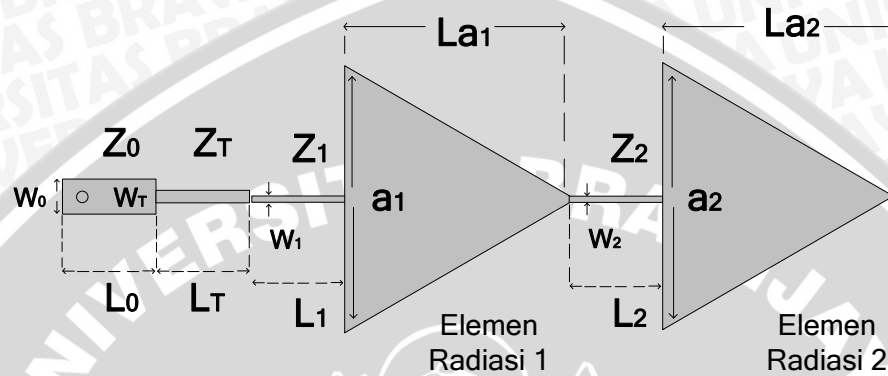


$$L_T = 0,25 \cdot \lambda_d$$

$$L_T = 0,25 \cdot 0,05828 = 0,01457 \text{ m} \approx 14,57 \text{ mm}$$

Maka selanjutnya dimensi keseluruhan antenna dapat dilihat pada gambar

4.5.



Gambar 4.5 Antena Mikrostrip *Equilateral Triangular Array* 2 Elemen

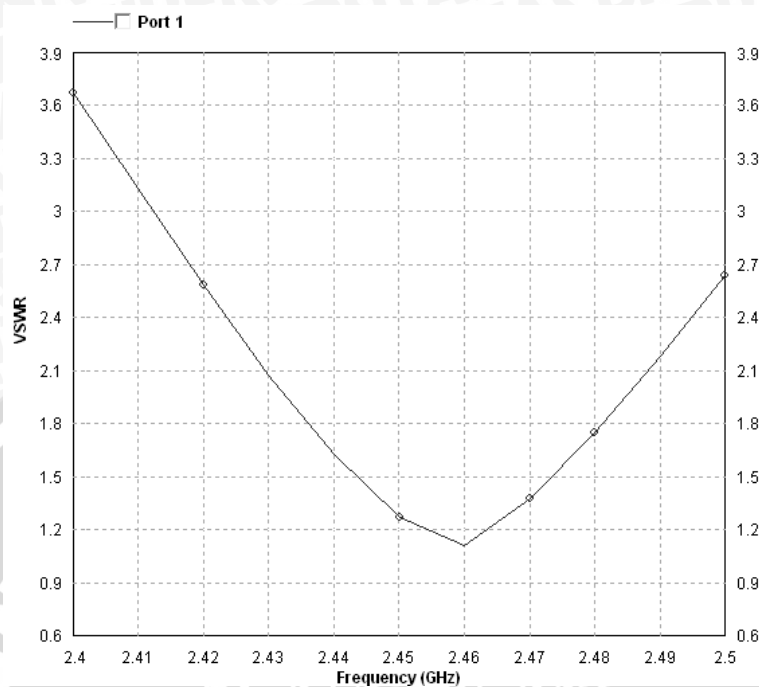
Sumber : Perencanaan

dengan :

- Elemen Radiasi 1 :  $a_1 = 38,75 \text{ mm}$  dan  $L_{a1} = 33,5585 \text{ mm}$
- Elemen Radiasi 2 :  $a_2 = 38,75 \text{ mm}$  dan  $L_{a2} = 33,5585 \text{ mm}$
- $Z_1 = 390 \Omega$  :  $W_1 = 1,8 \text{ mm}$   
 $L_1 = 14,57 \text{ mm}$
- $Z_2 = 390 \Omega$  :  $W_2 = 1,8 \text{ mm}$   
 $L_2 = 14,57 \text{ mm}$
- $Z_T = 140 \Omega$  :  $W_T = 2 \text{ mm}$   
 $L_T = 14,57 \text{ mm}$
- $Z_0 = 50 \Omega$  :  $W_0 = 5,7 \text{ mm}$   
 $L_0 = 14,57 \text{ mm}$

Hasil simulasi VSWR dari antenna mikrostrip *equilateral triangular array*

2 elemen berdasarkan nilai-nilai diatas adalah sebagai berikut :



Grafik 4.6 VSWR Antena Mikrostrip *Equilateral Triangular Array* 2 Elemen

Sumber : Simulasi

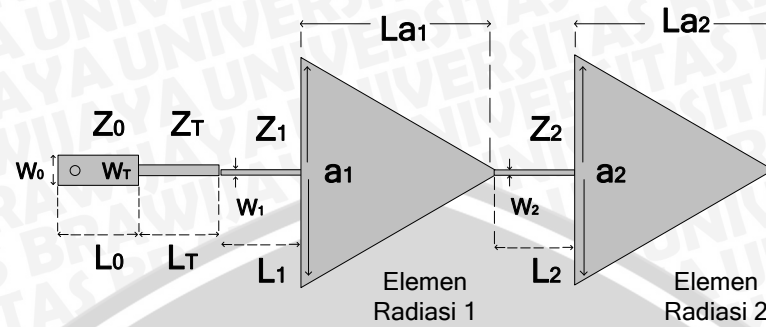
Dari grafik 4.6 diketahui jika frekuensi resonansi bergeser dari frekuensi yang diinginkan yaitu 2,4 GHz menjadi 2,46 GHz sehingga perlu dilakukan optimasi dengan cara merubah-ubah dimensi segitiga, dengan langkah-langkah seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.3

Tabel 4.3 Frekuensi Tengah dengan Optimasi Dimensi Sisi Segitiga  $a$

No	$a_1, a_2$ (mm)	$La_1, La_2$ (mm)	$F_{tengah}$ (GHz)
1	38	32,909	2,48
2	38,75	33,5585	2,46
3	39,75	34,4245	2,4

Sumber : Simulasi

Sehingga didapatkan hasil paling optimum pada saat dimensi antena sebagaimana yang ditunjukkan gambar 4.6.



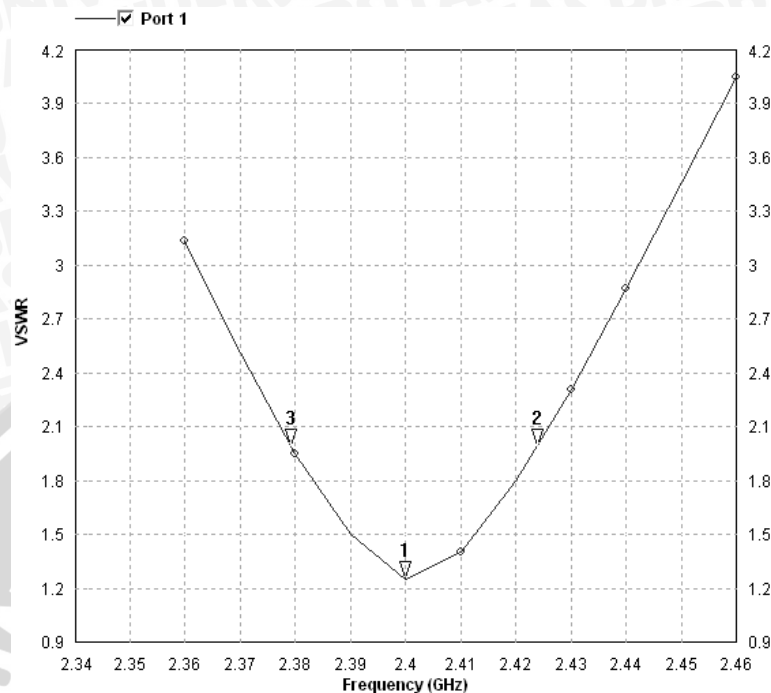
Gambar 4.6. Antena Mikrostrip *Equilateral Triangular Array* 2 Elemen Hasil Optimasi

Sumber : Perencanaan

dengan :

- Elemen Radiasi 1 :  $a_1 = 39,75 \text{ mm}$  dan  $La_1 = 34,4245 \text{ mm}$
- Elemen Radiasi 2 :  $a_2 = 39,75 \text{ mm}$  dan  $La_2 = 34,4245 \text{ mm}$
- $Z_1 = 390 \Omega$  :  $W_1 = 1,8 \text{ mm}$   
 $L_1 = 14,57 \text{ mm}$
- $Z_2 = 390 \Omega$  :  $W_2 = 1,8 \text{ mm}$   
 $L_2 = 14,57 \text{ mm}$
- $Z_T = 140 \Omega$  :  $W_T = 2 \text{ mm}$   
 $L_T = 14,57 \text{ mm}$
- $Z_0 = 50 \Omega$  :  $W_0 = 5,7 \text{ mm}$   
 $L_0 = 14,57 \text{ mm}$

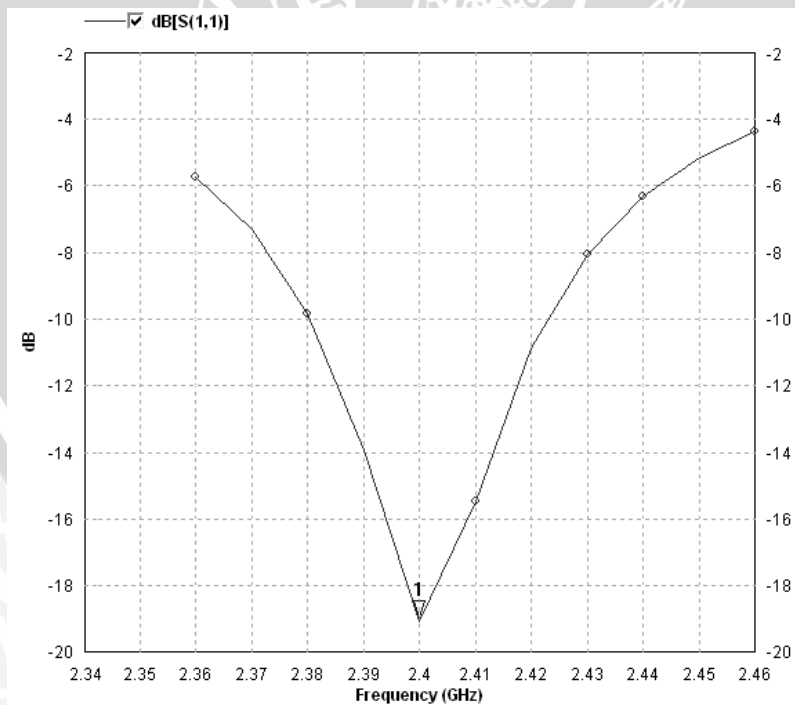
Parameter-parameter hasil optimasi dari antena mikrostrip *equilateral triangular array* 2 elemen berdasarkan nilai-nilai diatas adalah sebagai berikut :



Grafik 4.7 VSWR Antena Mikrostrip *Equilateral Triangular Array*

2 Elemen Hasil Optimasi

Sumber : Simulasi

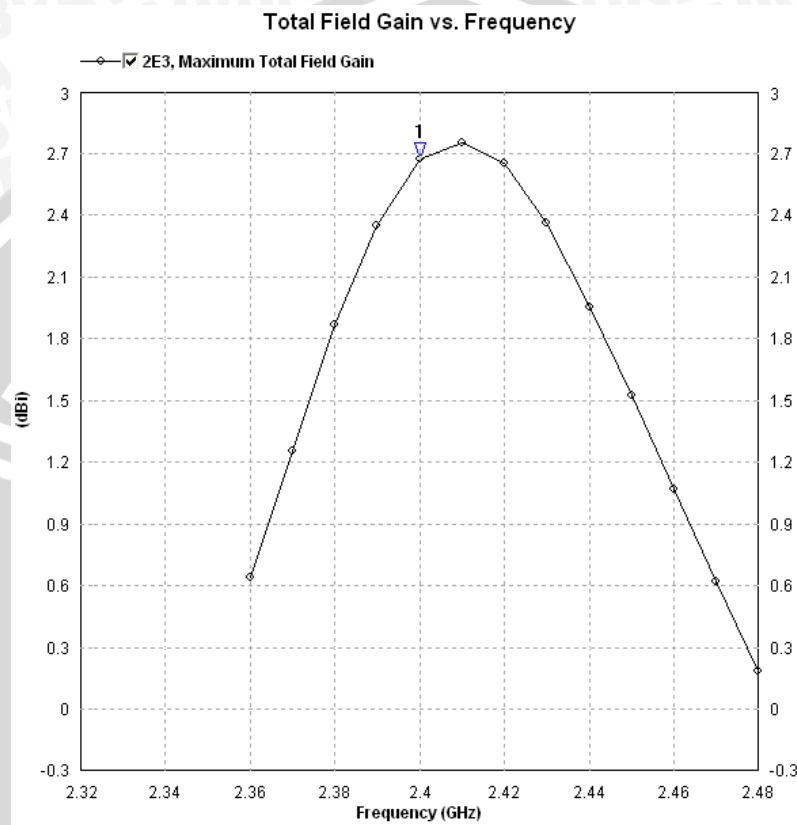


Grafik 4.8 *Return Loss* Antena Mikrostrip *Equilateral Triangular Array*

2 Elemen Hasil Optimasi

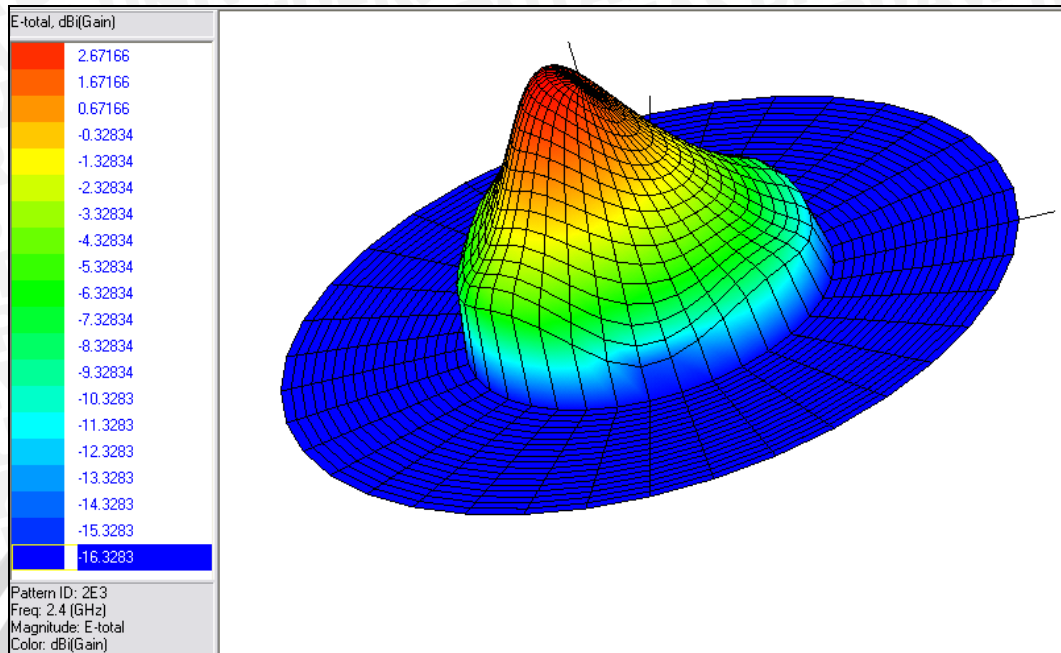
Sumber : Simulasi

Berdasarkan grafik 4.7 diketahui VSWR pada frekuensi 2,4 GHz adalah 1,257 sementara dari grafik 4.8 diketahui *return loss* pada frekuensi 2,4 GHz adalah -18,93 dB . Parameter selanjutnya adalah *gain* seperti yang ditunjukkan pada grafik 4.9



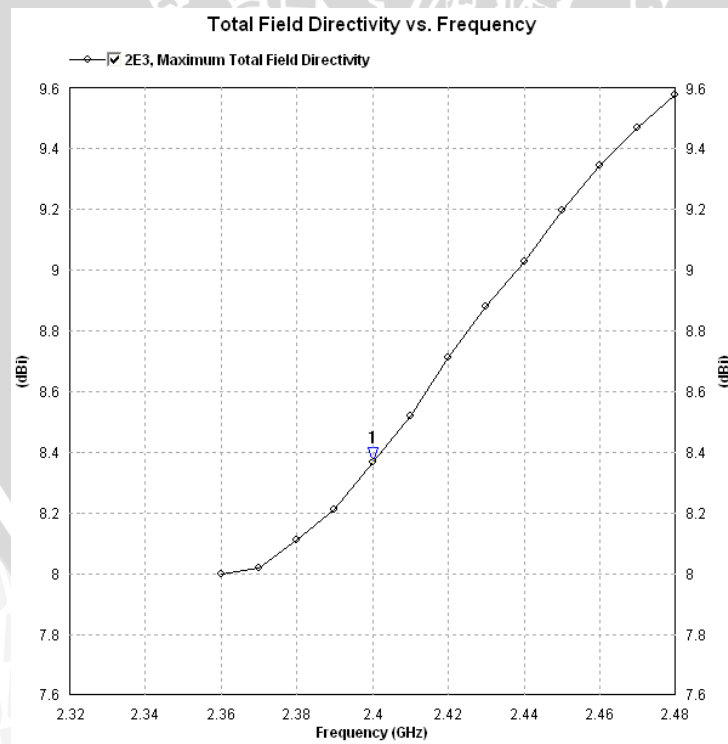
Grafik 4.9 Nilai *Gain* Terhadap Frekuensi Untuk Array Dua Elemen Hasil Optimasi  
 Sumber : Simulasi

Dari grafik 4.9 diketahui bahwa pada frekuensi kerja 2,4 GHz dari hasil simulasi didapatkan *gain* sebesar 2,67 dBi. Dengan tampilan tiga dimensinya ditunjukkan dengan gambar 4.7. Parameter selanjutnya yaitu *directivity* seperti yang ditampilkan pada grafik 4.10. Dimana pada grafik tersebut diketahui nilai *directivity* sebesar 8,36 dBi.



Gambar 4.7 Gain Pattern 3D untuk Array Dua Elemen pada Frekuensi 2,4 GHz

Sumber : Simulasi



Grafik 4.10 Nilai Directivity Terhadap Frekuensi Untuk

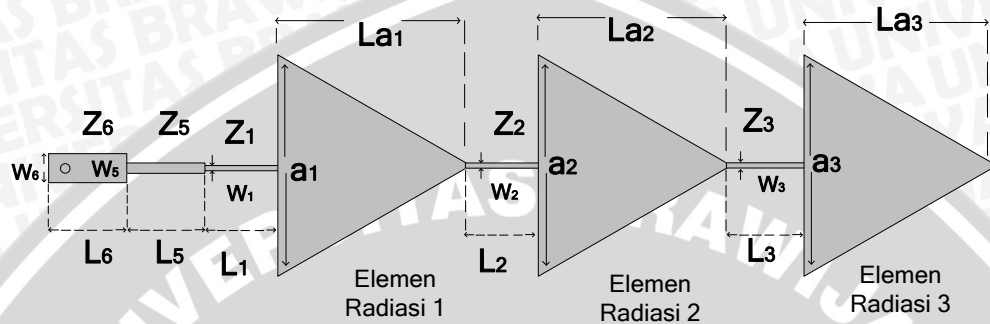
Array Dua Elemen Hasil Optimasi

Sumber : Simulasi

#### 4.5.2 Perencanaan Antena Mikrostrip *Equilateral Triangular Array* 3

##### Elemen

Tampilan keseluruhan antena mikrostrip *equilateral triangular array* 3 elemen dapat dilihat pada gambar 4.8 berikut.



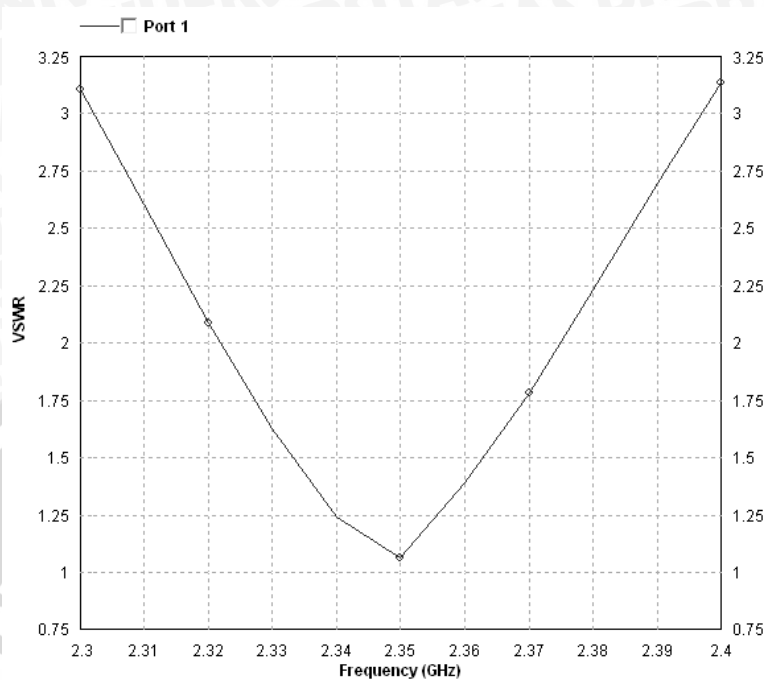
Gambar 4.8 Antena Mikrostrip *Equilateral Triangular Array* 3 Elemen

Sumber : Perencanaan

dengan :

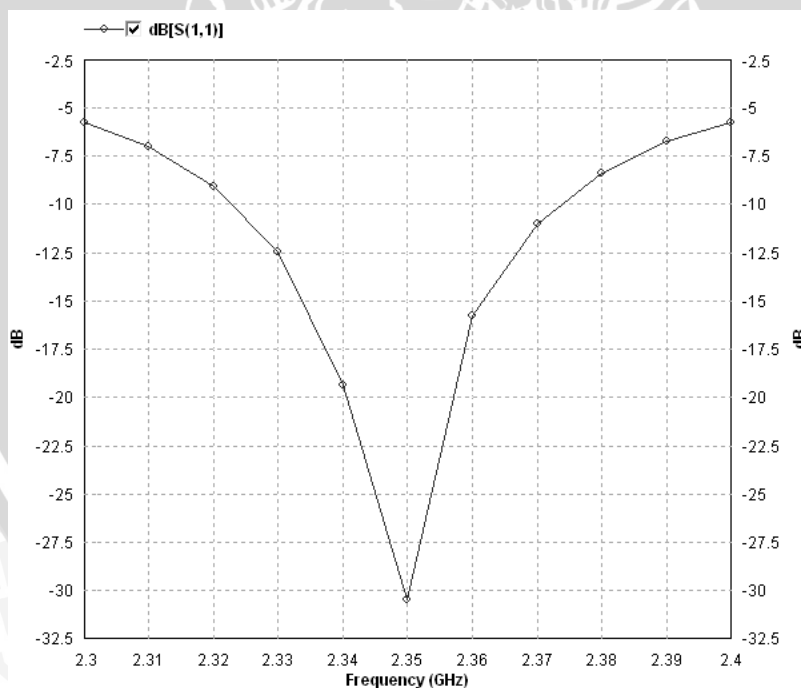
- Elemen Radiasi 1 :  $a_1 = 38,75$  mm dan  $La_1 = 33,5585$  mm
- Elemen Radiasi 2 :  $a_2 = 38,75$  mm dan  $La_2 = 33,5585$  mm
- Elemen Radiasi 3 :  $a_3 = 38,75$  mm dan  $La_3 = 33,5585$  mm
- $Z_1 = 390 \Omega$  :  $W_1 = 1,8$  mm  
 $L_1 = 14,57$  mm
- $Z_2 = 390 \Omega$  :  $W_2 = 1,8$  mm  
 $L_2 = 14,57$  mm
- $Z_3 = 390 \Omega$  :  $W_3 = 1,8$  mm  
 $L_3 = 14,57$  mm
- $Z_T = 140 \Omega$  :  $W_5 = 2$  mm  
 $L_5 = 14,57$  mm
- $Z_0 = 50 \Omega$  :  $W_6 = 5,7$  mm  
 $L_6 = 14,57$  mm

Hasil simulasi VSWR dari antena mikrostrip *equilateral triangular array* berdasarkan nilai-nilai diatas adalah sebagai berikut :



Grafik 4.11 VSWR Antena Mikrostrip *Equilateral Triangular Array* 3 Elemen

Sumber : Simulasi



Grafik 4.12 *Return Loss* Antena Mikrostrip *Equilateral Triangular Array* 3 Elemen

Sumber : Simulasi



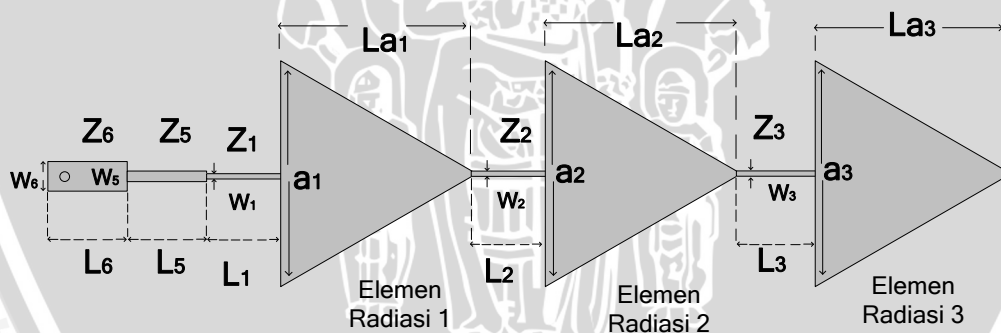
Dari grafik 4.11 dan 4.12 diketahui jika frekuensi resonansi bergeser dari frekuensi yang diinginkan yaitu 2,4 GHz menjadi 2,35 GHz sehingga perlu dilakukan optimasi dengan cara merubah-ubah dimensi segitiga dengan langkah-langkah seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.4

Tabel 4.4 Frekuensi Tengah dengan Optimasi Dimensi Sisi Segitiga  $a$

No	$a_1, a_2, a_3$ (mm)	$La_1, La_2, La_3$ (mm)	$F_{tengah}$ (GHz)
1	38,75	33,5585	2,35
2	38	32,909	2,39
3	37,9	32,8224	2,395
4	37,8	32,7358	2,4

Sumber : Simulasi

Selanjutnya didapatkan hasil paling optimum pada saat dimensi antenna sebagaimana yang ditunjukkan gambar 4.9.



Gambar 4.9 Antena Mikrostrip *Equilateral Triangular Array* 3 Elemen Setelah Optimasi

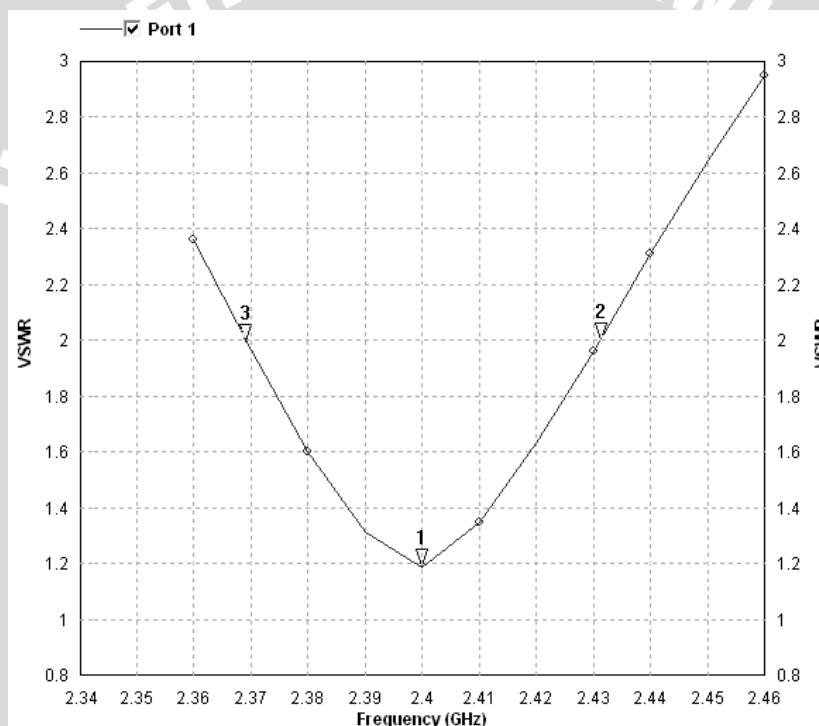
Sumber : Perencanaan

dengan :

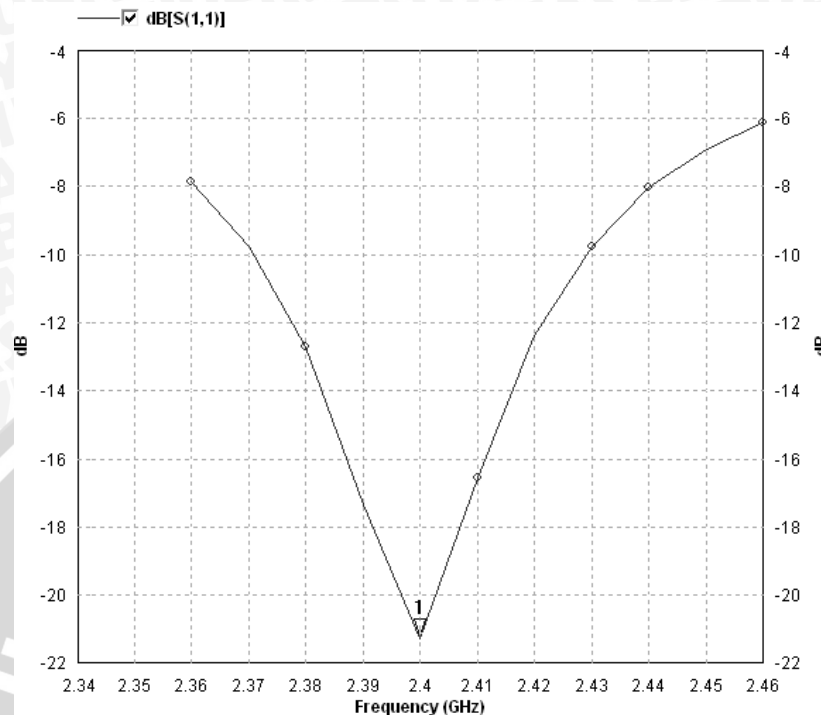
- Elemen Radiasi 1 :  $a_1 = 37,8$  mm dan  $La_1 = 32,7358$  mm
- Elemen Radiasi 2 :  $a_2 = 37,8$  mm dan  $La_2 = 32,7358$  mm
- Elemen Radiasi 3 :  $a_3 = 37,8$  mm dan  $La_3 = 32,7358$  mm
- $Z_1 = 390 \Omega$  :  $W_1 = 1,8$  mm  
 $L_1 = 14,57$  mm
- $Z_2 = 390 \Omega$  :  $W_2 = 1,8$  mm

- $L_2 = 14,57 \text{ mm}$
- $Z_3 = 390 \Omega : W_3 = 1,8 \text{ mm}$
- $L_3 = 14,57 \text{ mm}$
- $Z_T = 140 \Omega : W_5 = 2 \text{ mm}$
- $L_5 = 14,57 \text{ mm}$
- $Z_0 = 50 \Omega : W_6 = 5,7 \text{ mm}$
- $L_6 = 14,57 \text{ mm}$

Hasil simulasi VSWR dari antenna mikrostrip *equilateral triangular array* berdasarkan nilai-nilai diatas adalah sebagai berikut :

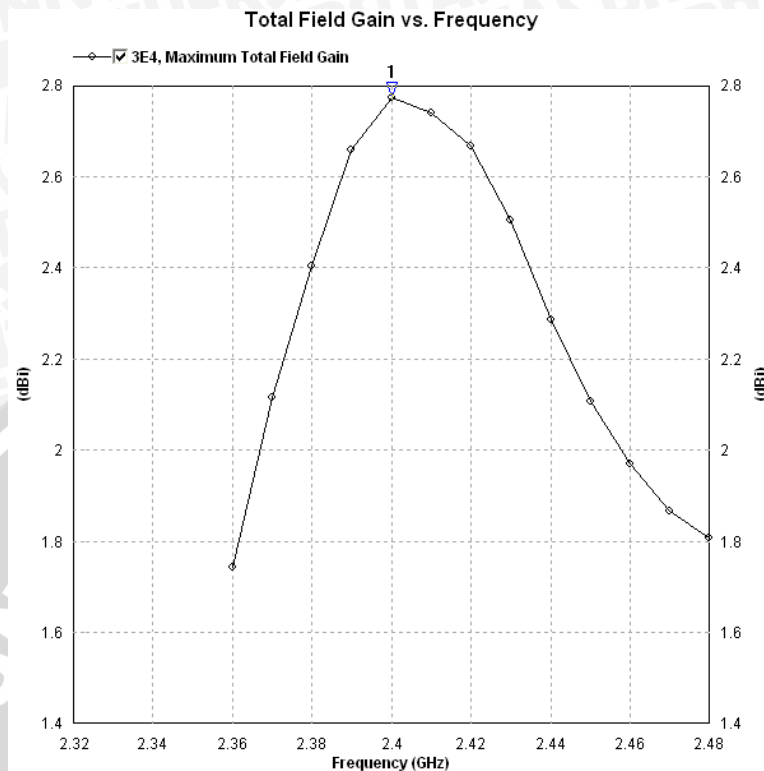


Grafik 4.13 VSWR Antena Mikrostrip *Equilateral Triangular Array*  
3 Elemen Hasil Optimasi  
Sumber : Simulasi

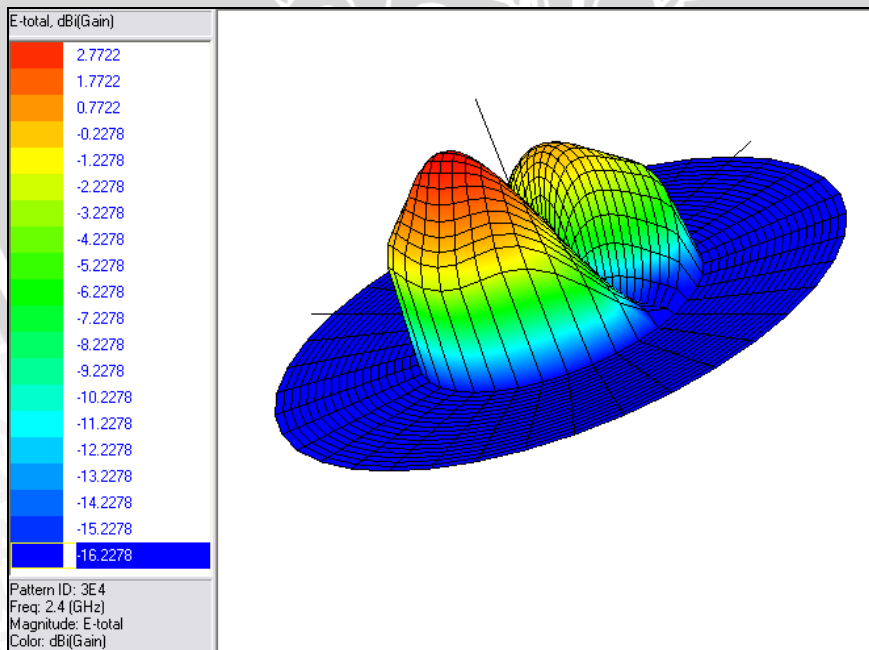


Grafik 4.14 *Return Loss* Antena Mikrostrip *Equilateral Triangular Array*  
3 Elemen Hasil Optimasi  
Sumber : Simulasi

Dari grafik 4.13 didapatkan nilai *VSWR* pada frekuensi 2,4 GHz adalah 1.19 sementara dari grafik 4.15 diketahui *return loss* pada frekuensi 2,4 GHz sebesar -21,19 dB. Parameter selanjutnya adalah *gain* seperti yang ditunjukkan grafik 4.15.

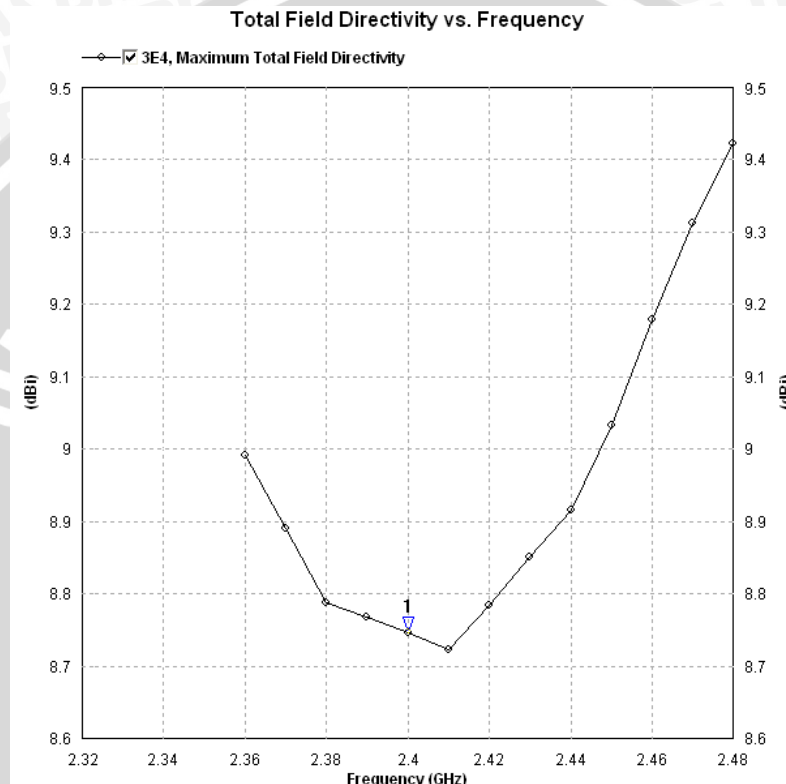


Grafik 4.15 Nilai *Gain* Terhadap Frekuensi Antena untuk Array 3 Elemen Hasil Optimasi  
Sumber : Simulasi



Gambar 4.10 *Gain Pattern* 3D untuk Array 3 Elemen pada Frekuensi 2,4 GHz  
Sumber : Simulasi

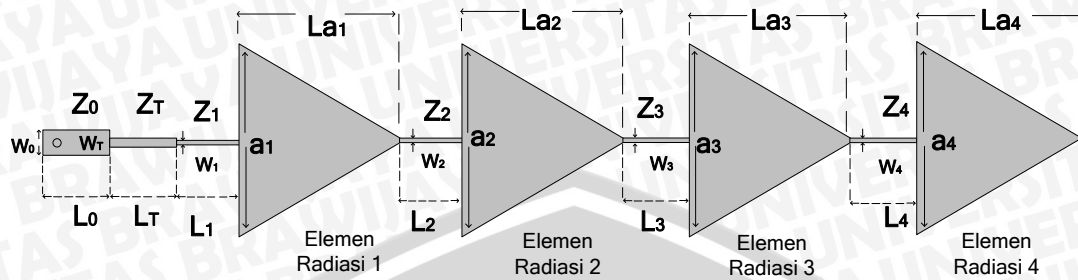
Dari grafik 4.15 diketahui bahwa pada frekuensi kerja 2,4 GHz dari hasil simulasi didapatkan *gain* sebesar 2,7722 dBi. Dengan tampilan tiga dimensinya ditunjukkan dengan gambar 4.10. Parameter selanjutnya yaitu *directivity* seperti yang ditampilkan pada grafik 4.16, dimana dari grafik tersebut diketahui nilai *directivity* sebesar 8,746.



Grafik 4.16 Nilai *Directivity* Terhadap Frekuensi untuk Array 3 Elemen Hasil Optimasi  
 Sumber : Simulasi

### 4.5.3 Perencanaan Antena Mikrostrip *Equilateral Triangular Array* 4 Elemen

Tampilan keseluruhan antena mikrostrip *equilateral triangular array* 4 elemen dapat dilihat pada gambar 4.11. berikut.



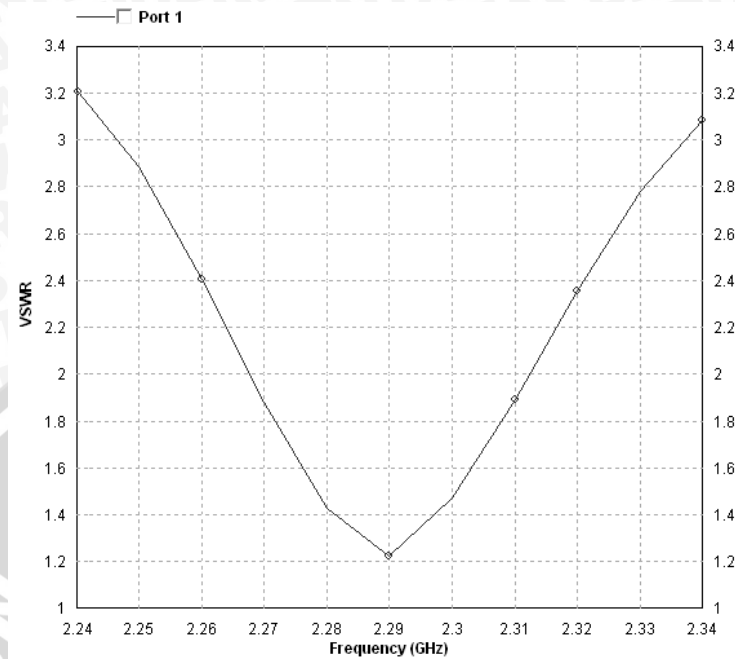
Gambar 4.11 Antena Mikrostrip *Equilateral Triangular Array* 4 Elemen

Sumber : Perencanaan

dengan :

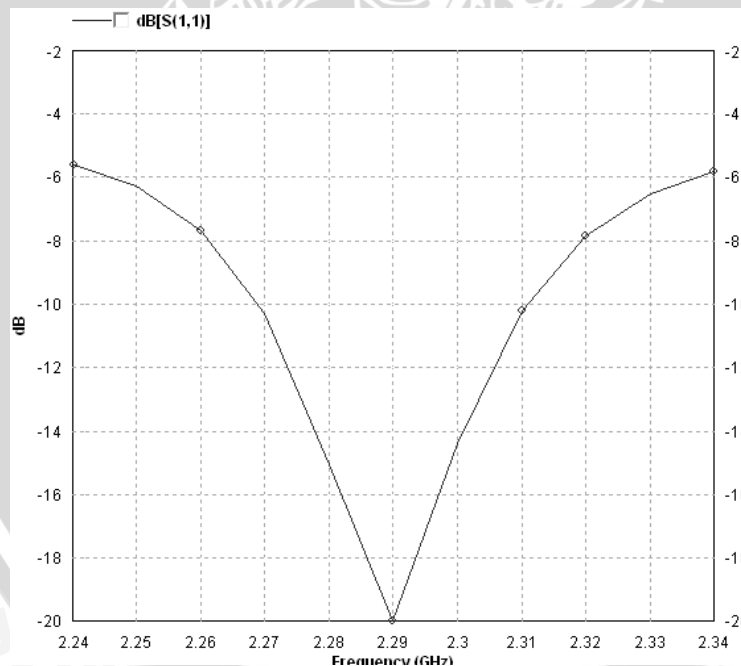
- Elemen Radiasi 1 :  $a_1 = 38,75 \text{ mm}$  dan  $La_1 = 33,5585 \text{ mm}$
- Elemen Radiasi 2 :  $a_2 = 38,75 \text{ mm}$  dan  $La_2 = 33,5585 \text{ mm}$
- Elemen Radiasi 3 :  $a_3 = 38,75 \text{ mm}$  dan  $La_3 = 33,5585 \text{ mm}$
- Elemen Radiasi 4 :  $a_4 = 38,75 \text{ mm}$  dan  $La_4 = 33,5585 \text{ mm}$
- $Z_1 = 390 \Omega$  :  $W_1 = 1,8 \text{ mm}$   
 $L_1 = 14,57 \text{ mm}$
- $Z_2 = 390 \Omega$  :  $W_2 = 1,8 \text{ mm}$   
 $L_2 = 14,57 \text{ mm}$
- $Z_3 = 390 \Omega$  :  $W_3 = 1,8 \text{ mm}$   
 $L_3 = 14,57 \text{ mm}$
- $Z_4 = 390 \Omega$  :  $W_4 = 1,8 \text{ mm}$   
 $L_4 = 14,57 \text{ mm}$
- $Z_5 = 140 \Omega$  :  $W_5 = 2 \text{ mm}$   
 $L_5 = 14,57 \text{ mm}$
- $Z_6 = 50 \Omega$  :  $W_6 = 5,7 \text{ mm}$   
 $L_6 = 14,57 \text{ mm}$

Hasil simulasi VSWR dari antena mikrostrip *equilateral triangular array* berdasarkan nilai-nilai diatas adalah sebagai berikut :



Grafik 4.17 VSWR Antena Mikrostrip *Equilateral Triangular Array* 4 Elemen

Sumber : Simulasi



Grafik 4.18 *Return Loss* Antena Mikrostrip *Equilateral Triangular Array* 4 Elemen

Sumber : Simulasi

Diketahui jika frekuensi resonansi bergeser dari frekuensi yang diinginkan yaitu 2,4 GHz menjadi 2,29 GHz sehingga perlu dilakukan optimasi dengan cara

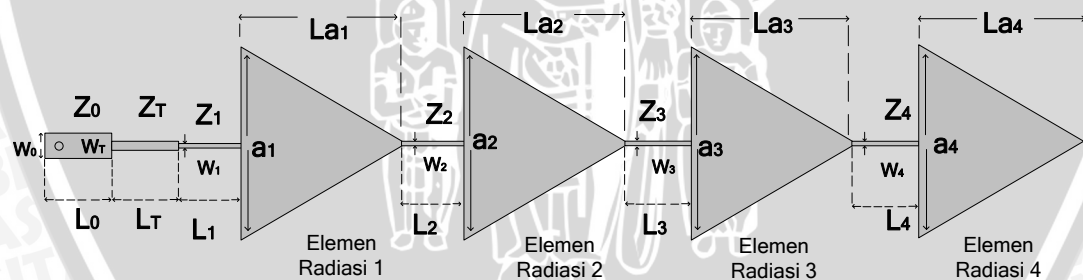
merubah-rubah dimensi segitiga dengan langkah-langkah seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.5

Tabel 4.5 Frekuensi Tengah dengan Optimasi Dimensi Sisi Segitiga  $a$

No	$a1, a2, a3, a4$ (mm)	$La1, La2, La3, La4$ (mm)	Ftengah (GHz)
1	38,35	33,2121	2,45
2	38,55	33,3853	2,425
3	38,75	33,5585	2,29
4	38,85	33,6451	2,41
5	38,9	33,6884	2,405
6	38,95	33,7317	2,405
7	39	33,775	2,4 GHz

Sumber : Simulasi

Didapatkan hasil paling optimum pada saat dimensi antenna sebagaimana yang ditunjukkan gambar 4.12.



Gambar 4.12 Antena Mikrostrip *Equilateral Triangular Array* 4 Elemen Hasil Optimasi

Sumber : Perencanaan

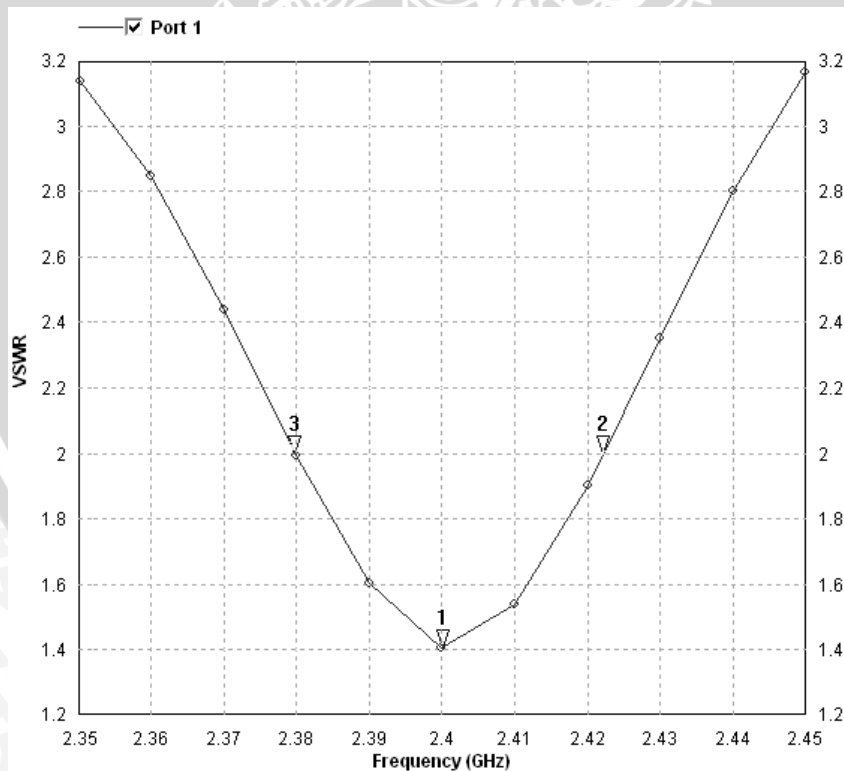
dengan :

- Elemen Radiasi 1 :  $a_1 = 39$  mm dan  $La_1 = 33,775$  mm
- Elemen Radiasi 2 :  $a_2 = 39$  mm dan  $La_2 = 33,775$  mm
- Elemen Radiasi 3 :  $a_3 = 39$  mm dan  $La_3 = 33,775$  mm
- Elemen Radiasi 4 :  $a_4 = 39$  mm dan  $La_4 = 33,775$  mm
- $Z_1 = 390 \Omega$  :  $W_1 = 1,7$  mm



- $Z_1 = 14,5 \text{ mm}$   
 $L_1 = 14,5 \text{ mm}$
- $Z_2 = 390 \text{ } \Omega$  :  $W_2 = 1,7 \text{ mm}$   
 $L_2 = 14,57 \text{ mm}$
- $Z_3 = 390 \text{ } \Omega$  :  $W_3 = 1,7 \text{ mm}$   
 $L_3 = 14,57 \text{ mm}$
- $Z_4 = 390 \text{ } \Omega$  :  $W_4 = 1,7 \text{ mm}$   
 $L_4 = 14,57 \text{ mm}$
- $Z_5 = 140 \text{ } \Omega$  :  $W_5 = 1,8 \text{ mm}$   
 $L_5 = 14,57 \text{ mm}$
- $Z_6 = 50 \text{ } \Omega$  :  $W_6 = 5,7 \text{ mm}$   
 $L_6 = 14,57 \text{ mm}$

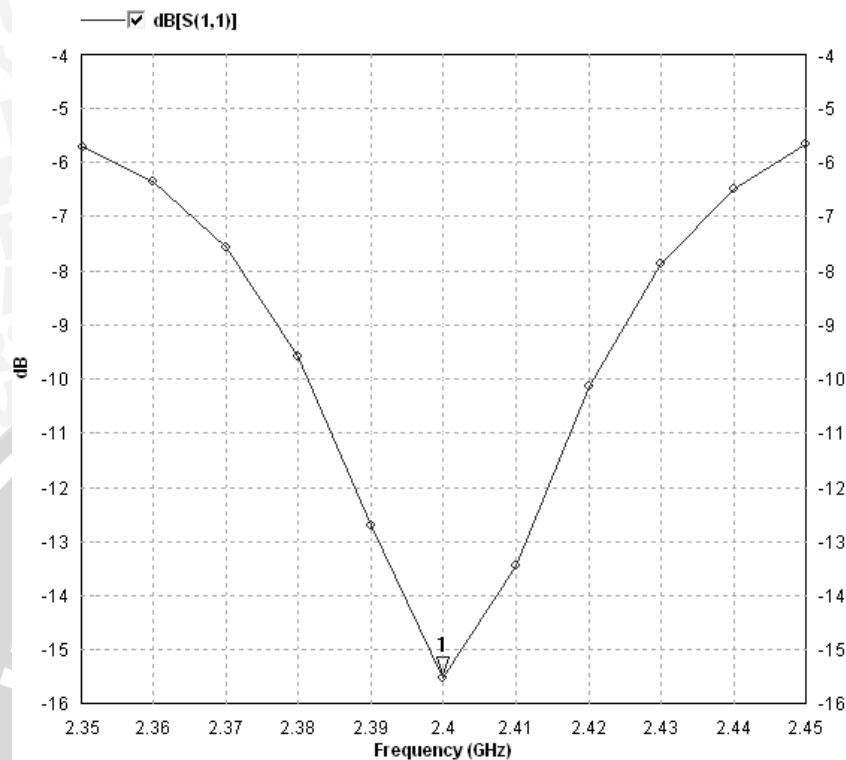
Hasil simulasi VSWR dari antenna mikrostrip *equilateral triangular array* berdasarkan nilai-nilai diatas adalah sebagai berikut :



Grafik 4.19 VSWR Antena Mikrostrip *Equilateral Triangular Array*

4 Elemen Hasil Optimasi

Sumber : Simulasi

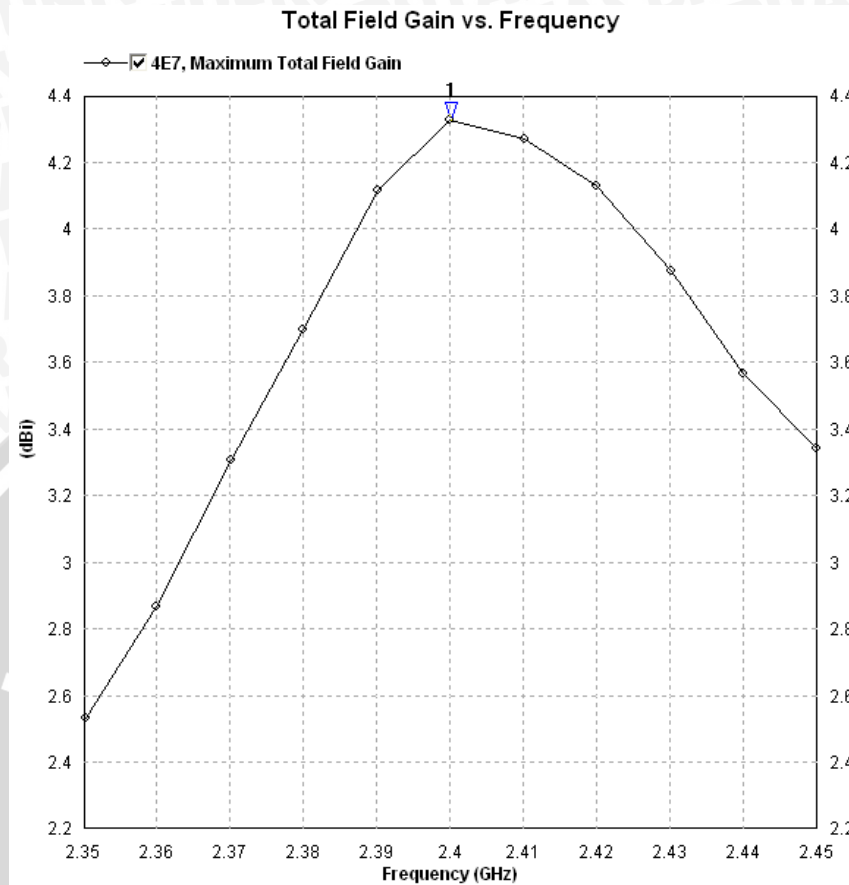


Grafik 4.20 *Return Loss* Antena Mikrostrip *Equilateral Triangular Array*  
4 Elemen Hasil Optimasi  
Sumber : Simulasi

Dari grafik 4.19 didapatkan nilai *VSWR* pada frekuensi 2,4 GHz adalah 1,4 sementara dari grafik 4.20 diketahui *return loss* pada frekuensi 2,4 GHz sebesar -15,45 dB.

Dari gambar diatas juga dapat diketahui besarnya *bandwidth* yaitu pada rentang nilai *VSWR*  $\leq 2$ . Pada frekuensi kerja 2400 MHz sebagai frekuensi center, nilai *VSWR*  $< 2$  dimulai dari 2379 MHz sampai 2422 MHz, sehingga nilai *bandwidth*nya adalah  $(2422 - 2379) \text{ MHz} = 43 \text{ MHz}$ .

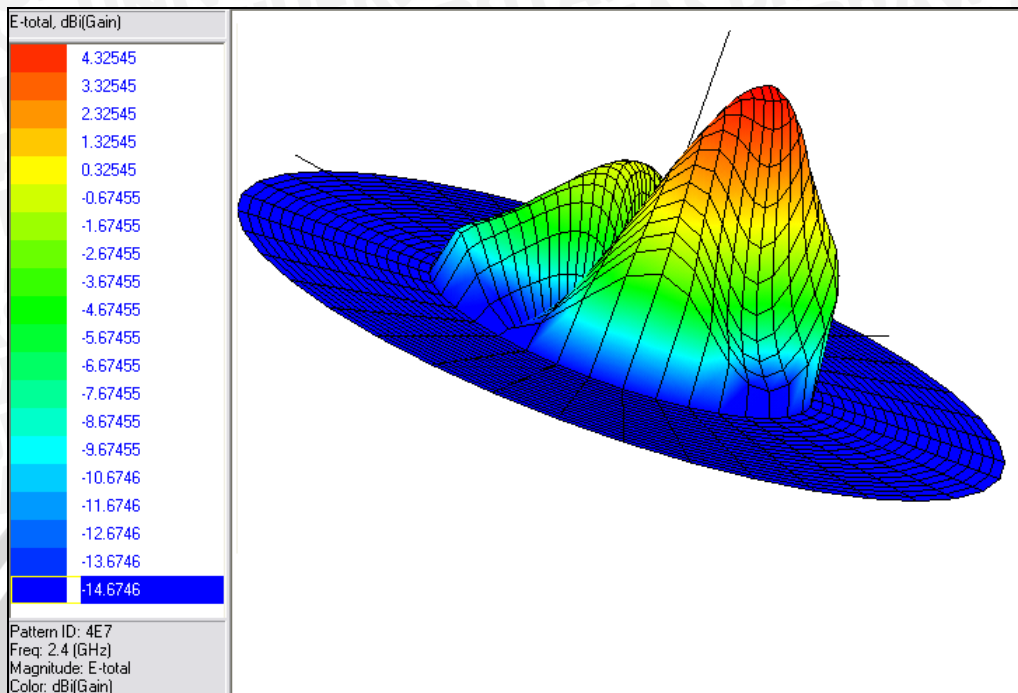
Parameter selanjutnya adalah *gain* seperti yang ditunjukkan grafik 4.21.



Grafik 4.21 Nilai *Gain* Terhadap Frekuensi Antena untuk *Array* 4 Elemen Hasil Optimasi

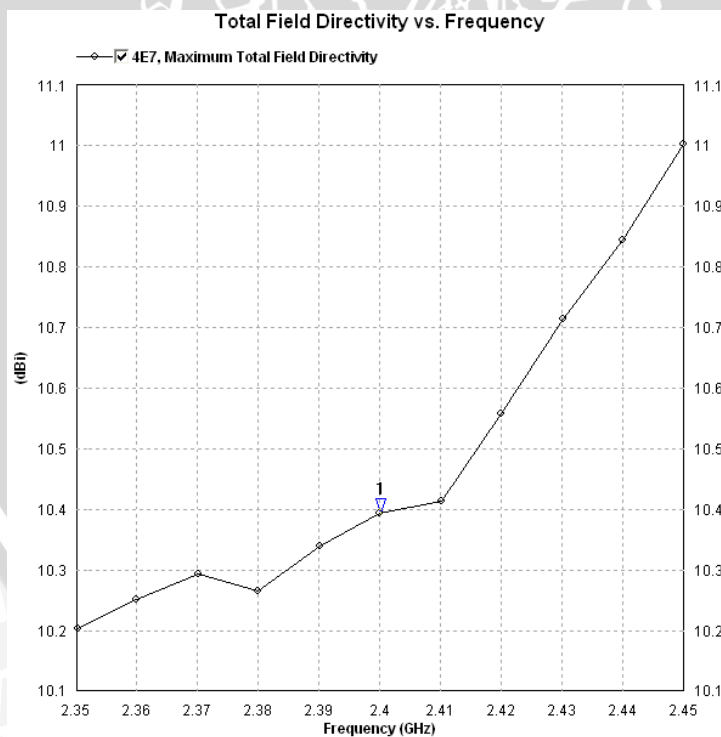
Sumber : Simulasi

Dari grafik 4.21 diketahui bahwa pada frekuensi kerja 2,4 GHz dari hasil simulasi didapatkan *gain* sebesar 4,32545 dBi. Dengan tampilan tiga dimensinya ditunjukkan dengan gambar 4.13. Parameter selanjutnya yaitu *directivity* seperti yang ditampilkan pada grafik 4.22, dimana dari grafik tersebut diketahui nilai *directivity* sebesar 10,39.



Gambar 4.13 Gain Pattern 3D untuk Array 4 Elemen pada Frekuensi 2,4 GHz

Sumber : Simulasi



Grafik 4.22 Nilai Directivity Terhadap Frekuensi untuk Array

4 Elemen Hasil Optimasi

Sumber : Simulasi

#### 4.5.4 Analisis Hasil Simulasi Antena

Berdasarkan hasil simulasi, perbandingan jumlah elemen radiasi terhadap parameter antena pada frekuensi kerja 2,4 GHz dapat dibuat tabel seperti pada tabel 4.6.

Tabel 4.6. Perbandingan Jumlah Elemen Radiasi Terhadap Parameter Antena pada Frekuensi 2,4 GHz

No	Jumlah Elemen	VSWR	Return Loss (dB)	Gain (dBi)	Directivity (dBi)
1	1	1,184	-22,0565	0,909	6,205
2	2	1,257	-18,93	2,67	8,36
3	3	1,19	-21,196	2,772	8,746
4	4	1,403	-15,455	4,325	10,393

Sumber : Simulasi

Selanjutnya dengan memperhatikan tabel 4.6 dapat dikatakan bahwa penambahan jumlah elemen dapat memperbesar nilai *gain*. Antena mikrostrip *equilateral triangular array* dengan empat elemen radiasi hasil perancangan memiliki *gain* pada frekuensi kerja 2,4 GHz sebesar 4,325 dBi. Ini telah memenuhi persyaratan yang diinginkan pada *gain* antena mikrostrip yang umumnya  $> 3\text{dBi}$ .

Begitu juga dengan VSWR pada frekuensi kerja 2,4 GHz sebesar 1,403 telah memenuhi persyaratan  $\text{VSWR} \leq 2$ . Dengan demikian langkah selanjutnya adalah fabrikasi antena dengan 4 elemen yang desainnya sesuai dengan hasil simulasi di atas.

#### 4.6 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. Proses pembuatan antena ini mendekati pada pencetakan alur rangkaian elektronika pada PCB.

#### 4.6.1 Alat – alat dan Bahan Yang Digunakan

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

1. *Layout* rancangan dengan AutoCAD 2004 di atas kertas kalkir dengan skala 1:1
2. PCB dengan bahan substrat FR4 dengan lapisan konduktornya dari logam tembaga.
3. Ulano – 133
4. *Screen T* – 180
5. Amplas *waterproof* CC – Cw
6. Gergaji besi
7. Konektor antena BNC
8. Mata bor dengan diameter 1 mm
9. Solder dan timah
10. Mika/ akrilik

#### 4.6.2 Pencetakan Pola Antena Mikrostrip Pada Substrat

Pola antena mikrostrip yang akan dicetak di atas PCB terlebih dahulu digambar dengan program AutoCAD 2004, untuk kemudian dicetak di atas kertas kalkir sebagai *sample layout*. Untuk menghasilkan cetakan *layout* yang bagus lebih baik kita gunakan *printer* dengan teknologi laser, supaya ketelitian dari dimensi jalur – jalurnya 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 kita bersihkan dengan air sabun hingga benar – benar bersih, lalu kita keringkan. Setelah *screen* kering kita 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* kita keringkan dengan menggunakan *hairdryer*.

Setelah itu lembar *layout* yang kita buat sebelumnya kita letakkan di atas *screen* yang telah terlapisi ulano – 133 tersebut, untuk selanjutnya kita sinari dengan cahaya matahari  $\pm 1$  menit. Kemudian *screen* tersebut kita bawa 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 kita inginkan pada PCB yang kita gunakan.

#### **4.6.3 Etching**

Setelah tercetak pola antena mikrostrip yang kita inginkan, kita lakukan proses selanjutnya, yaitu proses pelarutan PCB sampai lapisan konduktor yang tidak diinginkan larut dan hanya tersisa gambar pola antena yang kita rencanakan. Setelah itu antena mikrostrip ini kita cuci dan kita bersihkan.

#### **4.6.4 Pemasangan Konektor**

Setelah proses pencetakan dan pelarutan PCB selesai selanjutnya adalah memasang konektor BNC pada antena dengan cara penyolderan menggunakan timah. Dapat juga digunakan penyangga dari bahan isolator yang baik, dalam hal ini akrilik/mika agar konektor terpasang lebih kokoh.

## BAB V

### PENGUKURAN DAN ANALISA ANTENA MIKROSTRIP *EQUILATERAL TRIANGULAR ARRAY*

#### 5.1 Pendahuluan

Pada bab ini akan diuraikan prosedur pengukuran parameter-parameter antena, hasil pengukuran yang diperoleh, serta analisisnya. Dengan demikian dapat diketahui bagaimana karakteristik dan performansi dari antena mikrostrip *equilateral triangular array* hasil perancangan.

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

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

Pengukuran parameter-parameter tersebut dilakukan di Laboratorium Radio Frekuensi Politeknik Negeri Malang.

#### 5.2 Pengukuran *Return Loss*

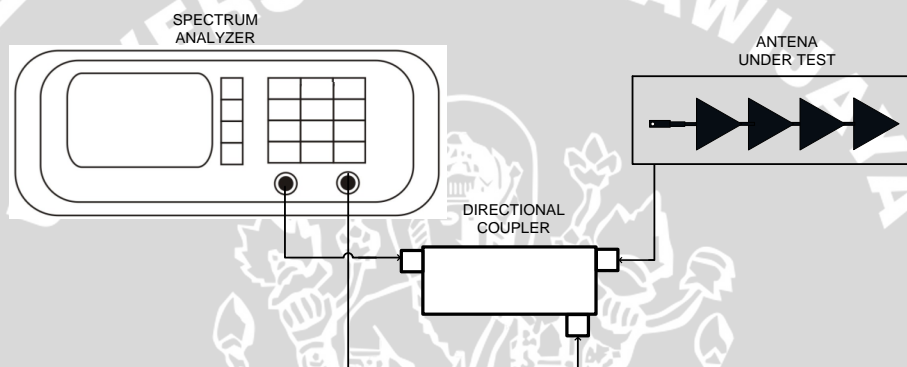
##### 5.2.1 Alat-alat yang digunakan

- *Spectrum Analyzer GW Instek GSP-827* 2,7 GHz.
- Antena uji (Antena Mikrostrip *Equilateral Triangular Array*).
- Kabel koaksial RG-58A/U.
- Konektor N *Female* dan *adapter* N to BNC.
- *Directional Coupler*



### 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, kemudian mencatat nilai *return loss* yang ditunjukkan oleh alat ukur *Spectrum Analyzer* dengan step kenaikan setiap 50 MHz.

### 5.2.3 Hasil Pengukuran

Dalam pengukuran didapat data hasil pengukuran *return loss* antenna mikrostrip *equilateral triangular array* seperti pada Tabel 5.1 berikut.

Tabel 5.1 Hasil Pengukuran *Return Loss* Antena Mikrostrip  
*Equilateral Triangular Array*

No	Frekuensi (MHz)	RL (dB)
1	2200	-9.8
2	2250	-11.5
3	2300	-11.2
4	2350	-15.1
5	2400	-20
6	2450	-24.2
7	2500	-29.7
8	2550	-29.8
9	2600	-20.4
10	2650	-23.1
11	2700	-24.2

Sumber : Hasil Pengukuran

Selanjutnya dari data hasil pengukuran *return loss* dapat dibuat grafik fungsi *return loss* terhadap frekuensi, seperti ditunjukkan pada Grafik 5.1 berikut.



Grafik 5.1 Grafik Fungsi *Return Loss* Terhadap Frekuensi

Sumber : Hasil Pengukuran

### 5.2.4. Analisa Hasil Pengukuran

Berdasarkan hasil pengukuran, dapat diketahui pada frekuensi kerja 2400 MHz antenna memiliki nilai *return loss* sebesar -20 dB. Gambar 5.2 menunjukkan tampilan *return loss* pada layar *spectrum analyzer*.



Gambar 5.2 Tampilan Pengujian *Return Loss* pada *Spectrum Analyzer*

Sumber : Pengukuran

### 5.3 Perhitungan Koefisien Pantul dan VSWR

Dari hasil pengukuran *return loss* dapat dihitung nilai koefisien pantul dan VSWR antenna. Perhitungan nilai koefisien pantul dengan persamaan 2-21 adalah sebagai berikut:

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

$$RL = -20 \text{ dB}$$

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

$$\Gamma = 0,1$$

Sedangkan perhitungan nilai VSWR dengan persamaan 2-22 adalah sebagai berikut:

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

$$VSWR = \frac{1 + |0,1|}{1 - |0,1|} \text{ VSWR} = 1,22222$$

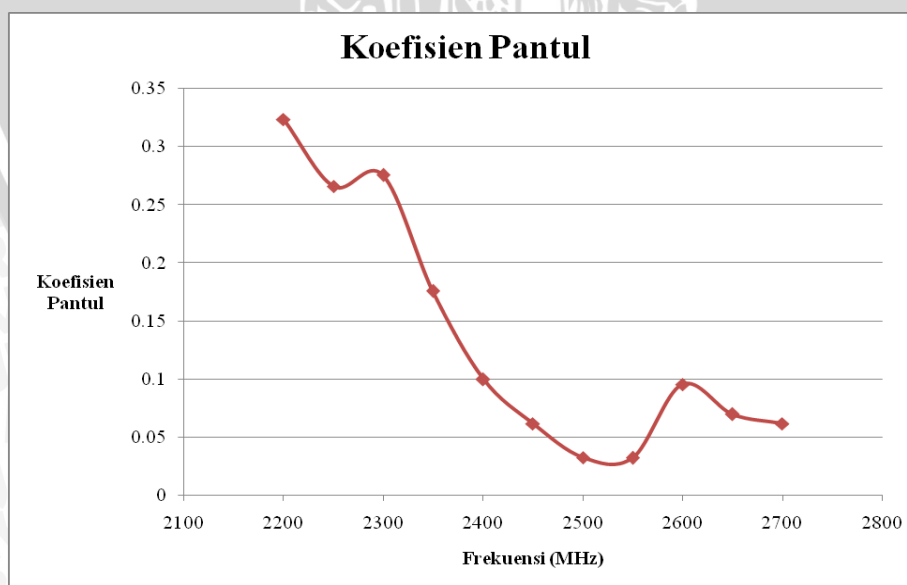
Dengan cara perhitungan yang sama untuk frekuensi yang lain, maka koefisien pantul antenna mikrostrip *equilateral triangular array* dapat dilihat pada Tabel 5.2

Tabel 5.2 Hasil Perhitungan Koefisien Pantul dan VSWR Antena Mikrostrip  
*Equilateral Triangular Array*

No	Frekuensi (MHz)	RL (dB)	$\Gamma$	VSWR
1	2200	-9.8	0.323593657	1.95680255
2	2250	-11.5	0.266072506	1.725064828
3	2300	-11.2	0.27542287	1.760230648
4	2350	-15.1	0.175792361	1.426572997
5	2400	-20	0.1	1.222222222
6	2450	-24.2	0.0616595	1.131422442
7	2500	-29.7	0.032734069	1.067683702
8	2550	-29.8	0.032359366	1.066883024
9	2600	-20.4	0.095499259	1.211164578
10	2650	-23.1	0.0699842	1.150501098
11	2700	-24.2	0.0616595	1.131422442

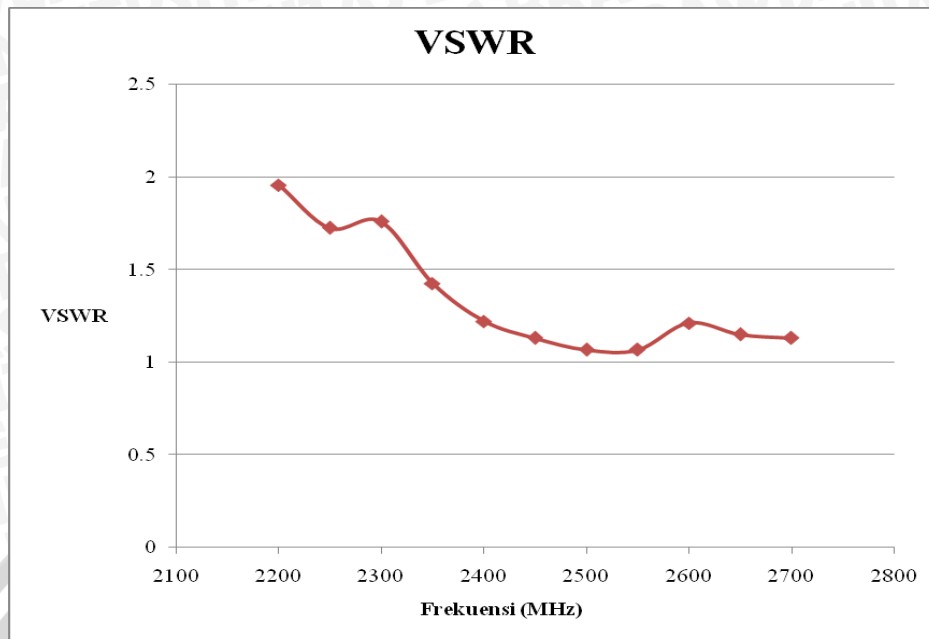
Sumber : Hasil Perhitungan

Selanjutnya dari data hasil perhitungan VSWR dan koefisien pantul dapat dibuat grafik fungsi terhadap frekuensi, seperti ditunjukkan pada Grafik 5.2 dan 5.3 sebagai berikut.



Grafik 5.2 Grafik Fungsi Koefisien Pantul Terhadap Frekuensi

Sumber : Hasil Perhitungan



Grafik 5.3 Grafik Fungsi VSWR Terhadap Frekuensi

Sumber : Hasil Perhitungan

### 5.3.1 Analisa Hasil Perhitungan

Berdasarkan hasil perhitungan, antenna mikrostrip *equilateral triangular array* ini memiliki nilai VSWR yang masih memenuhi parameter kerja. Pada frekuensi kerja 2400 MHz antenna memiliki nilai VSWR sebesar 1,2222 dan koefisien pantul sebesar 0,1. Hal ini berarti antenna dapat bekerja pada frekuensi kerja yang direncanakan dan masih dalam batas yang diijinkan yaitu  $VSWR \leq 2$ .

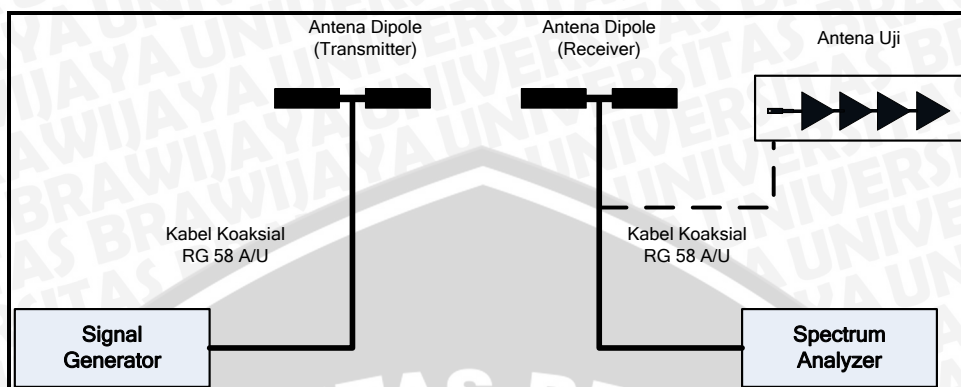
## 5.4 Pengukuran Gain Antena

### 5.4.1 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 *Equilateral Triangular Array*)
- Kabel koaksial RG-58A/U
- Konektor tipe N Female dan adapter N to BNC
- Dua Buah Tiang penyangga

### 5.4.2 Prosedur Pengukuran

1. Merangkai peralatan seperti pada Gambar 5.3



Gambar 5.3 Rangkaian Pengukuran *Gain* Antena

Sumber : Pengukuran

2. Antena dipole  $\lambda/2$  pertama dipasang sebagai antena referensi pada sisi pemancar dan penerima.
3. *Signal Generator* diatur pada range frekuensi 2200 MHz dan catat daya antena *dipole kedua* yang terukur pada *Spectrum Analyzer* dengan *step* kenaikan setiap 50 MHz.
4. Antena *dipole*  $\lambda/2$  pada penerima (referensi) diganti dengan antena uji (Antena mikrostrip *equilateral triangular array*) hasil perancangan.
5. Mengulangi langkah 3

### 5.4.3 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 2-19:

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

$$P_{Ref} = -65,4 \text{ dBm}$$

$$P_{Rx} = -63,6 \text{ dBm}$$

$$G_R = 2,15 \text{ dBi}$$

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

$$G_{AUT}(\text{dBi}) = G_R(\text{dBi}) + P_{Rx}(\text{dBm}) - P_{Ref}(\text{dBm})$$

$$G_{AUT}(dBi) = 2.15(dBi) - 63,6(dBm) - (-65,4)(dBm) = 3,95 dBi$$

Untuk hasil pengukuran dapat dilihat pada Tabel 5.3 di bawah ini

Tabel 5.3. Hasil pengukuran *Gain* Antena Mikrostrip *Equilateral Triangular Array*

No	Frekuensi (MHz)	Pref(dBm)	Prx(dBm)	Gut(dB)	Gut(dBi)
1	2200	-64	-64.2	-0.2	1.95
2	2250	-71.7	-64.6	7.1	9.25
3	2300	-66.9	-63.2	3.7	5.85
4	2350	-67.8	-61.2	6.6	8.75
5	2400	-65.4	-63.6	1.8	3.95
6	2450	-61.8	-61.1	0.7	2.85
7	2500	-62.5	-60.5	2	4.15
8	2550	-68.5	-69.4	-0.9	1.25
9	2600	-72.1	-69.7	2.4	4.55
10	2650	-63.1	-63.3	-0.2	1.95
11	2700	-62.3	-61.5	0.8	2.95

Sumber : Hasil Pengukuran

#### 5.4.4 Analisa Hasil Pengukuran

Pada pengukuran ini digunakan antenna referensi adalah antenna *dipole*  $\lambda/2$  isotropis dengan nilai *gain* standar 2,15 dBi. Sementara itu pada frekuensi perencanaan antenna yaitu 2400 MHz antenna memiliki nilai *gain* 3,95 dBi yang berarti lebih rendah daripada hasil simulasi yaitu 4,325 dBi. Tetapi ini telah memenuhi persyaratan yang diinginkan pada *gain* antenna mikrostrip yang umumnya  $> 3dBi$ .

### 5.5. Pengukuran Polarisasi

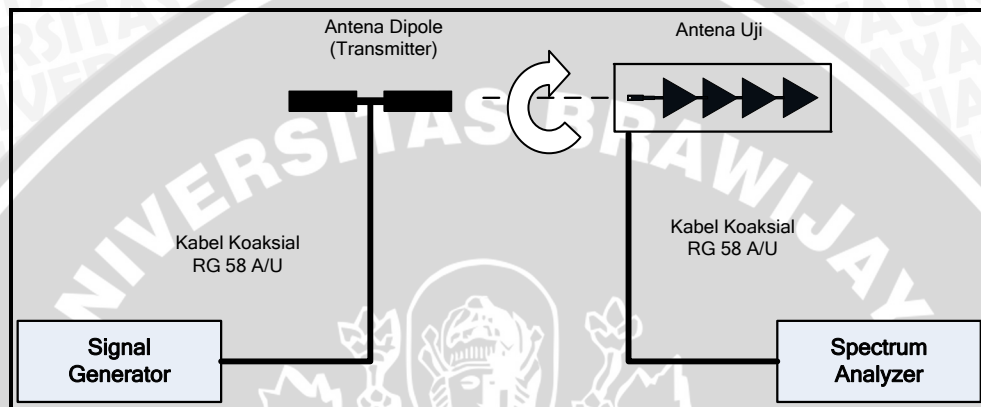
#### 5.5.1. Alat-alat yang digunakan

- *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 *Equilateral Triangular Array*)
- Kabel koaksial RG-58A/U
- Konektor tipe N *Female* dan *adapter* N to BNC

- Dua buah tiang penyangga dengan interval sudut putar tiap  $10^\circ$

### 5.5.2. Prosedur Pengukuran

1. Memasang antenna *dipole* sebagai antenna pemancar dengan menghubungkannya ke *Signal Generator* menggunakan kabel koaksial RG-58A/U, seperti ditunjukkan pada Gambar 5.4 berikut.



Gambar 5.4. Rangkaian Pengukuran Polarisasi Antena

Sumber : Pengukuran

2. Memasang antenna uji (Antena Mikrostrip *Equilateral Triangular Array*) sebagai antenna penerima dengan menghubungkannya ke *Spectrum Analyzer* menggunakan kabel koaksial RG-58A/U, seperti ditunjukkan pada gambar 5.4.
3. Memosisikan 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 harga normalisasi untuk tiap sudut putarnya.

### 5.5.3. Hasil Pengukuran

Berdasarkan hasil pengukuran polarisasi yang dilakukan, maka diperoleh level daya yang diterima oleh antenna uji (Antena Mikrostrip *Equilateral Triangular Array*) yang diputar  $10^\circ$  pada sumbu horizontal. Nilai normalisasi hasil



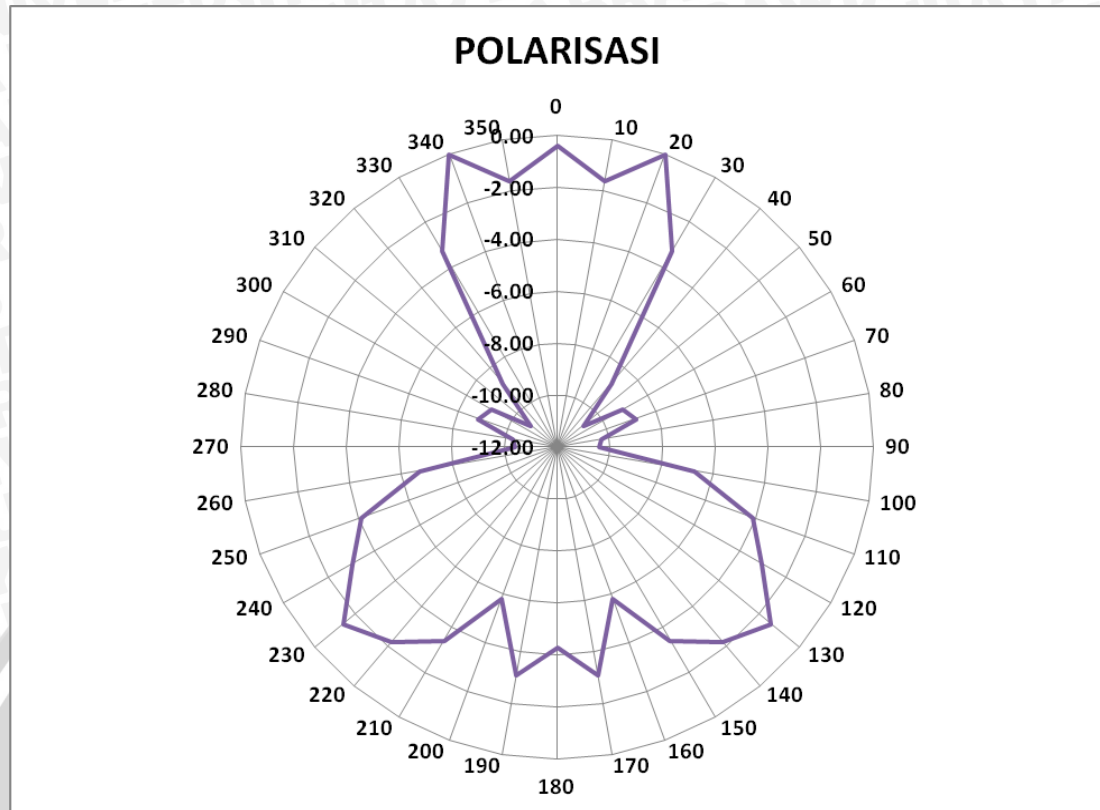
pengukuran kemudian diubah ke dalam bentuk diagram polar. Data hasil pengukuran polarisasi pada frekuensi 2400 MHz terlihat dalam Tabel 5.4



Tabel 5.4. Hasil Pengukuran Polarisasi Antena Mikrostrip *Equilateral Triangular Array* pada Frekuensi 2400 MHz

No	Sudut	Level Terima (dBm)	Normalisasi
1	0	-64.90	-0.40
2	10	-66.10	-1.60
3	20	-64.50	0.00
4	30	-67.80	-3.30
5	40	-73.30	-8.80
6	50	-75.20	-10.70
7	60	-73.60	-9.10
8	70	-73.30	-8.80
9	80	-74.80	-10.30
10	90	-74.90	-10.40
11	100	-71.20	-6.70
12	110	-68.60	-4.10
13	120	-67.50	-3.00
14	130	-65.90	-1.40
15	140	-66.70	-2.20
16	150	-67.90	-3.40
17	160	-70.30	-5.80
18	170	-67.60	-3.10
19	180	-68.80	-4.30
20	190	-67.60	-3.10
21	200	-70.30	-5.80
22	210	-67.90	-3.40
23	220	-66.70	-2.20
24	230	-65.90	-1.40
25	240	-67.50	-3.00
26	250	-68.60	-4.10
27	260	-71.20	-6.70
28	270	-74.90	-10.40
29	280	-74.80	-10.30
30	290	-73.30	-8.80
31	300	-73.60	-9.10
32	310	-75.20	-10.70
33	320	-73.30	-8.80
34	330	-67.80	-3.30
35	340	-64.50	0.00
36	350	-66.10	-1.60
37	360	-64.90	-0.40

Sumber : Hasil Pengukuran



Gambar 5.5. Diagram Polar Polarisasi Antena Mikrostrip *Equilateral Triangular Array* pada frekuensi 2400 MHz  
Sumber : Hasil Pengukuran

#### 5.5.4. Analisa Hasil Pengukuran

Berdasarkan data hasil pengukuran polarisasi Tabel 5.4, dengan mengubah data nilai daya yang telah dinormalisasi ke dalam bentuk diagram polar, maka dapat diketahui bentuk polarisasi antenna. Bentuk polarisasi antenna yang diuji pada frekuensi 2400 MHz dapat dilihat dalam Gambar 5.5 di atas.

Berdasarkan Gambar 5.5 antenna ini dapat digolongkan sebagai antenna yang berpolarisasi linier. Walaupun tidak linier sempurna namun dengan memiliki nilai maksimum pada sudut  $0^{\circ}$  dan  $180^{\circ}$  serta minimum pada sekitar  $90^{\circ}$  dan  $270^{\circ}$  maka sudah dapat dikatakan memiliki polarisasi linier. Ini sesuai dengan teori bahwa antenna mikrostrip memang memiliki polarisasi linier.

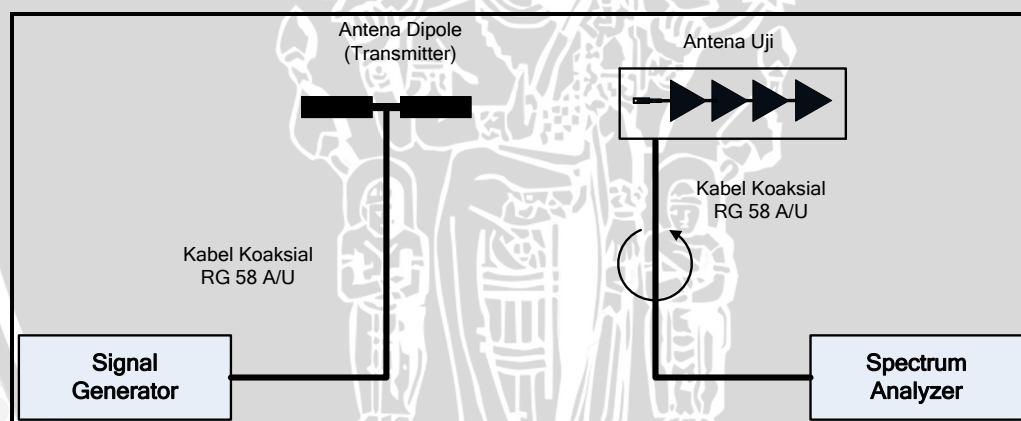
## 5.6. Pengujian Pola Radiasi

### 5.6.1. Alat-alat yang digunakan

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

### 5.6.2. Prosedur Pengukuran

1. Memasang antena *dipole kedua* sebagai antena pemancar dengan menghubungkannya ke *Signal Generator* menggunakan kabel koaksial RG-58A/U, seperti ditunjukkan pada Gambar 5.7 berikut.



Gambar 5.6. Rangkaian Pengukuran *Pola Radiasi* Antena

Sumber : Pengukuran

2. Memasang antena uji (antena mikrostrip *Equilateral Triangular Array*) sebagai antena penerima dengan menghubungkannya ke *Spectrum Analyzer* menggunakan kabel koaksial RG-58A/U, seperti ditunjukkan pada Gambar 5.6. Kemudian mengatur *Signal Generator* pada frekuensi 2400 MHz.

3. Memutar antenna uji (antenna mikrostrip *Equilateral Triangular 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, dan menghitung harga normalisasi untuk tiap sudut putarnya.
4. Memutar antenna pemancar dan antenna uji (antenna mikrostrip *Equilateral Triangular Array*) pada sumbunya sejauh  $90^\circ$ , untuk mendapatkan nilai Pola Radiasi Vertikal.
5. Mengulangi langkah 4 dan 5.

### 5.6.3. 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 pada frekuensi 2400 MHz terlihat dalam Tabel 5.5 berikut.

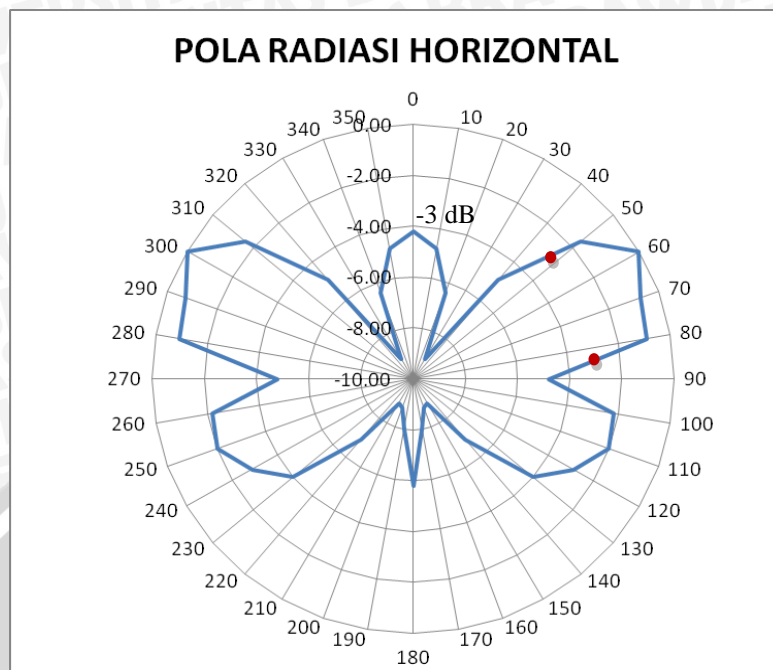
### 5.6.3. Hasil Pengukuran

Data hasil pengukuran pola radiasi terlihat dalam Tabel 5.5 berikut.

Tabel 5.5. Hasil Pengukuran Pola Radiasi Antena Mikrostrip *Equilateral Triangular Array* pada frekuensi 2400 MHz.

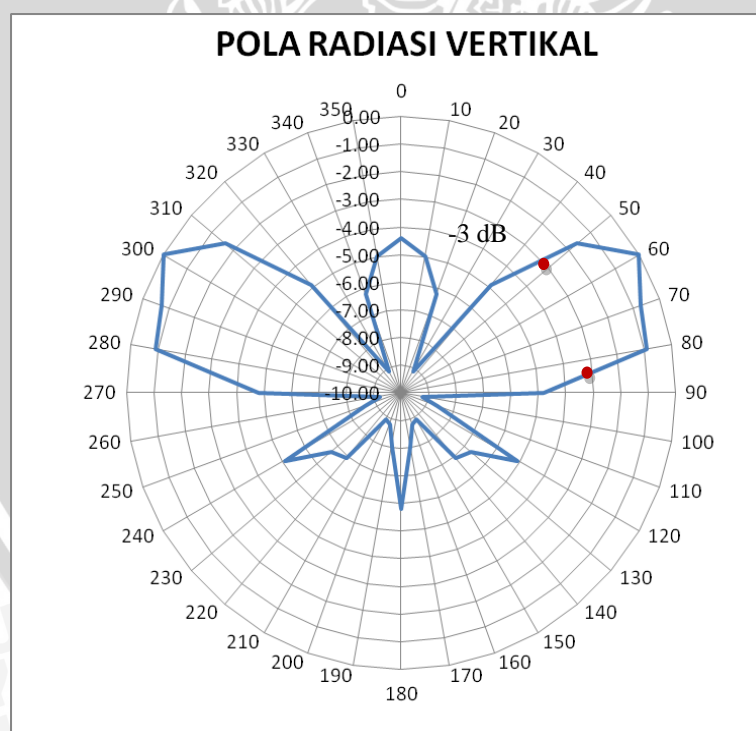
No	Sudut	HORIZONTAL		VERTIKAL	
		Level Terima (dBm)	Normalisasi	Level Terima (dBm)	Normalisasi
1	0	-66.3	0.00	-66.30	0.00
2	10	-66.6	-0.30	-67.00	-0.70
3	20	-67.2	-0.90	-68.00	-1.70
4	30	-71.1	-4.80	-69.50	-3.20
5	40	-69.5	-3.20	-70.20	-3.90
6	50	-69.8	-3.50	-73.00	-6.70
7	60	-70.2	-3.90	-72.20	-5.90
8	70	-74.3	-8.00	-72.70	-6.40
9	80	-73.2	-6.90	-74.20	-7.90
10	90	-75.2	-8.90	-75.20	-8.90
11	100	-75.1	-8.80	-75.10	-8.80
12	110	-74.3	-8.00	-74.30	-8.00
13	120	-72.1	-5.80	-74.10	-7.80
14	130	-70.5	-4.20	-73.50	-7.20
15	140	-71.1	-4.80	-74.10	-7.80
16	150	-72.7	-6.40	-72.70	-6.40
17	160	-75.4	-9.10	-75.40	-9.10
18	170	-71.2	-4.90	-74.20	-7.90
19	180	-71.9	-5.60	-75.90	-9.60
20	190	-71.2	-4.90	-74.20	-7.90
21	200	-75.4	-9.10	-75.40	-9.10
22	210	-72.7	-6.40	-72.70	-6.40
23	220	-71.1	-4.80	-74.10	-7.80
24	230	-70.5	-4.20	-73.50	-7.20
25	240	-72.1	-5.80	-74.10	-7.80
26	250	-74.3	-8.00	-74.30	-8.00
27	260	-75.1	-8.80	-75.10	-8.80
28	270	-75.2	-8.90	-75.20	-8.90
29	280	-73.2	-6.90	-74.20	-7.90
30	290	-74.3	-8.00	-72.70	-6.40
31	300	-70.2	-3.90	-72.20	-5.90
32	310	-69.8	-3.50	-73.00	-6.70
33	320	-69.5	-3.20	-70.20	-3.90
34	330	-71.1	-4.80	-69.50	-3.20
35	340	-67.2	-0.90	-68.00	-1.70
36	350	-66.6	-0.30	-67.00	-0.70

Sumber : Hasil Pengukuran



Gambar 5.7. Pola Radiasi Horizontal Antena Mikrostrip *Equilateral Triangular Array* pada Frekuensi 2400 MHz

Sumber : Hasil Pengukuran



Gambar 5.8. Pola Radiasi Vertikal Antena Mikrostrip *Equilateral Triangular Array* pada Frekuensi 2400 MHz

Sumber : Hasil Pengukuran

#### 5.6.4. Analisa Hasil Pengukuran

Berdasarkan Tabel 5.5 dapat digambarkan bentuk pola radiasi antenna hasil perancangan pada diagram polar, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 5.7 dan Gambar 5.8 untuk frekuensi 2400 MHz. Berdasarkan Gambar 5.7 dan Gambar 5.8 tersebut dapat diketahui bahwa bentuk pola radiasi antenna hasil perancangan (antenna mikrostrip *equilateral triangular array*) adalah *bidirectional*, yaitu memiliki intensitas radiasi maksimum hanya pada dua arah tertentu.

Berdasarkan Gambar 5.7 dan Gambar 5.8 diperoleh nilai  $-3\text{dB beamwidth}$  pola radiasi horizontal untuk frekuensi 2400 MHz adalah  $40^\circ$  ( $\phi_{HP} = 40^\circ$ ), dan nilai  $-3\text{dB beamwidth}$  pola radiasi vertikal adalah  $40^\circ$  ( $\theta_{HP} = 40^\circ$ ).

#### 5.7. Perhitungan Keterarahan (*Directivity*)

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

##### 5.7.1. Cara Perhitungan

*Directivity* dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 2-12 :

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

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

sehingga,

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

dengan :

$D$  = *directivity*

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

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

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

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



### 5.7.2. Hasil Perhitungan

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

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

$$= 25,625$$

$$D_{(dB)} = 10 \log 25,625$$

$$= 14,08 \text{ dBi}$$

### 5.8. Perhitungan *Bandwidth*

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

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

$$B = f_u - f_l$$

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

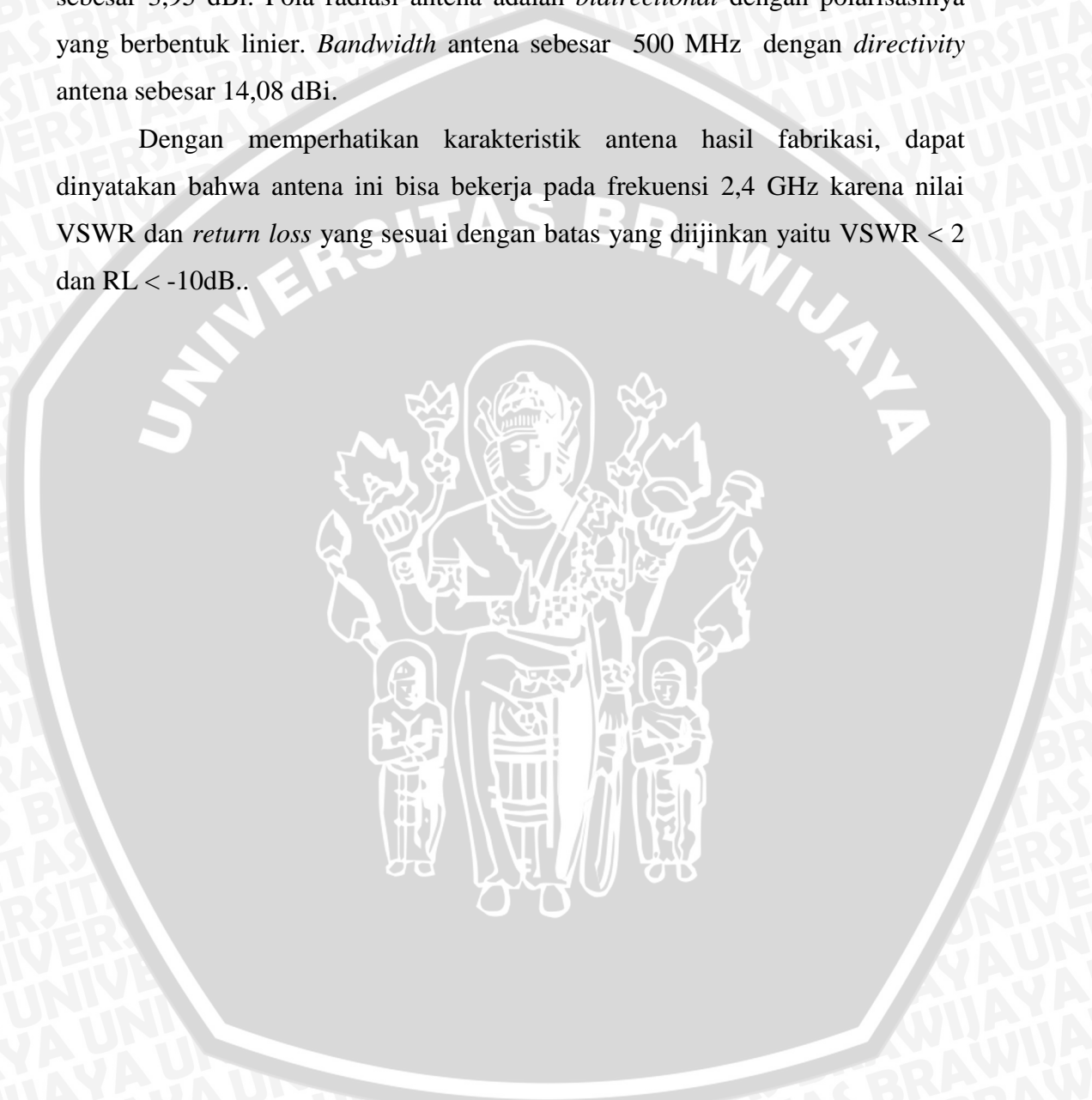
*Bandwidth* antena hasil pengukuran lebih besar dari *bandwidth* hasil perancangan yang hanya sebesar 43 MHz. Selisih yang begitu besar disebabkan beberapa faktor diantaranya ketidakakuratan pada saat fabrikasi, kesalahan pada alat pengukuran dan korosi yang mungkin terjadi pada *patch*.

### 5.9 Analisa Parameter Antena

Berdasarkan hasil pengukuran di atas dapat kita lihat beberapa parameter antena mikrostrip *equilateral triangular array* hasil pembuatan yang meliputi *return loss* sebesar  $-20$  dB yang sesuai dengan standar *return loss* yang diijinkan

yakni  $RL \leq -10$  dB dan VSWR antenna sebesar 1,2222 yang berarti sesuai dengan perencanaan bahwa nilai  $VSWR < 2$ . Koefisien pantul sebesar 0,1 yang menunjukkan bahwa sebagian besar sinyal dari antenna dapat tersalurkan. Adapun nilai *gain* antenna mikrostrip *equilateral triangular array* hasil fabrikasi ialah sebesar 3,95 dBi. Pola radiasi antenna adalah *bidirectional* dengan polarisasinya yang berbentuk linier. *Bandwidth* antenna sebesar 500 MHz dengan *directivity* antenna sebesar 14,08 dBi.

Dengan memperhatikan karakteristik antenna hasil fabrikasi, dapat dinyatakan bahwa antenna ini bisa bekerja pada frekuensi 2,4 GHz karena nilai VSWR dan *return loss* yang sesuai dengan batas yang diijinkan yaitu  $VSWR < 2$  dan  $RL < -10$ dB..



## 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 *equilateral triangular 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. Dimensi antenna setelah dilakukan proses simulasi dan optimasi adalah sebagai berikut:

Jumlah elemen peradiasi : 4 Elemen

- $a_1 = a_2 = a_3 = a_4 = 39$  mm dan  $La_1 = La_2 = La_3 = La_4 = 33,775$  mm
- $Z_1 = Z_2 = Z_3 = Z_4 = 390 \Omega$  :
- $W_1 = W_2 = W_3 = W_4 = 1,8$  mm,  $L_1 = L_2 = L_3 = L_4 = 14,57$  mm
- $Z_5 = 140 \Omega$  :  $W_5 = 1,8$  mm,  $L_5 = 14,57$  mm
- $Z_6 = 50 \Omega$  :  $W_6 = 5,7$  mm,  $L_6 = 14,57$  mm

Berdasarkan hasil simulasi juga didapatkan performansi antenna sebagai berikut:

- Nilai *VSWR* antenna mikrostrip *equilateral triangular array* hasil simulasi dalam frekuensi kerja yang direncanakan yaitu 2400 MHz ialah sebesar 1,403. Nilai *VSWR* antenna ini masih dalam batas yang diijinkan  $VSWR \leq 2$ . Untuk nilai *Return Loss*, pada frekuensi 2400 MHz adalah -15,455 dB yang masih dalam batas diijinkan yaitu  $RL < -10$ dB.
- Nilai *gain* antenna mikrostrip *equilateral triangular array* pada frekuensi kerja yang direncanakan yaitu 2400 MHz ialah sebesar 4,325 dBi.
- Hasil perhitungan *directivity* menunjukkan antenna ini memiliki nilai *directivity* sebesar 10,393 dBi.

3. Berdasarkan hasil pengujian didapatkan performansi antenna sebagai berikut:

- Nilai *VSWR* antenna mikrostrip *equilateral triangular array* hasil pembuatan dalam frekuensi kerja yang direncanakan yaitu 2400 MHz ialah sebesar 1,22222. Nilai *VSWR* antenna ini masih dalam batas yang diijinkan  $VSWR \leq 2$ . Untuk nilai *Return Loss*, pada frekuensi 2400 MHz adalah -20 dB yang masih dalam batas diijinkan yaitu  $RL < -10\text{dB}$ .
- Nilai *gain* antenna mikrostrip *equilateral triangular array* pada frekuensi kerja yang direncanakan yaitu 2400 MHz ialah sebesar 3,95 dBi.
- Hasil pengukuran pola radiasi, untuk bidang horizontal maupun vertikal yang diplotkan pada diagram polar, menunjukkan bahwa bentuk pola radiasi mikrostrip *equilateral triangular array* hasil pembuatan adalah *bidirectional*, dengan sudut  $\phi_{HP} = 40^\circ$  dan  $\theta_{HP} = 40^\circ$  untuk frekuensi 2400 MHz
- Hasil pengukuran polarisasi menunjukkan bahwa antenna mikrostrip *equilateral triangular array* memiliki polarisasi linier.
- Hasil perhitungan *directivity* menunjukkan antenna ini memiliki nilai *directivity* sebesar 14,08 dBi.

## 6.2. Saran

1. 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. Disarankan untuk melakukan pengujian dan pengukuran di dalam ruangan *Anechoic Chamber*.
2. Perencanaan antenna mikrostrip dapat menggunakan bahan lain dengan nilai konstanta dielektrik ( $\epsilon_r$ ) yang berbeda. Untuk elemen peradiasi, selanjutnya dapat digunakan model bentuk lain dengan bentuk *array* ataupun elemen tunggal yang bekerja dalam range frekuensi yang sama agar dapat dilakukan perbandingan performansi antenna.
3. Proses pemasangan konektor pada antenna juga memerlukan ketepatan agar dalam proses pengeboran dan penyolderan bisa lebih rapi karena konektor

yang terpasang pada antena juga akan mempengaruhi *loss* pada daya yang dicatukan pada saluran transmisi antena.

4. Pada penelitian selanjutnya, disarankan untuk melakukan riset dengan metode umpan balik untuk mendapatkan formula atau rumus penentuan dimensi antena dari hasil simulasi/optimasi agar hasil yang didapatkan sesuai dengan hasil simulasi/optimasi.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



## DAFTAR PUSTAKA

- Balanis, Constantine A. 1997. *Antena Theory: Analysis and Design, Third Edition*. John Wiley and Sons, Inc.
- Dahele, J. S. and Lee, K. F. 1987. *On the Resonant Frequencies of the Triangular Microstrip Antenna*. IEEE Trans. On A&P.1.100-101
- Garg, Ramesh., Bhartia, Prakash., Bahl, Inder and Ittiboon, Apisak. 2001. *Microstrip Antena Design Handbook*. Artech House.
- 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
- Herrera, Juan M. 1999. *Micropatch Antenna Array*. T.A Lee Romsey
- Luthfiannur, Muhammad. 2009. *Perencanaan dan Pembuatan Equilateral Triangular Mikrostrip Antenna Untuk Aplikasi GPS (Global Positioning System)*. Skripsi, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Malang.
- Nakar, Punit S. 2004. *Design of a Compact Microstrip Patch Antenna for use in Wireless/Cellular Devices*. The Florida State University. Thesis.
- Nasimuddin and A. K. Verma. 2004. *Fast and Accurate Model For Analysis of Equilateral Triangular Patch Antenna*. Journal of Microwaves and Optoelectronics, Vol.3, No. 4.
- Prasetia, Andang. 2007. *Perencanaan dan Pembuatan Antena Microstrip Rectangular Patch pada frekuensi kerja 2,4 GHz untuk aplikasi wireless LAN (WLAN)*. Skripsi, Fakultas Teknik Univesitas Brawijaya, Malang.
- Sahalos, John N. 2006. *Orthogonal Methods for Array Synthesis : Theory and the ORAMA Computer Tool*. John Willey and Son, Inc. New York.
- Stutzman, Warren L. and G. A. Thiele. 1981. *Antenna Theory and Design*. John Willey and Son, Inc. New York.
- Anonymous. [www.zeland.com](http://www.zeland.com)

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

**LAMPIRAN**



## 1. LANGKAH-LANGKAH SIMULASI

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

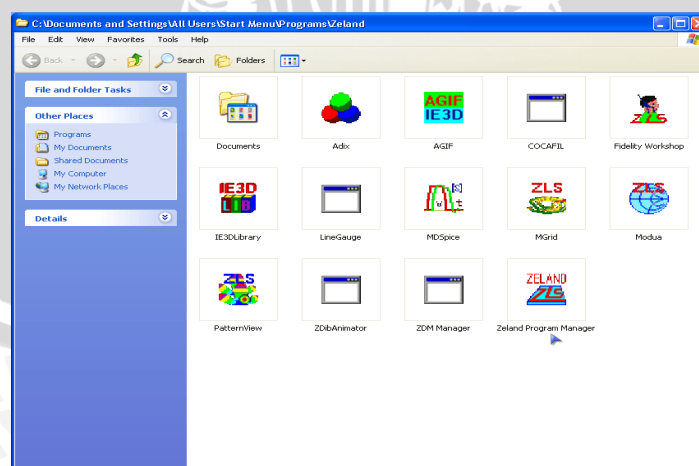
Konduktifitas tembaga ( $\sigma$ ) =  $5.80 \times 10^7$  mho  $m^{-1}$

Frekuensi kerja ( $f_r$ ) = 2440 MHz

Impedansi karakteristik saluran = 50  $\Omega$

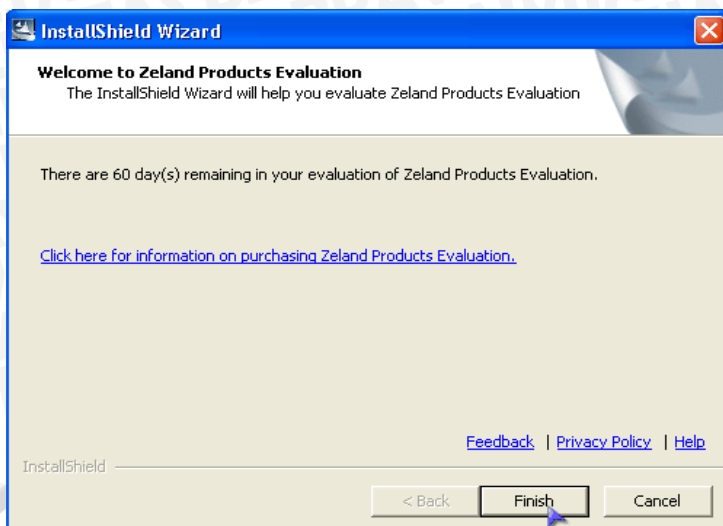
### Tahap 1 Simulasi Satu Elemen Peradiasi

1. Pertama install program IE3D hingga didapatkan tampilan sebagai berikut. Kemudian stand-by pada Zeland Program Manager.



Gambar 1. Tampilan Zeland Folder



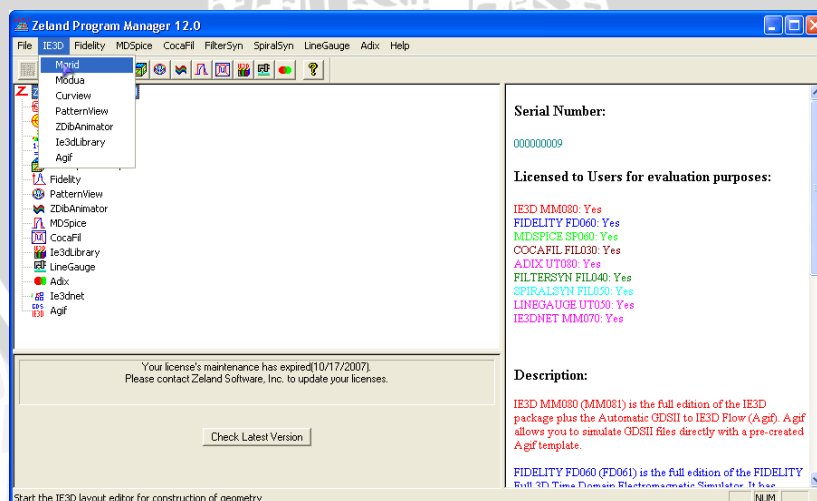


Gambar 2. Zeland InstallShield Wizard



Gambar 3. Zeland User Agreement

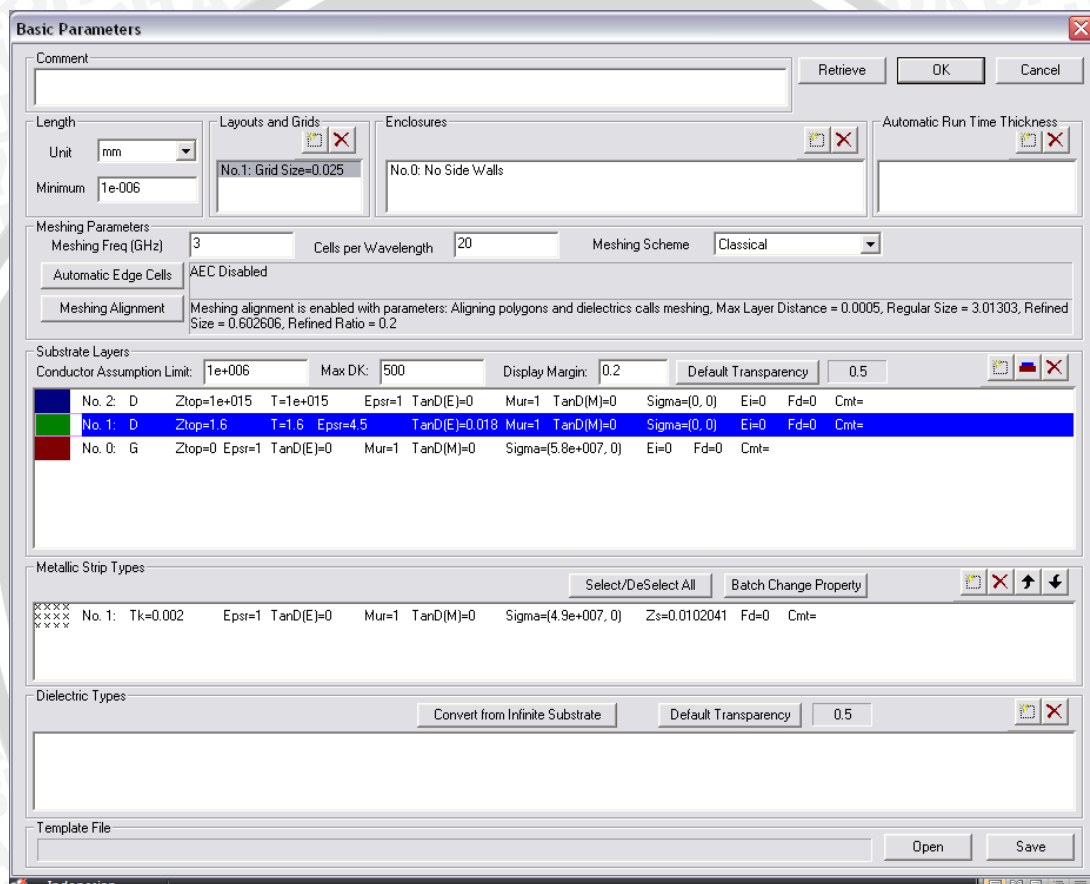
- Setelah muncul tampilan *stand-by* Zeland maka klik pada “IE3D” lalu pada “Mgrid”.



Gambar 4. Zeland Program Manager 12.0

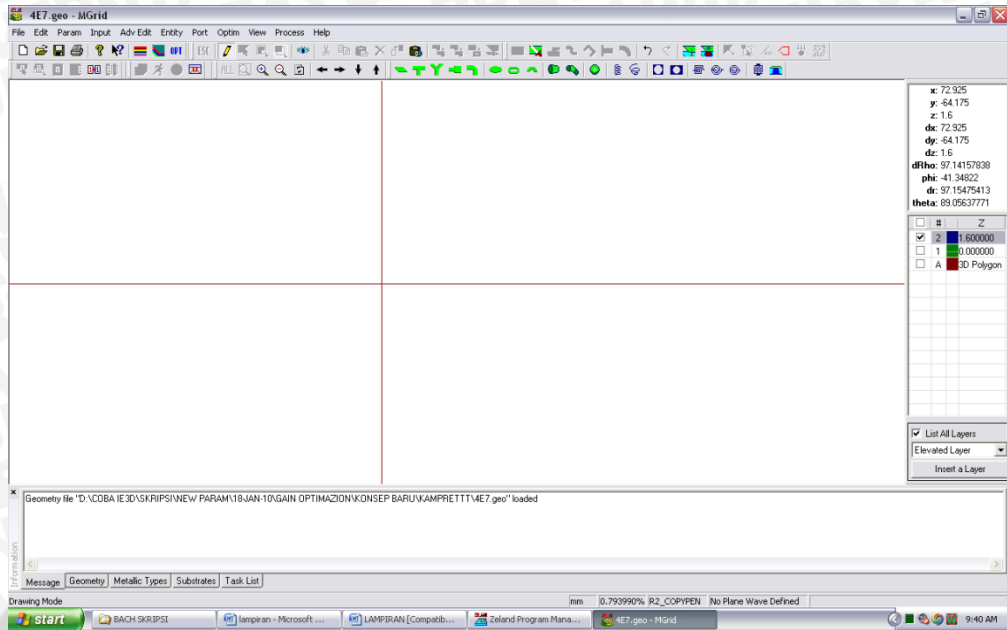


3. Klik pada “Param” dan “Basic Parameters”. Lalu edit *Grid Size*=1 dalam satuan mm, *Meshing Freq*= 3 GHz, *Cells per Wavelength*=20. Pada substrate layer secara default tersedia dua layer yaitu layer *dielectric* dan layer *ground*. Pada layer *ground* ganti nilai konduktivitasnya menjadi  $5.80 \times 10^7$  mho  $m^{-1}$  (sesuai bahan konduktor yang dipilih). Kemudian tambahkan layer baru, pilih “insert new substrate”, masukkan “Top surface, *Ztop*” 1.6 mm, Konstanta Dielektrik, *Epsr* = 4.5. dan *loss tangent* 0.018. kemudian pilih OK untuk memasukkannya. MGrid siap untuk membuat geometri.



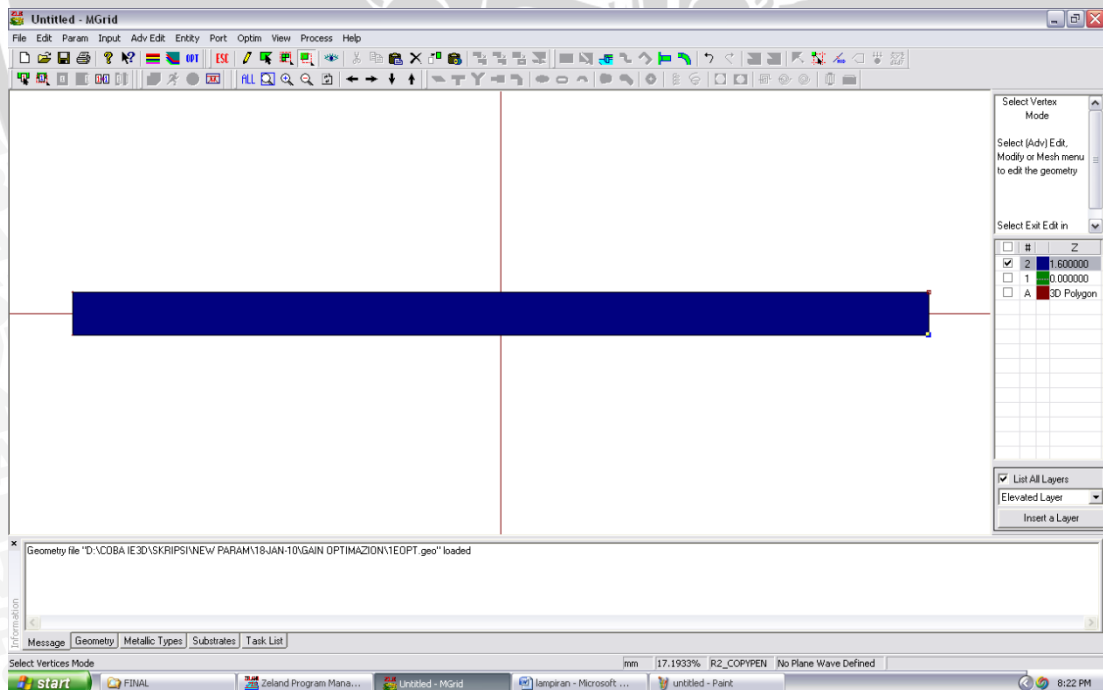
Gambar 5. Kotak Dialog *Basic Parameters*

4. Kemudian setelah semuanya telah ditentukan, maka akan tampil pada layar lembar kerja seperti pada gambar 6.



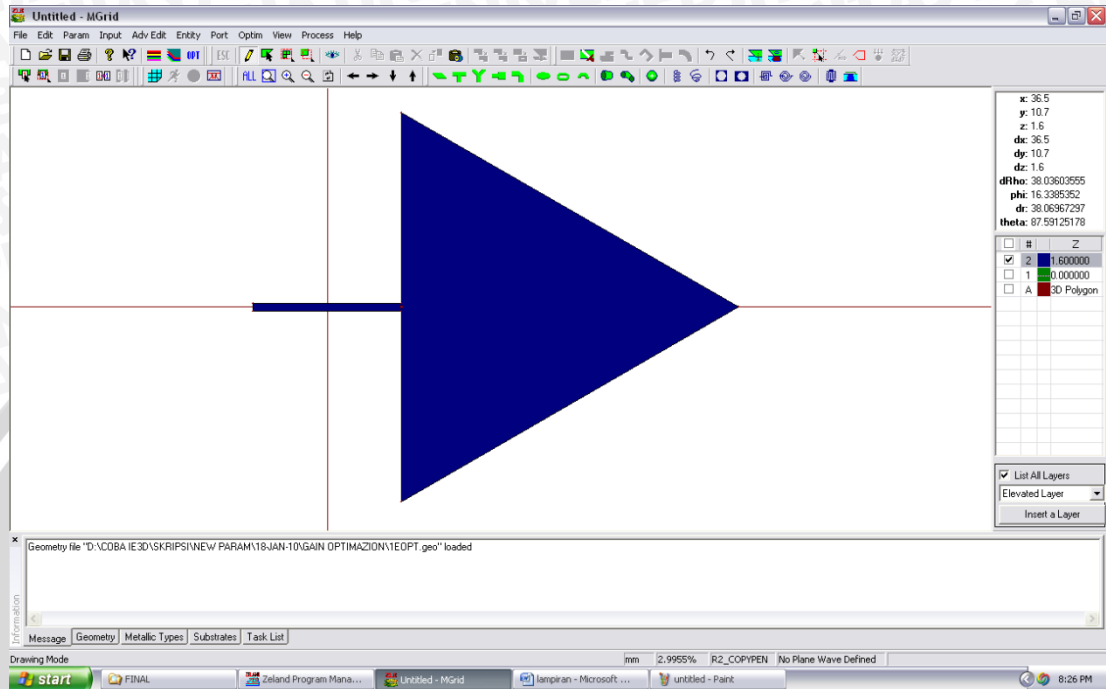
Gambar 6. MGrid

5. Untuk memulai membuat elemen segitiga dengan saluran transmisi pilih *Entity* → *Rectangle*. MGrid akan memberikan parameter  $(X,Y,Z) = (0, 0, 16)$ . Masukkan panjang  $(L) = 14.57$  dan lebar  $(W) = 0.7287$ . Pilih Ok untuk meneruskannya.
6. Pada segiempat yang baru saja dibuat klik *Select Vertices* → Drag pada ujung segiempat hingga muncul 2 titik seperti pada gambar 7.



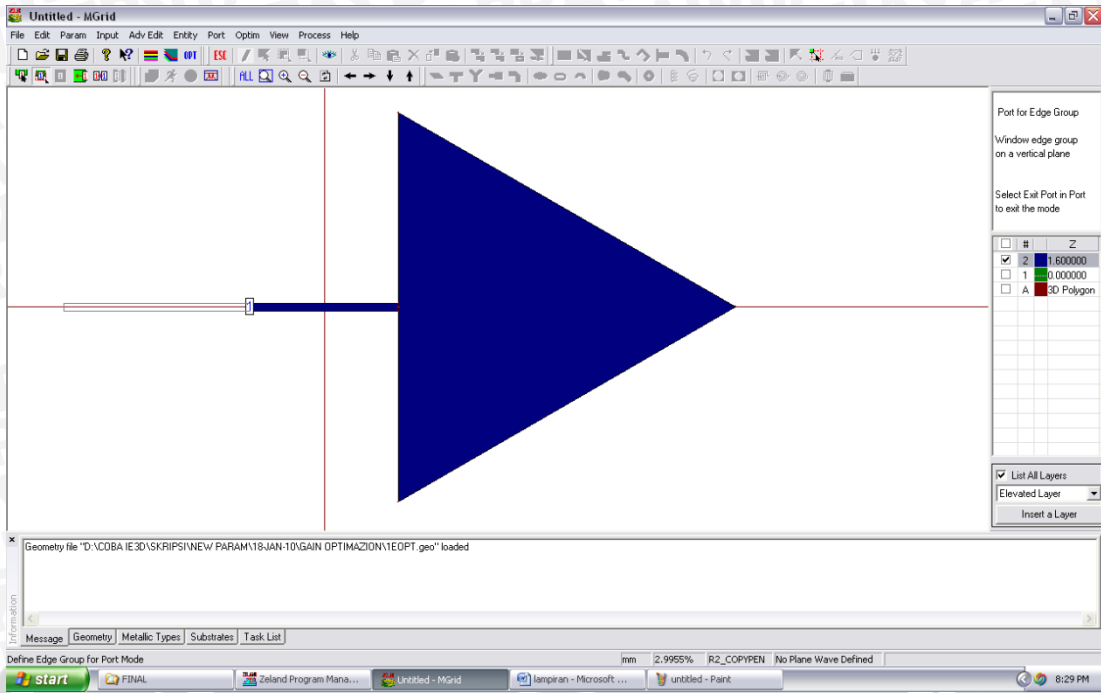
Gambar 7. Tampilan keseluruhan saluran transmisi

7. Setelah muncul 2 titik pada ujung segiempat klik *Continue Striagth Path*, Isikanlah pada *Path Length* = 33.382 *Path Start Width* = 38,546 dan *Path Start End* = 0, tekan OK untuk melanjutkan. Selanjutnya terbentuk elemen seperti pada gambar 9.



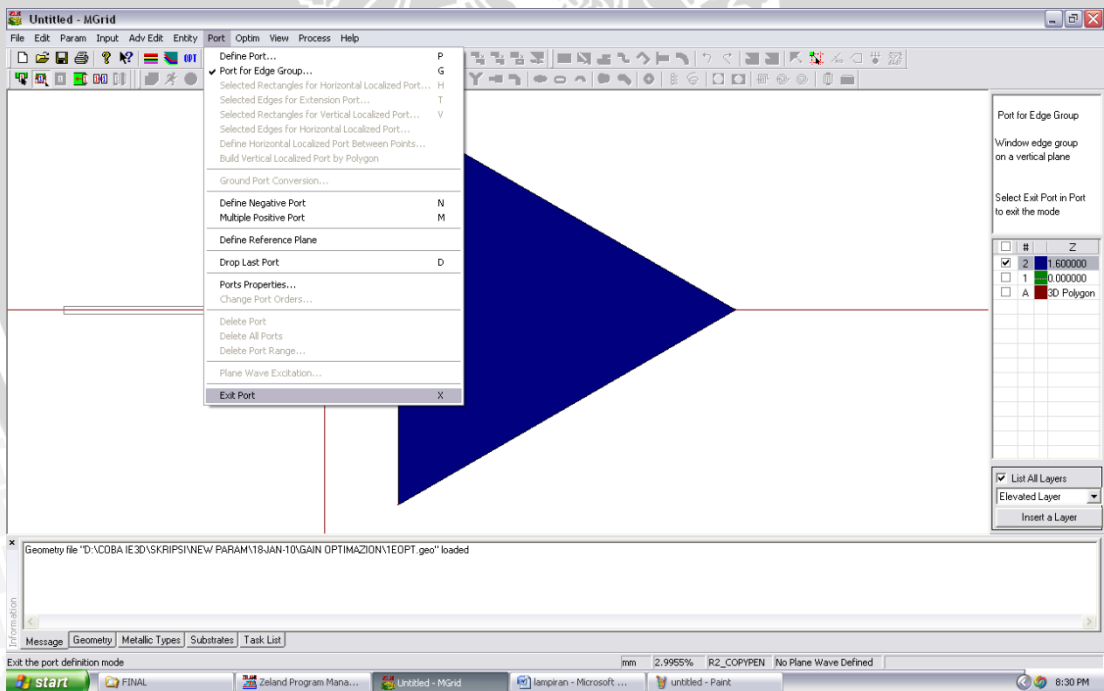
Gambar 9. Satu elemen segitiga dengan saluran transmisi

8. 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 10.



Gambar 10. Penempatan Port

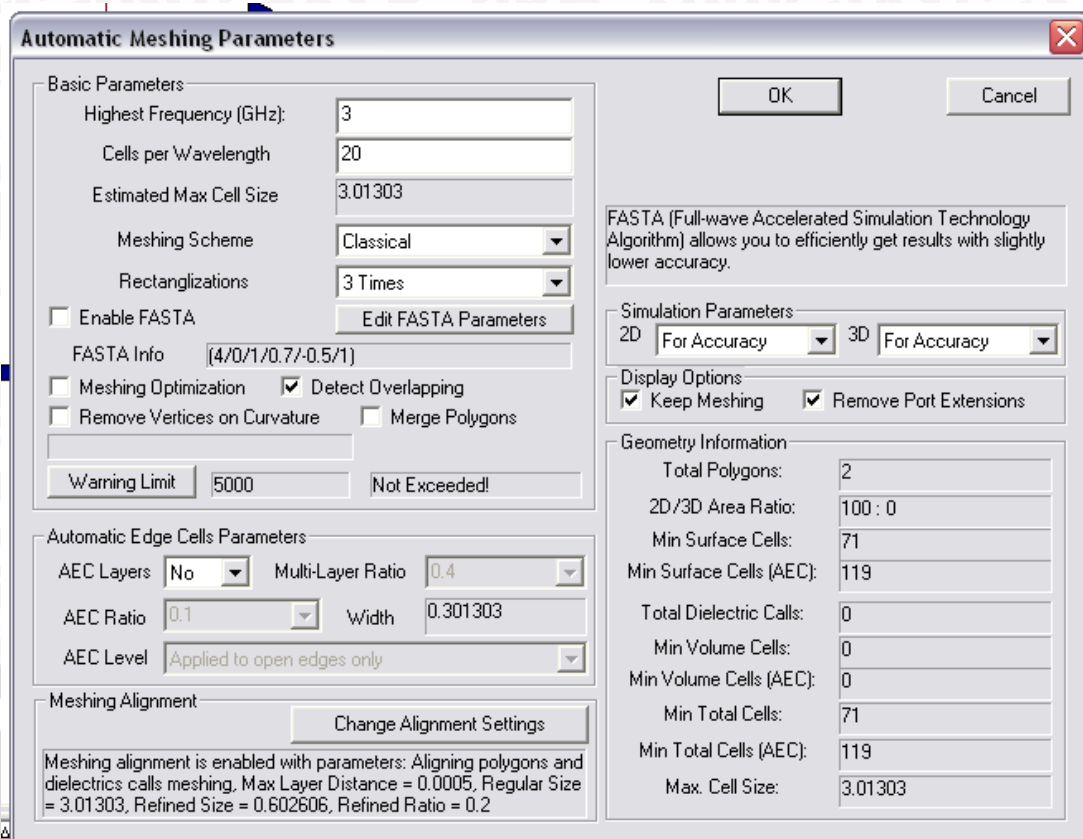
9. Langkah selanjutnya adalah *meshing*. Sebelumnya pilih *Port* → *Exit Port*.



Gambar 11. Exit Port

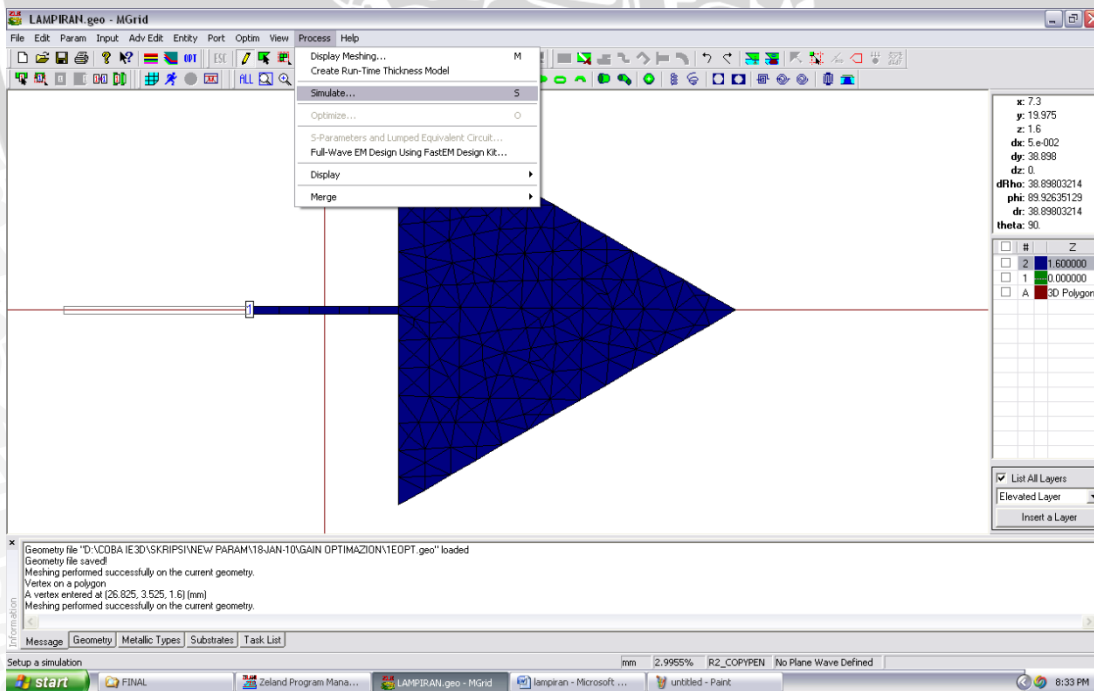
10. Kemudian pilih *Process* → *Display Meshing*. Pastikan kolom-kolom telah terisi seperti pada gambar 12. Tekan OK untuk melanjutkan.





Gambar 12. Kotak dialog *Meshing*


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



Gambar 13. *Simulate*



12. Selanjutnya pada kolom *Frequency Parameter* Tekan *Enter*. Kemudian muncul kotak seperti pada gambar 14. Masukkan nilai-nilai sebagai berikut *Start Freq = 2.2 End Freq = 2.7 Step Freq = 0.02*. Tekan OK untuk melanjutkan



Enter Frequency Range

Start Freq (GHz) 2.2

End Freq (GHz) 2.7

Number of Freq 26

Step Freq (GHz) 0.02

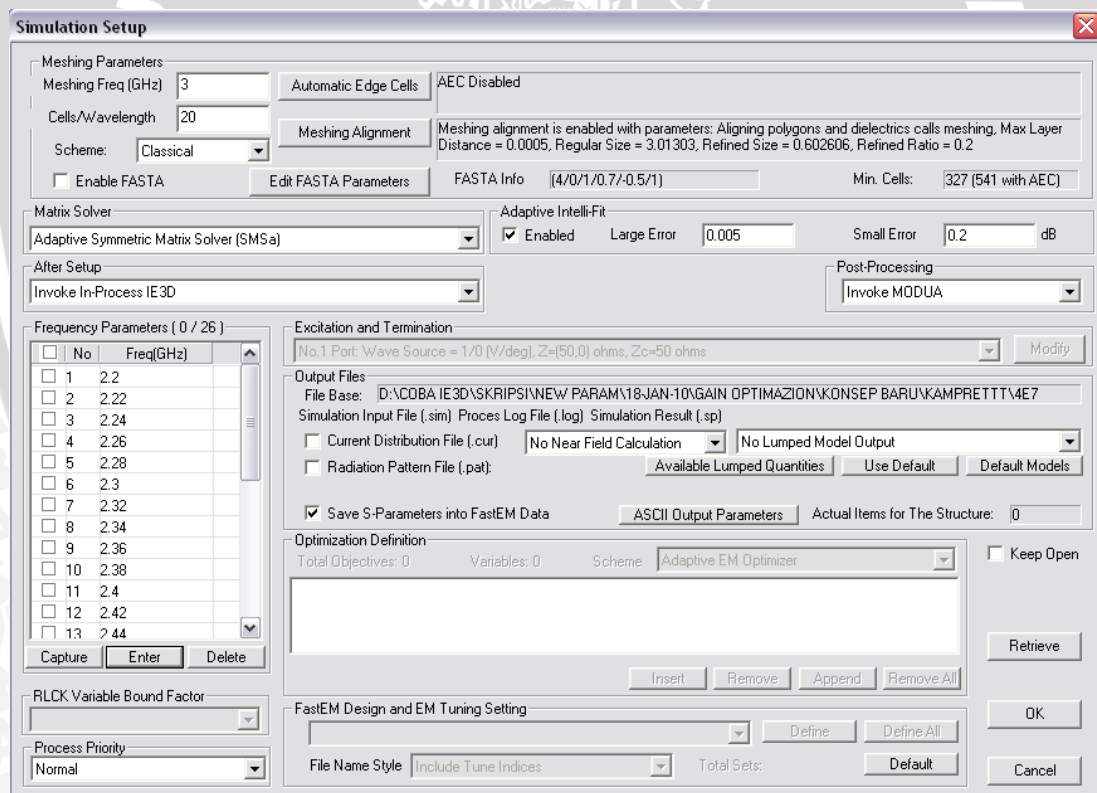
Linear

Exponential

OK Cancel

Gambar 14. Kotak dialog *Frequency Parameter*

13. Selanjutnya untuk menjalankan simulasi. Setelah muncul kotak seperti pada gambar 15. Tekan OK untuk melanjutkan



Simulation Setup

Meshing Parameters

Meshing Freq (GHz) 3 Automatic Edge Cells AEC Disabled

Cells/Wavelength 20 Meshing Alignment Meshing alignment is enabled with parameters: Aligning polygons and dielectrics calls meshing. Max Layer Distance = 0.0005, Regular Size = 3.01303, Refined Size = 0.602606, Refined Ratio = 0.2

Scheme: Classical

Enable FASTA Edit FASTA Parameters FASTA Info (4/0/1/0.7/0.5/1) Min. Cells: 327 (541 with AEC)

Matrix Solver

Adaptive Symmetric Matrix Solver (SMSa) Adaptive Intelli-Fit

Enabled Large Error 0.005 Small Error 0.2 dB

After Setup

Invoke In-Process IE3D Post-Processing

Invoke MODUA

Frequency Parameters ( 0 / 26 )

No	Freq(GHz)
<input type="checkbox"/> 1	2.2
<input type="checkbox"/> 2	2.22
<input type="checkbox"/> 3	2.24
<input type="checkbox"/> 4	2.26
<input type="checkbox"/> 5	2.28
<input type="checkbox"/> 6	2.3
<input type="checkbox"/> 7	2.32
<input type="checkbox"/> 8	2.34
<input type="checkbox"/> 9	2.36
<input type="checkbox"/> 10	2.38
<input type="checkbox"/> 11	2.4
<input type="checkbox"/> 12	2.42
<input type="checkbox"/> 13	2.44

Excitation and Termination

No.1 Port: Wave Source = 1/0 [V/deg], Z=[50,0] ohms, Zc=50 ohms

Output Files

File Base: D:\COBA IE3D\SKRIPSI\NEW PARAM\18-JAN-10\GAIN OPTIMAZION\KONSEP BARU\KAMPRETT\4E7

Simulation Input File (.sim) Process Log File (.log) Simulation Result (.sp)

Current Distribution File (.cur)  No Near Field Calculation  No Lumped Model Output

Radiation Pattern File (.pat): Available Lumped Quantities Use Default Default Models

Save S-Parameters into FastEM Data ASCII Output Parameters Actual Items for The Structure: 0

Optimization Definition

Total Objectives: 0 Variables: 0 Scheme Adaptive EM Optimizer  Keep Open

FastEM Design and EM Tuning Setting

File Name Style Include Tune Indices Total Sets: Default

OK Cancel

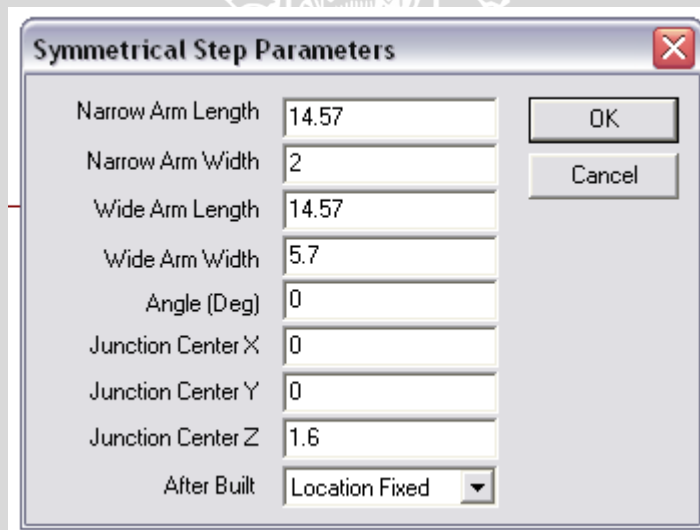
Gambar 15. Kotak dialog *Simulation Setup*

## Tahap 2 Optimasi Antena Satu Elemen

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 dari antena untuk menentukan frekuensi kerja yang tepat dan lebar saluran transmisi untuk menentukan *matching* yang terbaik dari antena ini.

## Tahap 3 Menyusun *Array* Dua, Tiga dan Empat Elemen

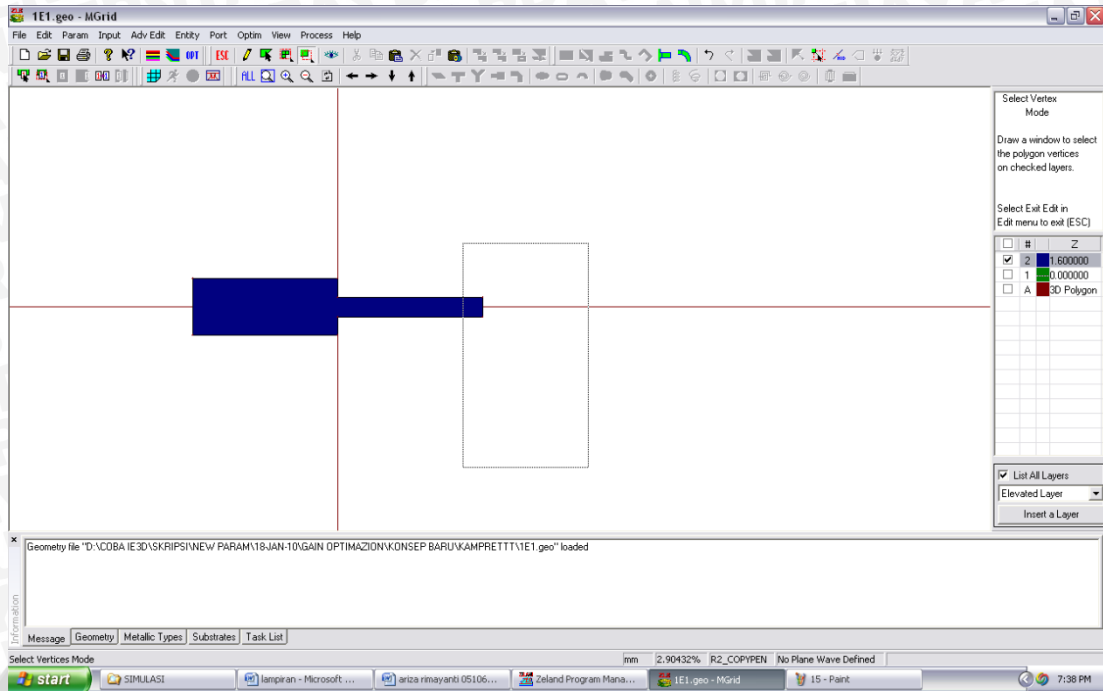
1. Untuk memulai membuat *array* kita mulai dengan menyiapkan lembar kerja kosong dengan cara yang sama seperti pada gambar 6.
2. Selanjutnya kita buat saluran *transformer* dengan cara pilih *Entity* → *Symmetrical Step*. Hingga muncul kotak seperti pada gambar 16. Kemudian isikan nilai-nilai sebagai berikut *Narrow Arm Length* = 14.57 *Narrow Arm Width* = 2 *Wide Arm Length* = 14.57 *Wide Arm Width* = 5.7



Gambar 16. Kotak dialog *Symmetrical Step Parameters*

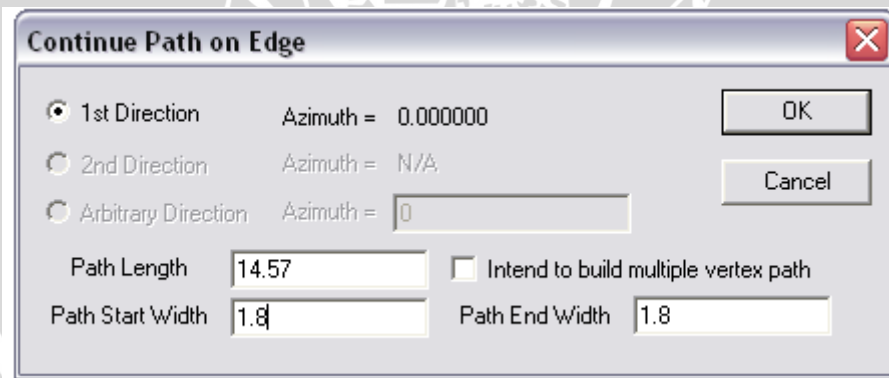
3. Setelah muncul bidang seperti pada gambar 17. Pilih *Select Vertices* lalu drag pada ujung bidang yang lebih kecil





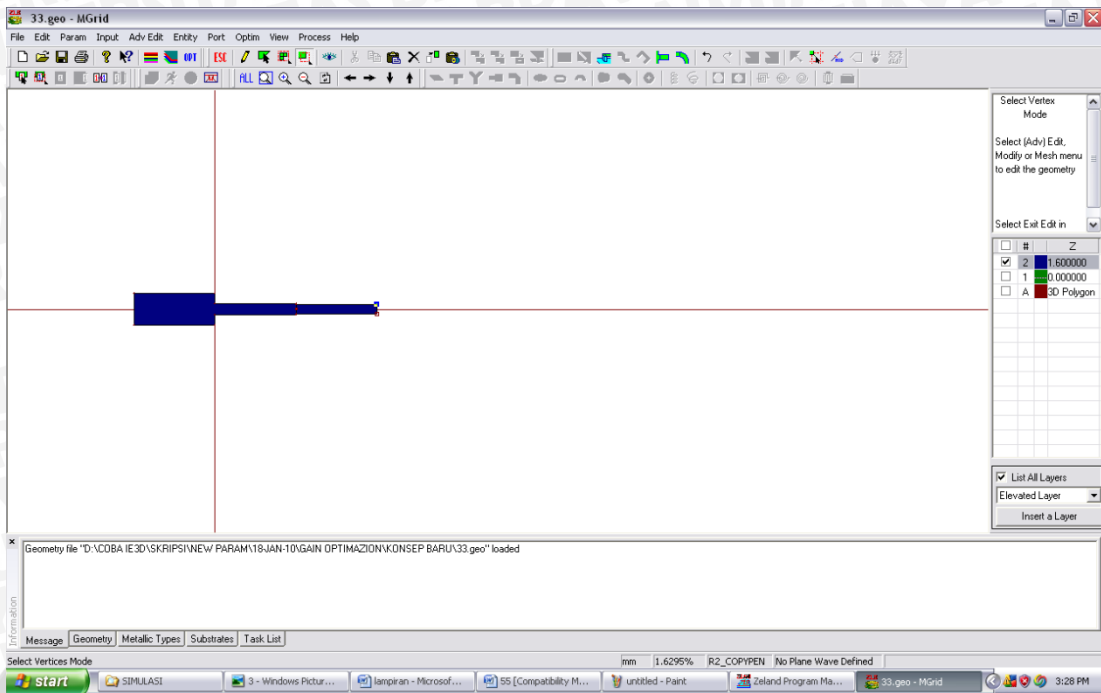
Gambar 17. Tampilan saluran transformer

14. Setelah muncul dua titik, pilih *Continue Straight Path*. Isikan pada *Path Length* = 14.57 *Path Start Width* = 1.8 dan *Path Start End* = 1.8, tekan OK untuk melanjutkan.



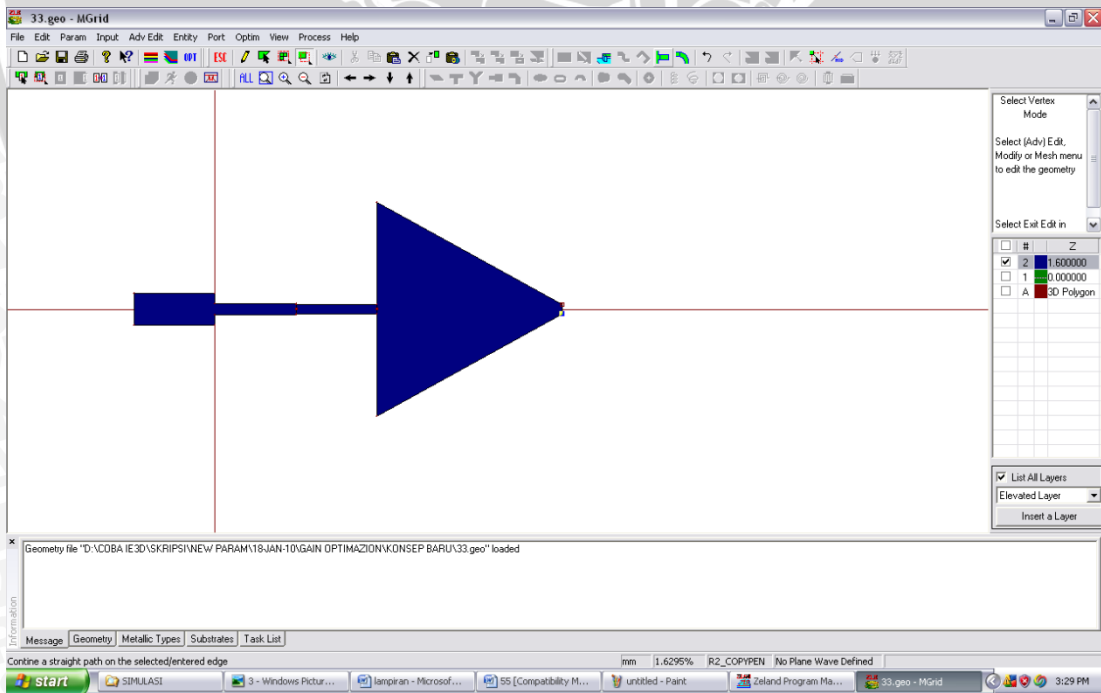
Gambar 18. *Continue Path on Edge*

15. Pilih *Select Vertices* drag pada ujung bidang yang lebih kecil, hingga muncul 2 titik seperti pada gambar 19.



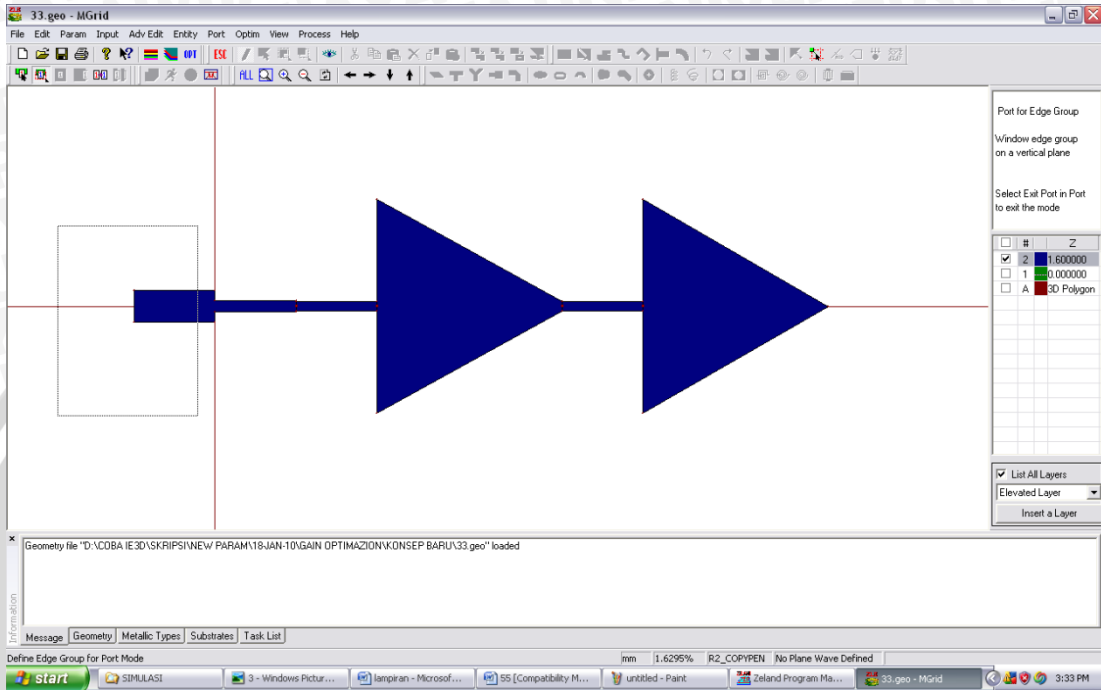
Gambar 19. Saluran transmisi

16. Setelah muncul 2 titik pada ujung segiempat klik *Continue Striagth Path*, Isikan pada *Path Length* = 33.5585 *Path Start Width* = 38,75 dan *Path Start End* = 1,8, tekan OK untuk melanjutkan. Selanjutnya terbentuk bidang seperti pada gambar 20.



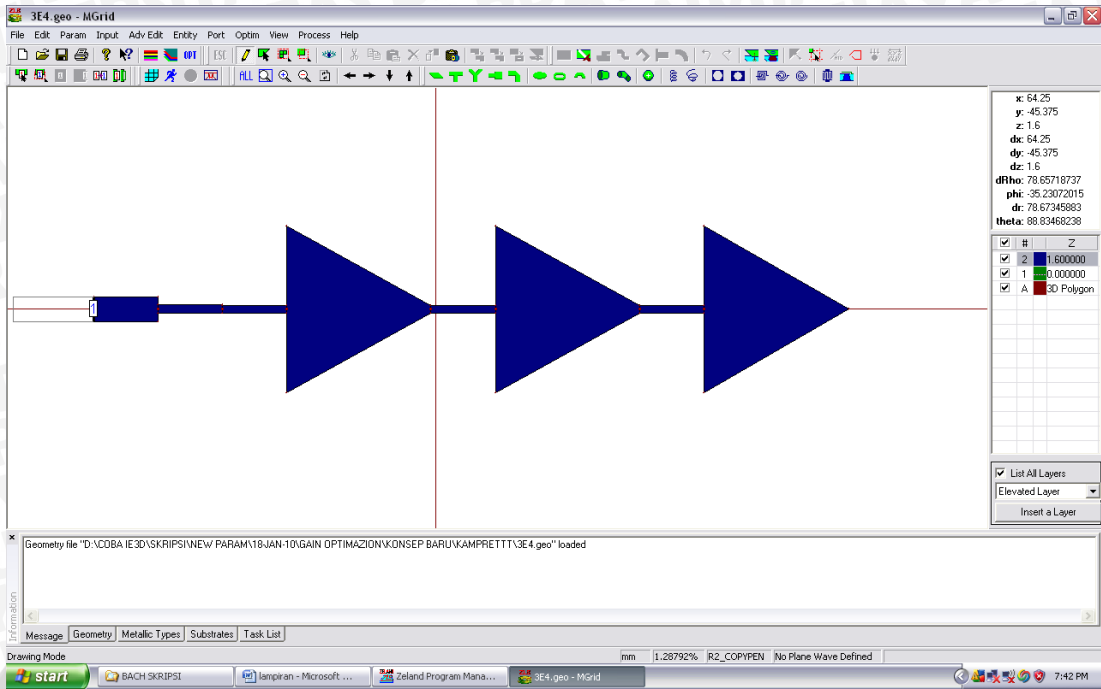
Gambar 20. Saluran *transformer* dengan satu elemen segitiga

17. Untuk membuat *array* 2 elemen ulangi langkah 14 dan 15
18. Setelah muncul 2 titik pada ujung segiempat klik *Continue Striagth Path*, Isikan pada *Path Length* = 33.5585 *Path Start Width* = 38,75 dan *Path Start End* = 0, tekan OK untuk melanjutkan. Selanjutnya terbentuk elemen seperti pada gambar 21.

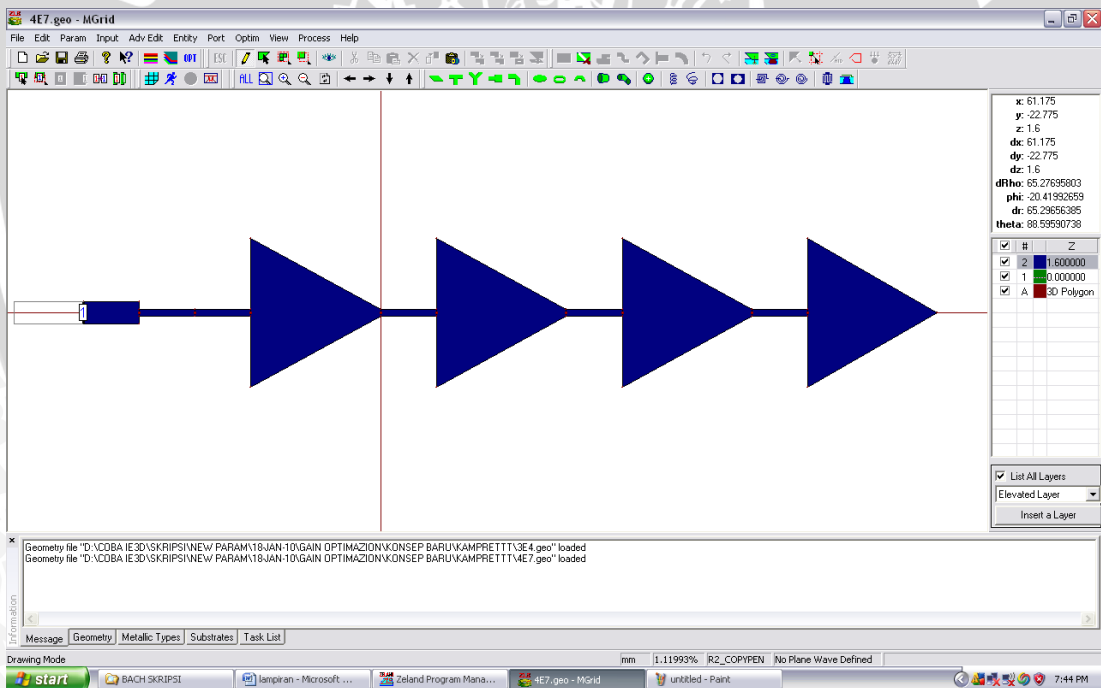


Gambar 21. *Array* 2 elemen

19. Untuk membuat *port* cara yang digunakan sama dengan membuat *port* pada satu elemen
20. Untuk membuat antena *equilateral triangular array* dengan 3 elemen seperti gambar 22 cukup mengulangi lagi langkah 14, 15 serta 18 untuk membuat ujung antena. Hal yang sama juga berlaku untuk membuat antena dengan 4 seperti gambar 23.



Gambar 22. Array 3 Elemen



Gambar 23. Array 4 Elemen

21. Pada *modua* hasil keluaran simulasi dapat dipilih tampilan parameter baik berupa grafik, data maupun *smith chart* (*Control* → *Define Display Data/ Define Display Graph/ Define Display Smith Chart* → *Pilih Display Parameter* yang diinginkan).

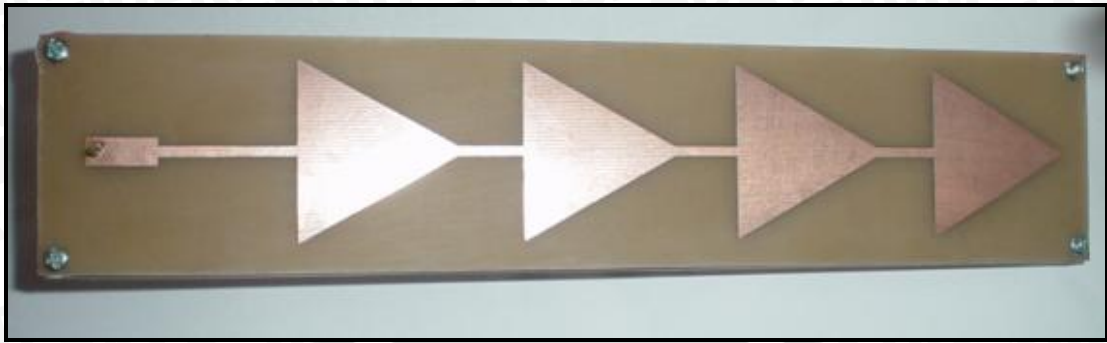
22. Selain modua, simulasi juga menghasilkan keluaran berupa *Pattern View* dan *Current View* jika kita mencentang opsi *current distribution file* dan *radiation pattern file* pada kotak dialog *Simulation Setup*. Dari situ kita bisa melihat animasi distribusi arus dan pola radiasi dari antenna baik dalam 2D maupun 3D (*Display*→Pilih parameter yang ingin ditampilkan).

#### **Tahap 4 Optimasi Antena Array**

Seperti sebelumnya pula, hasil 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 lebar saluran *transformer* dan dimensi segitiga untuk mendapatkan performansi yang terbaik dari antenna ini.



## 2. DOKUMENTASI PENGUKURAN



(a)



(b)



(c)

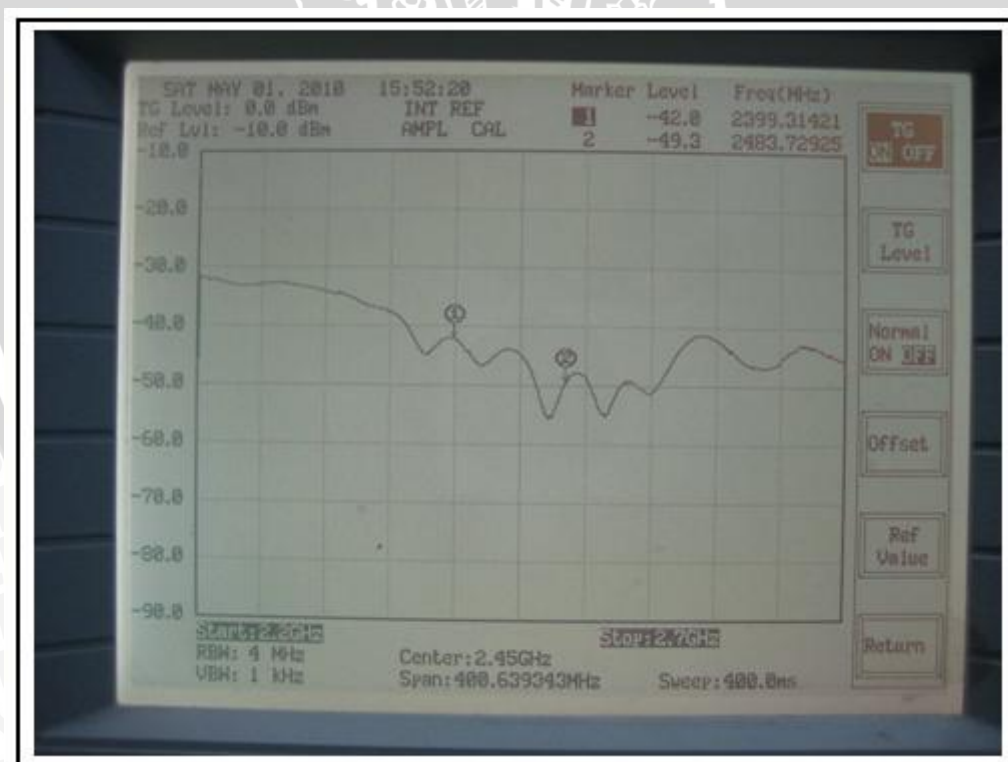
Gambar 24. Antena Mikrostrip *Equilateral Triangular Array*

(a) tampak depan (b) tampak samping (c) tampak belakang

Sumber : Fabrikasi



Gambar 25. Antena Mikrostrip *Equilateral Triangular Array* yang terhubung dengan *GW Instek Spectrum Analyzer GSP-827* 2,7 GHz  
 Sumber : Pengukuran



Gambar 26. Hasil Pengukuran *Return Loss* pada Rentang 2,2 – 2,7 GHz  
 Sumber : Pengukuran



Gambar 27. *Signal Generator Aeroflex IFR 3413 250 kHz-3 GHz.*

Sumber : Pengukuran



(a)

(b)

Gambar 28. Pengukuran *Gain* Antena Mikrostrip *Equilateral Triangular Array*

(a) Antena dipole di sisi pemancar

(b) Antena Mikrostrip *Equilateral Triangular Array* di sisi penerima





Gambar 29. Antena Mikrostrip *Equilateral Triangular Array* Sebagai *Receiver* Pada Pengukuran Polarisasi

