

**PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ANTENA MIKROSTRIP
EQUILATERAL TRIANGULAR ARRAY 2x2 UNTUK KOMUNIKASI
WIRELESS LOCAL AREA NETWORK (WLAN) 2,4 GHz**

SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh:

DANY KURNIAWAN
NIM 0510630028-63

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2010**



**PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ANTENA MIKROSTRIP
EQUILATERAL TRIANGULAR ARRAY 2x2 UNTUK KOMUNIKASI
WIRELESS LOCAL AREA NETWORK (WLAN) 2,4 GHz**

SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh:

DANY KURNIAWAN

NIM 0510630028

Mengetahui dan menyetujui

Dosen pembimbing:

Ir. Erfan Achmad Dahlan, MT.

NIP. 19530714 198203 1 003

Ali Mustofa, ST., MT.

NIP. 19710601 200003 1 001

**PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ANTENA MIKROSTRIP
EQUILATERAL TRIANGULAR ARRAY 2x2 UNTUK KOMUNIKASI
WIRELESS LOCAL AREA NETWORK (WLAN) 2,4 GHz**

Disusun Oleh:

DANY KURNIAWAN

NIM 0510630028

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

DOSEN PENGUJI

Ir. Wahyu Adi Priyono, MSc.
NIP. 19600518 198802 1 001

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

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

Mengetahui
Ketua Jurusan Teknik Elektro

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

KATA 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* 2x2 Untuk Komunikasi Wireless Local Area Network (WLAN) 2,4 GHz.**". Tidak lupa shalawat serta salam semoga senantiasa tercurahkan untuk Rasulullah Muhammad SAW beserta keluarga, sahabat, kerabat dan para pengikutnya sampai akhir jaman.

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

1. Bapak Rudy Yuwono, ST. MSc. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro.
2. Bapak Azis Muslim, ST., MT., Ph.D selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro.
3. Bapak Ali Mustofa, ST., MT. selaku Ketua Kelompok Dosen dan Keahlian Teknik Telekomunikasi.
4. Bapak, Ibu dosen serta segenap staf dan karyawan Jurusan Teknik Elektro baik secara langsung maupun tidak langsung yang telah banyak membantu dalam menyelesaikan skripsi ini.
5. Kedua orang tuaku, 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.
7. Bapak Kus. Selaku pendamping dalam pengukuran antena.
8. Teman-teman IT Telkom Bandung, terima kasih atas bantuannya.
9. Rekan-rekan Workshop terimakasih atas alat-alat yang membantu dalam penulisan skripsi saya.
10. Seluruh rekan mahasiswa Jurusan Teknik Elektro terima kasih atas dukungannya.
11. Semua pihak yang tidak dapat kami sebutkan satu persatu. Terima kasih, sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan sebaik – baiknya.

Penulis 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 penulis. Karena itu kritik dan saran sangat kami harapkan demi kesempurnaan penulisan 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.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



Malang, Juli 2010

Penulis



DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR GAMBAR.....	vii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
RINGKASAN.....	xiii
BAB I. PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	2
1.3. Batasan Masalah	2
1.4. Tujuan	3
1.5. Sistematika Penulisan.....	3
BAB II. DASAR TEORI	
2.1. Konsep Dasar dan Parameter Antena.....	4
2.1.1. Impedansi terminal antena.....	4
2.1.2. Polarisasi	5
2.1.3. Daerah medan radiasi	6
2.1.4. Pola radiasi	8
2.1.5. <i>Lobe-lobe</i> pola radiasi dan <i>beamwidth</i>	9
2.1.6. Keterarahan (<i>directivity</i>).....	10
2.1.7. Gain antena	11
2.1.8. <i>Voltage standing wave ratio</i> (VSWR).....	12
2.1.9. Lebar pita (<i>bandwidth</i>)	12
2.2. Bentuk Umum Antena Mikrostrip	13
2.3. Antena <i>Array</i>	14
2.4. Perancangan dan Pembuatan Antena Mikrostrip	
<i>Equilateral Triangular Array</i> 2x2.....	26
2.4.1. Spesifikasi substrat dan bahan konduktor.....	26
2.4.2. Perancangan dimensi elemen peradiasi	27
2.4.3. Dimensi saluran transmisi.....	27

2.4.4. <i>Microstrip discontinuities</i>	28
2.5. <i>Wireless Local Area Network (WLAN)</i>	28
2.5.1. Konfigurasi <i>Wireless LAN</i>	29
2.5.2. Standar IEEE. 802.11.....	30

BAB III. METODOLOGI

3.1. Umum.....	32
3.2. Studi Literatur.....	32
3.3. Pengumpulan Data	32
3.4. Perancangan dan Simulasi.....	32
3.5. Perancangan (Realisasi).....	33
3.6. Pengukuran.....	37
3.7. Analisis Antena.....	36
3.8. Pengambilan Kesimpulan dan Saran.....	37

BAB IV. PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ANTENA MIKROSTRIP

EQUILATERAL TRIANGULAR ARRAY 2x2

4.1. Tinjauan Umum	40
4.2. Spesifikasi Substrat dan Bahan Konduktor	40
4.3. Perancangan Dimensi Elemen Peradiasi	41
4.4. Simulasi Dimensi Satu Elemen Peradiasi	43
4.5. Optimasi Satu Elemen Peradiasi.....	45
4.6. Perancangan Antena <i>Array</i> Dua Elemen.....	51
4.7. Optimasi Antena <i>Array</i> Dua Elemen	54
4.8. Perancangan Antena <i>Array</i> Empat Elemen.....	62
4.9. Optimasi Antena <i>Array</i> Dua Elemen.....	66
4.10. Analisis Hasil Simulasi	73
4.11. Pembuatan Antena Mikrostrip.....	75
4.11.1. Alat-alat dan bahan yang digunakan.....	75
4.11.2. Pencetakan pola antena mikrostrip pada substrat.....	76
4.11.3. <i>Etching</i>	77

BAB V. PENGUKURAN DAN ANALISIS ANTENA MIKROSTRIP

EQUILATERAL TRIANGULAR ARRAY 2x2

5.1. Pendahuluan.....	78
5.2. Pengukuran <i>Return Loss</i> , Perhitungan VSWR dan Koefisien Pantul	78
5.2.1. Alat-alat yang digunakan	78
5.2.2. Prosedur pengukuran	79
5.2.3. Hasil pengukuran.....	79
5.2.4. Analisis hasil pengukuran	82
5.3. Pengukuran <i>Gain</i> Antena	82
5.3.1. Alat-alat yang digunakan	82
5.3.2. Prosedur pengukuran	83
5.3.3. Hasil pengukuran.....	83
5.3.4. Analisis hasil pengukuran	85
5.4. Pengujian Polarisasi.....	85
5.4.1. Alat-alat yang digunakan	85
5.4.2. Prosedur pengukuran	85
5.4.3. Hasil pengukuran.....	86
5.4.4. Analisis hasil pengukuran	88
5.5. Pengujian Pola Radiasi.....	89
5.5.1. Alat-alat yang digunakan	89
5.5.2. Prosedur pengukuran	89
5.5.3. Hasil pengukuran.....	90
5.5.4. Analisis hasil pengukuran	94
5.6. Perhitungan Keterarahan (<i>Directivity</i>).....	95
5.6.1. Cara perhitungan.....	95
5.6.2. Hasil Perhitungan.....	95
5.7. Perhitungan <i>Bandwidth</i>	96
5.8. Analisis Parameter Antena.....	96

BAB VI. PENUTUP

6.1. Kesimpulan	98
6.2. Saran	99

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN



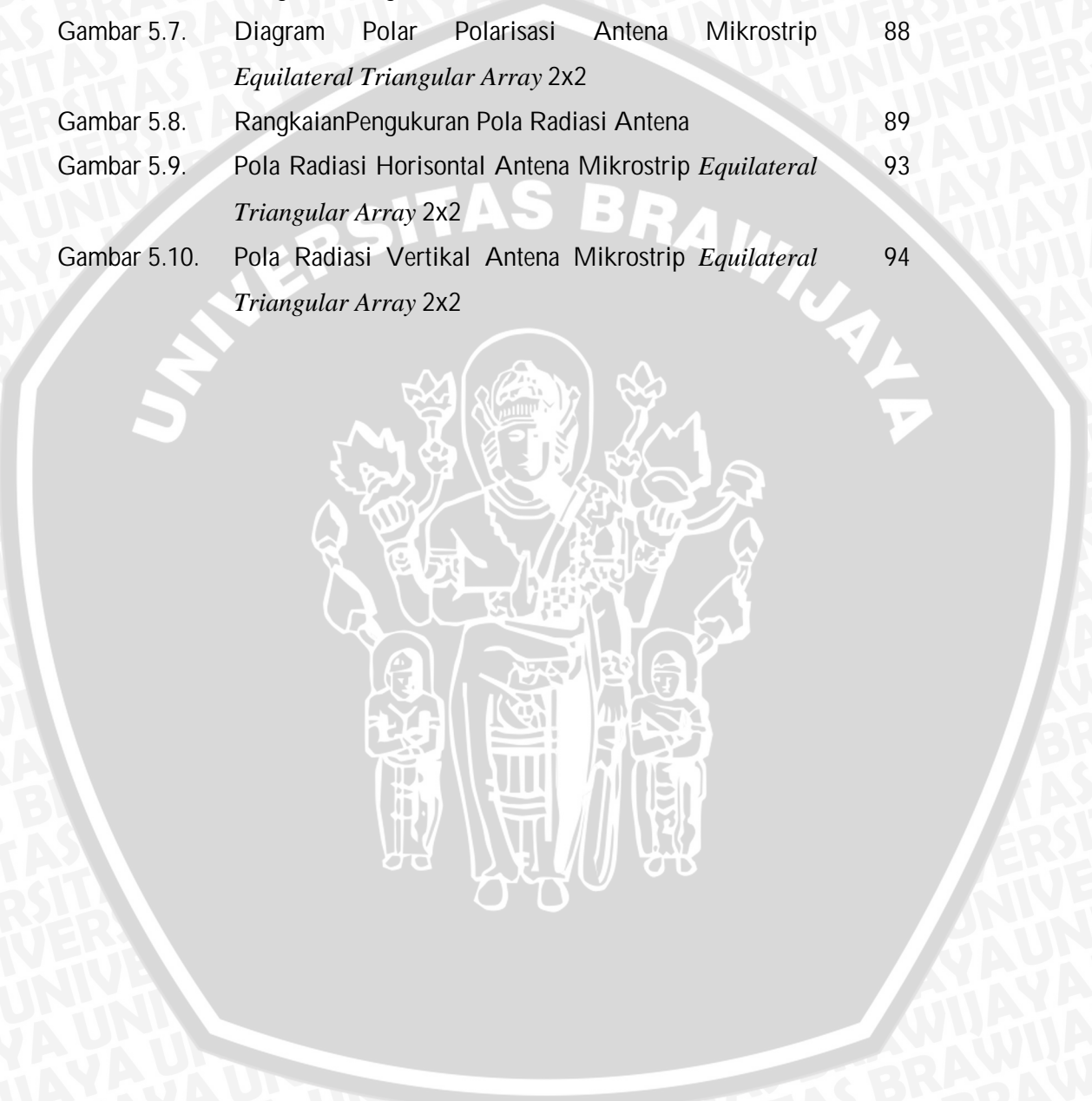
DAFTAR GAMBAR

No	Judul	Halaman
Gambar 2.1.	Gelombang dengan Polarisasi Linier	6
Gambar 2.2.	Pembagian Daerah Medan Radiasi Antena	7
Gambar 2.3a.	Pola Medan Radiasi Antena	9
Gambar 2.3b.	Pola Radiasi Antena dalam Koordinat Rectangular dan Skala dB.	9
Gambar 2.4.	Pengukuran <i>Bandwidth</i> Berdasarkan <i>Plot Return Loss</i>	13
Gambar 2.5.	Struktur Antena Mikrostrip	14
Gambar 2.6.	Macam-macam Bentuk Elemen Mikrostrip	14
Gambar 2.7.	Dua Antena Dipol yang Disusun Secara Paralel (Linier <i>Array</i>)	15
Gambar 2.8.	Antena Dipol <i>Array</i> 2x3 dengan <i>Groundplane</i>	16
Gambar 2.9.	Pengaturan <i>Feed</i> pada Antena Mikrostrip <i>Array</i>	17
Gambar 2.10.	Pola Medan Antena Dipol	18
Gambar 2.11.	Pola Medan Dua Antena Dipol (Horisontal) dengan Jarak $l/4$ dan Beda Fasa 0°	19
Gambar 2.12.	Pola Medan Dua Antena Dipol (Horisontal) dengan Jarak $l/4$ dan Beda Fasa $\bullet/2$	20
Gambar 2.13.	Pola Medan Dua Antena Dipol (Horisontal) dengan Jarak $l/4$ dan Beda Fasa $-\bullet/2$	21
Gambar 2.14.	Susunan Dua Antena <i>Linear Array</i>	22
Gambar 2.15.	Susunan Antena <i>Linear Array</i> n Elemen	23
Gambar 2.16.	Susunan Antena <i>Planar Array</i> Dimensi $M \times N$	24
Gambar 2.17.	Dua Antena yang Disusun Secara Paralel Horisontal	25
Gambar 2.18.	<i>Beamwidth</i> Antena <i>Planar Array</i>	26
Gambar 2.19a.	<i>Microstrip Bend</i>	28
Gambar 2.19b.	<i>T Junction</i>	28
Gambar 2.20.	Konfigurasi WLAN dengan Directional Antena	29

Gambar 4.1.	Bentuk <i>Equivalent</i> Antara <i>Rectangular</i> dan <i>Triangular Patch</i>	42
Gambar 4.2.	Tampilan <i>Zeland IE3DTM</i> Antena <i>Equilateral Triangular</i> Satu Elemen	43
Gambar 4.3.	Grafik Hasil Simulasi VSWR Satu Elemen Sebelum Optimasi	44
Gambar 4.4.	Grafik Hasil Simulasi <i>Return Loss</i> Satu Elemen Sebelum Optimasi	44
Gambar 4.5.	Hasil Optimasi Antena Mikrostrip <i>Equilateral Triangular</i> Satu Elemen	47
Gambar 4.6.	Grafik Hasil Simulasi VSWR Satu Elemen Setelah Optimasi	48
Gambar 4.7.	Grafik Hasil Simulasi <i>Return Loss</i> Satu Elemen Setelah Optimasi	49
Gambar 4.8.	Grafik Hasil Simulasi Optimasi Nilai <i>Directivity</i> Satu Elemen	49
Gambar 4.9a.	Grafik Hasil Simulasi Optimasi Nilai <i>Gain</i> Satu Elemen	50
Gambar 4.9b.	<i>Gain Pattern</i> 3D Satu Elemen	50
Gambar 4.10.	Antena Mikrostrip <i>Equilateral Triangular Array</i> Dua Elemen	51
Gambar 4.11.	Antena Mikrostrip <i>Equilateral Triangular Array</i> Sebelum Optimasi	53
Gambar 4.12.	Grafik Hasil Simulasi VSWR <i>Array</i> Dua Elemen Sebelum Optimasi	53
Gambar 4.13.	Grafik Hasil Simulasi <i>Return Loss Array</i> Dua Elemen Sebelum Optimasi	54
Gambar 4.14.	Antena Mikrostrip <i>Equilateral Triangular Array</i> Setelah Optimasi	58
Gambar 4.15.	Grafik Hasil Simulasi Optimasi VSWR <i>Array</i> Dua Elemen	58

Gambar 4.16.	Grafik Hasil Simulasi Optimasi <i>Return Loss Array</i> Dua Elemen	59
Gambar 4.17.	Grafik Hasil Simulasi Optimasi Nilai <i>Directivity Array</i> Dua Elemen	60
Gambar 4.18a.	Grafik Hasil Optimasi <i>Gain Array</i> Dua Elemen	61
Gambar 4.18b.	<i>Gain Pattern</i> 3D <i>Array</i> Dua Elemen	61
Gambar 4.19.	Antena Mikrostrip <i>Equilateral Triangular Array</i> Empat Elemen	62
Gambar 4.20.	Antena Mikrostrip <i>Equilateral Triangular Array</i> Sebelum Optimasi	64
Gambar 4.21.	Grafik Hasil Simulasi <i>VSWR Array</i> Empat Elemen Sebelum Optimasi	65
Gambar 4.22.	Grafik Hasil Simulasi <i>Return Loss Array</i> Empat Elemen Sebelum Optimasi	66
Gambar 4.23.	Antena Mikrostrip <i>Equilateral Triangular Array</i> Setelah Optimasi	68
Gambar 4.24.	Grafik Hasil Simulasi Optimasi <i>VSWR Array</i> Empat Elemen	69
Gambar 4.25.	Grafik Hasil Simulasi Optimasi <i>Return Loss Array</i> Empat Elemen	70
Gambar 4.26.	Grafik Hasil Simulasi Optimasi Nilai <i>Directivity Array</i> Empat Elemen	71
Gambar 4.27a.	Grafik Hasil Optimasi <i>Gain Array</i> Empat Elemen	72
Gambar 4.27b.	<i>Gain Pattern</i> 3D <i>Array</i> Empat Elemen	72
Gambar 4.28.	Grafik Perbandingan Hasil Simulasi <i>VSWR</i> Satu Elemen, Dua Elemen, dan Empat Elemen	73
Gambar 4.29.	Grafik Perbandingan Hasil Simulasi <i>Return Loss</i> Satu Elemen, Dua Elemen, dan Empat Elemen	74
Gambar 4.30.	Grafik Perbandingan Hasil Simulasi <i>Directivity</i> Satu Elemen, Dua Elemen, dan Empat Elemen	74
Gambar 4.31.	Grafik Perbandingan Hasil Simulasi <i>Gain</i> Satu Elemen, Dua Elemen, dan Empat Elemen	75
Gambar 5.1.	Rangkaian Pengukuran <i>Return Loss</i>	79

Gambar 5.2.	Grafik Fungsi <i>Return Loss</i> Terhadap Frekuensi	81
Gambar 5.3.	Grafik Fungsi Koefisien Pantul Terhadap Frekuensi	81
Gambar 5.4.	Grafik Fungsi VSWR Terhadap Frekuensi	82
Gambar 5.5.	Rangkaian Pengukuran <i>Gain</i> Antena	83
Gambar 5.6.	Rangkaian Pengukuran Polarisasi Antena	86
Gambar 5.7.	Diagram Polar Polarisasi Antena Mikrostrip <i>Equilateral Triangular Array 2x2</i>	88
Gambar 5.8.	Rangkaian Pengukuran Pola Radiasi Antena	89
Gambar 5.9.	Pola Radiasi Horizontal Antena Mikrostrip <i>Equilateral Triangular Array 2x2</i>	93
Gambar 5.10.	Pola Radiasi Vertikal Antena Mikrostrip <i>Equilateral Triangular Array 2x2</i>	94



DAFTAR TABEL

No	Judul	Halaman
Tabel 2.1.	Standar IEEE 802.11	31
Tabel 4.1.	Nilai VSWR dengan Optimasi Posisi <i>Feed</i> pada Dimensi 37,94 mm	46
Tabel 4.2.	Nilai VSWR dengan Optimasi Dimensi Elemen Peradiasi	47
Tabel 4.3.	Nilai VSWR dengan Optimasi Kedalaman <i>Inset Feed</i> (y_0)	55
Tabel 4.4.	Nilai VSWR dengan Optimasi Panjang Saluran <i>Inset Feed</i> (L_1)	56
Tabel 4.5.	Nilai VSWR dengan Optimasi Panjang Saluran Antar Elemen (L_1 dan L_2)	57
Tabel 4.6.	Nilai VSWR dengan Optimasi y_0 , L_1 , L_1 , dan L_2	67
Tabel 5.1.	Hasil Pengukuran <i>Return Loss</i> , Perhitungan VSWR dan Koefisien Pantul Antena Mikrostrip <i>Equilateral Triangular Array 2x2</i>	80
Tabel 5.2.	Hasil Pengukuran <i>Gain</i> Antena Mikrostrip <i>Equilateral Triangular Array 2x2</i>	84
Tabel 5.3.	Hasil Pengukuran Polarisasi Antena Mikrostrip <i>Equilateral Triangular Array 2x2</i> pada Frekuensi 2440 MHz.	87
Tabel 5.4.	Hasil Pengukuran Pola Radiasi Horisontal Antena Mikrostrip <i>Equilateral Triangular Array 2x2</i> pada Frekuensi 2440 MHz.	91
Tabel 5.5.	Hasil Pengukuran Pola Radiasi Vertikal Antena Mikrostrip <i>Equilateral Triangular Array 2x2</i> pada Frekuensi 2440 MHz.	92

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1. Langkah-Langkah Simulasi
- Lampiran 2. Dokumentasi Pengukuran
- Lampiran 3. Referensi Pengukuran



RINGKASAN

DANY KURNIAWAN, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Juli 2010, *Perancangan dan Pembuatan Antena Mikrostrip Equilateral Triangular Array 2x2 untuk Komunikasi Wireless Local Area Network (WLAN) 2,4 GHz.*, Dosen Pembimbing : Erfan Achmad Dahlan dan Ali Mustofa.

Kebutuhan akan teknologi WLAN pada frekuensi 2,4 GHz semakin menuntut *device* yang digunakan mempunyai performa yang optimal, termasuk antena. Oleh sebab itu diperlukan antena yang memiliki karakteristik dimensi kecil dan antena tipe mikrostrip dapat menjadi alternatif pilihan. Penelitian yang dilakukan terhadap antena mikrostrip ini juga semakin banyak, salah satunya pada bentuknya yang beragam. Antena mikrostrip dengan bentuk *equilateral triangular* memiliki kelebihan dalam hal dimensi yang lebih kecil dibandingkan dengan bentuk *square* maupun *rectangular* yang sekarang umumnya dipakai sebagai antena WLAN.

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

Pada perancangan dan pembuatan antena, digunakan substrat *Epoxy Fiberglass* FR-4 dengan konstanta dielektrik (ϵ_r) = 4,5. Elemen peradiasi berbentuk *equilateral triangular* yang disusun secara *array* dengan dimensi 2x2. Antena hasil perancangan disimulasikan dengan *software* simulator *IE3DTM*. Setelah memenuhi parameter yang diinginkan, dilakukan fabrikasi antena dan pengukuran terhadap parameter-parameter antena hasil fabrikasi tersebut.

Hasil pengukuran antena mikrostrip *Equilateral Triangular Array 2x2* yaitu nilai VSWR pada frekuensi tengah (2440) sebesar 1.263; *return loss* sebesar -18.7 dB; nilai *gain* rata-rata pada frekuensi 2400-2483,5 MHz sebesar 8,72 dBi; nilai *directivity* sebesar 16,58 dBi dan polarisasi linier. Bentuk pola radiasi adalah *unidirectional* dengan $f_{HP}^o = 30^o$ dan $q_{HP}^o = 30^o$. Berdasarkan parameter-parameter tersebut antena hasil perancangan ini dapat bekerja dengan baik pada frekuensi yang diinginkan yaitu 2400-2483,5 MHz.

Kata kunci : antena mikrostrip, *equilateral triangular*, WLAN 2,4 GHz.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kemajuan teknologi komunikasi menunjukkan perkembangan yang sangat pesat, hal ini terbukti dengan terciptanya peralatan komunikasi yang dapat mengirim informasi yang diinginkan (suara, data/gambar atau video) yang semakin canggih. Informasi dapat disajikan dalam waktu yang sangat singkat meskipun dalam jarak yang sangat jauh.

Kemajuan teknologi yang paling berkembang akhir-akhir ini adalah komunikasi *wireless*, mulai dari penggunaan komunikasi suara hingga komunikasi data yang juga menggunakan perangkat canggih yang semakin memudahkan pengiriman informasi. Banyak teknologi yang dikembangkan agar perangkat komunikasi yang digunakan dapat lebih mudah, lebih cepat dan lebih praktis dengan kualitas yang semakin baik. Teknologi *wireless* yang berkembang pesat saat ini diantaranya adalah *wireless local area network (wireless LAN)*. Keunggulan jaringan nirkabel ini adalah praktis dan tidak rumit dalam penggunaannya karena merupakan sistem komunikasi data fleksibel yang digunakan untuk menggantikan atau memperluas jaringan kabel (*wired LAN*).

Salah satu komponen penting dalam komunikasi *wireless LAN* adalah antena. Kualitas dari antena yang digunakan mempengaruhi kualitas komunikasi itu sendiri. Dalam perkembangannya, kebutuhan antena sebagai salah satu perangkat telekomunikasi harus dibuat dengan dimensi yang kecil, fleksibel, praktis namun tetap berkualitas. Salah satu jenis antena yang berkembang saat ini adalah antena mikrostrip. Antena mikrostrip 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. Antena mikrostrip bekerja pada alokasi *ultra high frequency (UHF)* 300 MHz – 3 GHz sampai dengan *X Band* (5,2 GHz – 10,9 GHz), sehingga antena mikrostrip dapat juga digunakan untuk antena telepon selular/*wireless* maupun komunikasi satelit. Antena mikrostrip dengan *patch* bentuk segitiga sama sisi (*equilateral triangular*) sendiri ditengarai memiliki dimensi yang lebih kecil daripada bentuk-bentuk yang telah banyak ditemui (*rectangular, circular*) dan *loss radiation power* yang lebih kecil. Ini tentunya akan dapat memperbaiki performansi antena.

Perancangan dan pembuatan antena mikrostrip akan menggunakan substrat FR4 dengan elemen peradiasi berbentuk segitiga sama sisi (*equilateral triangular*) dengan slot yang disusun secara *array* dengan jumlah elemen peradiasi 4 elemen. Frekuensi kerja yang direncanakan adalah 2400 MHz. – 2483,5 MHz.

Dalam penulisan skripsi ini. Simulasi dengan menggunakan *software Zeland IE3D™* dengan substrat FR4.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penulisan skripsi ini adalah:

1. Bagaimana merancang dan membuat antena mikrostrip *Equilateral Triangular Array 2x2* untuk komunikasi WLAN 2,4 GHz.
2. Bagaimana mensimulasikan antena mikrostrip *Equilateral Triangular Array 2x2* dengan menggunakan program *Zeland IE3D™*.
3. Bagaimana hasil pengukuran terhadap antena untuk mengetahui performansi antena yang meliputi *return loss*, *Voltage Standing Wave Ratio (VSWR)*, koefisien pantul, *gain*, pola radiasi, dan polarisasi.

1.3 Batasan Masalah

Dalam skripsi ini pembahasan difokuskan pada:

1. Antena yang dirancang adalah antena mikrostrip *equilateral triangular array* dengan nilai *VSWR* < 2 pada rentang pita frekuensi yang diinginkan yaitu 2400 MHz. – 2483,5 MHz.
2. Antena yang dirancang berfungsi sebagai antena *receiver*.
3. Antena yang dirancang mempunyai nilai impedansi input 50 • .
4. Pengukuran menggunakan *Aeroflex IFR 3413 Signal Generator* 250 kHz – 3 GHz, dan *GW Instek Spectrum Analyzer* 2,7 GHz.
5. Pengukuran parameter antena meliputi *return loss*, *VSWR*, koefisien pantul, *gain*, pola radiasi, dan polarisasi.
6. Rugi-rugi perambatan gelombang elektromagnetik tidak diperhitungkan.

1.4 Tujuan

Tujuan dalam penulisan skripsi ini adalah merancang dan merealisasikan antena mikrostrip *equilateral triangular array* pada frekuensi 2400 MHz. – 2483,5 MHz.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan skripsi ini adalah sebagai berikut :

BAB I Pendahuluan

Memuat latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, metodologi dan sistematika penulisan.

BAB II Dasar teori

Membahas teori dasar yang berhubungan dengan perencanaan dan pembuatan antena mikrostrip.

BAB III Metodologi

Menjelaskan tentang metode yang digunakan dalam penulisan skripsi yang terdiri atas studi literatur, pengambilan dan pengumpulan data, analisis data serta pengambilan kesimpulan dan saran

BAB IV Perancangan, simulasi dan fabrikasi

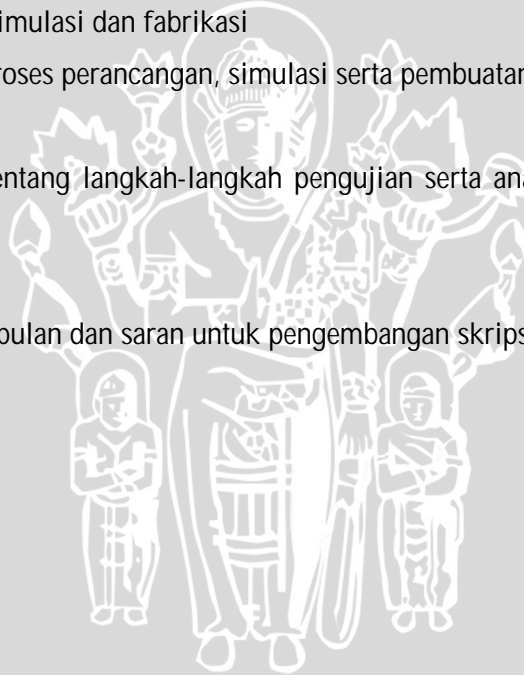
Menjelaskan proses perancangan, simulasi serta pembuatan antena,

BAB V Pengujian

Menjelaskan tentang langkah-langkah pengujian serta analisis terhadap hasil pengujian.

BAB VI Penutup

Memuat kesimpulan dan saran untuk pengembangan skripsi ini lebih lanjut.



BAB II

DASAR TEORI

2.1 Konsep Dasar dan Parameter Antena

Antena merupakan bagian 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, 1982 :17).

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

Parameter-parameter antena adalah suatu hal yang sangat penting untuk menjelaskan unjuk kerja suatu antena. Berkaitan dengan penulisan skripsi ini, diperlukan beberapa parameter-parameter antena yang akan memberi informasi unjuk kerja suatu antena.

2.1.1 Impedansi terminal antena

Impedansi terminal antena perlu diketahui, hal ini untuk keperluan pemindahan daya dari atau menuju antena. Secara umum impedansi terminal antena didefinisikan sebagai impedansi yang ditimbulkan antena pada terminalnya, dapat dituliskan (Balanis, 1982) :

$$Z_A = R_A + jX_A \quad (2.1)$$

dengan :

Z_A = impedansi terminal antena (•)

R_A = resistansi terminal antena (•)

X_A = reaktansi terminal antena (•)

Daya total yang disuplai ke antena adalah (Balanis, 1982) :

$$P_{in} = I^2 R_A \quad (2.2)$$

dengan daya yang dipancarkan :

$$P_{rad} = I^2 R_{rad} \quad (2.3)$$

dengan :

P_{in} = daya input antena (*watt*)

I = arus (I_{rms}) pada terminal antena (*ampere*)

P_{rad} = daya yang diradiasikan antena (*watt*)

Impedansi antena juga dapat diperoleh dari koefisien pantul dengan persamaan sebagai berikut (Edgar Hund, 1989: 44) :

$$|\Gamma| = \left| \frac{Z_{ant} - Z_c}{Z_{ant} + Z_c} \right| \quad (2.4)$$

sehingga dapat diturunkan menjadi :

$$\Gamma(Z_{ant} + Z_c) = Z_{ant} - Z_c$$

$$\Gamma Z_{ant} + \Gamma Z_c = Z_{ant} - Z_c$$

$$\Gamma Z_c + Z_c = Z_{ant} - \Gamma Z_{ant}$$

$$Z_c(1 + \Gamma) = Z_{ant}(1 - \Gamma)$$

$$Z_{ant} = Z_c \left(\frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \right) \quad (2.5)$$

dengan :

Z_{ant} = impedansi antena (\bullet)

Z_c = impedansi karakteristik (\bullet)

Γ = koefisien pantul

2.1.2 Polarisasi

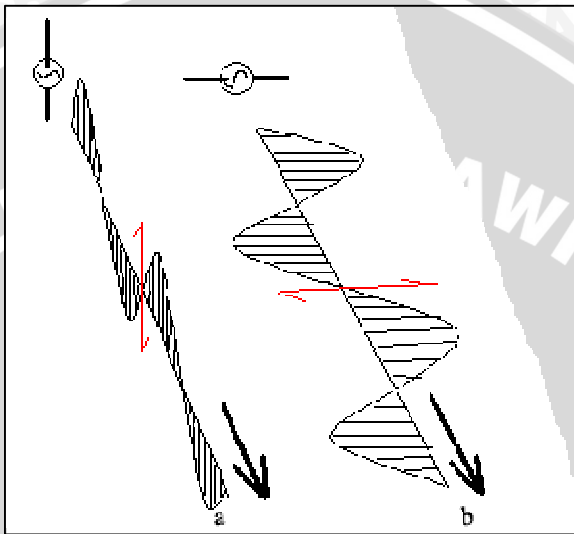
Polarisasi digambarkan sebagai arah vektor gelombang medan elektrik yang diradiasikan. Polarisasi juga dapat diartikan sebagai arah getaran gelombang radio atau dalam bahasa yang lebih tepat adalah arah medan elektrik gelombang radio yang dibangkitkan dari sebuah antena.

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

Kedua antena, baik pada pemancar maupun pada penerima, harus memiliki polarisasi yang sama agar gelombang yang dipancarkan dapat diterima secara

maksimum. Jika kedua antena yang terpolarisasi secara linier tidak sama orientasinya, maka akan terjadi penurunan *transfer* energi akibat ketidaksetaraan (*mismatch*) polarisasi.

Polarisasi linier terbagi menjadi dua macam bentuk polarisasinya, yaitu polarisasi linier secara horisontal dan secara vertikal. Berikut adalah gambar gelombang dengan polarisasi linier vertikal dan horisontal.

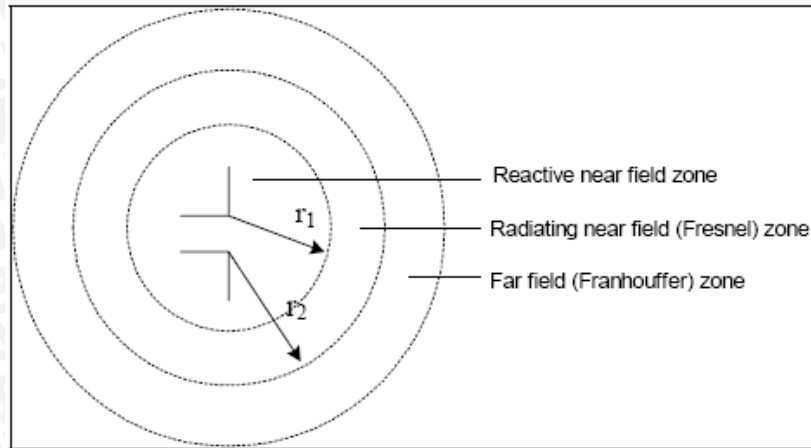


Gambar 2.1 : Gelombang dengan Polarisasi Linier :
vertikal (a), horisontal (b).

Sumber : www.signalengineering.com

2.1.3 Daerah medan radiasi

Daerah medan radiasi suatu antena adalah daerah di mana radiasi antena tersebut masih dapat diterima dengan baik. Daerah medan radiasi ini disebut juga jangkauan sinyal dari suatu antena sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 2.2 berikut.



Gambar 2.2 : Pembagian Daerah Medan Radiasi Antena

Sumber : Balanis, 1982: 22

dengan

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

$$r_2 = 2D^2/\lambda$$
(2.6)

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 :

$$r < 0,62\sqrt{D^3/\lambda}$$
(2.7)

dengan: r = jarak medan radiasi (m)

λ = panjang gelombang (m)

D = dimensi antena (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 antena.

Batas daerah ini :

$$0,62\sqrt{D^3/l} \leq \text{daerah Fresnel} < 2D^2/l \quad (2.8)$$

- *far-field (franhouffer) zone*

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

Batas daerah ini :

$$2D^2/l \leq r < \infty \quad (2.9)$$

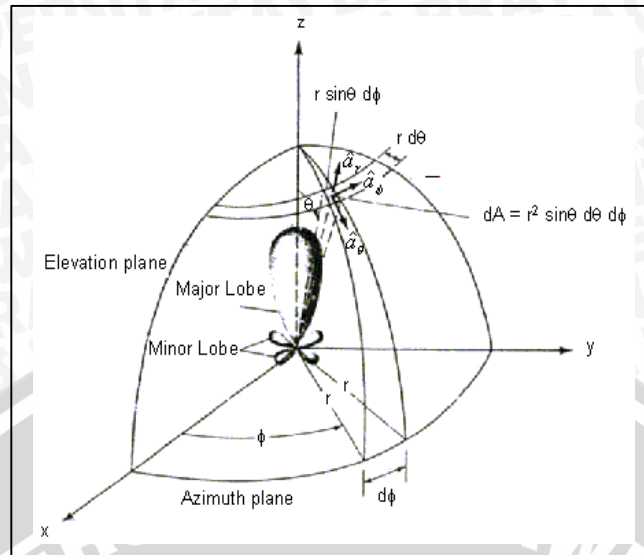
Pola medan pada daerah ini mempunyai komponen-komponen medan saling tegak lurus.

2.1.4 Pola radiasi

Karakteristik antenna seperti *beamwidth*, *front to back ratio* (F/B) akan lebih mudah ditentukan bila diketahui bentuk pola radiasinya. Pola radiasi antenna didefinisikan gambaran secara grafis sifat-sifat radiasi medan jauh dari antenna sebagai fungsi koordinat ruang (tiga dimensi). Sifat-sifat radiasi ini meliputi intensitas radiasi, kuat medan, dan polarisasi (Balanis, 1982).

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

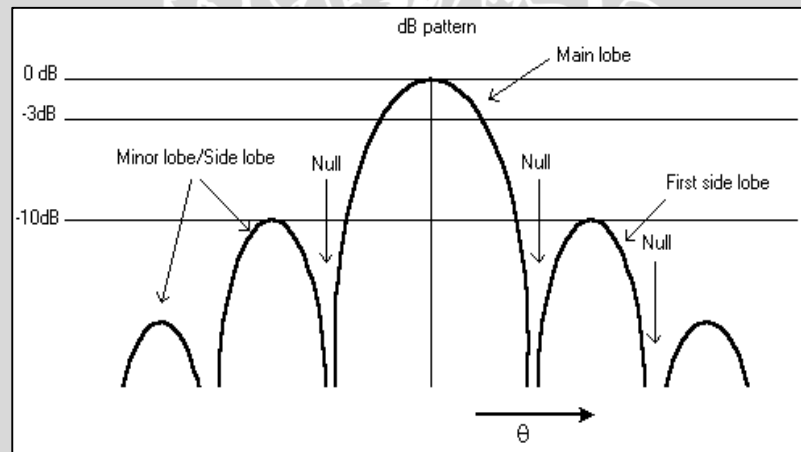
Pola radiasi dapat diukur dengan menggerakkan *probe* antenna di sekitar antenna yang diukur pada jarak yang tetap, kemudian mencatat respons sebagai fungsi koordinat sudut (θ, ϕ) pada *radius* konstan. Gambar 2.3a menunjukkan pola radiasi medan antenna.



Gambar 2.3a : Pola Medan Radiasi Antena

Sumber : Balanis, 1982

Sedangkan pola radiasi antena dalam koordinat *rectangular* dan skala dB ditunjukkan pada Gambar 2.3b berikut.



Gambar 2.3b : Pola Radiasi Antena dalam Koordinat

Rectangular dan Skala dB

Sumber : Balanis, 1982

2.1.5 Lobe-lobe pola radiasi dan *beamwidth*

Pola radiasi terdiri dari *lobe-lobe* radiasi yang meliputi *main lobe* dan *minor lobe*. *Main lobe* adalah arah radiasi maksimum antena. Sedangkan *minor lobe* yang terdiri dari *side lobe* dan *back lobe* adalah radiasi pada arah lain yang biasanya tidak dikehendaki.

Sebagian besar antenna dirancang untuk mengkonsentrasikan energi pada satu arah tertentu. Ukuran konsentrasi pada *main lobe* tersebut dinamakan *beamwidth*. *Half power beamwidth* (HPBW) didefinisikan sebagai sudut antara titik-titik di mana pada titik tersebut pancaran utama dari pola daya adalah setengah daya maksimum. *Beam area* adalah sudut *solid* dari daya yang diradiasikan antenna, yang terdiri dari *main beam area* dan *minor-lobe beam area* dengan rumusan sebagai berikut (Kraus, 1988) :

$$\Omega_A \approx \Omega_M + \Omega_m \quad (\text{steradian}) \quad (2.10)$$

dengan :

W_A = *beam area* (steradian) atau (*radian*²) atau (*derajat*²)

W_M = *main beam area* (steradian) atau (*radian*²) atau (*derajat*²)

W_m = *minor-lobe beam area* (steradian) atau (*radian*²) atau (*derajat*²)

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

$$\Omega_A \approx q_{HP} \cdot f_{HP} \quad (\text{steradian}) \quad (2.11)$$

atau

$$\Omega_A \approx 3283 \times q_{HP} \cdot f_{HP} \quad (\text{derajat}^2) \quad (2.12)$$

dengan :

q_{HP} = *half-power beam width* pada bidang q (*radian*)

f_{HP} = *half-power beam width* pada bidang f (*radian*)

W_A = *beam area* (steradian) atau (*radian*²) atau (*derajat*²)

2.1.6 Keterarahan (*directivity*)

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

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

$$D = \frac{4p_{(steradian)}}{qf_{(radia\text{r}^2)}} \tag{2.13}$$

1 steradian = 1 radian²

dengan :

D = directivity (tanpa satuan)

- = -3dB beamwidth pola radiasi vertikal (rad)
- = -3dB beamwidth pola radiasi horisontal (rad)

2.1.7 Gain antena

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

$$G = 1,64 \times \frac{P_U}{P_R} \tag{2.14}$$

$$G(dB) = 10 \log 1,64 \frac{P_U}{P_R} \tag{2.15}$$

dengan :

G = gain antena uji (dB)

P_U = daya yang diterima antena uji (W)

P_R = daya yang diterima antena referensi (W)

atau :

$$G_{(dBi)} = 2,15_{(dBi)} + P_{U(dBm)} - P_{R(dBm)} \tag{2.16}$$



2.1.8 Voltage standing wave ratio (VSWR)

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

$$\text{VSWR} = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \quad (2.17)$$

dengan • dapat diperoleh dari persamaan :

$$P_r = \Gamma^2 P_{out} \quad (2.18)$$

$$\Gamma^2 = \frac{P_r}{P_{out}} \quad (2.19)$$

dengan :

- = koefisien pantul
- P_r = daya terpantul (W)
- P_{out} = daya keluaran (W)

2.1.9 Lebar pita (*bandwidth*)

Bandwidth antenna didefinisikan sebagai jangkauan frekuensi, yang didalam jangkauan frekuensi ini unjuk kerja antenna berkenaan dengan beberapa karakteristiknya memenuhi standar yang dispesifikasikan (Balanis, 1982 : 47)

Bandwidth dapat pula diartikan sebagai *range* frekuensi pada kedua sisi frekuensi tengah (frekuensi resonansi) dimana karakteristik antenna lainnya berada pada nilai yang dapat diterima pada frekuensi tengah tersebut.

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

$$B_p = \frac{f_u - f_l}{f_c} \times 100\% \quad (2.20)$$

$$f_c = \frac{f_l + f_u}{2} \quad (2.21)$$

$$B_r = \frac{f_u}{f_l} \quad (2.22)$$

dengan :

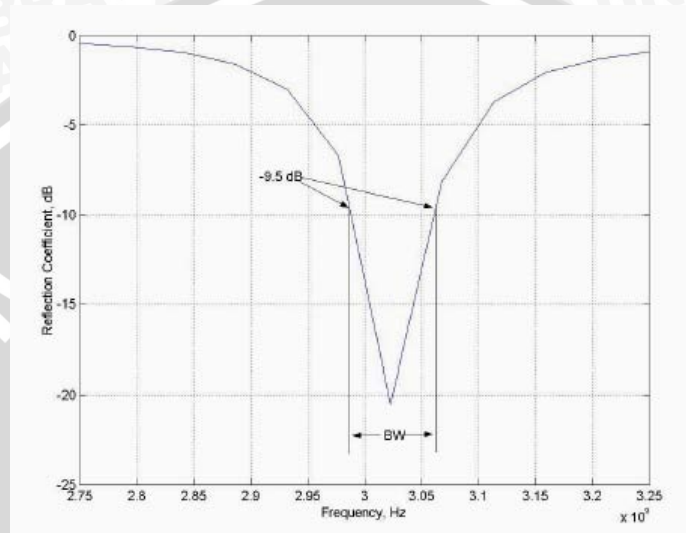
B_p = *bandwidth* dalam persen (%)

B_r = *bandwidth* rasio

f_u = jangkauan frekuensi atas

f_l = jangkauan frekuensi bawah

Gambar 2.4 menunjukkan pengukuran *bandwidth* berdasarkan *plot return loss*



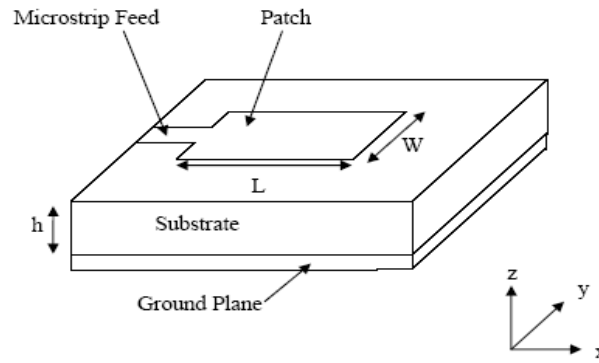
Gambar 2.4 : Pengukuran *Bandwidth* Berdasarkan *Plot Return Loss*

Sumber : Punit S. Nakar, 2004 : 22

2.2 Bentuk Umum Antena Mikrostrip

Antena mikrostrip adalah antena yang terdiri dari lapisan peradiasi (*patch*) yang ditanahkan. *Patch* bisa memiliki berbagai macam bentuk seperti lingkaran, segitiga, kotak atau persegi panjang. Kelebihan antena ini adalah pada segi fisik yang kecil dan ringan.

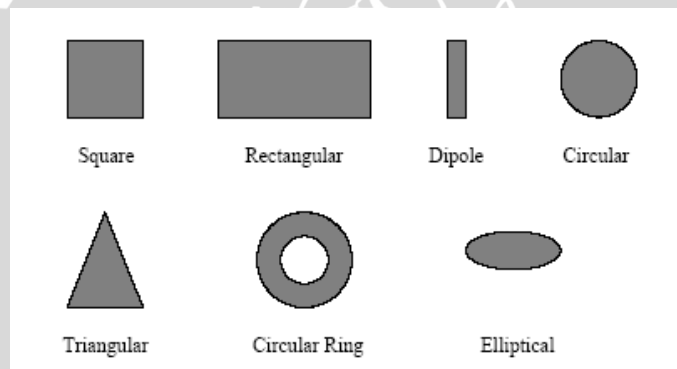
Dalam berbagai bentuk pada umumnya antena mikrostrip tersusun atas *patch* atau bidang radiasi pada satu sisi dan sisi lain adalah bidang pentanahan (*ground*) yang dibatasi oleh substrat tertentu dengan nilai *permitifitas* tertentu seperti ditunjukkan pada Gambar 2.5 berikut.



Gambar 2.5 : Struktur Antena Mikrostrip

Sumber : Punit S. Nakar, 2004 : 40

Antena mikrostrip mempunyai berbagai macam bentuk geometri dalam perancangan biasanya digunakan bentuk-bentuk yang sederhana seperti terdapat pada Gambar 2.6



Gambar 2.6 : Macam-Macam Bentuk Elemen Mikrostrip

Sumber : Punit S. Nakar, 2004 : 32

Setiap substrat memiliki nilai konstanta dielektrik (ϵ_r) yang berkisar antara $2.2 \leq \epsilon_r \leq 12$. Untuk performansi antena pemilihan substrat sangat berpengaruh, semakin tebal substrat maka konstanta dielektriknya kecil sehingga *bandwidth* juga semakin lebar tetapi dimensi akan bertambah besar begitu juga sebaliknya. Karena itu perlu dipikirkan antara bentuk antena dengan performansinya.

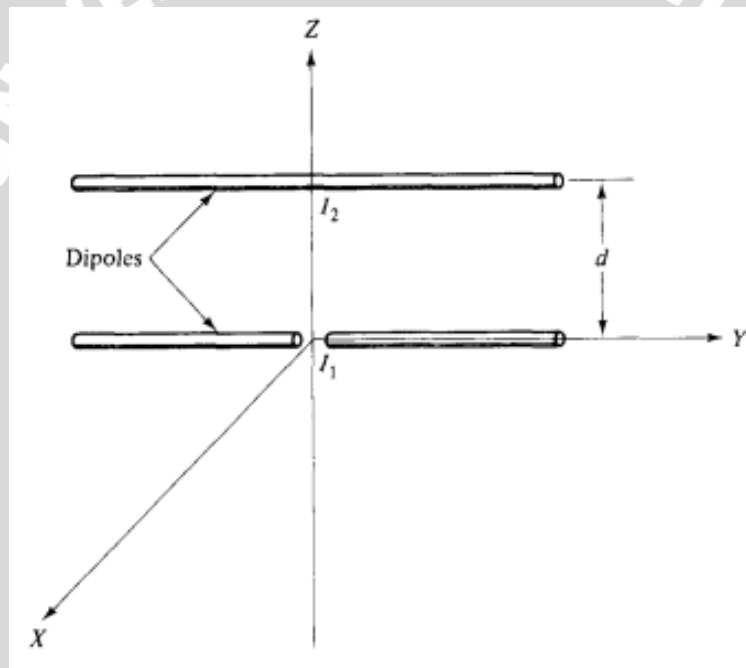
2.3 Antena Array

Pada umumnya, antena mikrostrip merupakan antena dengan *bandwidth* yang sempit. *Bandwidth* mikrostrip dapat ditingkatkan dengan menyusun beberapa elemen peradiasi secara *array* (*Antenna Handbook Vol. 2 Theory : 386*).

Antena dengan penguatan yang tinggi sangat diperlukan untuk komunikasi jarak jauh. Desain antena secara *array* merupakan salah satu solusi praktis untuk masalah ini. Dengan kata lain *array* adalah beberapa elemen antena yang disusun dan saling berhubungan untuk menghasilkan pola radiasi tertentu (Stutzman, 1981 : 108).

Setiap elemen mempunyai impedansi masing-masing, sedangkan saluran transmisi berfungsi me-*match*-kan antara impedansi elemen peradiasi dengan impedansi input antena.

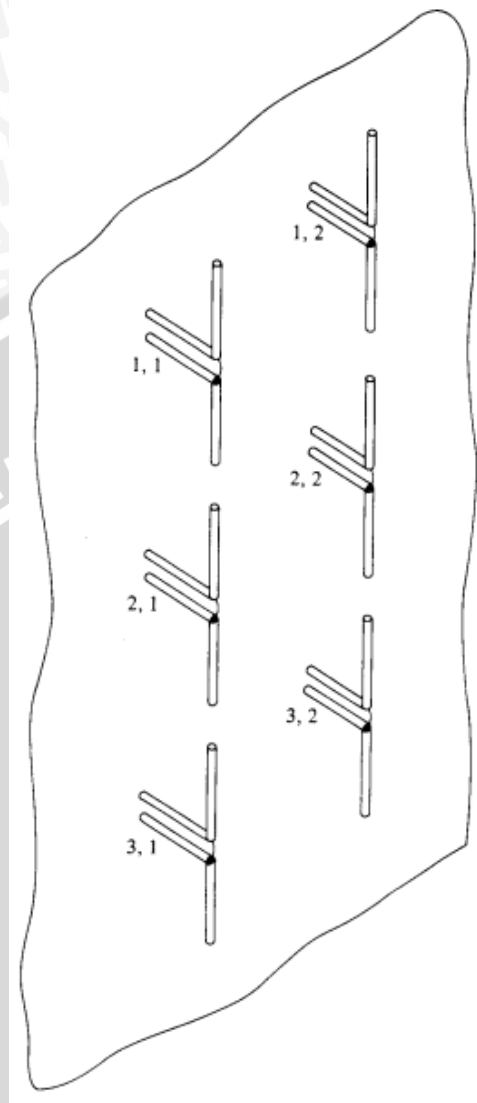
Konfigurasi geometris antena *array* terdiri atas *linier* dan *planar*. Disebut *array* linier bila pusat pusat elemen *array* terletak pada sepanjang garis lurus. Sedangkan apabila pusat-pusat elemen terletak pada sebuah bidang disebut *planar array*. Konfigurasi antena *linier array* dapat dilihat pada Gambar 2.7 berikut.



Gambar 2.7 : Dua Antena Dipol yang Disusun Secara Paralel (*Linier Array*)

Sumber : Wiley, Antenna Theory and Design : 389

Sedangkan untuk konfigurasi antena *planar array* dapat dilihat pada Gambar 2.8 berikut.



Gambar 2.8 : Antena *Dipole Array 2x3* dengan *Groundplane (Planar Array)*

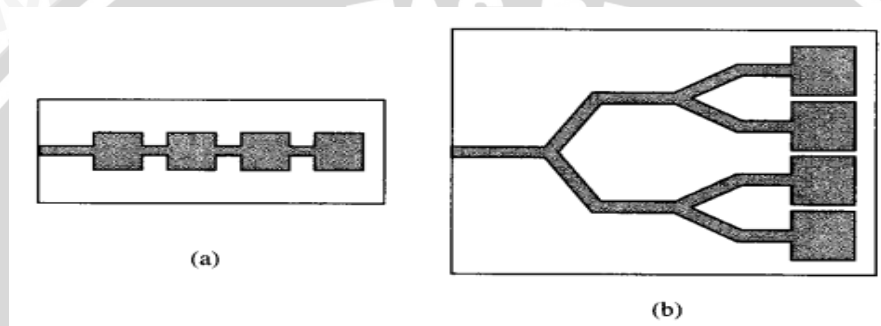
Sumber : Wiley, *Antenna Theory and Design* : 412

Pada antena *array* selain mempunyai keuntungan, juga mempunyai kerugian. Kerugiannya yaitu adanya kopel bersama (*mutual coupling*) yang terjadi antara elemen peradiasi dengan elemen peradiasi yang lain, antara elemen peradiasi dengan saluran transmisi maupun saluran transmisi dengan saluran transmisi yang lain. Tetapi kerugian ini dapat dikurangi dengan mengatur jarak antar elemen peradiasi. Keuntungan lain dalam perancangan antena *array* adalah akan dihasilkan penguatan (*gain*) yang lebih besar (Wiley, *Antenna Theory and Design* : 389). 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*, penguatannya juga akan semakin besar.

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

Pada antena mikrostrip *array* sendiri dikenal beberapa teknik pengaturan *feed*. Dua diantaranya adalah *series feed array* dan *corporate feed array*, seperti ditunjukkan Gambar 2.9 berikut.



Gambar 2.9 : Pengaturan *Feed* Pada Antena Mikrostrip *Array*

a. *Series Feed* b. *Corporate Feed*

Sumber : Balanis, 1982:773

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

$$r \geq 0,6l_d \tag{2.23}$$

dengan :

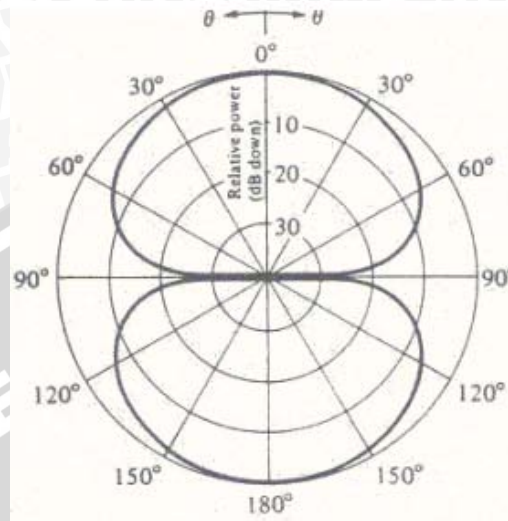
r = jarak antar elemen peradiasi (mm)

l_d = panjang gelombang pada saluran transmisi mikrostrip (mm)

Karakteristik antena *array*

- Pola Medan

Pola medan dari antena dipol dapat dilihat pada Gambar 2.10 berikut.

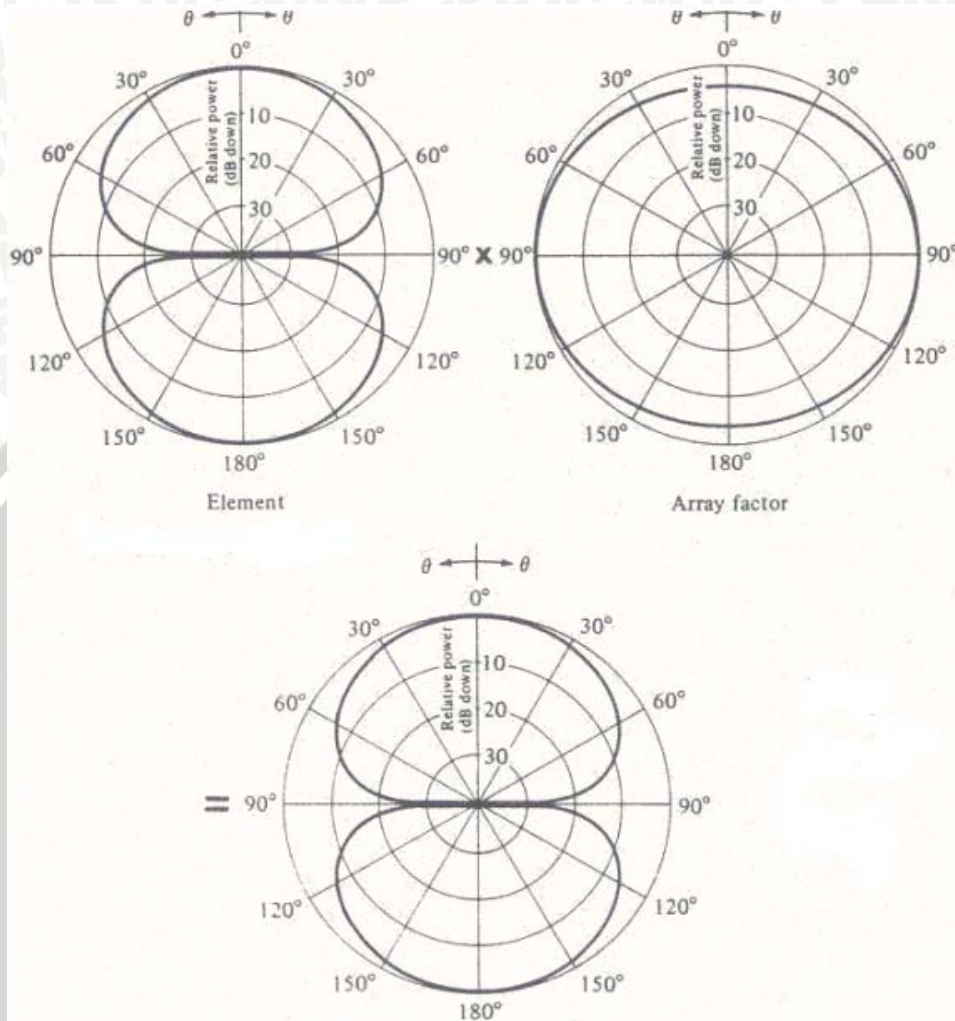


Gambar 2.10 : Pola Medan Antena Dipol

Sumber : *Balanis, pp.225, Fig.63*

Dari Gambar 2.10, dapat dilihat bahwa pola medan dari antena dipol mempunyai nilai minimal pada satu titik, yaitu pada sudut 90° .

Pola medan dari dua antenna dipol *array* (horisontal) dengan beda fasa 0° dapat dilihat pada Gambar 2.11 berikut.

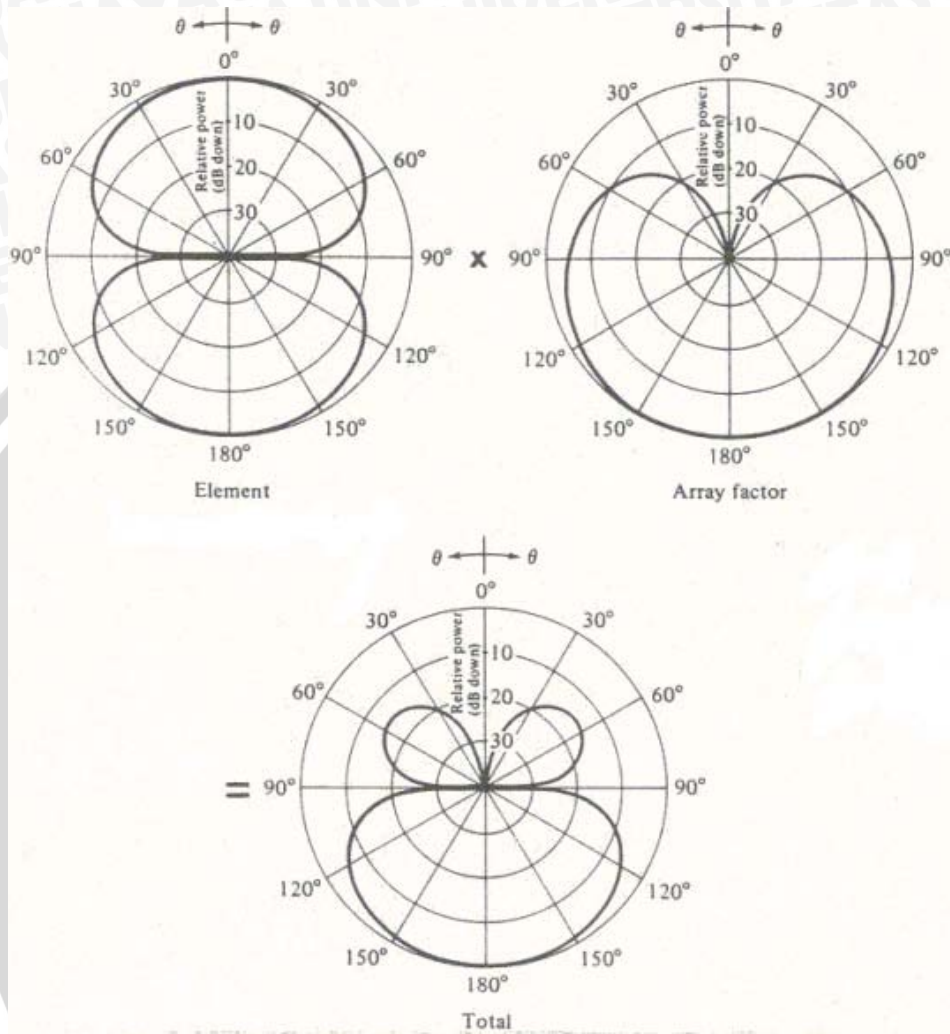


Gambar 2.11 : Pola Medan Dua Antena Dipol (Horisontal) dengan Jarak $l/4$ dan Beda Fasa 0°

Sumber : *Balanis, pp.225, Fig.6.3*

Dari Gambar 2.11, dapat diketahui bahwa pola medan dari antenna dipol *array* (horisontal) dengan beda fasa 0° mempunyai nilai minimal pada satu titik, yaitu pada sudut 90° .

Untuk dua dipol horisontal dengan beda fasa $\pi/2$ mempunyai pola medan seperti Gambar 2.12 berikut.

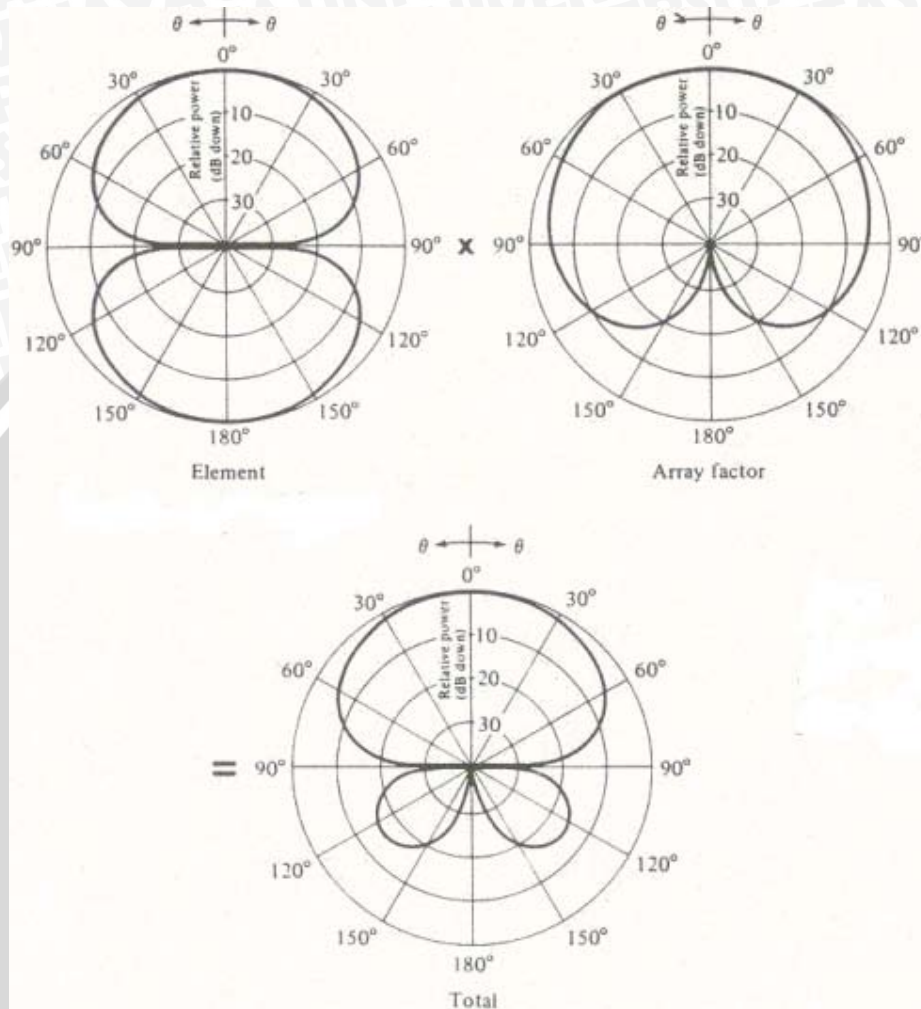


Gambar 2.12 : Pola Medan Dua Antena Dipol (Horisontal) dengan Jarak $\lambda/4$ dan Beda Fasa $\pi/2$

Sumber : *Balanis, pp.256, Fig.64*

Dari Gambar 2.12, dapat diketahui bahwa pola medan dari antena dipol *array* (horisontal) dengan beda fasa $\pi/2$ mempunyai nilai minimal pada dua titik, yaitu pada sudut 0° dan 90° .

Sedangkan untuk dua dipol horisontal dengan beda fasa $-\pi/2$ mempunyai pola medan seperti Gambar 2.13 berikut.



Gambar 2.13 : Dua Antena Dipol (Horisontal) dengan Jarak $l/4$ dan Beda Fasa $-\pi/2$

Sumber : *Balanis, pp 257, Fig.64b*

Dari Gambar 2.13, dapat diketahui bahwa pola medan dari antena dipol *array* (horisontal) dengan beda fasa $-\pi/2$ mempunyai nilai minimal pada dua titik, yaitu pada sudut 90° dan 180° .

Dari Gambar 2.10, 2.11, 2.12, dan 2.13 dapat dilihat bahwa pola medan antenna *array* dipengaruhi oleh *antenna factor*. Pola medan dari antenna yang disusun *array* dapat dinyatakan dengan rumus berikut.

$$f_n(\bullet, \bullet) = E_n(\bullet, \bullet) \times AF_n(\bullet, \bullet) \tag{2.24}$$

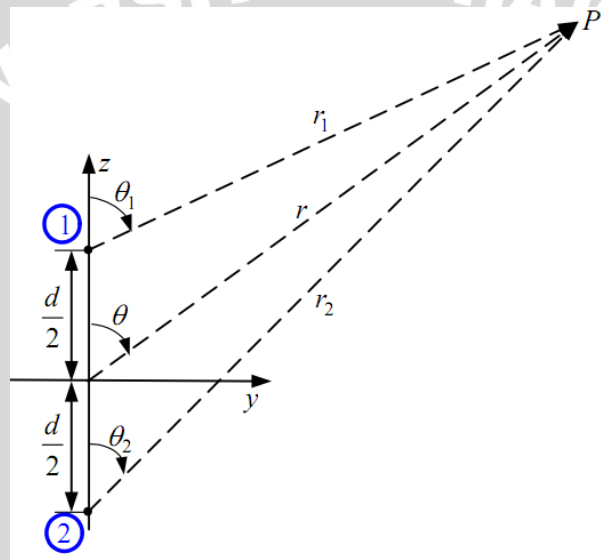
Dengan :

f_n : pola medan total

E_n : pola medan elemen tunggal

AF_n : *Antenna Factor* dengan n jumlah elemen

Gambar 2.14 berikut merupakan susunan antenna dua dipol *array*.



Gambar 2.14 : Susunan Dua Antena *Linear Array*

Sumber : *Antennas, Linear Array Theory, Part1 : 2*

Untuk antenna dua dipol *array* (horisontal), *antenna factor* dinyatakan dengan :

$$AF = 2 \cos\left(\frac{kd \cos\theta + \beta}{2}\right) \tag{2.25}$$

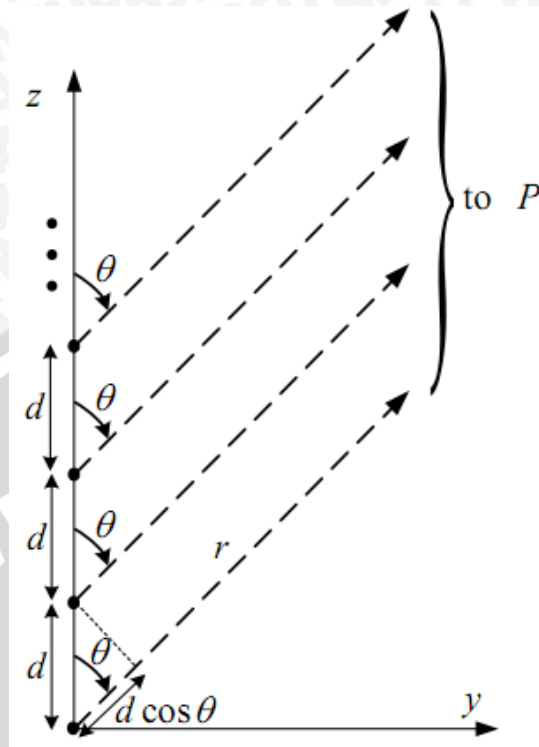
Dengan :

r_1, r_2 : jarak dari titik observasi (P)

β : beda fasa antar elemen

d : jarak antar elemen

Secara umum, antena *linear array* dapat dilihat pada Gambar 2.15 berikut.



Gambar 2.15 : Susunan Antena *Linear Array* *n* Elemen

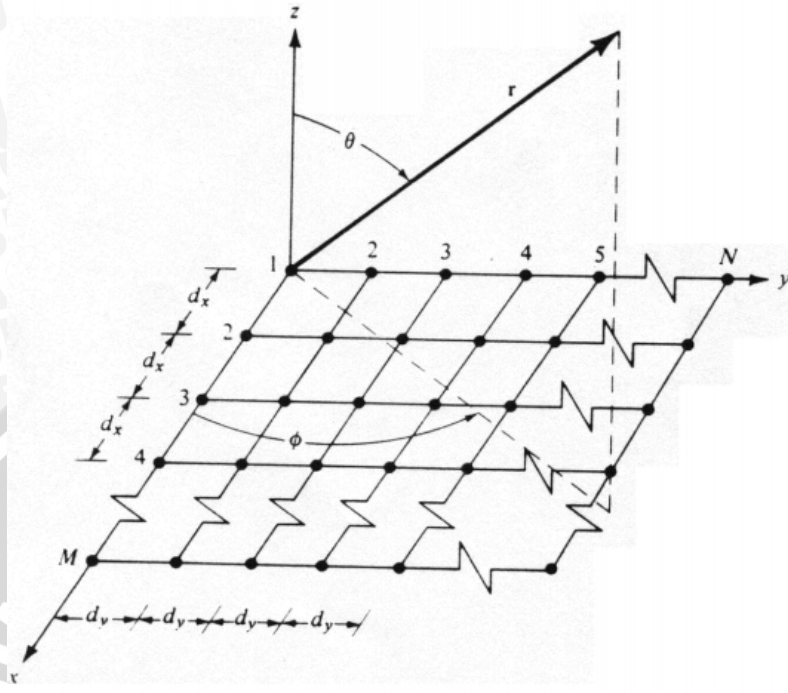
Sumber : *Antennas, Linear Array Theory, Part1* : 10

Dari Gambar 2.14, *antenna factor* dapat dinyatakan dengan :

$$AF = \sum_{n=1}^N e^{j(n-1)\psi} \tag{2.26}$$

dengan : $\psi = kd \cos \theta$

Berikutnya adalah antenna *planar array*, seperti Gambar 2.16 berikut.



Gambar 2.16 : Susunan Antena *Planar Array* Dimensi $M \times N$

Sumber : *Antennas, Planar Array, Circular Array : 1*

Untuk antenna *planar array*, antenna factor dinyatakan dengan :

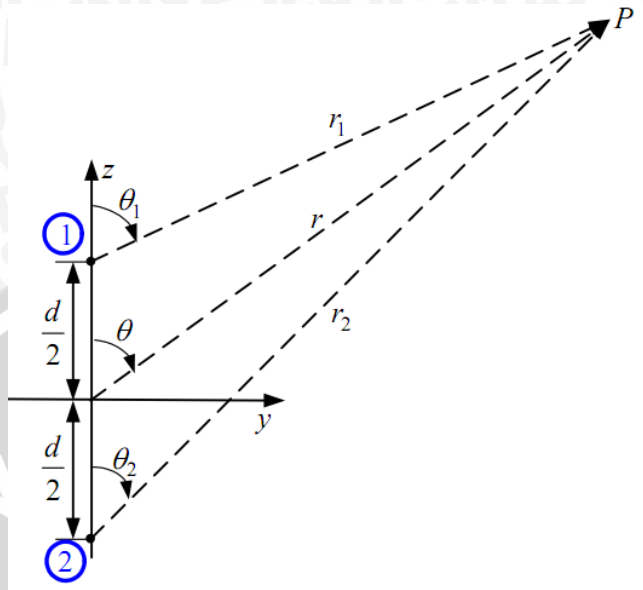
$$AF(\theta, \varphi) = \begin{pmatrix} 1 & \sin\left(\frac{M\psi_x}{2}\right) \\ M & \sin\left(\frac{\psi_x}{2}\right) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & \sin\left(\frac{N\psi_y}{2}\right) \\ N & \sin\left(\frac{\psi_y}{2}\right) \end{pmatrix} \quad (2.27)$$

Dengan :

- ψ_x : $kdx \sin\theta \cos\varphi + \alpha_x$
- ψ_y : $kdy \sin\theta \sin\varphi + \alpha_y$

- Directivity

Dua antena yang disusun *array* dapat dilihat pada Gambar 2.17 berikut.



Gambar 2.17 : Dua Antena yang Disusun Secara Paralel Horizontal

Sumber : *Antennas, Linear Array Theory, part1* : 2

Keterangan Gambar 2.17 :

- r_1, r_2 : jarak dari titik observasi (P)
- ϕ : beda fasa antar elemen
- d : jarak antar elemen

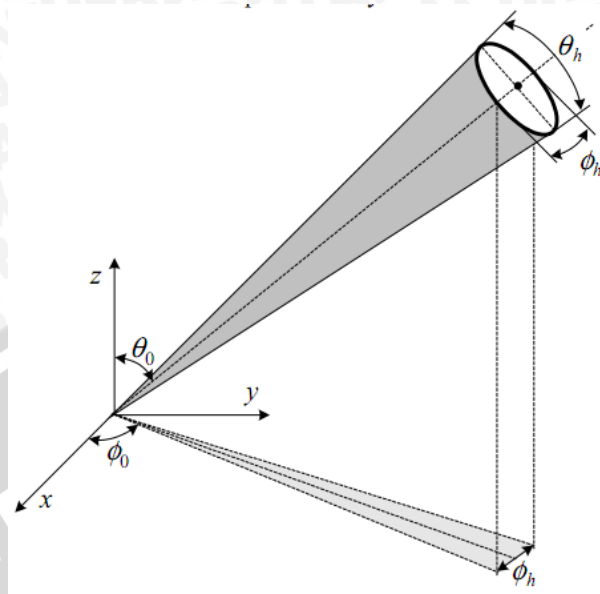
Untuk menghitung *directivity* antena dipol 2 elemen *array* horizontal, dapat digunakan rumus berikut.

$$D = 2 \left(1 + \frac{l}{d} \right) \left(\frac{d}{l} \right) \quad (2.28)$$

Dengan :

- D : *directivity*
- l : panjang *array* (mm)
- d : jarak antar elemen (mm)
- λ : panjang gelombang (mm)

Untuk antena *array* empat elemen, *beamwidth* dapat dilihat pada Gambar 2.18 berikut.



Gambar 2.18 : *Beamwidth* Antena Planar Array

Sumber : *Antennas, Planar Array, Circular Array* : 7

Untuk menentukan *directivity* antena *planar array* dapat menggunakan rumus berikut.

$$D_0 = \bullet D_x D_y \cos \bullet_0 \tag{2.29}$$

Dengan :

- D_0 : *directivity*
- D_x : *directivity* pada arah sumbu x
- D_y : *directivity* pada arah sumbu y
- \bullet_0 : sudut elevasi dari titik uji ($^\circ$)

2.4 Perancangan dan Pembuatan Antena Mikrostrip *Equilateral Triangular Array* 2x2

2.4.1 Spesifikasi substrat dan bahan konduktor

Bahan substrat yang digunakan adalah sebagai berikut :

Bahan *Epoxy fiberglass* – FR 4

- Konstanta dielektrik (\bullet_r) = 4.5
- Ketebalan dielektrik (h) = 0.0016 m = 1.6 mm
- *Loss tangen* = 0.018

Bahan pelapis substrat (konduktor) tembaga :

- Ketebalan bahan konduktor (t) = 0.0001 m

- Konduktifitas tembaga (\bullet) = 5.80×10^7 mho m^{-1}
- Impedansi karakteristik saluran = 50 \bullet

2.4.2 Perencanaan dimensi elemen peradiasi

Untuk menentukan dimensi elemen peradiasi, maka terlebih dahulu harus ditentukan frekuensi acuan (f) yang digunakan untuk mencari panjang gelombang diruang bebas (\bullet_0).

$$\lambda_0 = \frac{c}{f_r} \quad (\text{m}) \quad (2.30)$$

Setelah nilai \bullet_0 diperoleh, maka panjang gelombang pada saluran transmisi mikrostrip (λ_d) dapat dihitung dengan persamaan :

$$\lambda_d = \frac{\lambda_0}{\sqrt{e_r}} \quad (\text{m}) \quad (2.31)$$

Panjang sisi elemen peradiasi *equilateral triangular* diperoleh dengan menggunakan rumus (Dahale and Lee) :

$$f_r = \frac{2c}{3a_{\text{eff}}\sqrt{e_r}} \sqrt{m^2 + mn + n^2} \quad (2.32)$$

Dengan:

f_r = frekuensi resonansi

a_{eff} = dimensi efektif sisi segitiga

c = kecepatan cahaya (3×10^8 m/s)

e_r = konstanta dielektrik substrat

m, n = nilai *integer* dari mode distribusi gelombang elektromagnetik pada *patch*

2.4.3 Dimensi saluran transmisi

Untuk menghitung dimensi saluran transmisi mikrostrip digunakan persamaan berikut (Grag, 2001:775) :

$$W_0 = \frac{h_0}{Z_0} \times \frac{h}{\sqrt{e_r}} \quad (\text{mm}) \quad (2.33)$$

W_0 = lebar saluran transmisi (mm)

\bullet_0 = impedansi intrinsik ruang bebas ($120 \bullet \bullet$)

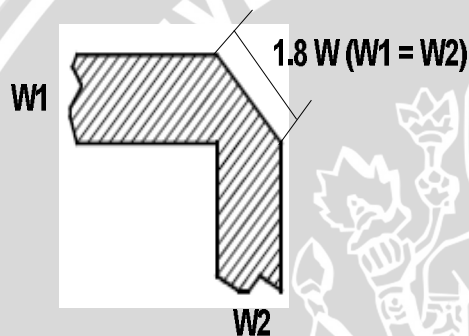
h = ketebalan substrat (mm)

Z_o = impedansi karakteristik (\bullet)

ϵ_r = permitivitas dielektrik bahan (F/m)

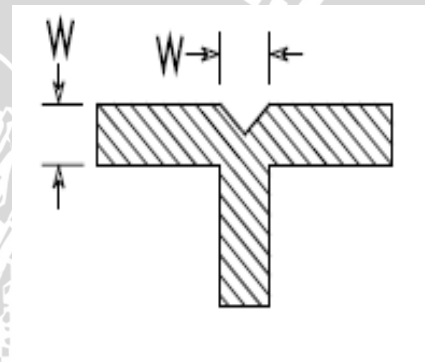
2.4.4 Microstrip discontinuities

Medan listrik pada sebuah saluran transmisi memiliki arah perambatan tertentu, ketika lebar dari saluran transmisi lebih kecil dari panjang gelombangnya maka medan listriknya akan saling menghilangkan dan tidak ada yang diradiasikan. *Discontinuities* terjadi pada daerah persimpangan (*cross section*). Terdapat dua bagian *microstrip discontinuities* yang digunakan yaitu *microstrip bend* dan *T-junction* (Gambar 2.19a dan 2.19b).



Gambar 2.19a : Microstrip Bend

Sumber : Johan L, 2002 : 16



Gambar 2.19b : T Junction

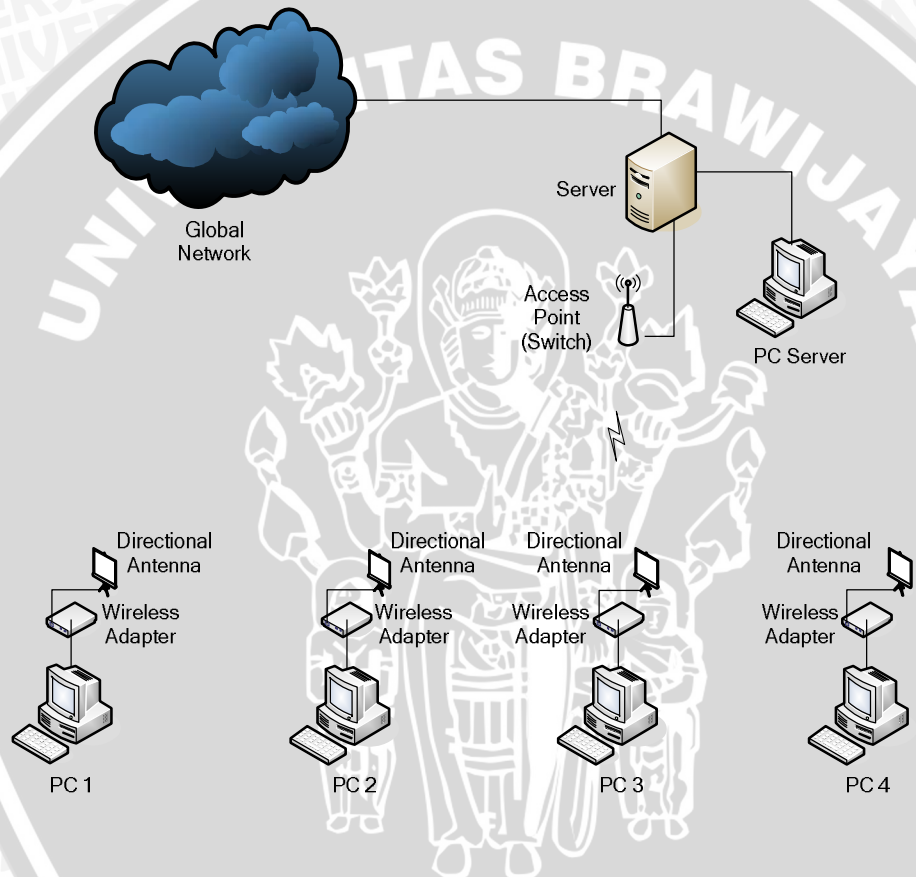
Sumber: Johan L, 2002 : 16

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.

2.5.1 Konfigurasi *wireless* LAN

Pada komunikasi *wireless* terdapat beberapa user yang terhubung dengan satu atau lebih *server*. Salah satu contoh jaringan *wireless* adalah dengan menggunakan *directional antenna*. Sebagai contoh WLAN di dalam gedung A akan menambah ke gedung B dengan jarak 1 km. Salah satu cara adalah dengan memasang *directional antenna* di masing-masing gedung, masing-masing antena saling terhubung dengan yang lain. Gambar 2.20 menunjukkan jaringan *wireless* menggunakan *directional antenna*.



Gambar 2.20 : Konfigurasi *Wireless* LAN dengan Menggunakan *Directional Antenna*

Sumber : Perencanaan

2.5.2 Standar IEEE 802.11

Standar IEEE 802.11 menghususkan 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 11 Mbps.
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* 20 Mbps dan OFDM 54 Mbps. Standar ini *backward – compatible* dengan 802.11b dan bisa dikembangkan sampai lebih dari 20 Mbps.



Tabel 2.1 berikut menunjukkan standar IEEE 802.11

Tabel 2.1: Standar IEEE 802.11

Spesifikasi	802.11	802.11a	802.11b	802.11g
Dikeluarkan	Juli 1997	September 1999	September 1999	2002
<i>Bandwidth</i>	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)
<i>Data rate</i>	2 Mbps, 1 Mbps	54, 48, 36, 24, 18, 12, 9, 6 Mbps	11, 5,5, 2, 1 Mbps	54, 36, 33, 24, 22, 12, 11, 9, 6, 5.5, 2, 1 Mbps
Tipe modulasi	DQPSK (2 Mbps DSSS) DBPSK (1 Mbps DSSS) 4GFSK (2 Mbps FHSS) 2GFSK (1 Mbps FHSS)	•BPSK (6,9 Mbps) •QPSK (12, 18 Mbps) •16-QAM (24,36 Mbps) •64-QAM (48, 54 Mbps)	•DQPSK/CCK (11, 5,5 Mbps) •DQPSK (2 Mbps) •DBPSK (1 Mbps)	•OFDM/CCK (6,9,12,18,24,36,48,54) •OFDM (6,9,12,18,24,36,48,54 Mbps) •DQPSK/CCK (22,33,11,5.5 Mbps) •DQPSK (2 Mbps) •DBPSK (1 Mbps)

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

Pada perancangan antenna, digunakan standar IEEE 802.11b/g dengan *bandwidth* 83,5 MHz.

BAB III

METODOLOGI

3.1 Umum

Metodologi yang digunakan dalam penyusunan laporan skripsi ini didasarkan pada masalah yang *aplikatif*, yaitu perancangan alat yang dapat bekerja sesuai dengan yang direncanakan dengan mengacu pada rumusan masalah yaitu :

3.2 Studi Literatur

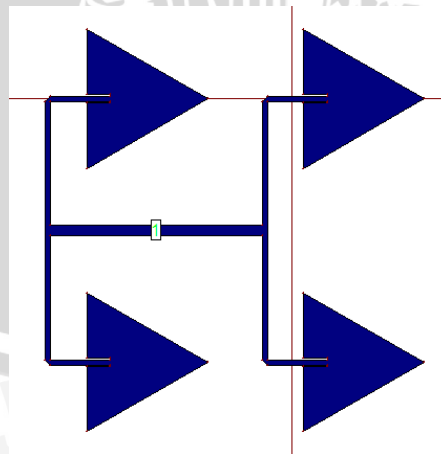
Studi literatur dilakukan untuk memahami karakteristik dari instrumen yang menggunakan teknologi mikrostrip khususnya tentang analisis dan desain antena mikrostrip.

3.3 Pengumpulan Data

Data yang digunakan meliputi data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh dari hasil pengukuran di Laboratorium Telekomunikasi Politeknik Negeri Malang. Sedangkan data sekunder diperoleh dari referensi buku dan hasil simulasi program.

3.4 Perencanaan dan Simulasi

Berikut ini merupakan gambar antena yang direncanakan :



Gambar 3.1 : Antena Mikrostrip Equilateral Triangular Array

Sumber : Simulasi

Simulasi antena dilakukan dengan menggunakan *software Zeland IE3D™* untuk mendapatkan nilai parameter-parameter yang akan dicari (*return loss*, *VSWR*, *gain*, *directivity*).

Sebelum melakukan simulasi, kegiatan yang dilakukan adalah:

1. Menentukan *range* frekuensi kerja antena, yaitu $f = 2400 - 2483.5$ MHz.
Dari *range* frekuensi ini, diambil frekuensi perencanaan $f_r = 2437$ MHz yang nantinya digunakan untuk menentukan dimensi antena.
2. Perencanaan dimensi antena
Dimensi antena yang dihitung meliputi panjang sisi segitiga (a), lebar *inset feed* (W_0), serta lebar saluran transmisi (L).
3. Mensimulasikan antena berdasarkan dimensi yang didapatkan.
Dalam mensimulasikan antena digunakan simulator *Zeland IE3D™* karena antena yang dirancang adalah antena dua dimensi sehingga lebih mudah untuk disimulasikan.
4. Optimasi antena untuk mendapatkan parameter sesuai dengan yang diinginkan.
Optimasi dilakukan dengan mengubah panjang sisi segitiga (a), kedalaman *inset feed* (y_0), serta panjang saluran transmisi (L).

3.5 Perancangan (Realisasi)

Realisasi dilakukan dengan fabrikasi sampai didapatkan bentuk fisik dengan dimensi antena sesuai dengan hasil simulasi. Fabrikasi antena menggunakan substrat FR4.

Dalam merealisasikan dimensi antena, digunakan *software AutoCAD* dengan ketelitian sampai 0,000 mm (tiga angka dibelakang tanda koma dalam orde milimeter), sehingga tingkat kepresisiannya dapat maksimal.

3.6 Pengukuran

Untuk mengetahui karakteristik dari antena yang sudah difabrikasi, maka dilakukan pengukuran terhadap beberapa parameter antena pada frekuensi kerjanya. Pengukuran ini diperlukan karena hasil dari pengukuran lapangan akan menunjukkan performansi antena yang sebenarnya.

1. Pengukuran *return loss*, koefisien pantul dan *VSWR*.
 - *Return lost* (RL)

Tujuan dari pengukuran ini adalah untuk dapat mengetahui nilai *return loss* antenna hasil pembuatan. Alat yang digunakan untuk pengukuran parameter ini adalah *spectrum analyzer* yang dioperasikan pada jangkauan frekuensi tertentu. Standar nilai *return loss* adalah sebesar < -10 dB.

- Koefisien pantul dan VSWR

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

$$RL = 20 \log \Gamma \text{ (dB)} \quad (3.1)$$

$$VSWR = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \quad (3.2)$$

2. Pengukuran *gain* antenna

Tujuan dari pengukuran *gain* antenna adalah untuk mengetahui besar penguatan antenna uji dibandingkan dengan penguatan antenna referensi yang digunakan. Pada pengukuran *gain* antenna ini, akan diperoleh parameter-parameter yaitu daya yang diterima antenna referensi (P_R), daya antenna yang diuji (P_U), dan *gain* antenna yang diuji (G_{AUT}). Alat - alat yang digunakan meliputi *signal generator*, *spectrum analyzer* dan 2 antenna *dipole* $\bullet/2$ (sebagai antenna referensi dan pemancar). Antenna ini digunakan sebagai antenna standar dengan nilai penguatan yang sudah diketahui sebelumnya. Penguatan antenna ini kemudian dibandingkan dengan penguatan antenna yang diukur (antenna *equilateral triangular array*).

Gain antenna hasil pengukuran dihitung dengan persamaan :

$$G_{AUT(dBi)} = P_{RX(dBm)} - P_{ref(dBm)} + 2.14 \text{ dBi} \quad (3.3)$$

keterangan :

- $G_{AUT(dBi)}$ = *gain* antenna yang diukur
- $P_{RX(dBm)}$ = level daya terima antenna yang diukur
- $P_{ref(dBm)}$ = level daya terima antenna referensi

3. Pengukuran pola radiasi

Tujuan dari pengukuran ini adalah untuk mengetahui bentuk pola radiasi antenna yang dibuat. Peralatan yang digunakan adalah *signal generator*, *spectrum analyzer* dan

antena *dipole* $\bullet/2$ sebagai antena pemancar. Ada dua pengukuran pola radiasi, yaitu pola radiasi horisontal dan pola radiasi vertikal.

4. Perhitungan Keterarahan (*Directivity*)

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

Directivity dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$D = \frac{4p_{(steradian)}}{q \cdot f_{(radian^2)}}$$

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

$$= \left(\frac{180}{p} \right)^2 (\text{derajat}^2)$$

sehingga,

$$D \approx \frac{4p \left(\frac{180}{p} \right)^2 (\text{derajat}^2)}{q_{HP}^o f_{HP}^o (\text{derajat}^2)} \approx \frac{41000}{q_{HP}^o f_{HP}^o}$$

dengan :

$$D = \text{directivity}$$

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

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

$$q_{HP}^o = \text{beamwidth} \text{ pola radiasi vertikal (derajat)}$$

$$f_{HP}^o = \text{beamwidth} \text{ pola radiasi horisontal (derajat)}$$

5. Pengukuran polarisasi

Pengukuran polarisasi antena dilakukan untuk mengetahui vektor medan listrik antena yang dibuat. Pengukuran dilakukan dengan cara memutar antena penerima (antena yang diuji) dengan interval sudut tertentu (10°) terhadap bidang vertikal sampai 360° .

6. Perhitungan *bandwidth*

Perhitungan *bandwidth* antena yang diuji dilakukan dengan menghitung selisih antara frekuensi atas dengan frekuensi bawah antena uji. Penentuan frekuensi atas dan

frekuensi bawah antenna dilakukan dengan cara menentukan frekuensi tertinggi dan terendah antenna dimana masih memiliki $VSWR \cdot 2$ atau *return loss* • -10 dB.

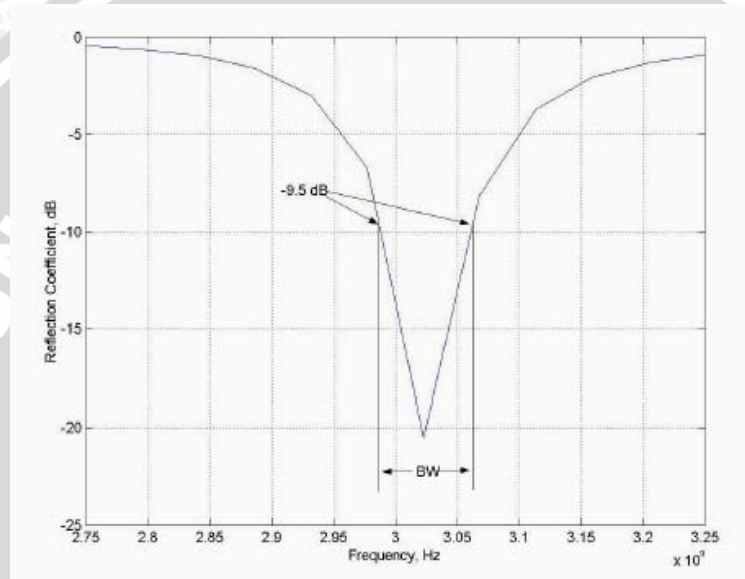
Perhitungan *bandwidth* dapat menggunakan rumus berikut :

$$B = f_u - f_l \quad (3.4)$$

Dengan :

f_u : frekuensi *upper* (Hz)

f_l : frekuensi *lower* (Hz)



Gambar 3.2 : Pengukuran *Bandwidth* Berdasarkan *Plot Return Loss*

Sumber : Punit S. Nakar, 2004 : 22

3.7 Analisis Antena

Analisis antenna dilakukan dengan perhitungan dan perbandingan parameter-parameter antenna hasil simulasi dengan parameter-parameter antenna hasil pengukuran. Dari hasil simulasi dan pengukuran dapat diketahui seberapa besar *error* yang terjadi pada proses fabrikasi.

3.8 Pengambilan Kesimpulan dan Saran

Pengambilan kesimpulan dilakukan setelah mendapatkan hasil dari pengukuran parameter-parameter antena yang diuji dan dibandingkan dengan hasil perencanaan, serta memberikan saran untuk pengembangan antena agar selanjutnya dapat lebih meningkatkan performansi dari antena.

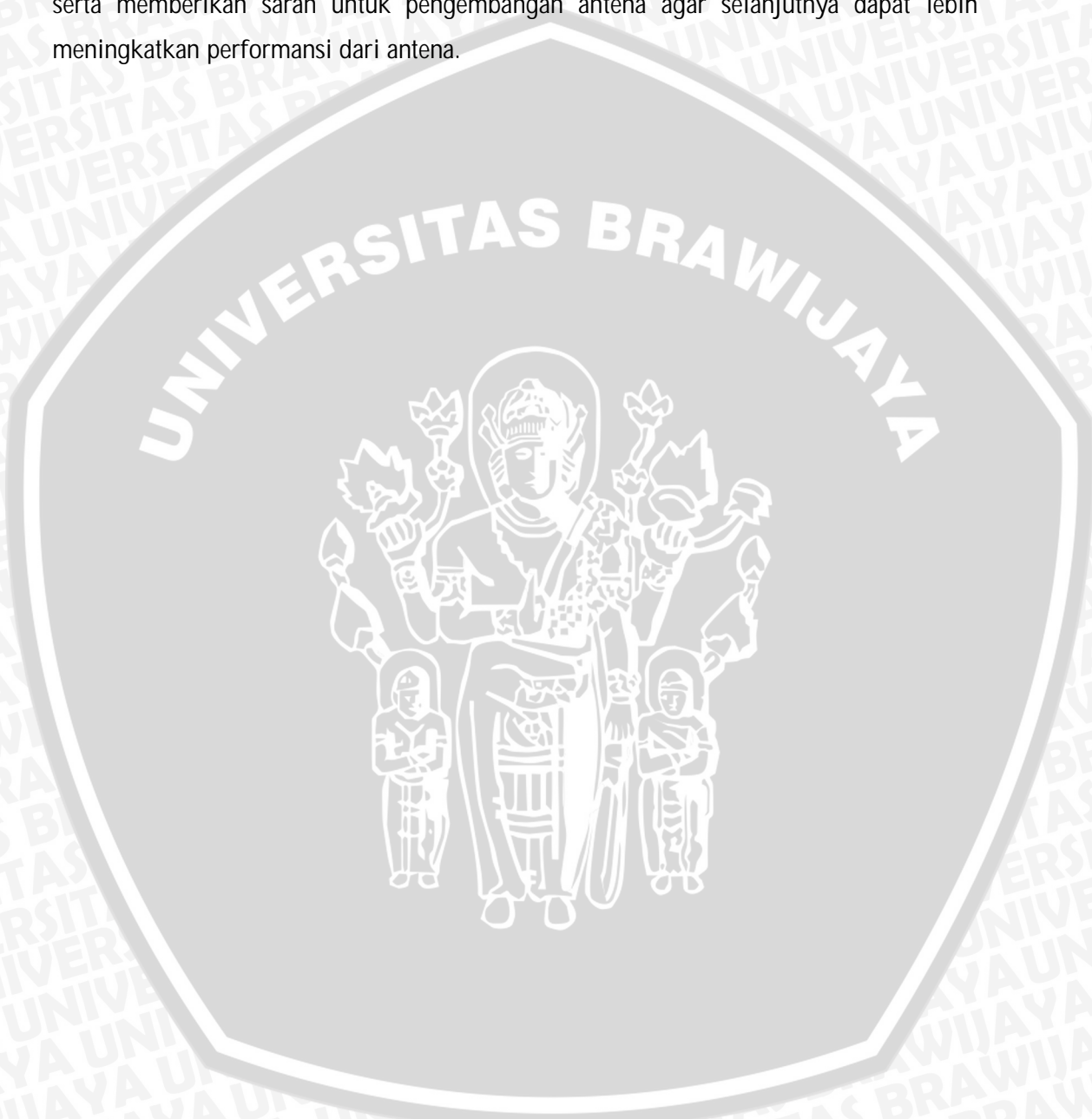


Diagram alir (*flow chart*) metodologi :

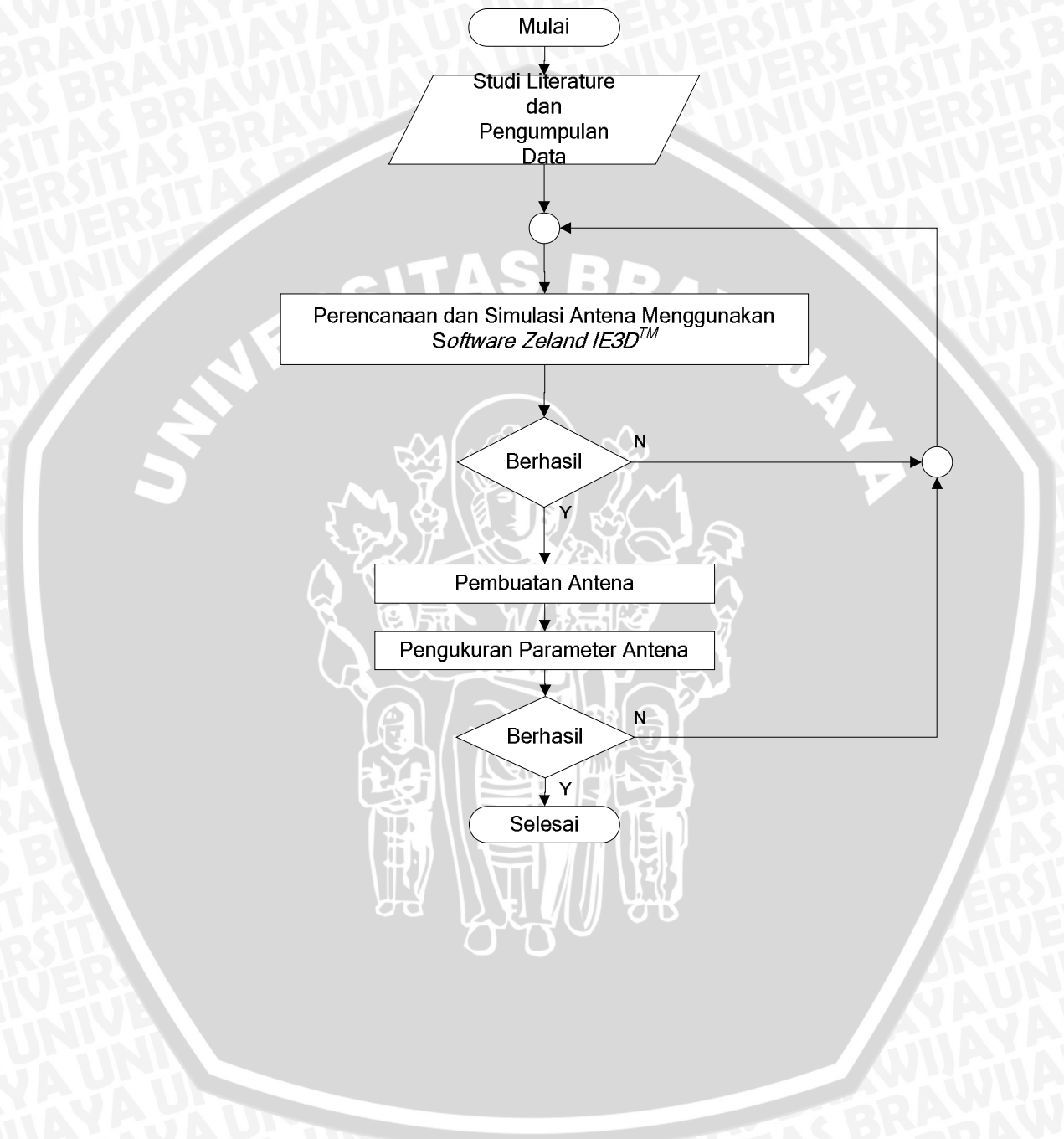
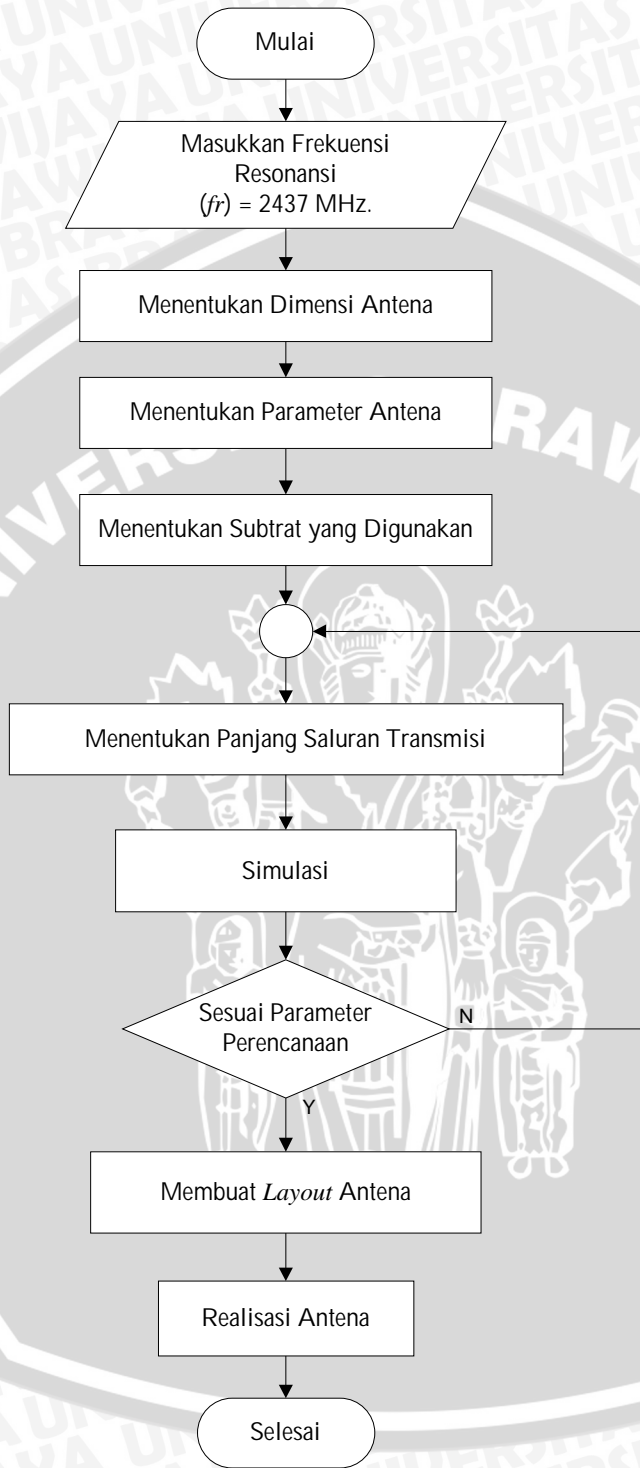


Diagram alir (*flow chart*) perancangan antenna :



BAB IV

PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ANTENA MIKROSTRIP *EQUILATERAL TRIANGULAR ARRAY 2x2*

4.1 Tinjauan Umum

Antena mikrostrip adalah antena yang dibuat diatas bahan substrat tertentu dengan elemen peradiasi yang terletak di salah satu sisi substrat.

Dalam bab ini akan dibahas mengenai penentuan bahan substrat, konduktor dan dimensi elemen peradiasi. Selanjutnya akan dilakukan simulasi dengan program simulator *Zeland IE3DTM* untuk mendapatkan *VSWR*, *return loss*, *directivity*, *gain* dan *bandwidth* berdasarkan hasil perancangan dengan menggunakan dasar teori yang ada pada bab II.

4.2 Spesifikasi Substrat dan Bahan Konduktor

Dalam perancangan antena mikrostrip perlu diketahui terlebih dahulu mengenai substrat yang akan digunakan. Bahan substrat yang digunakan adalah sebagai berikut :

Bahan *epoxy fiberglass* – FR4

- konstanta dielektrik (ϵ_r) = 4,5
 - ketebalan lapisan dielektrik (h) = 1,6 mm
 - *loss tangent* = 0,018
- Bahan pelapis substrat (konduktor) tembaga
- ketebalan bahan konduktor (t) = 0,0001 m
 - konduktifitas tembaga (σ) = $5,80 \times 10^7$ mho m^{-1}
 - frekuensi kerja (f_r) = 2400-2483,5 MHz
 - impedansi karakteristik saluran = 50 Ω

4.3 Perencanaan Dimensi Elemen Peradiasi

Untuk menentukan dimensi elemen peradiasi, maka terlebih dahulu harus direncanakan nilai frekuensi kerja (f_r) yaitu 2437 MHz dengan nilai perambatan diruang bebas (c) sebesar 3×10^8 m/s. Pada perencanaan diambil frekuensi 2437 MHz karena frekuensi tersebut merupakan frekuensi tengah dari *bandwidth* WLAN (2400-2483,5 MHz).

Dengan menggunakan persamaan (2-24) untuk frekuensi 2437 MHz :

$$l_0 = \frac{c}{f_r}$$

$$l_0 = \frac{3 \times 10^8}{2437 \times 10^6}$$

$$= 0,123 \text{ m}$$

Maka panjang gelombang pada saluran transmisi mikrostrip dapat dihitung dengan persamaan (2-25) :

$$l_d = \frac{l_0}{\sqrt{e_r}}$$

$$l_d = \frac{0,123}{\sqrt{4,5}} = 0,058 \text{ m}$$

Kemudian dihitung sisi (a) elemen peradiasi antena mikrostrip dengan persamaan (2-26) :

$$f_r = \frac{2c}{3a_{\text{eff}} \sqrt{e_r}} \sqrt{m^2 + mn + n^2} \quad (\text{mm})$$

dengan m dan n adalah mode distribusi gelombang EM.

Mode distribusi gelombang EM yang digunakan ialah 1 0, sehingga nilai m dan n berturut-turut ialah 1 dan 0, maka nilai a adalah:

$$a_{\text{eff}} = \frac{2 \times 3 \times 3 \times 10^8}{3 \times 2437 \times \sqrt{4,5}} \sqrt{1^2 + 1 \times 0 + 0^2}$$

$$a_{\text{eff}} = 38,69 \text{ mm}$$

Selanjutnya panjang sisi segitiga sama sisi a didapat dengan persamaan :

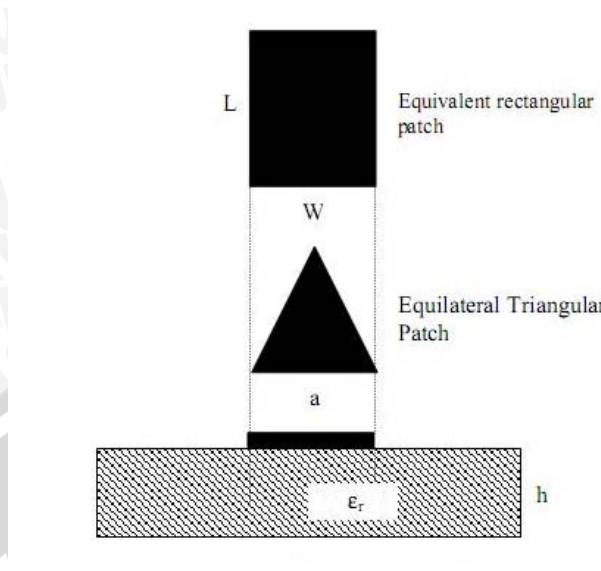
$$a_{\text{eff}} = a + \frac{h}{\sqrt{e_r}}$$

$$a_{\text{eff}} = a + \frac{1,6 \text{ mm}}{\sqrt{4,5}}$$

$$a = 37,94 \text{ mm}$$

Jadi untuk elemen peradiasi dengan bentuk *equilateral triangular* pada frekuensi 2437 MHz, panjang sisinya adalah $a = 37,94 \text{ mm}$.

Untuk menghitung impedansi masukan elemen peradiasi, dapat dihitung dengan meng-ekivalen-kan antara bentuk *rectangular* dengan bentuk *triangular*.



Gambar 4.1 : Equivelent Antara *Rectangular* dan *Triangular Patch*

Sumber : *Journal of Microwaves and Optoelectronics*,
Vol. 3, N.04, April 2004

Keterangan Gambar 4.1 :

$$a = W = 37,94 \text{ mm}$$

$$L = \sqrt{a^2 - (1/2a)^2}$$

$$L = \frac{\sqrt{3}}{2} a = 32,86 \text{ mm}$$

Sehingga untuk menentukan Z_A dapat menggunakan rumus :

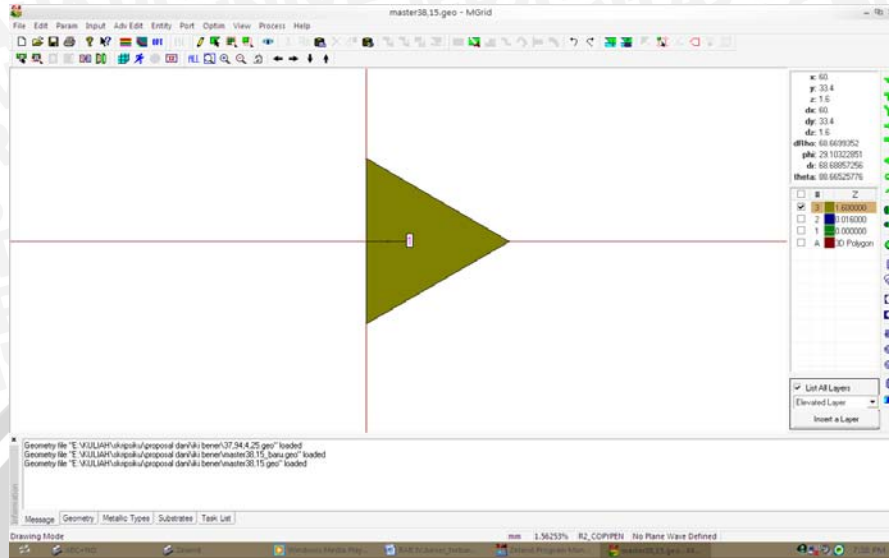
$$Z_A = 90 \frac{e_r^2}{e_r - 1} \left(\frac{L}{W} \right)^2 \Leftrightarrow Z_A = 90 \frac{(e_r)^2}{e_r - 1} \left(\frac{\frac{\sqrt{3}}{2} a}{a} \right)^2$$

$$\Leftrightarrow Z_A = 90 \frac{(4,5)^2}{4,5 - 1} \left(\frac{\sqrt{3}}{2} \right)^2$$

$$\Leftrightarrow Z_A = 390,54 \Omega$$

Setelah melakukan perhitungan dimensi sisi segitiga kemudian hasil dimensi perancangan ini dimasukkan ke program simulator dalam hal ini adalah *Zeland IE3D™*. Dari hasil simulasi, didapat hasil parameter-parameter antenna yang dapat dijadikan acuan awal apakah antenna hasil perancangan berdasarkan teori yang ada dapat bekerja.

Diharapkan hasil keluaran program *Zeland IE3DTM* ini dapat mendekati hasil yang sebenarnya. Adapun tampilan *Zeland IE3DTM* dapat dilihat pada gambar berikut :

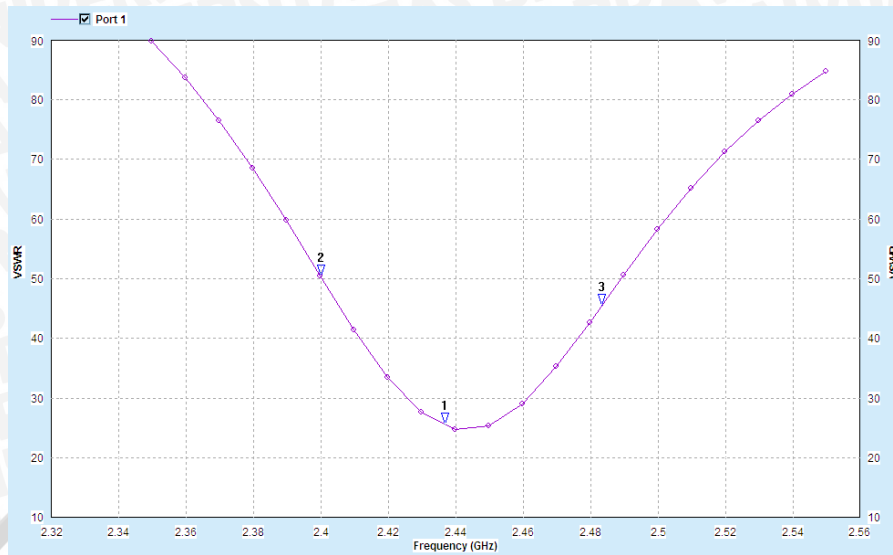


Gambar 4.2 : Tampilan *Zeland IE3DTM* Antena *Equilateral Triangular* Satu Elemen

Sumber : Simulasi

4.4 Simulasi Dimensi Satu Elemen Peradiasi

Model saluran transmisi yang digunakan dalam perancangan ini adalah model pencatuan langsung menggunakan *coaxial probe feed*, sedangkan nilai impedansi saluran transmisi yang direncanakan adalah 50Ω . Letak titik *coaxial probe feed* dilakukan sekitar titik pusat elemen peradiasi sepanjang sumbu x (arah horisontal) yang membelah bentuk segitiga sama sisi menjadi dua bagian. Pada perancangan awal ini ditentukan panjang $L=10$ mm. Kemudian dilakukan simulasi menggunakan *Zeland IE3DTM*, dan didapatkan hasil simulasinya. Gambar 4.3 berikut menunjukkan grafik hasil simulasi VSWR satu elemen sebelum optimasi.



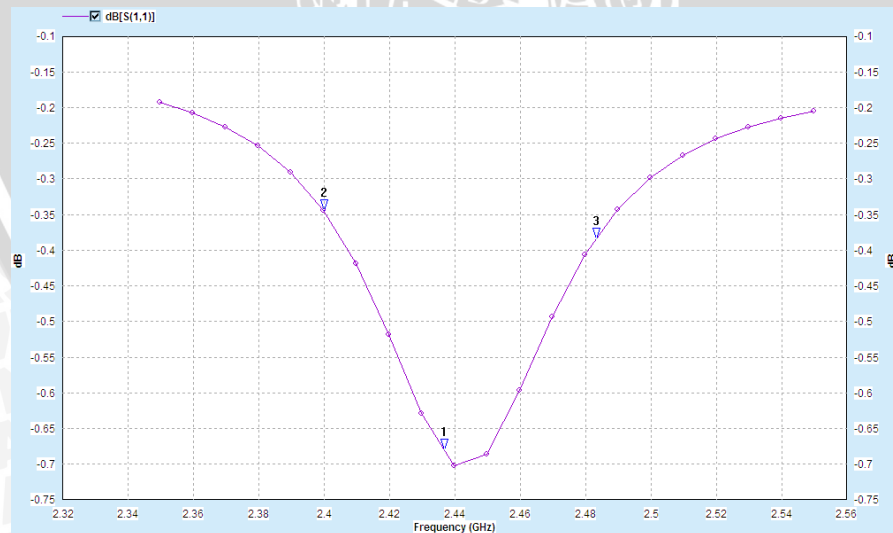
Gambar 4.3 : Grafik Hasil Simulasi VSWR Satu Elemen Sebelum Optimasi

Sumber : Simulasi

Simulasi pada Gambar 4.3 menunjukkan nilai VSWR dari satu elemen peradiasi. Untuk nilai VSWR sebuah antena bekerja dengan baik jika nilai VSWR < 2.

Dari hasil simulasi dapat dilihat bahwa pada frekuensi 2400 MHz antena mempunyai nilai VSWR sebesar 50,5188 dan pada frekuensi 2483,5 MHz nilai VSWR sebesar 45,4936. Sedangkan pada frekuensi tengah 2437 MHz, nilai VSWR-nya sebesar 25,6279.

Sedangkan untuk *return loss* dapat dilihat pada Gambar 4.4 berikut.



Gambar 4.4 : Grafik Hasil Simulasi *Return Loss* Satu Elemen Sebelum Optimasi

Sumber : Simulasi

Hasil Simulasi pada Gambar 4.4 menunjukkan nilai *return loss* dari satu elemen peradiasi. Antena bekerja dengan baik jika nilai *return loss* < -10 dB. Dari hasil simulasi dapat dilihat bahwa pada frekuensi 2400 MHz antena mempunyai nilai *return loss* sebesar $-0,343912$ dB, pada frekuensi 2483,5 MHz nilai *return loss*-nya sebesar $-0,384409$ dB. Sedangkan pada frekuensi tengah 2437 Mhz, antena mempunyai nilai *return loss* sebesar $-0,679895$ dB.

Berdasarkan kedua parameter di atas yaitu VSWR dan *return loss*, dapat dilihat bahwa antena belum dapat bekerja dengan baik pada frekuensi yang diinginkan.

4.5 Optimasi Satu Elemen Peradiasi

Optimasi dilakukan agar antena dapat bekerja sesuai dengan yang diinginkan yaitu bekerja pada frekuensi 2400 – 2483,5 MHz. Selain itu optimasi juga diperlukan untuk memperbaiki parameter antena yang telah didapatkan sebelumnya agar antena yang dirancang bisa bekerja secara lebih optimal.

Untuk melakukan optimasi dapat dilakukan dengan mengubah letak *coaxial probe feed* sepanjang sumbu x (arah horisontal) yang memotong elemen peradiasi menjadi dua bagian. Selain itu, optimasi juga dilakukan dengan mengubah dimensi elemen peradiasi hingga didapatkan hasil yang optimal pada frekuensi yang diinginkan. Untuk posisi dari *coaxial probe feed*, tidak ditemukan rumus pasti. Jadi dilakukan metode *trial and error* untuk mendapatkan kondisi *match*-nya.

Langkah 1 : Mengubah posisi *coaxial probe feed* pada sumbu x dengan dimensi 37,94 mm.

Tabel 4.1 : Nilai VSWR dengan Optimasi Posisi *Feed* pada Dimensi 37,94 mm

No.	x (mm)	Nilai VSWR paling kecil
1	10	24,7077
2	8,5	4,9427
3	7	2,16195
4	6,5	1,7843
5	5	1,12945
6	4,9	1,11213
7	4,7	1,07435
8	4,6	1,05842
9	4,55	1,05435
10	4,5	1,05313
11	4,4	1,06535
12	4,25	1,08086
13	4	1,10677
14	3	1,27333
15	2,75	1,31506
16	2,5	1,34614
17	2	1,42975

Sumber : Perancangan

Dari Tabel 4.1 dapat dilihat bahwa pada nilai $a = 37,94$ mm didapat nilai VSWR paling kecil dengan posisi x pada jarak 4,5 mm (VSWR = 1,05313) dari sisi kiri segi tiga sepanjang sumbu x positif.

Langkah 2 : Mengubah dimensi sisi segitiga (a) dengan posisi *coaxial probe feed* tetap, yaitu $x = 4,5$ mm.

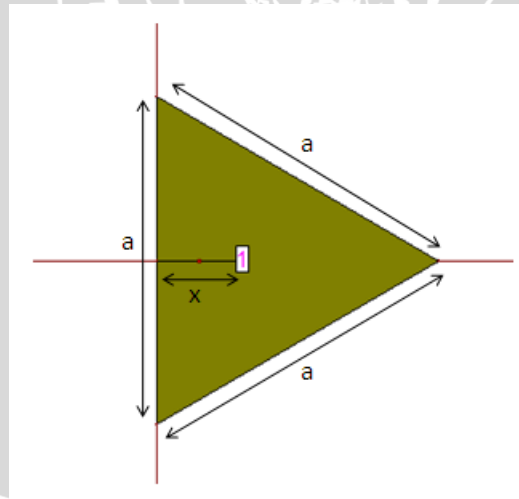
Tabel 4.2 : Nilai VSWR dengan Optimasi Dimensi Elemen Peradiasi

No	a (mm)	Frekuensi Tengah (MHz)
1	37,94	2450
2	37,99	2450
3	38,04	2445
4	38,09	2442
5	38,15	2439
6	38,21	2434
7	38,26	2430

Sumber : Perancangan

Dari Tabel 4.2, dapat dilihat bahwa dengan panjang sisi segitiga (a) = 38,15 mm, diperoleh frekuensi tengah yaitu 2439 MHz. Hasil inilah yang paling mendekati dari frekuensi yang direncanakan yaitu 2437 MHz, sehingga nilai inilah yang diambil sebagai hasil akhir optimasi antenna mikrostrip *equilateral triangular* satu elemen peradiasi.

Hasil optimasi :



Gambar 4.5 : Hasil Optimasi Antena Mikrostrip
Equilateral Triangular Satu Elemen

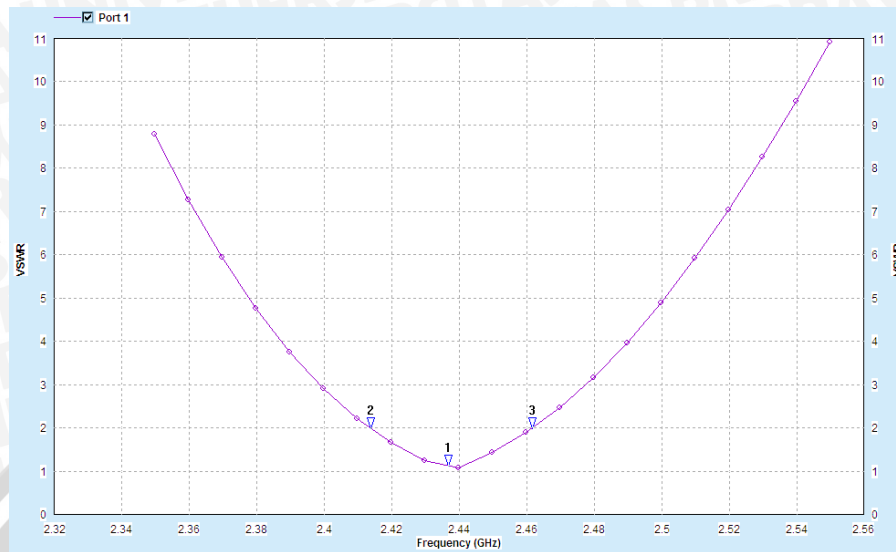
Sumber : Simulasi

Keterangan gambar 4.5 :

$a = 38,15$ mm

$x = 4,5$ mm

Hasil simulasi menggunakan *Zeland IE3D™* adalah sebagai berikut.



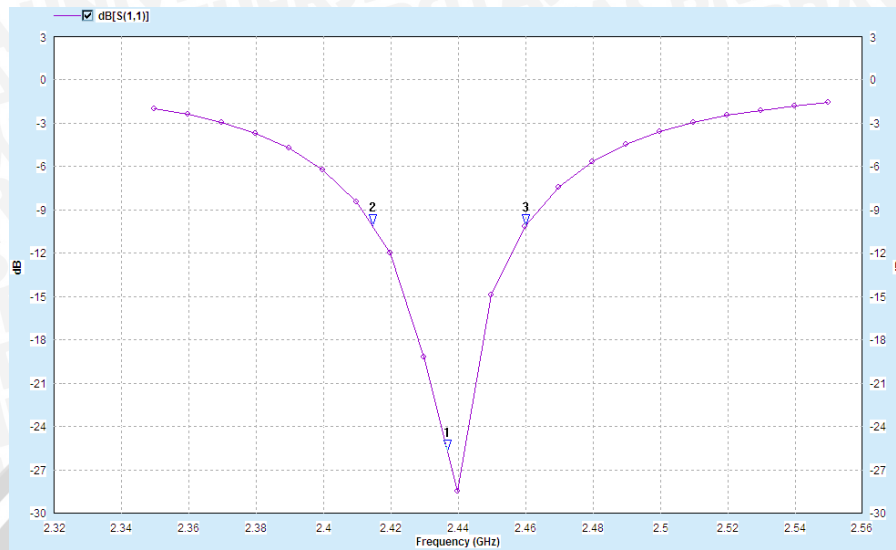
Gambar 4.6 : Grafik Hasil Simulasi VSWR Satu Elemen Setelah Optimasi

Sumber : Simulasi

Dari grafik hasil optimasi diatas dapat dilihat bahwa elemen peradiasi sudah bekerja paling maksimal pada frekuensi 2437 MHz sebesar 1,12846.

Dari gambar diatas juga dapat diketahui besarnya *bandwidth* yaitu pada rentang nilai $VSWR \leq 2$. Nilai $VSWR < 2$ dimulai dari 2414,05 MHz sampai 2461,62 MHz, sehingga antenna mempunyai *bandwidth* sebesar $(2461,62 - 2414,05)$ MHz = 47,57 MHz. *Bandwidth* yang didapat memang relatif kecil karena antenna hanya berupa elemen peradiasi tunggal.

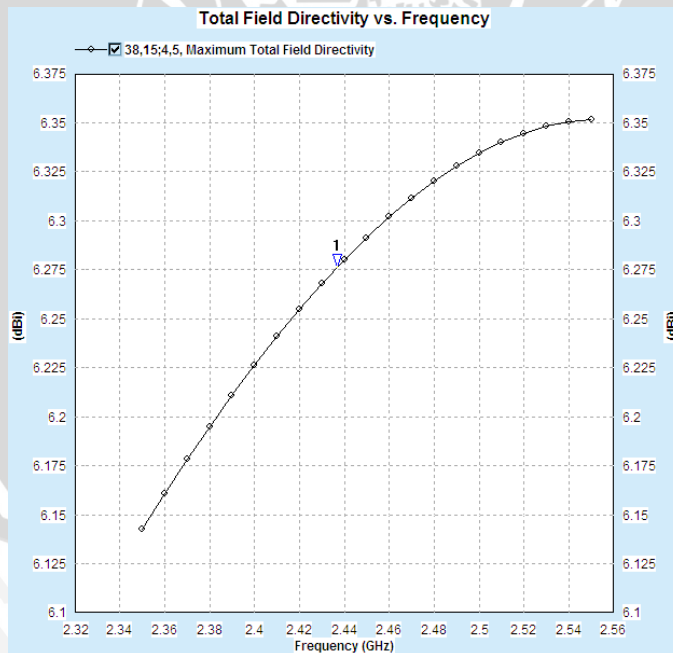
Sedangkan untuk *return loss* dapat dilihat pada Gambar 4.7 dibawah ini.



Gambar 4.7 : Grafik Hasil Simulasi *Return Loss* Satu Elemen Sebelum Optimasi
 Sumber : Simulasi

Dari Gambar 4.7 dapat dilihat bahwa elemen peradiasi sudah bekerja paling maksimal pada frekuensi yang diinginkan yaitu 2437 MHz dengan nilai *return loss* untuk frekuensi 2437 MHz sebesar -25,6944 dB.

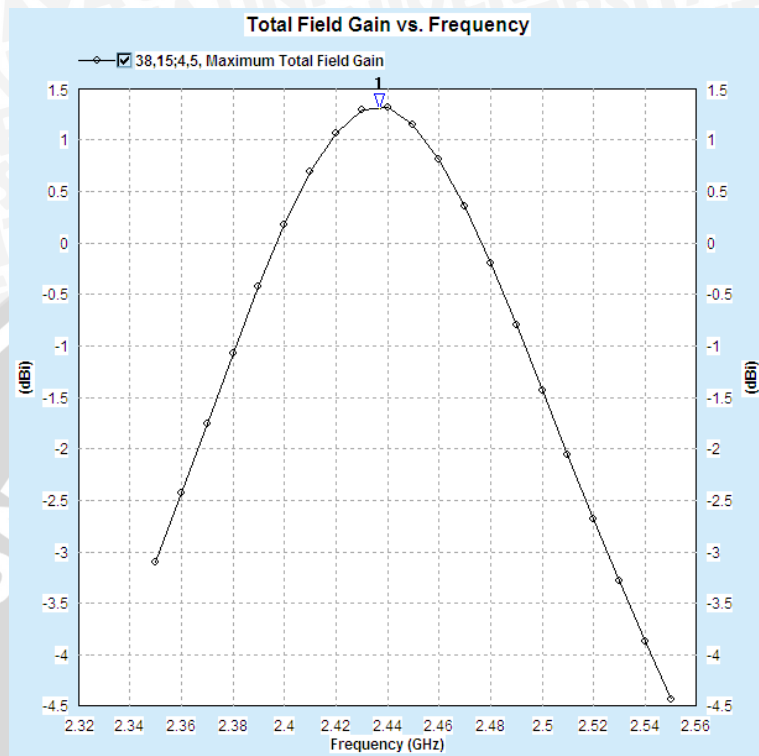
Selanjutnya parameter *directivity* dapat dilihat pada Gambar 4.8 di bawah ini.



Gambar 4.8 : Grafik Hasil Simulasi Optimasi
 Nilai *Directivity* Satu Elemen
 Sumber : Simulasi

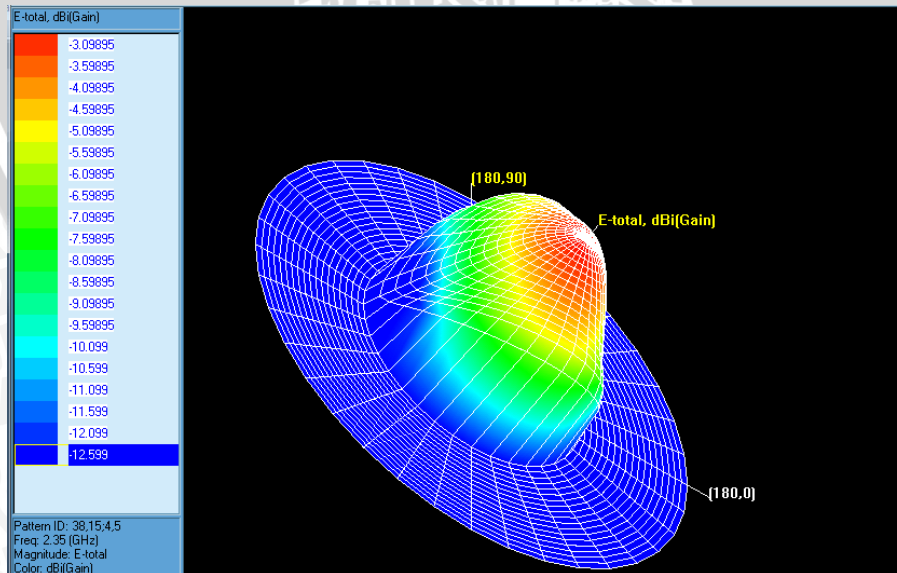
Dari Gambar 4.8 di atas dapat dilihat bahwa elemen peradiasi pada frekuensi 2437 MHz memiliki nilai *directivity* sebesar 6,27647 dBi.

Parameter berikutnya yaitu *gain* dapat dilihat pada Gambar 4.9a dan 4.9b berikut.



Gambar 4.9a : Grafik Hasil simulasi Optimasi Nilai *Gain* Satu Elemen

Sumber : Simulasi



Gambar 4.9b : *Gain Pattern* 3D Satu Elemen

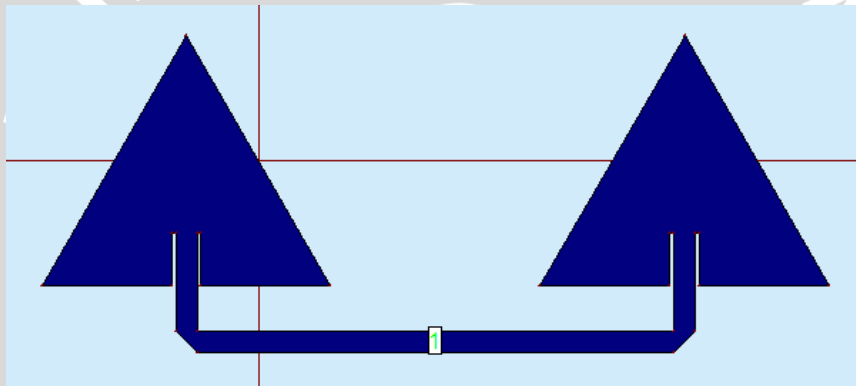
Sumber : Simulasi

Dari kedua grafik di atas dapat dilihat bahwa antenna mikrostrip *equilateral triangular* dengan satu elemen peradiasi pada frekuensi 2437 MHz memiliki nilai *gain* sebesar 1,30276 dBi.

4.6 Perancangan Antena *Array* Dua Elemen

Antena mikrostrip yang menggunakan *array* merupakan gabungan dari beberapa elemen peradiasi dalam satu bidang, termasuk di dalamnya saluran transmisi yang berfungsi sebagai saluran pengumpan (*feed point*) untuk tiap elemen tersebut. Dalam perancangan ini akan digunakan dua elemen peradiasi dalam satu bidang.

Saluran transmisi yang direncanakan pada antenna mikrostrip *equilateral triangular array* ini ialah *inset feed*. Dengan demikian bentuk antenna menjadi seperti pada gambar 4.10 berikut.



Gambar 4.10 : Antena Mikrostrip *Equilateral Triangular Array* Dua Elemen

Sumber : Simulasi

Untuk dimensi elemen peradiasi seperti pada subbab sebelumnya, panjang sisi segitiga setelah optimasi ialah 38,15 mm, sehingga nilai ini juga yang akan digunakan sebagai dimensi setiap segitiga pada antenna *array*-nya.

Untuk perhitungan dimensi saluran transmisi dapat digunakan persamaan (2.30) di bawah ini :

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

Pada perencanaan antenna mikrostrip ini nilai impedansi pada setiap saluran direncanakan sebesar 100 Ω , untuk mendapatkan impedansi total 50 Ω .

Dengan nilai $h = 1,6$ mm dan $\epsilon_r = 4,5$ maka diperoleh nilai W_T (lebar saluran transmisi) untuk tiap-tiap nilai impedansi

Nilai $Z_0 = 100 \Omega$:

$$W_1 = \frac{120p}{100} \times \frac{1.6}{\sqrt{4,5}} \text{ (mm)}$$

$$W_1 = 2,845 \text{ mm}$$

Nilai $Z_1 = 100 \Omega$:

$$W_2 = \frac{120p}{100} \times \frac{1.6}{\sqrt{4,6}} \text{ (mm)}$$

$$W_2 = 2,845 \text{ mm}$$

Untuk panjang saluran transmisi dihitung dengan persamaan:

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

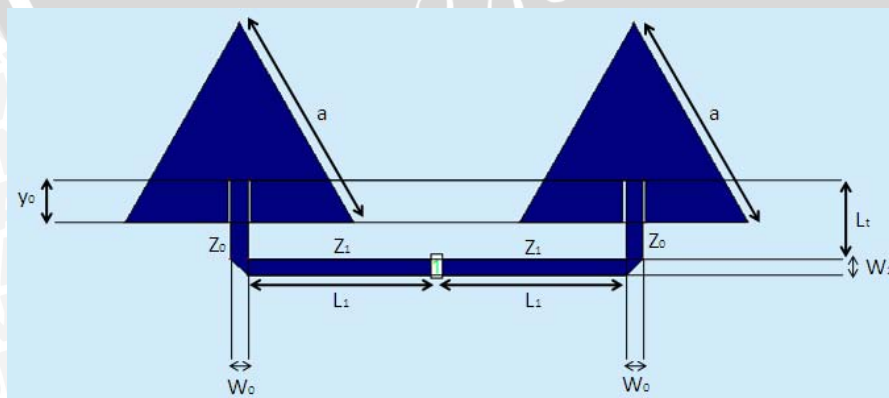
Dengan $I_d = 0,058 \text{ m}$ untuk frekuensi 2437 MHz, maka panjang saluran transmisi adalah

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

Agar diperoleh nilai distribusi arus yang maksimal, maka jarak antara elemen peradiasi dengan titik catu harus kelipatan ganjil dari $\frac{1}{4} I_d$. Oleh karena itu panjang saluran transmisi L_t dikalikan 2 untuk mendapatkan nilai panjang saluran transmisi total masing-masing elemen peradiasi sebesar $\frac{3}{4} I_d$. Maka panjang L_t adalah 29 mm.

Sedangkan untuk kedalaman *inset feed* menggunakan metode *trial and error*.

Setelah diketahui semua ukurannya, Maka dimensi keseluruhan dapat dilihat pada Gambar 4.11 berikut.



Gambar 4.11 : Antena Mikrostrip *Equilateral*

Triangular Array Sebelum Optimasi

Sumber : Perancangan

Keterangan gambar 4.11 :

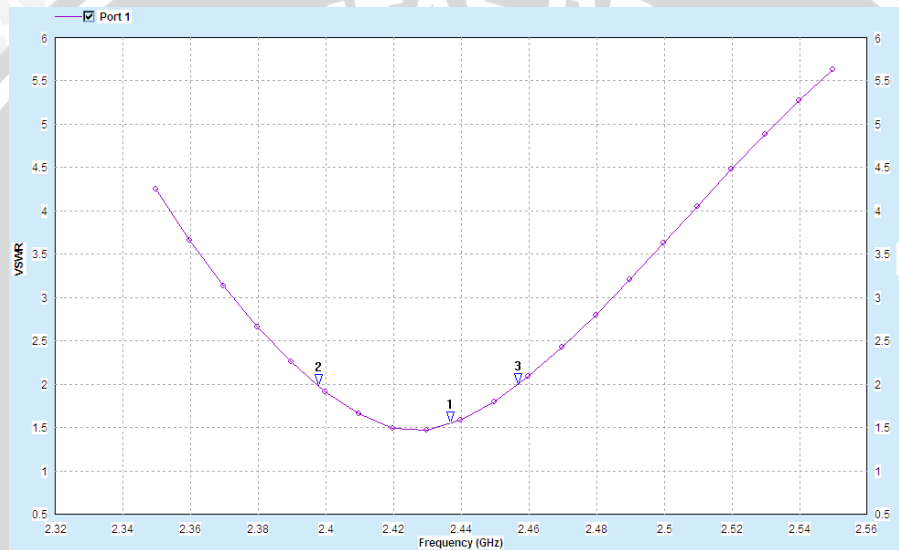
$$a = 38,15 \text{ mm}$$

$$y_0 = 4,5 \text{ mm}$$

$$Z_0 = 100 \ \Omega : W_0 = 2,845 \text{ mm}, L_t = 14,5 \text{ mm}$$

$$Z_1 = 100 \ \Omega : W_1 = 2,845 \text{ mm}, L_t = 29 \text{ mm}$$

Hasil simulasi dari antena mikrostrip *equilateral triangular array* dua elemen sebelum optimasi dapat dilihat pada Gambar 4.12 berikut :

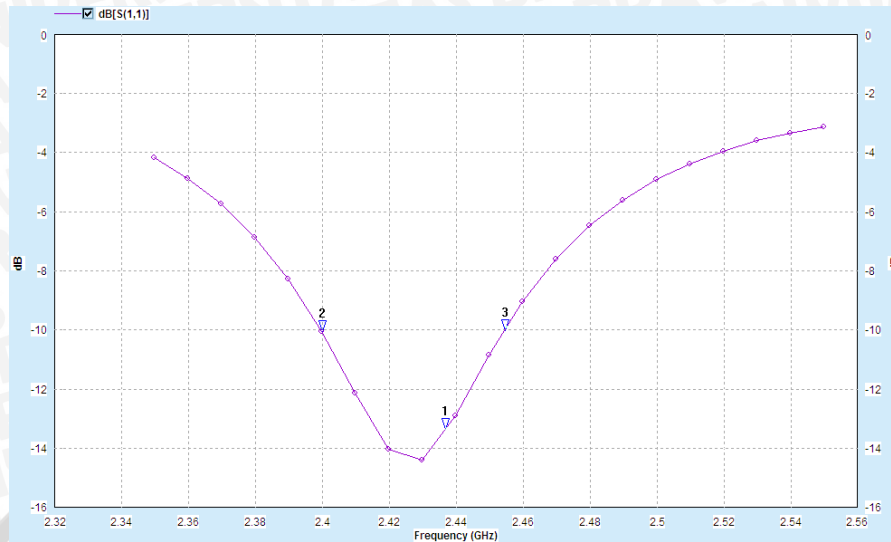


Gambar 4.12 : Grafik Hasil Simulasi VSWR

Array Dua Elemen Sebelum Optimasi

Sumber : Simulasi

Gambar 4.12 menunjukkan nilai VSWR dari simulasi dua elemen peradiasi. Untuk nilai VSWR sebuah antena bekerja dengan baik jika nilai VSWR < 2. Dari simulasi dapat dilihat kedua titik dimana nilai VSWR = 2, yaitu pada frekuensi 2397,84 MHz dan pada frekuensi 2456,78 MHz. Sedangkan pada frekuensi tengah 2437 MHz, nilai VSWR-nya sebesar 1,55178. Dari hasil ini dapat diketahui bahwa antenna dapat bekerja pada frekuensi 2437 MHz. Tetapi jika digunakan untuk WLAN, *bandwidth* yang didapat masih belum mencukupi. Gambar 4.13 menunjukkan hasil simulasi *return loss array* dua elemen sebelum optimasi.



Gambar 4.13 : Grafik Hasil Simulasi *Return Loss Array*

Dua Elemen Sebelum Optimasi

Sumber : Simulasi

Hasil simulasi pada Gambar 4.13 menunjukkan nilai *return loss* dari simulasi dua elemen peradiasi. Sebuah antenna bekerja dengan baik jika nilai *return loss* < -10 dB. Dari simulasi dapat dilihat kedua titik dimana *return loss* = -10 dB, yaitu pada frekuensi 2400 MHz dan pada frekuensi 2454,59 MHz. Sedangkan pada frekuensi tengah 2437 MHz, *return loss*-nya sebesar -13,3417 dB.

Berdasarkan kedua parameter di atas yaitu VSWR dan *return loss*, dapat dilihat bahwa antenna dapat bekerja pada frekuensi 2437 MHz, Tetapi jika akan digunakan untuk WLAN, *bandwidth* yang didapat masih belum mencukupi. Oleh karena itulah maka dilakukan optimasi terhadap antenna hasil perancangan di atas.

4.7 Optimasi Antena Array Dua Elemen

Setelah dilakukan perhitungan berdasarkan teori pada dimensi elemen peradiasi dan saluran transmisi pada perancangan antenna *equilateral triangular array* kemudian dilakukan optimasi agar antenna dapat bekerja sesuai dengan yang diinginkan. Optimasi dilakukan secara manual dalam tiga tahap yaitu dengan mengubah panjang kedalaman *inset feed* (y_0), panjang saluran *inset feed* (L_t) dan panjang saluran transmisi antar elemen (L_1). Langkah-langkah dan hasil optimasi antenna mikrostrip *equilateral triangular array* dua elemen adalah sebagai berikut:

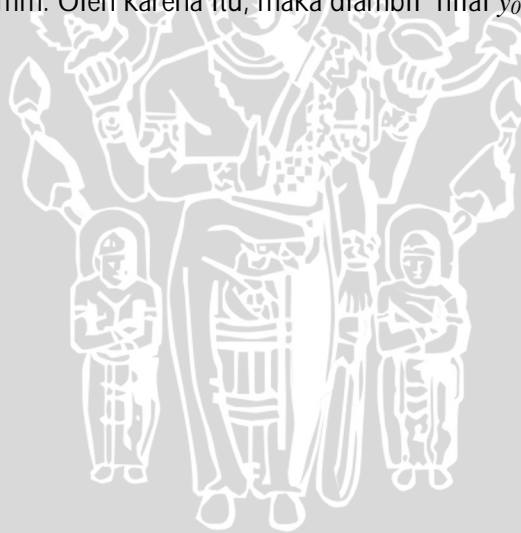
Langkah 1: Mengubah kedalaman *inset* y_0 dengan $L_t=14,5$ mm dan $L_1 = 29$ mm

Tabel 4.3 : Nilai VSWR dengan Optimasi Kedalaman *Inset feed* (y_0)

No.	y_0 (mm)	VSWR
1	3,5	1,78899
2	4	1,64634
3	4,5	1,54652
4	5	1,41083
5	5,5	1,28145
6	6	1,15088
7	6,25	1,14105
8	6,55	1,11116
9	6,85	1,1707
10	7,15	1,27
11	7,5	1,41916

Sumber : perancangan

Dari Tabel 4.3 di atas dapat dilihat bahwa minimum dari nilai VSWR ialah 1,11116 pada $y_0 = 6,55$ mm. Oleh karena itu, maka diambil nilai y_0 sebesar 6,55 mm.



Langkah 2: Mengubah panjang saluran *inset feed* (L_1) dengan $y_0 = 6,55$ mm dan $L_1 = 29$ mm.

Tabel 4.4 : Nilai VSWR dengan Optimasi Panjang Saluran *Inset Feed* (L_1)

No.	L_1 (mm)	VSWR
1	14,5	1,11116
2	14,65	1,1074

3	14,80	1,10572
4	14,95	1,10943
5	14,25	1,13387
6	14,10	1,15051
7	13,85	1,17998
8	13,40	1,2419
9	13,15	1,28003
10	13	1,304
11	12,75	1,34562
12	12,40	1,40705

Sumber : Perancangan

Dari Tabel 4.4 dapat dilihat bahwa nilai optimum VSWR ialah 1,10572 pada L_t = 14,8 mm. Oleh karena itulah diambil nilai L_t sebesar 14,8 mm.



Langkah 3 : Mengubah panjang saluran transmisi antar elemen (L_1 dan L_2) dengan $y_0 = 6,55$ mm dan $L_t = 14,8$ mm.

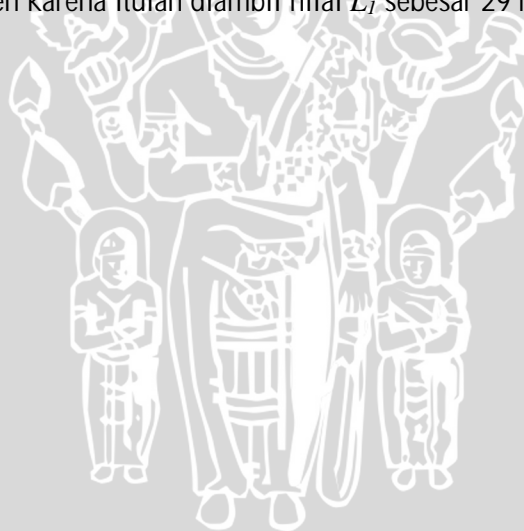
Tabel 4.5 : Nilai VSWR dengan Optimasi Panjang Saluran Antar Elemen (L_1 dan L_2)

No.	$L_1 = L_2$ (mm)	VSWR(2437)
1	29	1,10572
2	28,5	1,13092
3	28,1	1,17686

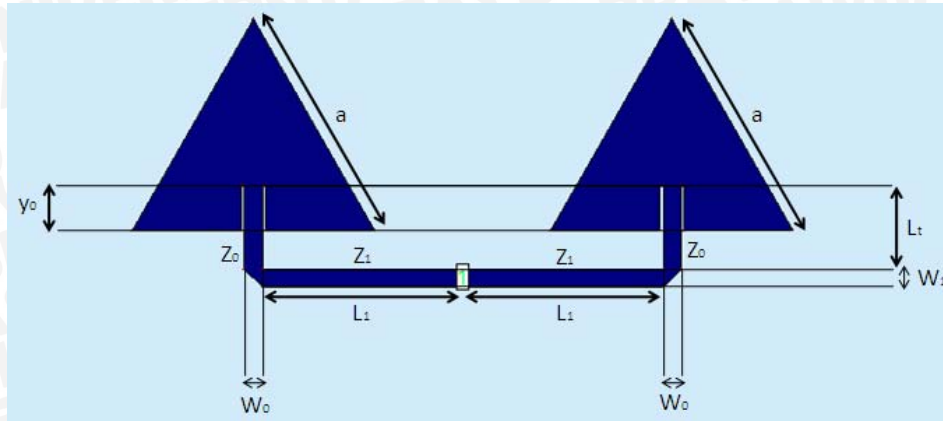
4	27,6	1,24516
5	27,2	1,30601
6	26,7	1,3874
7	29,45	1,13159
8	29,90	1,1846
9	30,3	1,2424
10	30,9	1,34093
11	31,4	1,43158
12	32	1,55153
13	32,5	1,65567
14	33,1	1,78709
15	33,6	1,90106

Sumber : Perancangan

Dari Tabel 4.5 dapat dilihat bahwa nilai maksimum VSWR ialah 1,10572 pada $L_1 = L_2$ yaitu 29 mm. Oleh karena itulah diambil nilai L_1 sebesar 29 mm.



Hasil akhir dimensi elemen peradiasi dan saluran transmisi setelah optimasi dapat dilihat pada Gambar 4.13 berikut.



Gambar 4.14 : Antena Mikrostrip *Equilateral Triangular Array* Setelah Optimasi

Sumber : Perancangan

Keterangan Gambar 4.14 :

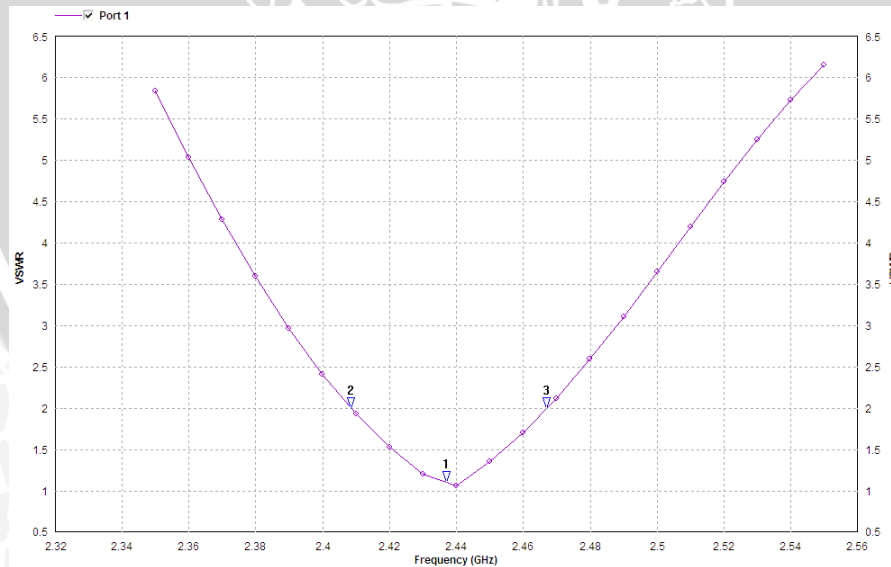
$a = 38,15 \text{ mm}$

$y_0 = 6,55 \text{ mm}$

$Z_0 = 100 \Omega : W_1 = 2,845 \text{ mm}, L_t = 14,8 \text{ mm}$

$Z_1 = 100 \Omega : W_1 = 2,845 \text{ mm}, L_1 = 29 \text{ mm}$

Hasil simulasi dari antena mikrostrip *equilateral triangular array* dua elemen setelah optimasi dapat dilihat pada Gambar 4.15 berikut.

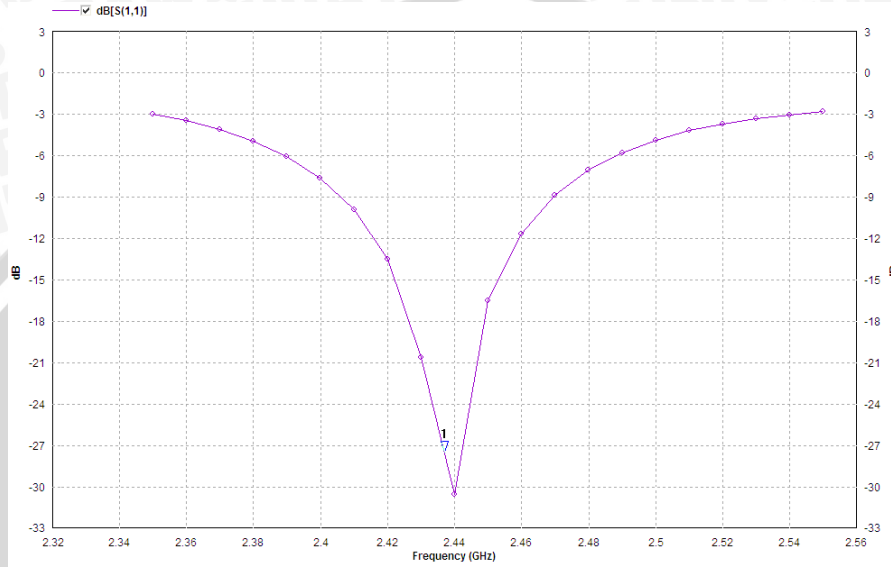


Gambar 4.15 : Grafik Hasil Simulasi Optimasi VSWR *Array* Dua Elemen

Sumber : Simulasi

Dari Gambar 4.15 dapat dilihat bahwa elemen peradiasi sudah bekerja paling maksimal pada frekuensi 2437 MHz sebesar 1,0572.

Dari grafik diatas juga dapat diketahui besarnya *bandwidth* yaitu pada rentang nilai $VSWR \leq 2$. Nilai $VSWR < 2$ dimulai dari 2408,62 MHz sampai 2467,07 MHz, sehingga antenna mempunyai *bandwidth* sebesar $(2467,07-2408,62)$ MHz = 58,45 MHz. *Bandwidth* yang didapat memang relatif kecil karena antenna hanya terdiri dari dua elemen peradiasi. Sedangkan untuk *return loss* dapat dilihat pada Gambar 4.16 berikut.

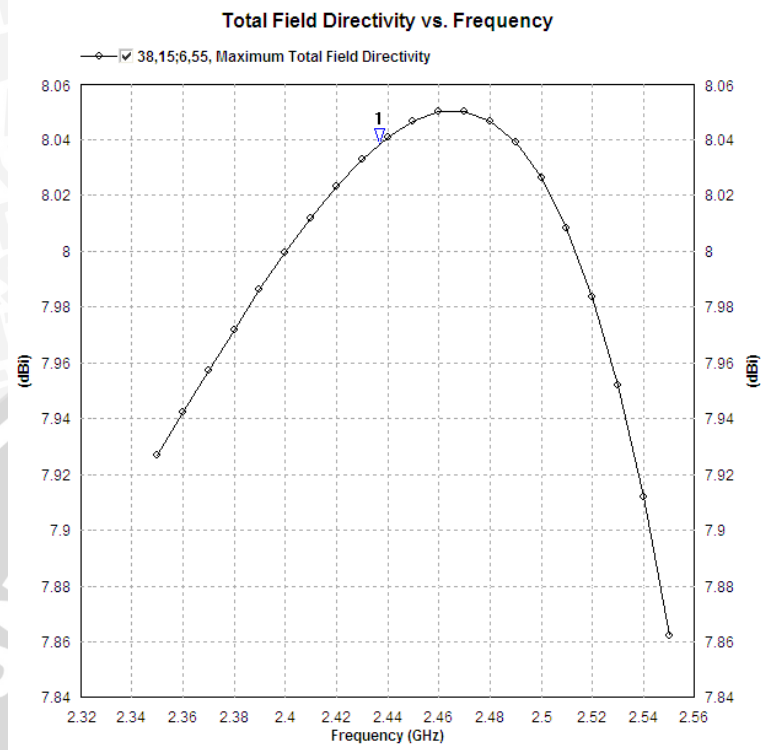


Gambar 4.16 : Grafik Hasil Simulasi Optimasi *Return Loss* Array Dua Elemen

Sumber : Simulasi

Dari Gambar 4.16 dapat dilihat bahwa elemen peradiasi sudah bekerja paling maksimal pada frekuensi yang diinginkan yaitu 2437 MHz dengan nilai *return loss* untuk frekuensi 2437 MHz sebesar -27,465 dB.

Selanjutnya parameter *directivity* dapat dilihat pada Gambar 4.17 berikut.

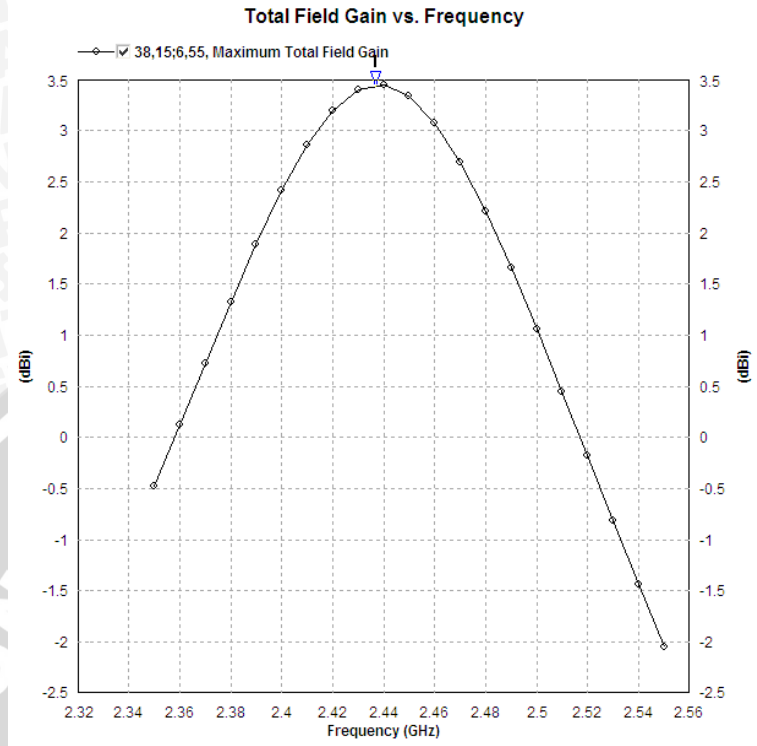


Gambar 4.17 : Grafik Hasil Simulasi Optimasi Nilai *Directivity Array* Dua Elemen

Sumber : Simulasi

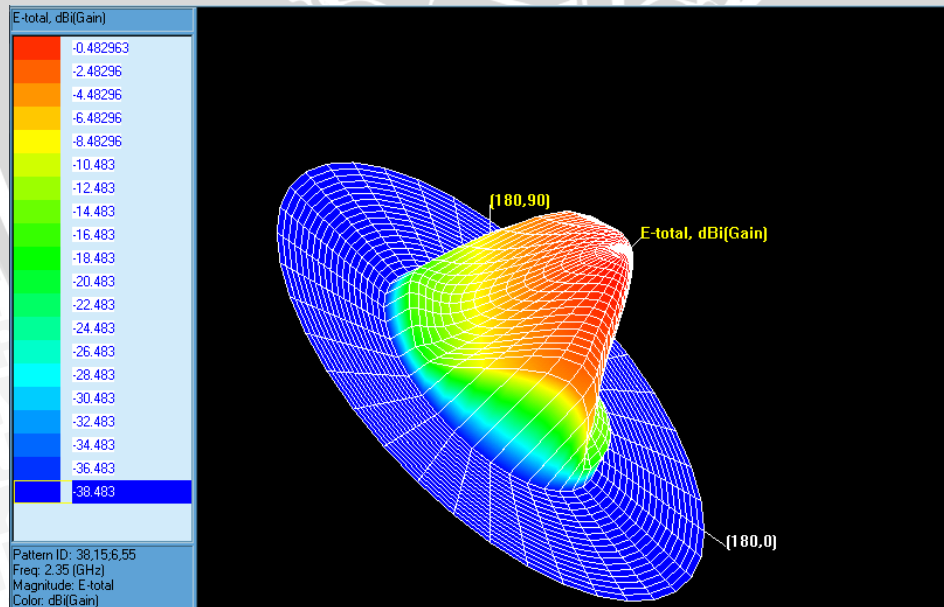
Dari Gambar 4.17 dapat dilihat bahwa elemen peradiasi pada frekuensi 2437 MHz memiliki nilai *directivity* sebesar 8,03862 dBi.

Parameter berikutnya yaitu *gain* pada Gambar 4.18a dan 4.18b berikut.



Gambar 4.18a : Grafik Hasil Optimasi *Gain Array* Dua Elemen

Sumber : Simulasi



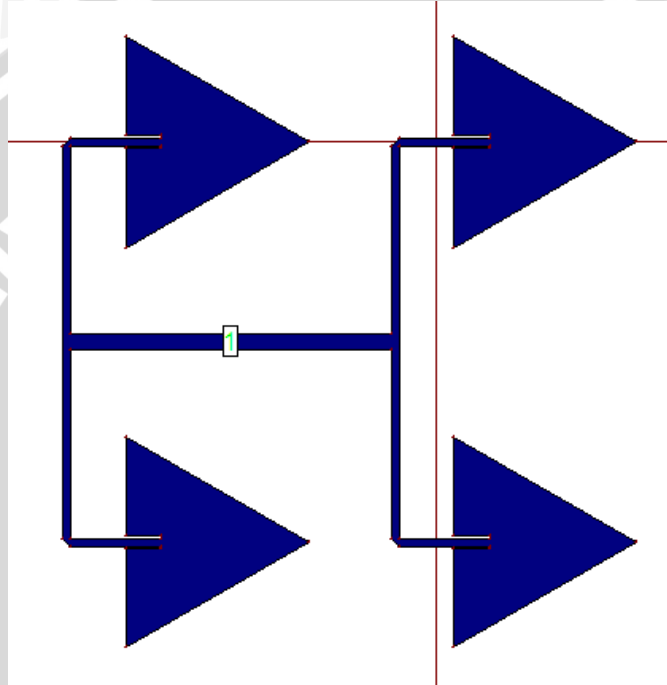
Gambar 4.18b : *Gain Pattern* 3D Array Dua Elemen

Sumber : Simulasi

Dari Gambar 4.18a dan 4.18b dapat diketahui bahwa *gain* antenna pada frekuensi 2437 MHz sebesar 3,43504 dBi.

4.8 Perancangan Antena *Array* Empat Elemen

Saluran transmisi yang direncanakan pada antena mikrostrip *equilateral triangular array* ini ialah *inset feed*. Dengan demikian bentuk antena menjadi seperti pada gambar 4.19 berikut.



Gambar 4.19 : Antena Mikrostrip *Equilateral Triangular Array* Empat Elemen

Sumber : Simulasi

Untuk dimensi elemen peradiasi seperti pada subbab 4.5, panjang sisi segitiga setelah optimasi ialah 38,15 mm, sehingga nilai ini juga yang akan digunakan sebagai dimensi setiap segitiga pada antena *array* empat elemen.

Untuk perhitungan dimensi saluran transmisi dapat digunakan persamaan (2.30) di berikut.

$$W_0 = \frac{k}{Z_0} x \frac{h}{\sqrt{e_r}} \text{ (mm)}$$

Pada perancangan antena mikrostrip ini nilai impedansi pada setiap saluran direncanakan sebesar 200 Ω . Sedangkan untuk mendapatkan impedansi total 50 Ω , saluran transmisi paralelnya direncanakan sebesar 100 Ω .

Dengan nilai $h = 1,6$ mm dan $\epsilon_r = 4,5$ maka diperoleh nilai W_T (lebar saluran transmisi) untuk tiap-tiap nilai impedansi.

Nilai $Z_0 = 200 \Omega$:

$$W_1 = \frac{120p}{200} \times \frac{1.6}{\sqrt{4,5}} \text{ (mm)}$$

$$W_1 = 1,422 \text{ mm}$$

Nilai $Z_1 = 100 \Omega$:

$$W_2 = \frac{120p}{100} \times \frac{1.6}{\sqrt{4,5}} \text{ (mm)}$$

$$W_2 = 2,845 \text{ mm}$$

Untuk panjang saluran transmisi dihitung dengan persamaan :

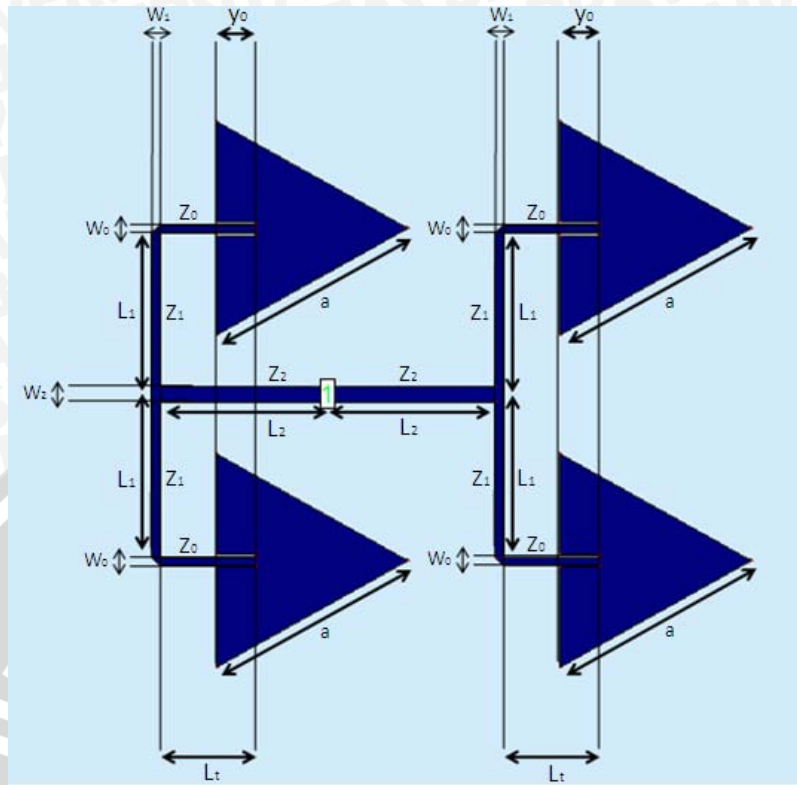
$$L_t = \frac{1}{4} l_d \text{ (m)}$$

Dengan $l_d = 0,058$ m untuk frekuensi 2437 MHz, maka panjang saluran transmisi adalah :

$$L_1 = \frac{1}{4} \cdot 0,058 = 0,0145 \text{ m} = 14,5 \text{ mm}$$

Agar diperoleh nilai distribusi arus yang maksimal, maka jarak antara elemen peradiasi dengan titik satu harus kelipatan ganjil dari $\frac{1}{4} l_d$. Oleh karena itu panjang saluran transmisi L_1 dikalikan 2 untuk mendapatkan nilai panjang saluran transmisi total masing-masing elemen peradiasi sebesar $\frac{3}{4} l_d$. Maka panjang L_1 adalah 29 mm. Sedangkan panjang saluran L_2 , sama dengan panjang L_1 , yaitu 29 mm.

Gambar 4.19 menunjukkan antenna mikrostrip *equilateral triangular array* sebelum optimasi



Gambar 4.20 : Antena Mikrostrip *Equilateral Triangular Array* Sebelum Optimasi
 Sumber : Perancangan

Keterangan gambar 4.20 :

$$a = 38,15 \text{ mm}$$

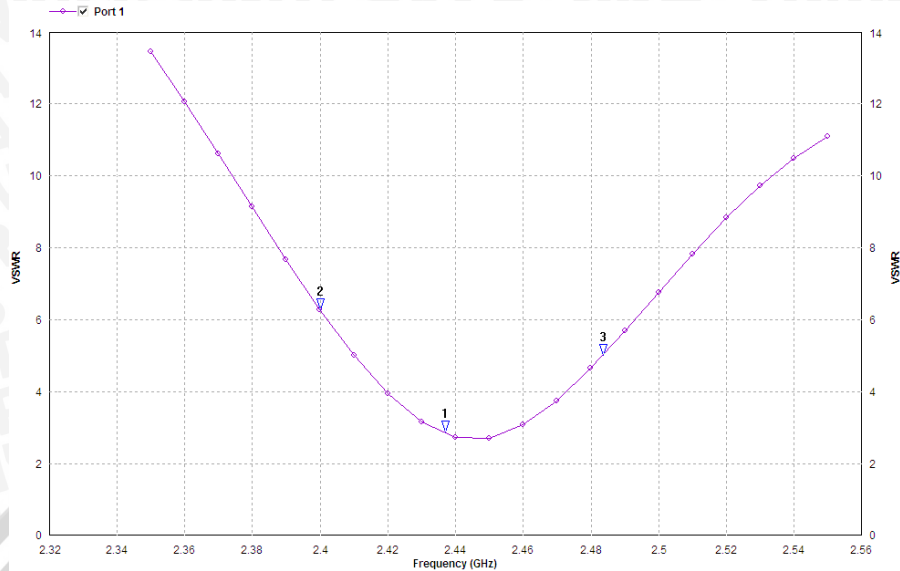
$$y_0 = 6,55 \text{ mm}$$

$$Z_0 = 200 \Omega ; W_0 = 1,422 \text{ mm}, L_1 = 14,5 \text{ mm}$$

$$Z_1 = 200 \Omega ; W_1 = 1,422 \text{ mm}, L_1 = 29 \text{ mm}$$

$$Z_2 = 100 \Omega ; W_2 = 2,845 \text{ mm}, L_2 = 29 \text{ mm}$$

Hasil simulasi dari antena mikrostrip *equilateral triangular array* empat elemen sebelum optimasi dapat dilihat pada Gambar 4.21 berikut.



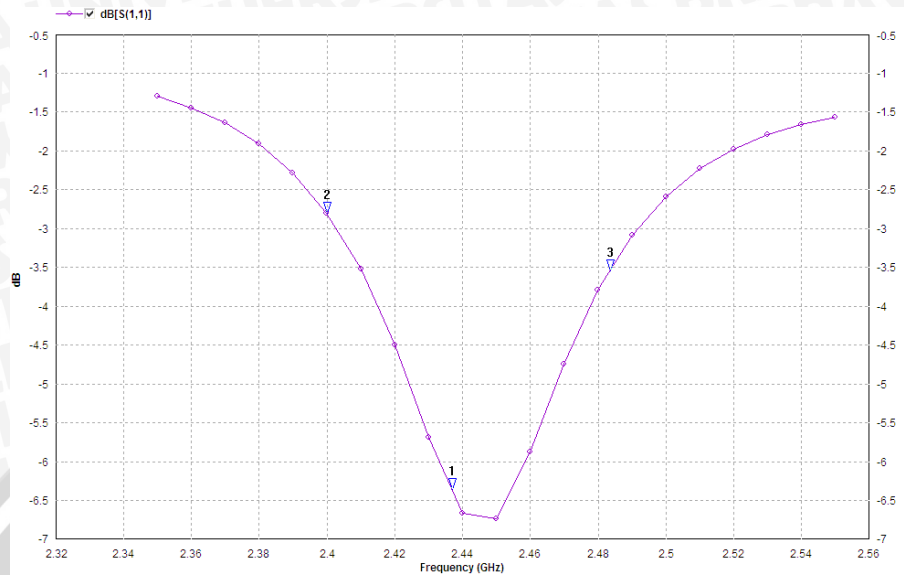
Gambar 4.21 : Grafik Hasil Simulasi VSWR Array Empat Elemen Sebelum Optimasi

Sumber : Simulasi

Simulasi pada Gambar 4.21 menunjukkan nilai VSWR dari empat elemen peradiasi. Untuk nilai VSWR sebuah antenna bekerja dengan baik jika nilai VSWR < 2. Dari hasil simulasi dapat dilihat bahwa pada frekuensi 2400 MHz antenna mempunyai nilai VSWR sebesar 6,26499 dan pada frekuensi 2483,5 MHz nilai VSWR sebesar 5,01317. Sedangkan pada frekuensi tengah 2437 MHz, nilai VSWR-nya sebesar 2,86733.



Sedangkan untuk *return loss* dapat dilihat pada Gambar 4.22 berikut.



Gambar 4.22 : Grafik Hasil Simulasi *Return Loss*

Empat Elemen Sebelum Optimasi

Sumber : Simulasi

Hasil Simulasi pada Gambar 4.22 menunjukkan nilai *return loss* dari empat elemen peradiasi. Antena bekerja dengan baik jika nilai *return loss* < -10 dB. Dari hasil simulasi dapat dilihat bahwa pada frekuensi 2400 MHz antena mempunyai nilai *return loss* sebesar -2,79675 dB dan pada frekuensi 2483,5 MHz nilai *return loss*-nya sebesar -3,54675 dB. Sedangkan pada frekuensi tengah 2437 Mhz, antena mempunyai nilai *return loss* sebesar -6,35970 dB.

Berdasarkan kedua parameter di atas yaitu VSWR dan *return loss*, dapat dilihat bahwa antena belum dapat bekerja dengan baik pada frekuensi yang diinginkan. Oleh karena itulah maka dilakukan optimasi terhadap antena hasil perancangan di atas.

4.9 Optimasi Antena *Array* Empat Elemen

Setelah dilakukan perhitungan berdasarkan teori pada dimensi elemen peradiasi dan saluran transmisi pada perancangan antena *equilateral triangular array* kemudian dilakukan optimasi agar antena dapat bekerja sesuai dengan yang diinginkan. Optimasi dilakukan secara manual dengan mengubah ukuran pada empat bagian antena yaitu panjang kedalaman *inset feed* (y_0), panjang saluran *inset feed* (L_t), panjang saluran transmisi antar elemen vertikal (L_1), serta panjang saluran transmisi antar elemen pada arah horisontal (L_2) sehingga didapat dimensi yang diinginkan.

Tabel 4.6 : Nilai VSWR dengan Optimasi y_0 , L_t , L_1 , dan L_2

NO.	y_0 (mm)	L_t (mm)	L_1 (mm)	L_2 (mm)	VSWR pada 2437 MHz	Frekuensi lowwer (MHz)	Frekuensi upper (MHz)
1	6,55	14,5	29	29	2,86733	-	-
2	6,53	14,5	29	29	2,82236	-	-
3	6,53	14,3	29	29	2,88426	-	-
4	6,53	14,3	28,5	29	3,04870	-	-
5	6,53	14,3	29,5	29	2,71966	-	-
6	6,53	14,3	30	29	2,55016	-	-
7	6,53	14,3	30,5	29	2,38983	-	-
8	6,53	14,3	32	29	1,93767	2433,13	2445,79
9	6,53	14,3	33	29	1,67051	2423,16	2452,53
10	6,53	14,3	34	29	1,43509	2415,62	2456,30
11	6,53	14,3	35	29	1,25162	2408,89	2460,34
12	6,53	14,3	36	29	1,15982	2403,50	2464,92
13	6,53	14,3	37	29	1,26485	2399,46	2472,19
14	6,53	14,3	38	29	1,44547	2399,19	2,4897
15	6,53	14,3	37	28,5	1,19733	2401,62	2470,57
16	6,53	14,3	36	29,5	1,19688	2401,08	2465,45
17	6,51	14,3	36	29	1,16123	2403,50	2464,65
18	6,57	14,3	36	29	1,14519	2404,85	2466,26
19	6,6	14,3	36	29	1,14372	2404,85	2466,26
20	6,57	14	36	29	1,15727	2406,46	2464,38
21	6,57	13,6	36	29	1,19851	2408,35	2462,49
22	6,57	14,8	36	29	1,17392	2402,69	2469,49
23	6,57	15,4	36	29	1,25306	2400,54	2475,69
24	6,57	16	36	29	1,35617	2400	2485,93
25	6,57	16,5	36	29	1,45223	2401,08	2498,05
26	6,57	16	35,5	29	1,26245	2400,54	2477,31
27	6,57	16,5	35,5	29	1,34836	2400	2486,20
28	6,57	16,5	35	29	1,2557	2400,54	2477,58

Sumber : Perancangan

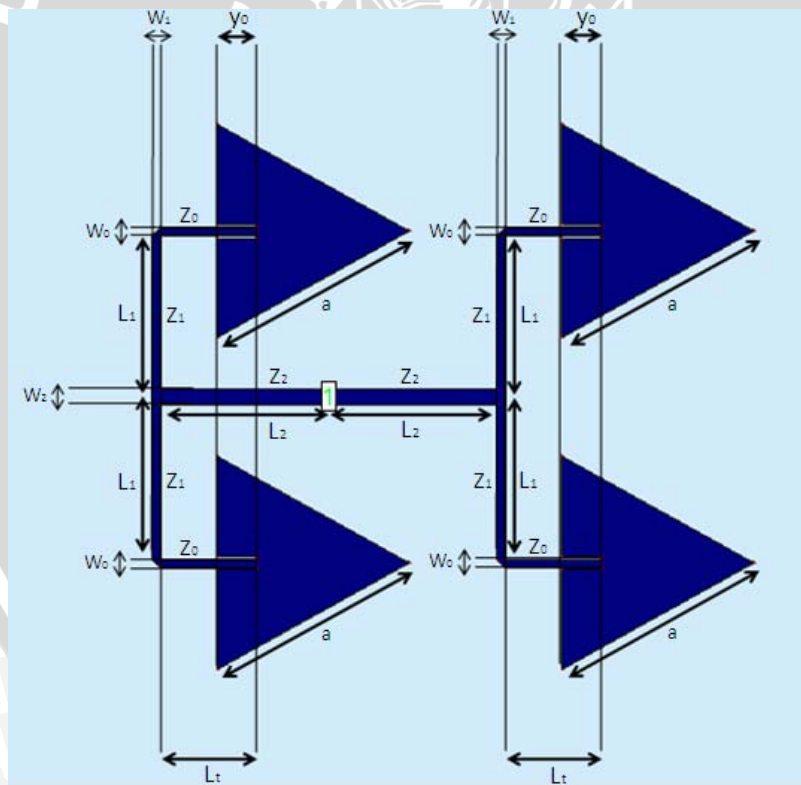
Lanjutan

NO.	y_0 (mm)	L_t (mm)	L_1 (mm)	L_2 (mm)	VSWR pada 2437 MHz	Frekuensi <i>lower</i> (MHz)	Frekuensi <i>upper</i> (MHz)
29	6,57	16,5	35,5	28,5	1,26645	2401,35	2481,08
30	6,57	16,5	35,5	28	1,19178	2403,23	2477,58
31	6,57	16,5	35,5	29,5	1,43658	2399,19	2493,47
32	6,57	16,5	35,5	29,8	1,49199	2399,19	2499,12

Sumber : Perancangan

Dari Tabel 4.6 dapat dilihat bahwa nilai maksimum VSWR ialah 1,34836 pada $y_0 = 6,57$ mm, $L_t = 16,5$ mm, $L_1 = 35,5$ mm, $L_2 = 29$ mm, sehingga nilai inilah yang diambil sebagai hasil akhir optimasi antena.

Hasil akhir dimensi elemen peradiasi dan saluran transmisi setelah optimasi dapat dilihat pada Gambar 4.23 berikut.



Gambar 4.23 : Antena Mikrostrip *Equilateral Triangular Array* Setelah Optimasi

Sumber : Perancangan

Keterangan Gambar 4.23 :

$$a = 38,15 \text{ mm}$$

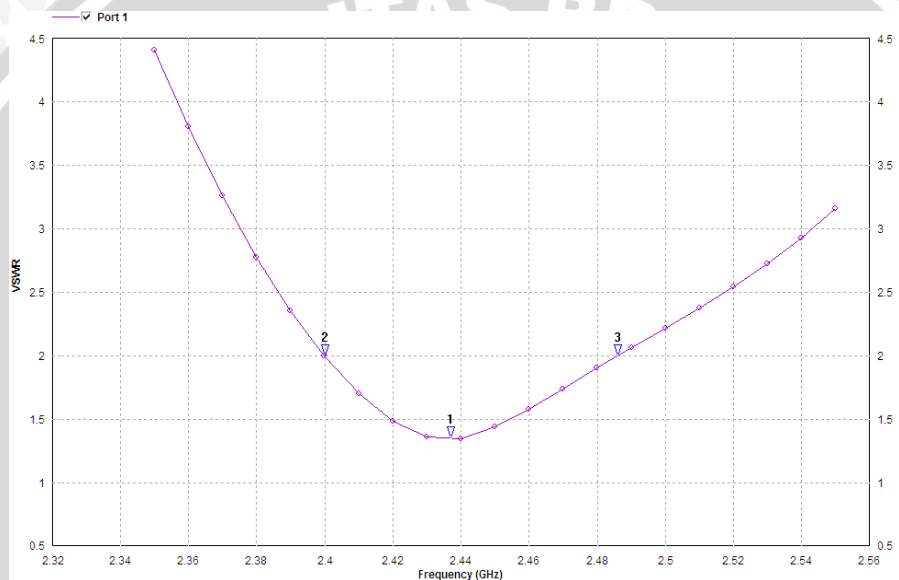
$$y_0 = 6,57 \text{ mm}$$

$$Z_0 = 200 \ \Omega ; W_0 = 1,422 \text{ mm} ; L_1 = 16,5 \text{ mm}$$

$$Z_1 = 200 \ \Omega ; W_1 = 1,422 \text{ mm} ; L_1 = 35,5 \text{ mm}$$

$$Z_2 = 100 \ \Omega ; W_2 = 2,845 \text{ mm} ; L_2 = 29 \text{ mm}$$

Hasil simulasi dari antena mikrostrip *equilateral triangular array* empat elemen setelah optimasi dapat dilihat pada Gambar 4.24 berikut

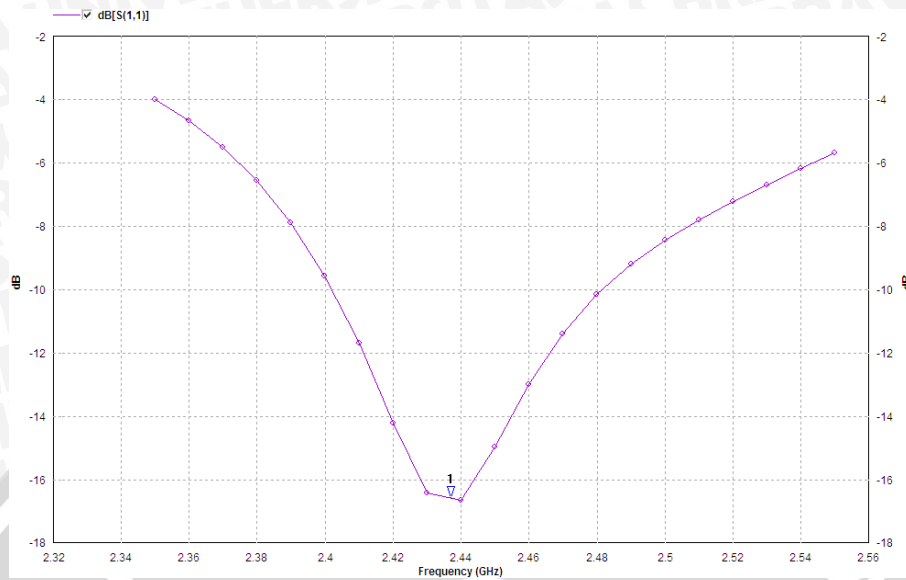


Gambar 4.24 : Grafik Hasil Simulasi Optimasi VSWR *Array* Empat Elemen

Sumber : Simulasi

Dari Gambar 4.24 dapat dilihat bahwa elemen peradiasi sudah bekerja paling maksimal pada frekuensi 2437 MHz sebesar 1,34836, dengan *bandwidth* yang mencukupi. Dari grafik diatas dapat diketahui besarnya *bandwidth* yaitu pada rentang nilai $VSWR \leq 2$. Nilai $VSWR < 2$ dimulai dari 2400 MHz sampai 2486,2 MHz, sehingga antena mempunyai *bandwidth* sebesar $(2486,2 - 2400) \text{ MHz} = 86,2 \text{ MHz}$. *Bandwidth* yang didapat memang masih relatif kecil, tetapi sudah mencakup *bandwidth* dari WLAN.

Sedangkan untuk *return loss* dapat dilihat pada Gambar 4.25 berikut.

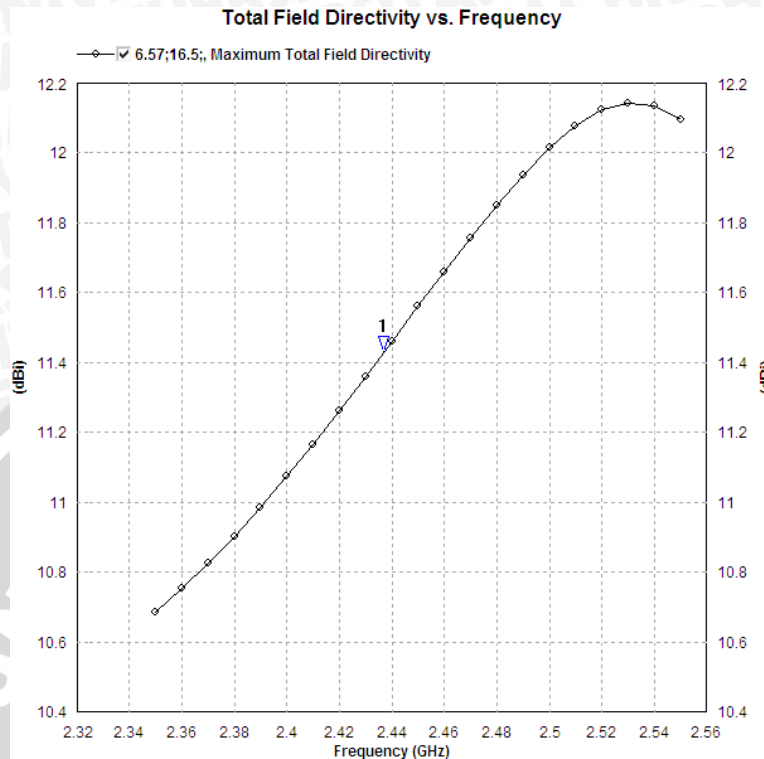


Gambar 4.25 : Grafik Hasil Simulasi Optimasi *Return Loss* Array Empat Elemen

Sumber : Simulasi

Dari Gambar 4.25 dapat dilihat bahwa elemen peradiasi sudah bekerja paling maksimal pada frekuensi yang diinginkan yaitu 2437 MHz dengan nilai *return loss* untuk frekuensi 2437 MHz sebesar -16,5755 dB.

Selanjutnya parameter *directivity* dapat dilihat pada Gambar 4.26 berikut.

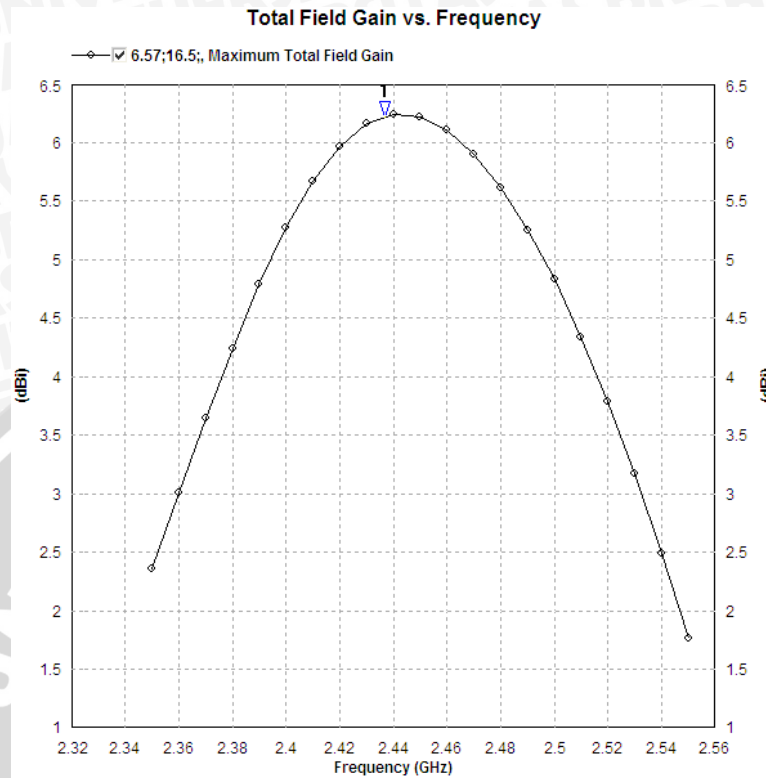


Gambar 4.26 : Grafik Hasil Simulasi Optimasi Nilai *Directivity Array* Empat Elemen

Sumber : Simulasi

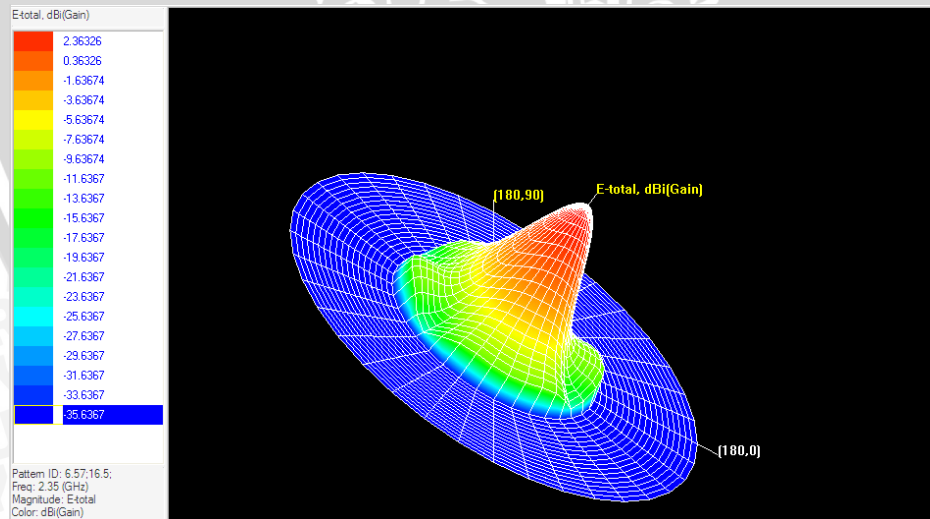
Dari Gambar 4.26 dapat dilihat bahwa elemen peradiasi pada frekuensi 2437 MHz memiliki nilai *directivity* sebesar 11,4306 dBi.

Parameter berikutnya yaitu *gain* dapat dilihat pada Gambar 4.27a dan 4.27b berikut.



Gambar 4.27a : Grafik Hasil Optimasi *Gain* Array Empat Elemen

Sumber : Simulasi



Gambar 4.27b : *Gain Pattern* 3D Array Dua Elemen pada frekuensi 1575MHz

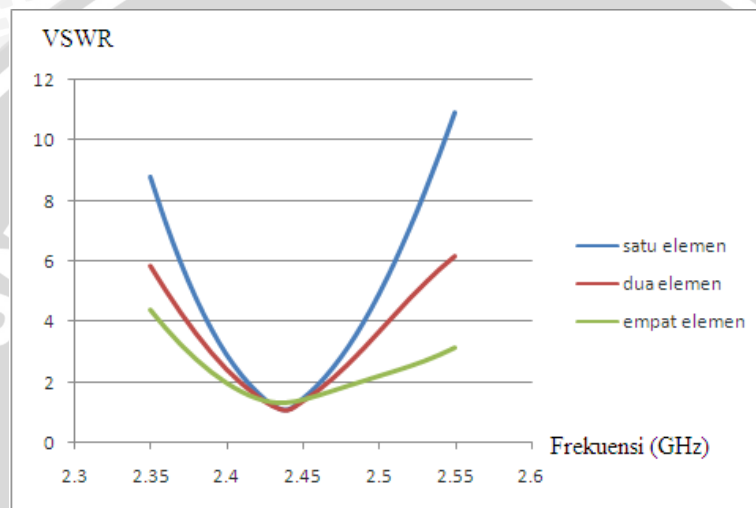
Sumber : Simulasi

Dari Gambar 4.27a dan 4.27b dapat diketahui bahwa *gain* antenna pada frekuensi 2437 MHz sebesar 6,22012 dBi.

4.10 Analisis Hasil Simulasi

Berdasarkan hasil simulasi yang telah dilakukan pada parameter-parameter antenna yang meliputi *VSWR*, *return loss*, *directivity*, *gain*, serta perhitungan *bandwidth*, dapat dikatakan bahwa antenna sudah dapat bekerja pada frekuensi yang diinginkan setelah melalui optimasi.

Perbandingan antara performansi hasil simulasi antenna mikrostrip *equilateral triangular* satu elemen, *array* dua elemen dan *array* empat elemen dapat dilihat dari parameter-parameter di atas, yang pertama yaitu *VSWR* pada Gambar 4.28 berikut.

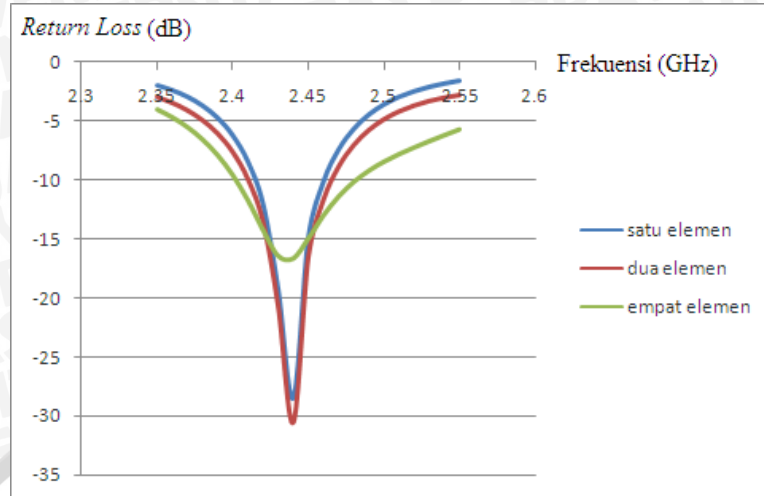


Gambar 4.28 : Grafik Perbandingan Hasil Simulasi VSWR Satu Elemen, Dua Elemen, dan Empat Elemen

Sumber : Hasil Simulasi

Gambar 4.28 menunjukkan nilai *VSWR* antenna mikrostrip *equilateral triangular*. Berdasarkan grafik di atas dapat disimpulkan bahwa antenna dengan jumlah elemen peradiasi yang lebih banyak relatif mempunyai nilai *VSWR* yang lebih besar, tetapi *bandwidth* yang dihasilkan juga lebih besar. Ini membuktikan bahwa penambahan jumlah elemen pada antenna mikrostrip dapat menambah *bandwidth* tetapi juga menaikkan nilai *VSWR*-nya.

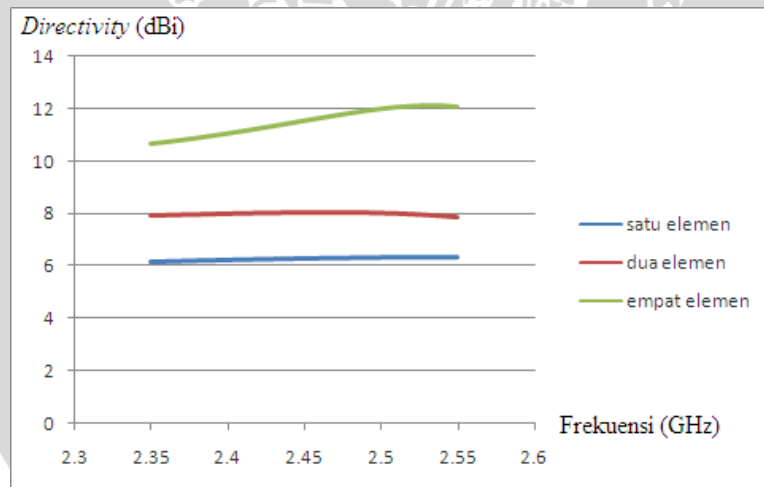
Parameter selanjutnya yang dapat dilihat dari hasil simulasi ialah *return loss* pada Gambar 4.29 berikut.



Gambar 4.29: Grafik Perbandingan Hasil Simulasi *Return Loss* Satu Elemen, Dua Elemen, dan Empat Elemen

Sumber : Hasil Simulasi

Dari Gambar 4.29 dapat dilihat bahwa dengan elemen peradiasi yang lebih banyak menghasilkan nilai *return loss* yang lebih besar dan sebaliknya. Parameter selanjutnya yang dapat dilihat dari hasil simulasi adalah *directivity* pada Gambar 4.30 berikut.

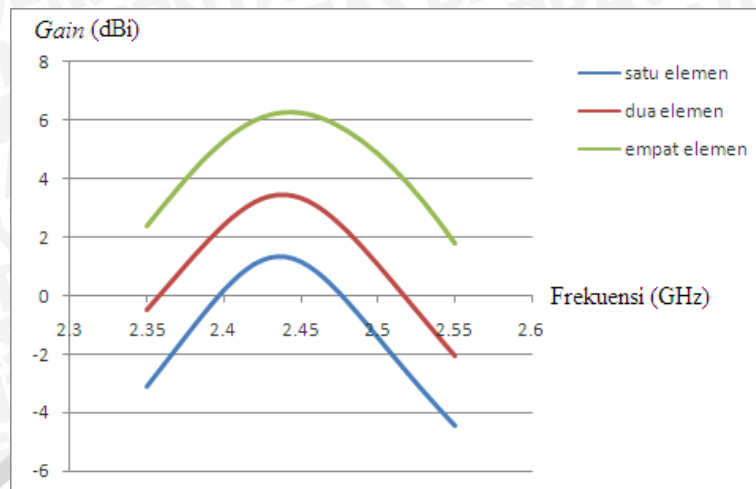


Gambar 4.30 : Grafik Perbandingan Hasil Simulasi *Directivity* Satu Elemen, Dua Elemen dan Empat Elemen

Sumber : Hasil Simulasi

Dari grafik 4.30 dapat dilihat bahwa dengan elemen peradiasi yang lebih banyak menghasilkan nilai *directivity* yang lebih besar dan sebaliknya.

Parameter selanjutnya yang dapat dilihat dari hasil simulasi adalah *gain* pada Gambar 4.31 berikut.



Gambar 4.31 : Grafik Perbandingan Hasil Simulasi *Gain* Satu Elemen, Dua Elemen, dan dan *Array* Empat Elemen

Sumber : Hasil Simulasi

Dari Gambar 4.31 dapat dilihat bahwa dengan elemen peradiasi yang lebih banyak menghasilkan nilai *gain* yang lebih besar dan sebaliknya.

Dengan memperhatikan karakteristik antenna hasil simulasi berdasarkan keempat parameter di atas, maka dapat dikatakan bahwa antenna mikrostrip *Equilateral Triangular Array 2x2* hasil perancangan ini sudah memenuhi parameter yang diinginkan (WLAN b/g 2400-2483,5 MHz) yaitu dengan *bandwidth* minimal 83,5 MHz. Dengan demikian langkah selanjutnya adalah fabrikasi antenna yang desainnya sesuai dengan hasil simulasi di atas.

4.11 Pembuatan Antena Mikrostrip

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

4.11.1 Alat-alat dan bahan yang digunakan

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

1. *Layout* rancangan dengan *AutoCAD 2008* dicetak di atas kertas kalkir dengan skala 1:1

2. PCB dengan bahan substrat FR4 dengan lapisan konduktornya dari logam tembaga.
3. *Acrilic*
4. Jangka sorong
5. Mikrometer
6. Ulano – 133
7. *Screen T* – 180
8. Amplas *waterproof* CC – Cw
9. Gergaji besi
10. Kikir penghalus
11. Konektor antena standar BNC
12. Bor dan mata bor dengan diameter 1 mm
13. Solder dan timah

4.11.2 Pencetakan pola antena mikrostrip pada substrat

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

Sebelum proses pencetakan, lembaran PCB harus dibersihkan dari debu dan kotoran lainnya yang mungkin melekat pada PCB tersebut. Pembersihan dilakukan dengan menggosokkan kompon atau kit, kemudian dicuci dengan menggunakan deterjen agar tidak ada lagi sisa kotoran yang menempel. Kemudian *screen T-180* dibersihkan dengan air sabun hingga benar-benar bersih, lalu dikeringkan. Setelah *screen* kering, *screen* dilapisi dengan ulano-133, pelapisan ini prosesnya dilakukan pada tempat yang tidak terkena cahaya apapun secara langsung (bebas dari sinar *ultraviolet*). Setelah selesai pelapisan tersebut, maka *screen* dikeringkan dengan menggunakan *hairdryer*.

Setelah itu lembar *layout* yang telah dibuat sebelumnya diletakkan di atas *screen* yang telah terlapisi ulano-133 tersebut. Selanjutnya, sinari dengan cahaya matahari ± 1 menit. Kemudian *screen* tersebut dibawa kembali ke ruang yang tidak terkena sinar

secara langsung, untuk proses pembasahan dengan menggunakan air, agar tercetak pola antena mikrostrip pada *screen* tersebut. Selanjutnya *screen* ini dapat digunakan untuk mencetak (menyablon) pola antena mikrostrip yang diinginkan pada PCB yang akan digunakan.

4.11.3 Etching

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

Proses selanjutnya yang merupakan proses terakhir adalah pelapisan lapisan konduktor antena mikrostrip dengan menggunakan cairan perak nitrat, yaitu dengan cara mencelupkannya ke dalam cairan perak nitrat dalam waktu ± 15 menit, sampai benar-benar seluruh lapisan konduktor telah terlapsi dengan perak. Setelah itu antena mikrostrip ini dicuci dan dibersihkan.



BAB V

PENGUKURAN DAN ANALISIS ANTENA MIKROSTRIP *EQUILATERAL TRIANGULAR ARRAY 2X2*

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 peromansi dari antena mikrostrip *Equilateral Triangular Array 2x2* 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 VSWR
- Perhitungan koefisien pantul
- Pengukuran *gain* antena.
- Pengukuran pola radiasi.
- Pengukuran polarisasi.
- Perhitungan *bandwidth*
- Perhitungan *directivity*

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

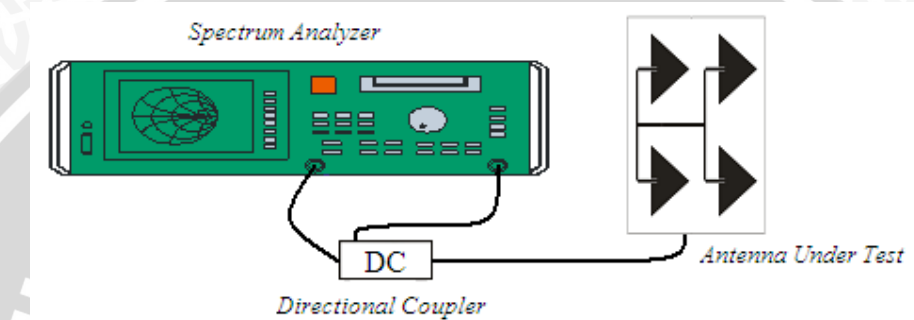
5.2 Pengukuran *Return Loss*, Perhitungan VSWR dan Koefisien Pantul

5.2.1 Alat-alat yang digunakan

- *GW Instek Spectrum Analyzer* 2,7 GHz.
- *Directional coupler*
- Antena uji (antena mikrostrip *Equilateral Triangular Array 2x2*).
- Kabel koaksial RG-58A/U.
- Kabel *adapter* N to BNC

5.2.2 Prosedur pengukuran

1. Menghidupkan alat ukur *spectrum analyzer* dan tunggu ± 5 menit untuk persiapan pengukuran.
2. Menghubungkan kabel koaksial RG-58A/U dengan alat ukur *spectrum analyzer*.
3. Mengkalibrasi alat ukur *spectrum analyzer* yang telah dihubungkan kabel koaksial RG-58A/U.
4. Menghubungkan ujung lain kabel koaksial RG-58A/U dengan antenna uji sehingga terbentuk rangkaian seperti pada Gambar 5.1 berikut.



Gambar 5.1 : Rangkaian Pengukuran *Return Loss*

Sumber : Pengukuran

5. Mengatur alat ukur *spectrum analyzer* pada range frekuensi 2200 MHz – 2700 MHz.
6. Mencatat nilai *return loss* yang ditunjukkan oleh alat ukur *spectrum analyzer* pada range frekuensi 2310 MHz - 2500 MHz dengan *step* kenaikan setiap 10 MHz..
7. Dengan persamaan 2-19, diperoleh besarnya koefisien pantul untuk setiap frekuensi yang diukur.

5.2.3 Hasil pengukuran

Dari hasil pengukuran *return loss* dapat dihitung nilai koefisien pantul dan nilai VSWR antena. Perhitungan nilai VSWR dan koefisien pantul adalah sebagai berikut :

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

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

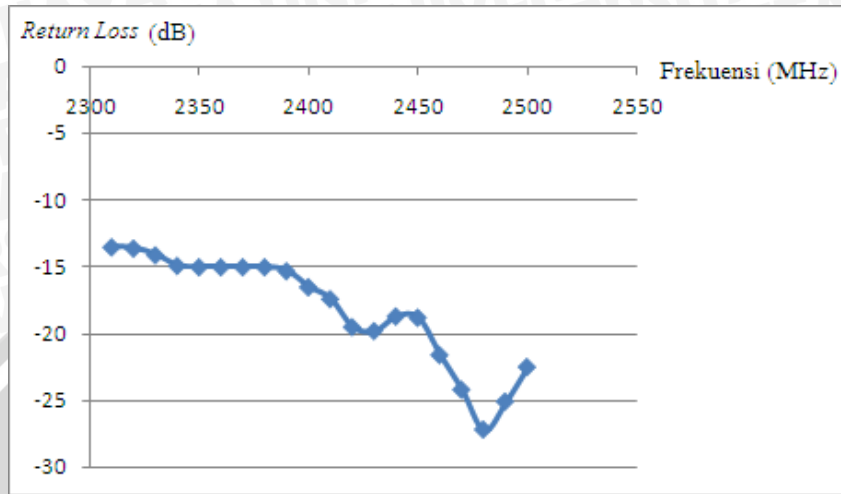
Dengan cara perhitungan yang sama, data hasil pengukuran *return loss*, maka VSWR dan koefisien pantul antenna mikrostrip *Equilateral Triangular Array 2x2* dapat dilihat pada Tabel 5.1 berikut.

Tabel 5.1 : Hasil Pengukuran *Return Loss*, Perhitungan VSWR dan Koefisien Pantul Antena Mikrostrip *Equilateral Triangular Array 2x2*

No.	Frekuensi (MHz)	Return Loss (dB)	Koefisien Pantul	VSWR
1	2310	-13,5	0,211348904	1.535975681
2	2320	-13,6	0,208929613	1.528220033
3	2330	-14,1	0,197242273	1.491411708
4	2340	-14,9	0,179887091	1.438688598
5	2350	-15	0,177827941	1.432580843
6	2360	-15	0,177827941	1.432580843
7	2370	-15	0,177827941	1.432580843
8	2380	-15	0,177827941	1.432580843
9	2390	-15,3	0,171790838	1.414848920
10	2400	-16	0,158489319	1.376678092
11	2410	-17,4	0,134896288	1.311861540
12	2420	-19,5	0,105925372	1.236949733
13	2430	-19,8	0,102329299	1.227988502
14	2440	-18,7	0,116144861	1.262814246
15	2450	-18,8	0,114815362	1.259415623
16	2460	-21,6	0,083176377	1.181444664
17	2470	-24,2	0,061659500	1.131422442
18	2480	-27,5	0,042169650	1.088052441
19	2490	-25,1	0,055590425	1.117725246
20	2500	-22,5	0,074989420	1.162137432

Sumber : Hasil Pengukuran

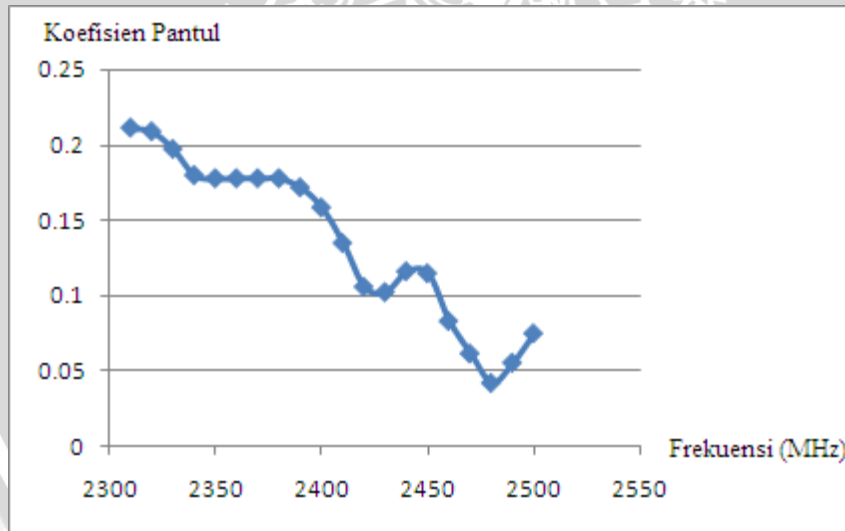
Selanjutnya dari data hasil pengukuran *return loss*, koefisien pantul dan VSWR dapat dibuat grafik fungsi terhadap frekuensi, seperti ditunjukkan pada Gambar 5.2 berikut.



Gambar 5.2 : Grafik Fungsi *Return Loss* Terhadap Frekuensi

Sumber : Hasil Pengukuran

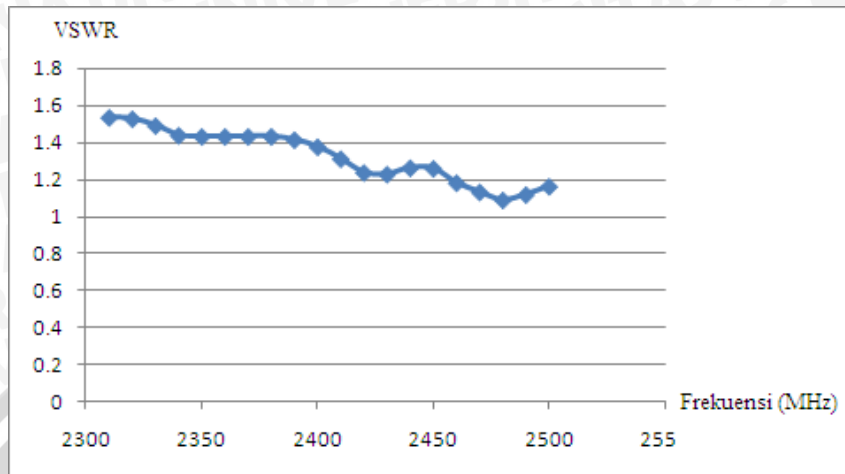
Grafik fungsi koefisien pantul terhadap frekuensi dapat dilihat pada Gambar 5.3 berikut.



Gambar 5.3 : Grafik Fungsi Koefisien Pantul Terhadap Frekuensi

Sumber : Hasil Pengukuran

Sedangkan untuk grafik fungsi VSWR terhadap frekuensi dapat dilihat pada Gambar 5.4 berikut.



Gambar 5.4 : Grafik Fungsi VSWR Terhadap Frekuensi

Sumber : Hasil Pengukuran

5.2.4 Analisis hasil pengukuran

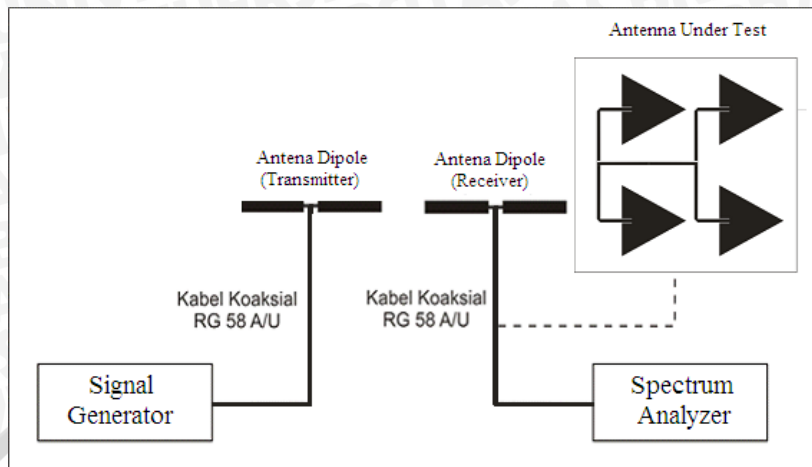
Berdasarkan hasil pengukuran, antenna mikrostrip *Equilateral Triangular Array* 2x2 ini memiliki nilai *return loss* yang masih memenuhi parameter kerja. Pada frekuensi 2400 MHz antenna memiliki nilai *return loss* sebesar -16 dB, koefisien pantul sebesar 0,158489319, dan nilai VSWR sebesar 1,376678092. Sedangkan pada frekuensi 2490 MHz antenna memiliki nilai *return loss* sebesar -25,1 dB, koefisien pantul sebesar 0,055590425, dan nilai VSWR sebesar 1,117725246. Hal ini berarti antenna dapat bekerja pada frekuensi kerja yang direncanakan.

5.3 Pengukuran Gain Antena

5.3.1 Alat-alat yang digunakan

- *Aeroflex IFR 3413 Signal Generator* 250 kHz – 3 GHz.
- *GW Instek Spectrum Analyzer* 2,7 GHz.
- Dua buah antenna standar *dipole* •/2
- Antena uji (Antena Mikrostrip *Equilateral Triangular Array* 2x2)
- Kabel *adaprtter* N to BNC
- Dua tiang penyangga

5.3.2 Prosedur pengukuran



Gambar 5.5 : Rangkaian Pengukuran *Gain* Antena

Sumber : Pengukuran

1. Merangkai peralatan seperti pada Gambar 5.5
2. Satu antena *dipole* $\bullet/2$ dipasang sebagai antena pemancar dan satu antena *dipole* $\bullet/2$ dipasang sebagai antena referensi pada sisi penerima.
3. *Signal generator* diatur pada frekuensi 2310 MHz dan catat daya antena yang terukur pada *spectrum analyzer*.
4. Naikkan frekuensi pada *signal generator* dengan *step* kenaikan sebesar 10 MHz dan catat hasilnya.
5. Antena *dipole* $\bullet/2$ pada penerima (referensi) diganti dengan antena uji (antena mikrostrip *Equilateral Triangular Array 2x2*) hasil perancangan.
6. Mengulangi langkah 4 dan 5.

5.3.3 Hasil pengukuran

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

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

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

Untuk hasil pengukuran dapat dilihat pada Tabel 5.2 berikut.

Tabel 5.2 : Hasil Pengukuran *Gain* Antena Mikrostrip
Equilateral Triangular Array 2x2

No.	Frekuensi (MHz)	P _R (dBm)	P _U (dBm)	Gain (dBi)
1	2310	-68,2	-62,9	7,45
2	2320	-69,9	-64,9	7,15
3	2330	-62,4	-63	1,55
4	2340	-59,1	-59,5	1,75
5	2350	-62,6	-59,4	5,35
6	2360	-61	-61,1	2,05
7	2370	-71,1	-63,1	10,75
8	2380	-66,9	-65	4,05
9	2390	-67,8	-65,6	4,35
10	2400	-65,4	-63,3	4,25
11	2410	-61,8	-57,9	6,05
12	2420	-62,5	-58,2	6,45
13	2430	-68,5	-61,9	8,75
14	2440	-72,1	-64,2	10,05
15	2450	-61,1	-57,5	5,75
16	2460	-61,3	-54,1	9,35
17	2470	-61,5	-52,9	10,75
18	2480	-63,1	-53,6	11,65
19	2490	-66,8	-54,8	14,15
20	2500	-70,3	-54,7	17,75

Sumber : Hasil Pengukuran

5.3.4 Analisis hasil pengukuran

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

Pada frekuensi perencanaan antenna yaitu 2400 MHz - 2483,5 MHz antenna memiliki nilai *gain* yang melebihi dari nilai simulasi. Nilai ini juga telah memenuhi persyaratan yang diinginkan pada *gain* antenna mikrostrip yang umumnya > 3 dBi.

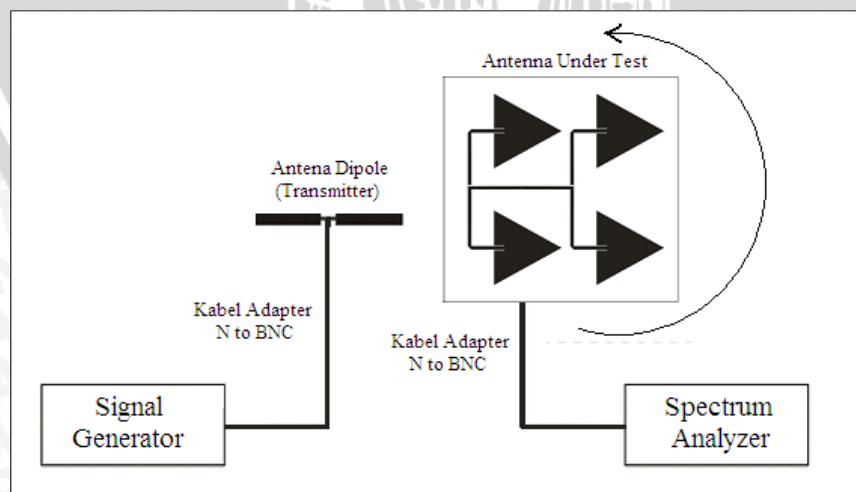
5.4 Pengujian Pola Radiasi

5.4.1 Alat-alat yang digunakan

- *Aeroflex IFR 3413 Signal Generator* 250 kHz – 3 GHz.
- *GW Instek Spectrum Analyzer* 2,7 GHz.
- Satu buah antenna *dipole* $\bullet/2$ sebagai *transmitter*.
- Antena uji (antenna mikrostrip *Equilateral Triangular Array 2x2*)
- Kabel *adapter* N to BNC
- Dua buah tiang penyangga dengan interval sudut putar tiap 10^0

5.4.2 Prosedur pengukuran

1. Memasang antenna *dipole* $\bullet/2$ sebagai antenna pemancar dengan menghubungkannya ke *signal generator* menggunakan kabel *adapter* N to BNC, seperti ditunjukkan pada Gambar 5.6 berikut.



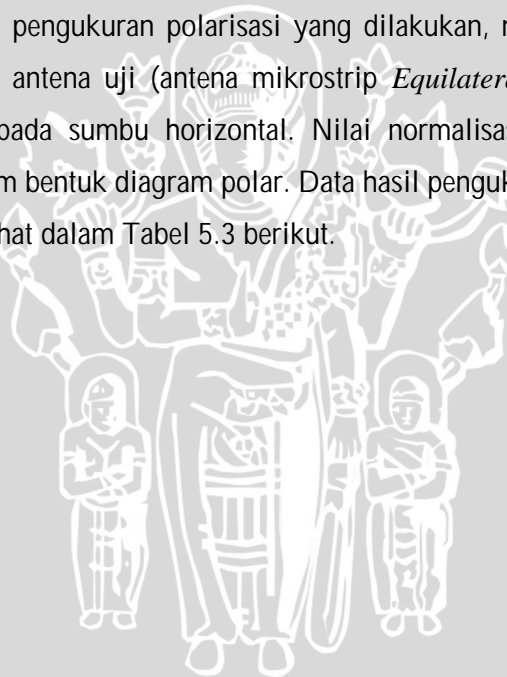
Gambar 5.6 : Rangkaian Pengukuran Polarisasi Antena

Sumber : Pengukuran

2. Memasang antenna uji (antenna mikrostrip *Equilateral Triangular Array 2x2*) sebagai antenna penerima dengan menghubungkannya ke *spectrum analyzer* menggunakan kabel *adapter N to BNC*, seperti ditunjukkan pada gambar 5.6.
3. Memposisikan antenna pemancar sejajar dengan antenna uji, kemudian mengatur *signal generator* pada frekuensi 2440 MHz.
4. Memutar antenna uji pada sumbu horizontal antenna, dari 0° sampai 360° dengan interval 10° , dan mencatat nilai daya diterima yang ditunjukkan oleh *spectrum analyzer* pada tiap-tiap interval pemutaran.
5. Menghitung harga normalisasi untuk tiap sudut putarnya.

5.4.3 Hasil pengukuran

Berdasarkan hasil pengukuran polarisasi yang dilakukan, maka diperoleh nilai daya yang diterima oleh antenna uji (antenna mikrostrip *Equilateral Triangular Array 2x2*) yang diputar 10° pada sumbu horizontal. Nilai normalisasi hasil pengukuran kemudian diubah ke dalam bentuk diagram polar. Data hasil pengukuran polarisasi pada frekuensi 2440 MHz terlihat dalam Tabel 5.3 berikut.

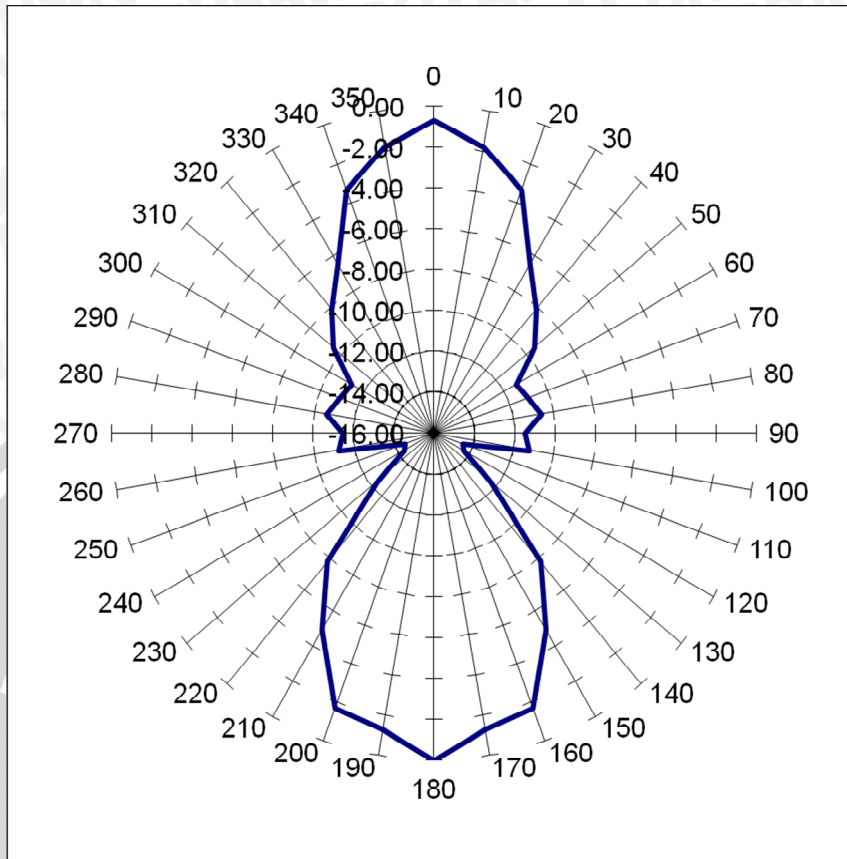


Tabel 5.3 : Hasil Pengukuran Polarisasi Antena Mikrostrip *Equilateral Triangular* Array 2x2 pada Frekuensi 2440 MHz

No.	Sudut	Level terima (-dBm)	Normalisasi
1	0	-54,6	-0,7
2	10	-55,7	-1,8
3	20	-57,2	-3,3
4	30	-60,4	-6,5
5	40	-62	-8,1
6	50	-63,4	-9,5
7	60	-65,2	-11,3
8	70	-64,9	-11
9	80	-64,5	-10,6
10	90	-65,4	-11,5
11	100	-65,1	-11,2
12	110	-68,4	-14,5
13	120	-68,2	-14,3
14	130	-66,2	-12,3
15	140	-61,7	-7,8
16	150	-58,8	-4,9
17	160	-55,6	-1,7
18	170	-55,2	-1,3
19	180	-53,9	0
20	190	-55,2	-1,3
21	200	-55,6	-1,7
22	210	-58,8	-4,9
23	220	-61,7	-7,8
24	230	-66,2	-12,3
25	240	-68,2	-14,3
26	250	-68,4	-14,5
27	260	-65,1	-11,2
28	270	-65,4	-11,5
29	280	-64,5	-10,6
30	290	-64,9	-11
31	300	-65,2	-11,3
32	310	-63,4	-9,5
33	320	-62	-8,1
34	330	-60,4	-6,5
35	340	-57,2	-3,3
36	350	-55,7	-1,8

Sumber : Hasil Pengukuran

Diagram polar polarisasinya dapat dilihat pada Gambar 5.7 berikut.



Gambar 5.7 : Diagram Polar Polarisasi Antena Mikrostrip
Equilateral Triangular Array 2x2

Sumber : Hasil Pengukuran

5.4.4 Analisis hasil pengukuran

Berdasarkan data hasil pengukuran polarisasi Tabel 5.3, dengan mengubah data nilai daya yang telah dinormalisasi ke dalam bentuk diagram polar, maka dapat diketahui bentuk polarisasi antenna. Bentuk polarisasi antenna yang diuji dapat dilihat dalam Gambar 5.7.

Berdasarkan Gambar 5.7 antenna ini dapat digolongkan sebagai antenna yang berpolarisasi linier. Walaupun tidak linier sempurna namun dengan memiliki nilai maksimum pada sudut 0° dan 180° serta minimum pada sekitar 110° dan 250° maka sudah dapat dikatakan memiliki polarisasi linier. Ini sesuai dengan teori bahwa antenna mikrostrip memang memiliki polarisasi linier.

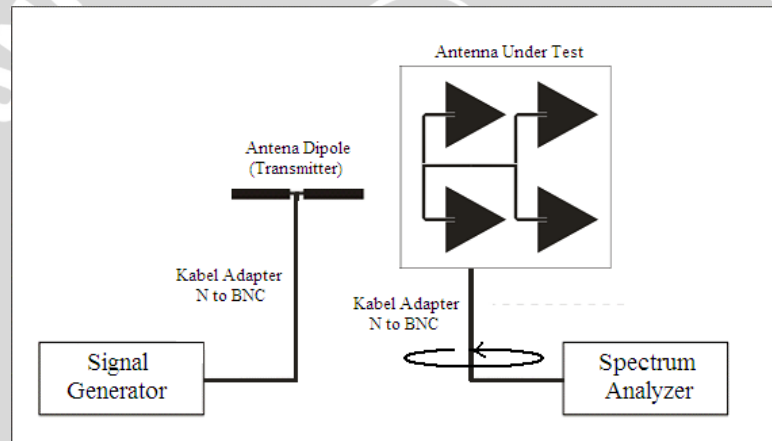
5.5 Pengujian Pola Radiasi

5.5.1 Alat-alat yang digunakan

- *Aeroflex IFR 3413 Signal Generator* 250 kHz – 3 GHz.
- *GW Instek Spectrum Analyzer* 2,7 GHz.
- Satu buah antenna *dipole* $\bullet/2$ sebagai *transmitter*.
- Antena uji (antena mikrostrip *Equilateral Triangular Array 2x2*)
- Kabel *adapter* N to BNC
- Dua buah tiang penyangga dengan interval sudut putar tiap 10^0

5.5.2 Prosedur pengukuran

1. Memasang antenna *dipole* $\bullet/2$ sebagai antenna pemancar dengan menghubungkannya ke *signal generator* menggunakan kabel *adapter* N to BNC , seperti ditunjukkan pada Gambar 5.8 berikut.



Gambar 5.8 : Rangkaian Pengukuran Pola Radiasi Antena

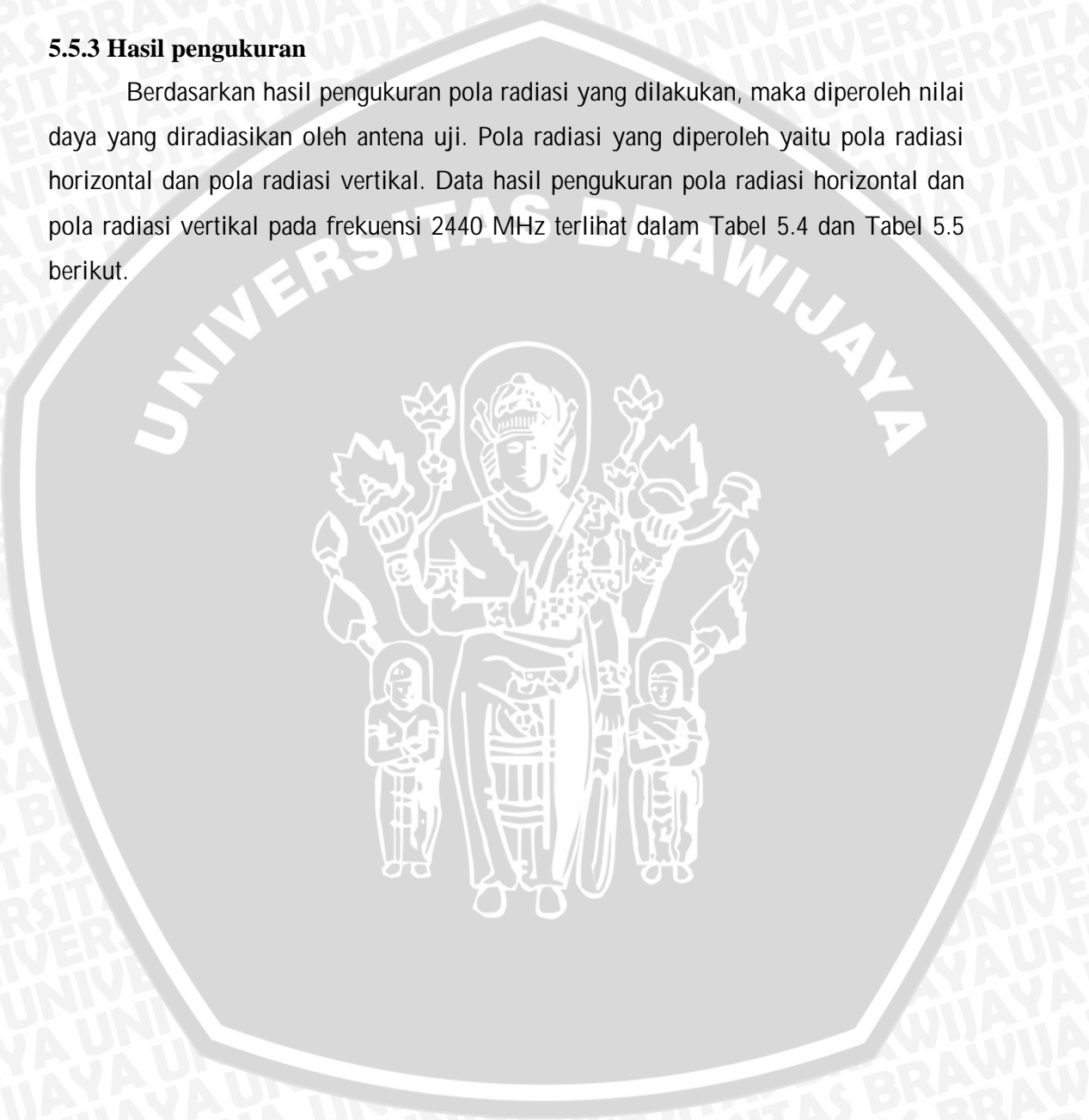
Sumber : Pengukuran

2. Memasang antenna uji (antena mikrostrip *Equilateral Triangular Array 2x2*) sebagai antenna penerima dengan menghubungkannya ke *spectrum analyzer* menggunakan kabel *adapter* N to BNC, seperti ditunjukkan pada Gambar 5.8.
3. Mengatur *signal generator* pada frekuensi 2440 MHz.
4. Memutar antenna uji (antena mikrostrip *Equilateral Triangular Array*) secara horizontal, dari 0^0 sampai 360^0 dengan interval 10^0 , dan mencatat nilai daya yang ditunjukkan oleh *spectrum analyzer* pada tiap-tiap interval pemutaran untuk mendapatkan nilai pola radiasi horisontal.
5. Menghitung harga normalisasi untuk tiap sudut putarnya.

6. Memutar antena pemancar dan antena uji (antena mikrostrip *Equilateral Triangular Array 2x2*) pada sumbunya sejauh 90° , untuk mendapatkan nilai Pola Radiasi Vertikal.
7. Mengulangi langkah 4 dan 5.

5.5.3 Hasil pengukuran

Berdasarkan hasil pengukuran pola radiasi yang dilakukan, maka diperoleh nilai daya yang diradiasikan oleh antena 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 2440 MHz terlihat dalam Tabel 5.4 dan Tabel 5.5 berikut.



Tabel 5.4 : Hasil Pengukuran Pola Radiasi Horizontal Antena Mikrostrip *Equilateral Triangular Array 2x2* pada frekuensi 2440 MHz.

No.	Sudut (°)	Level Terima (dBm)	Normalisasi
1	0	-57,9	0
2	10	-59,5	-1,6
3	20	-60,8	-2,9
4	30	-64,3	-6,4
5	40	-65,6	-7,7
6	50	-67,6	-9,7
7	60	-71,7	-13,8
8	70	-75,3	-17,4
9	80	-74,7	-16,8
10	90	-75,1	-17,2
11	100	-75,9	-18
12	110	-76,2	-18,3
13	120	-75,7	-17,8
14	130	-71,5	-13,6
15	140	-74,5	-16,6
16	150	-72,1	-14,2
17	160	-68,6	-10,7
18	170	-67,5	-9,6
19	180	-70,1	-12,2
20	190	-67,5	-9,6
21	200	-68,6	-10,7
22	210	-72,1	-14,2
23	220	-74,5	-16,6
24	230	-71,5	-13,6
25	240	-75,7	-17,8
26	250	-76,2	-18,3
27	260	-75,9	-18
28	270	-75,1	-17,2
29	280	-74,7	-16,8
30	290	-75,3	-17,4
31	300	-71,7	-13,8
32	310	-67,6	-9,7
33	320	-65,6	-7,7
34	330	-64,3	-6,4
35	340	-60,8	-2,9
36	350	-59,5	-1,6

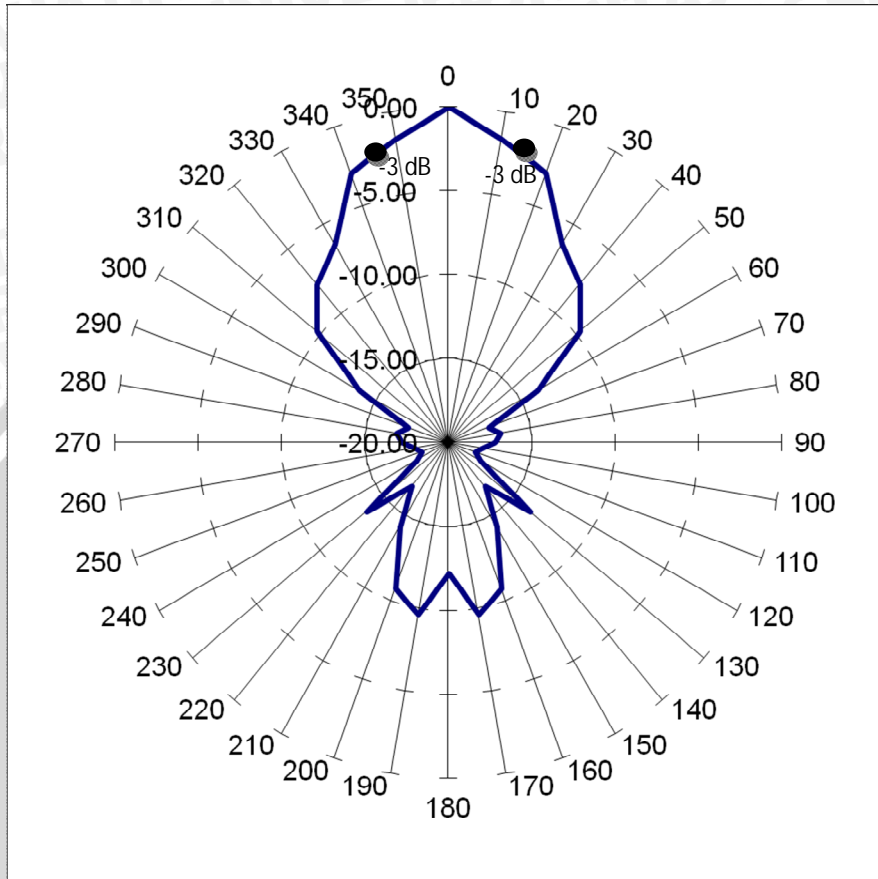
Sumber : Hasil Pengukuran

Tabel 5.5 : Hasil Pengukuran Pola Radiasi Vertikal Antena Mikrostrip *Equilateral Triangular Array 2x2* pada frekuensi 2440 MHz

No.	Sudut (°)	Level Terima (dBm)	Normalisasi
1	0	-55,6	0
2	10	-57,0	-1,4
3	20	-58,6	-3
4	30	-60,3	-4,7
5	40	-62,5	-6,9
6	50	-63,1	-7,5
7	60	-64,0	-8,4
8	70	-64,4	-8,8
9	80	-65,7	-10,1
10	90	-68,5	-12,9
11	100	-70,2	-14,6
12	110	-73,6	-18
13	120	-73,8	-18,2
14	130	-71,2	-15,6
15	140	-71,4	-15,8
16	150	-72,3	-16,7
17	160	-73,1	-17,5
18	170	-74,4	-18,8
19	180	-75,1	-19,5
20	190	-74,4	-18,8
21	200	-73,1	-17,5
22	210	-72,3	-16,7
23	220	-71,4	-15,8
24	230	-71,2	-15,6
25	240	-73,8	-18,2
26	250	-73,6	-18
27	260	-70,2	-14,6
28	270	-68,5	-12,9
29	280	-65,7	-10,1
30	290	-64,4	-8,8
31	300	-64,0	-8,4
32	310	-63,1	-7,5
33	320	-62,5	-6,9
34	330	-60,3	-4,7
35	340	-58,6	-3
36	350	-57,0	-1,4

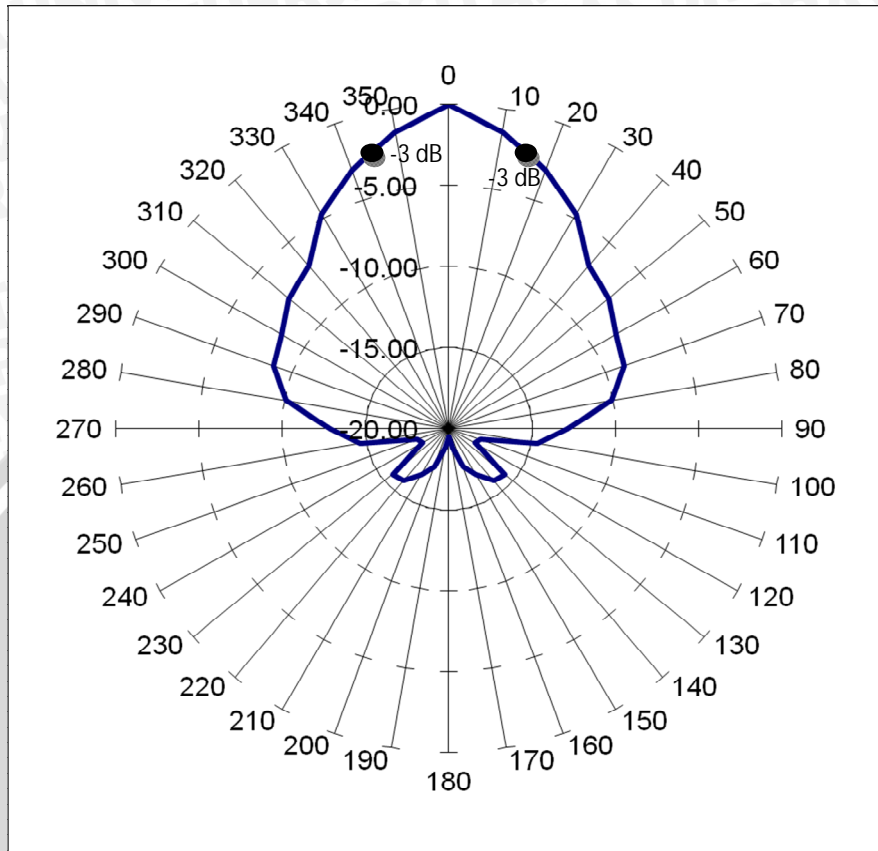
Sumber : Hasil Pengukuran

Pola radiasi horizontal antenna mikrostrip *Equilateral Triangular Array* 2x2 pada frekuensi 2440 MHz dapat dilihat pada gambar 5.9 berikut.



Gambar 5.9 : Pola Radiasi Horizontal Antena Mikrostrip
Equilateral Triangular Array 2x2
pada Frekuensi 2440 MHz
Sumber : Hasil Pengukuran

Sedangkan untuk pola radiasi vertikal dapat dilihat pada Gambar 5.10 berikut.



Gambar 5.10 : Pola Radiasi Vertikal Antena Mikrostrip
Equilateral Triangular Array 2x2
pada Frekuensi 2440 MHz
Sumber : Hasil Pengukuran

5.5.4 Analisis hasil pengukuran

Berdasarkan Tabel 5.4 dan Tabel 5.5 dapat dilihat bentuk pola radiasi antenna hasil perancangan pada diagram polar, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 5.9 dan Gambar 5.10 untuk frekuensi 2440 MHz. Berdasarkan Gambar 5.9 dan Gambar 5.10 tersebut dapat diketahui bahwa bentuk pola radiasi antenna hasil perancangan (antena mikrostrip *Equilateral Triangular Array 2x2*) adalah *unidirectional*, yaitu memiliki intensitas radiasi maksimum hanya pada satu arah tertentu saja.

Berdasarkan Gambar 5.9 dan Gambar 5.10 juga diperoleh nilai -3 dB *beamwidth* pola radiasi horizontal untuk frekuensi 2440 MHz adalah 30° ($f_{HP}^\circ = 30^\circ$), dan nilai -3 dB *beamwidth* pola radiasi vertikal adalah 30° ($q_{HP}^\circ = 30^\circ$).

5.6 Perhitungan Keterarahan (*Directivity*)

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

5.6.1 Cara perhitungan

Directivity dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$D = \frac{4p_{(steradian)}}{q \cdot f_{(radian^2)}}$$

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

$$= \left(\frac{180}{p} \right)^2 (\text{derajat}^2)$$

sehingga,

$$D \approx \frac{4p \left(\frac{180}{p} \right)^2 (\text{derajat}^2)}{q_{HP}^o f_{HP}^o (\text{derajat}^2)} \approx \frac{41000}{q_{HP}^o f_{HP}^o}$$

dengan :

D = *directivity*

• = *beamwidth* pola radiasi vertikal (rad)

• = *beamwidth* pola radiasi horisontal (rad)

q_{HP}^o = *beamwidth* pola radiasi vertikal (derajat)

f_{HP}^o = *beamwidth* pola radiasi horisontal (derajat)

5.6.2 Hasil perhitungan

Berdasarkan data hasil pengukuran pola radiasi, diperoleh nilai -3 dB *beamwidth* pola radiasi horizontal untuk frekuensi 2440 MHz adalah 30° ($f_{HP}^o = 30^\circ$), dan nilai -3 dB *beamwidth* pola radiasi vertikal adalah 30° ($q_{HP}^o = 30^\circ$). Maka nilai *directivity* antena mikrostrip *equilateral triangular array* 2x2 hasil pembuatan adalah :

$$D \approx \frac{41000}{30^\circ \cdot 30^\circ}$$

$$\bullet 45,55$$

$$D_{(dB)} = 10 \log 45,55 = 16,58 \text{ dBi}$$

5.7 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 $VSWR \leq 2$ atau $return\ loss < -10$ dB.

Berdasarkan data hasil pengukuran *return loss*, antena dapat bekerja pada frekuensi 2200 MHz sampai frekuensi 2700 MHz. Sehingga *bandwidth* antena ini adalah:

$$B = f_u - f_l$$

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

Jadi, antena memiliki *bandwidth* 500 MHz

Bandwidth antena hasil pengukuran masih lebih besar dari *bandwidth* hasil perancangan yang hanya sebesar 86,2 MHz. Perbedaan yang besar ini disebabkan oleh ketidakpresisian dalam fabrikasi, korosi yang terjadi pada *patch*, penyolderan dan pemilihan konektor.

5.8 Analisis Parameter Antena

Berdasarkan pengukuran yang telah dilakukan, dapat dilihat beberapa parameter antena mikrostrip *Equilateral Triangular Array 2x2* hasil pembuatan yang meliputi *return loss* dan $VSWR$ yang menunjukkan antena sesuai dengan perencanaan, yakni $return\ loss < -10$ dB dan $VSWR \leq 2$. Koefisien pantul yang bernilai antara 0,042169650 sampai 0,158489319 yang menunjukkan bahwa sebagian besar sinyal dari antena dapat tersalurkan. Nilai *gain* rata-rata sebesar 8,72 dBi. Pola radiasi antena adalah *unidirectional* dengan polarisasinya yang berbentuk linier. *Bandwidth* antena sebesar 500 MHz dengan *directivity* antena sebesar 16,58 dB.

Dengan memperhatikan karakteristik antenna hasil fabrikasi, dapat dinyatakan bahwa antenna ini bisa digunakan untuk aplikasi *wireless* LAN 802.11 b/g 2400 – 2483,5 MHz karena nilai *return loss* dan *VSWR* yang sesuai dengan batas yang diijinkan yaitu $RL < -10$ dB dan $VSWR \leq 2$, nilai *gain* pun sesuai dengan persyaratan umum antenna mikrostrip yaitu di atas 3 dBi. Nilai *bandwidth* juga lebih besar dari *requirement bandwidth* antenna untuk aplikasi *wireless* LAN yang hanya sebesar 83,5 MHz. Dengan melihat parameter-parameter tersebut dapat dikatakan bahwa antenna mikrostrip *Equilateral Triangular Array* 2x2 hasil fabrikasi ini dapat bekerja pada frekuensi *wireless* LAN 802.11 b/g.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



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 2x2* ini dibuat dengan menggunakan bahan FR-4 dengan nilai konstanta dielektrik (ϵ_r) 4,5, ketebalan lapisan dielektrik (h) 1,6 mm, dan *loss tangent* 0,018.

2. Berdasarkan hasil simulasi optimasi, dimensi antenna adalah sebagai berikut:

Elemen peradiasi (a) = 38,15 mm

$y_0 = 6,57$ mm

$Z_0 = 200 \Omega$; $W_0 = 1,422$ mm ; $L_1 = 16,5$ mm

$Z_1 = 200 \Omega$; $W_1 = 1,422$ mm ; $L_1 = 35,5$ mm

$Z_2 = 100 \Omega$; $W_2 = 2,845$ mm ; $L_2 = 29$ mm

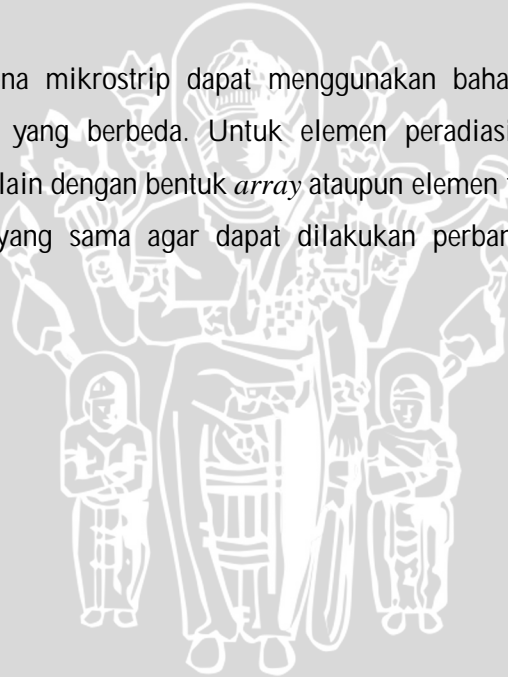
- Nilai *VSWR* antenna mikrostrip *Equilateral Triangular Array 2x2* hasil pembuatan pada frekuensi yang direncanakan yaitu 2437 MHz. adalah sebesar 1,34836. Nilai *VSWR* antenna ini masih dalam batas yang diijinkan $VSWR \leq 2$. Untuk nilai *return loss* pada frekuensi 2437 MHz. adalah -16,5755 dB. Nilai ini juga masih dalam batas yang diijinkan yaitu $RL < -10$ dB.
- Nilai *gain* antenna mikrostrip *Equilateral Triangular Array 2x2* pada frekuensi kerja yang direncanakan yaitu 2437 MHz ialah sebesar 6,22012 dBi.
- Nilai *directivity* pada frekuensi 2437 MHz. sebesar 11,4306 dBi.

3. Parameter antenna berdasarkan hasil pengukuran :

- Nilai *return loss* pada frekuensi 2437 MHz. sebesar -18,7 dB. Sedangkan nilai VSWR hasil perhitungan adalah sebesar 1,263.
- Nilai *gain* pada frekuensi perencanaan adalah sebesar 10,05 dBi.
- Hasil perhitungan *directivity* adalah sebesar 16,58 dBi.
- pola radiasi pada frekuensi perencanaan untuk bidang horizontal maupun vertikal yang diplotkan pada diagram polar, menunjukkan bahwa bentuk pola radiasi mikrostrip *Equilateral Triangular Array* 2x2 hasil pembuatan adalah *unidirectional*, dengan sudut $f_{HP}^o = 30^o$ dan $q_{HP}^o = 30^o$.
- Hasil pengukuran polarisasi menunjukkan bahwa antenna mikrostrip *Equilateral Triangular Array* 2x2 memiliki polarisasi linier.

6.2 Saran

Perencanaan antenna mikrostrip dapat menggunakan bahan lain dengan nilai konstanta dielektrik (ϵ_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.



DAFTAR PUSTAKA

- Ameira, Dea N. 2009. *Regulasi Wireless LAN di Indonesia*. Jurnal, Sistem Informasi Manajemen, Universitas Lampung.
- 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.
- 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.
- Stutzman, Warren L. and G. A. Thiele. 1981. *Antenna Theory and Design*. John Willey and Son, Inc. New York.
- Anonymous. *Journal of Microwaves and Optoelectronics*, Vol. 3, N.04, April 2004.
- Anonymous. *Linear Array Theory*, Part I, II, III.
- Anonymous. *Planar Arrays, Circular Arrays*, Part I.
- Anonymous. www.zeland.com

Lampiran

I. Langkah-Langkah Simulasi Perencanaan Antena dengan *Zeland IE3D*TM

Dalam tahap perencanaan skripsi ini, simulator yang digunakan untuk menyimulasikan perencanaan antena yang diinginkan adalah program *Zeland IE3D*TM. *Zeland IE3D*TM adalah *software* simulator untuk gelombang elektromagnetik dengan menggunakan persamaan Maxwell untuk memecahkan permasalahan gelombang elektromagnetik secara makro. Persamaan Maxwell terdiri dari bentuk diferensial, dimana solusi dari berbagai persamaan tersebut adalah medan listrik dan medan magnet dalam sebuah ruang. Pada prakteknya *IE3D*TM dapat digunakan untuk mensimulasikan dan mengoptimasi struktur pada bidang *planar* maupun struktur 3 dimensi secara akurat dan efisien. (*IE3D agif-Manual*, 2006:1)

Secara umum, prosedur simulasi sesuai manual adalah sebagai berikut, (1) Buatlah sebuah model struktur sebagai sebarang *set polygon* dengan menggunakan MGRID. (2) Tentukan letak *port* pada struktur. (3) Mulai men-*setup* simulasi. (4) Gunakan MODUA dan MGRID untuk menampilkan distribusi arus, pola radiasi, serta parameter-parameter lain yang diinginkan. Tetapi, untuk lingkup yang lebih khusus yakni pembuatan antena mikrostrip *Equilateral Triangular Array 2x2* ini, langkah-langkah simulasi adalah sebagai berikut:

Tahap 1 - Pemodelan Elemen Peradiasi (*patch*)

Sebelum memulai untuk menyimulasikan *patch* yang akan digunakan pada antena yang akan dibuat, harus ditentukan dahulu parameter-parameter spesifik terkait bentuk *patch* serta bahan yang akan digunakan untuk mencetak antena. Parameter-parameter tersebut adalah sebagai berikut.

Bahan *Epoxy Fiberglass* – FR 4

Konstanta dielektrik (ϵ_r) = 4,5

Ketebalan lapisan dielektrik (h) = 0,0016 m = 1,6 mm

Loss tangent = 0,018

Bahan pelapis substrat (konduktor) tembaga

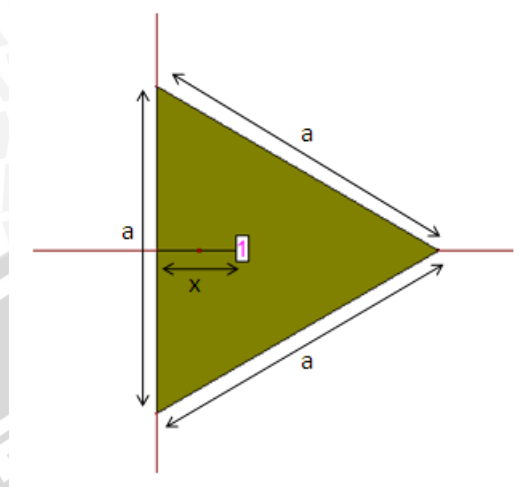
Ketebalan bahan konduktor (t) = 0,0001 m

Konduktifitas tembaga (σ) = $5,80 \times 10^7$ mho m⁻¹

Frekuensi kerja (f_r) = 2400-2483,5 MHz

Impedansi karakteristik saluran = 50 Ω

Dengan bentuk *patch* tunggal seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 1, maka nilai untuk masing- masing variabel adalah:



Gambar 1 : Elemen Peradiasi


Sumber : Perancangan

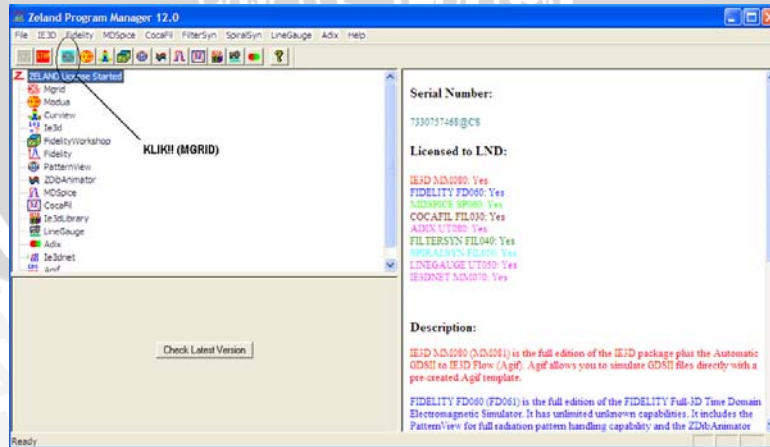
Keterangan Gambar 1 :

$$a = 37,94 \text{ mm}$$

$$x = 10 \text{ mm}$$

Dengan mengasumsikan bahwa program *Zeland IE3D™* telah terinstal pada komputer anda, maka langkah-langkah lanjut yang harus dilakukan adalah:

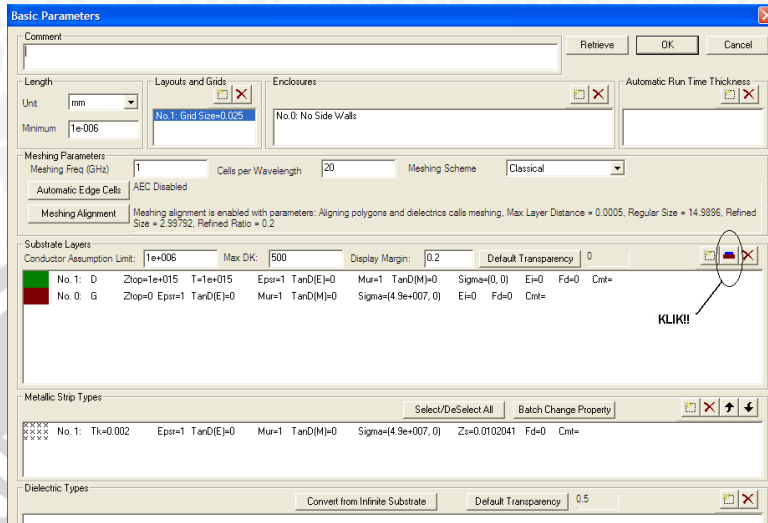
1. Bukalah (tekan)  Zeland Program Manager
2. Tekan MGRID pada *window* yang muncul setelah anda membuka *Zeland Program Manager*. Perhatikan Gambar 2 berikut.



Gambar 2 : Tampilan Menu pada *Zeland Program Manager*

Sumber : *Zeland Folder*

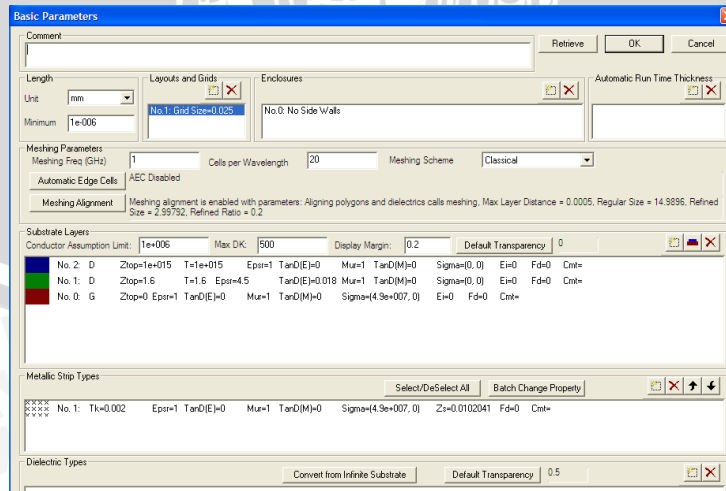
- Setelah itu pilih *File* à *New*, lalu muncul tampilan mengenai *Basic Parameters* seperti pada Gambar 3. *Basic Parameters* ini digunakan untuk memasukkan nilai-nilai parameter spesifikasi bahan yang akan digunakan.



Gambar 3 : Tampilan *window Basic Parameters*

Sumber : Perancangan

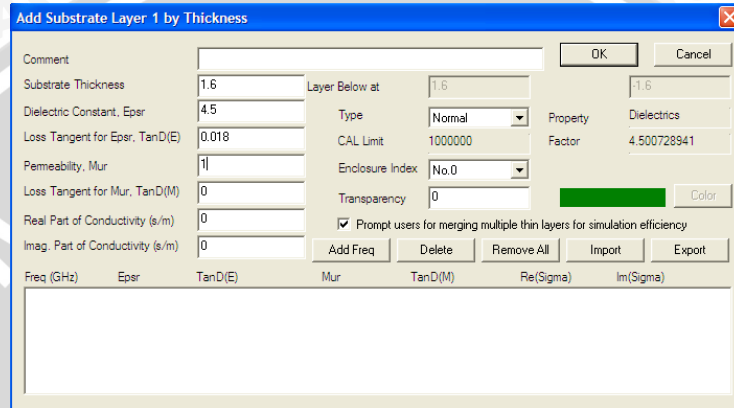
- Bahan utama FR-4 ada dua (2) lapisan, yakni lapisan konduktor dan *groundplane* (lapisan udara adalah *default layer* pada *Basic Parameters* ini) . Pada Gambar 3 ada dua lapisan pada kolom *Substrate Layers*, yakni berwarna hijau dan merah. Kedua lapisan itu menyimbolkan masing-masing untuk udara dan *groundplane*. Untuk menambahkan lapisan konduktor, tekan *icon Add Substrate Layer by Thickness* seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 3, tekan *OK*. Lalu muncul tampilan seperti ditunjukkan oleh Gambar 4 berikut.



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

Sumber : Perancangan

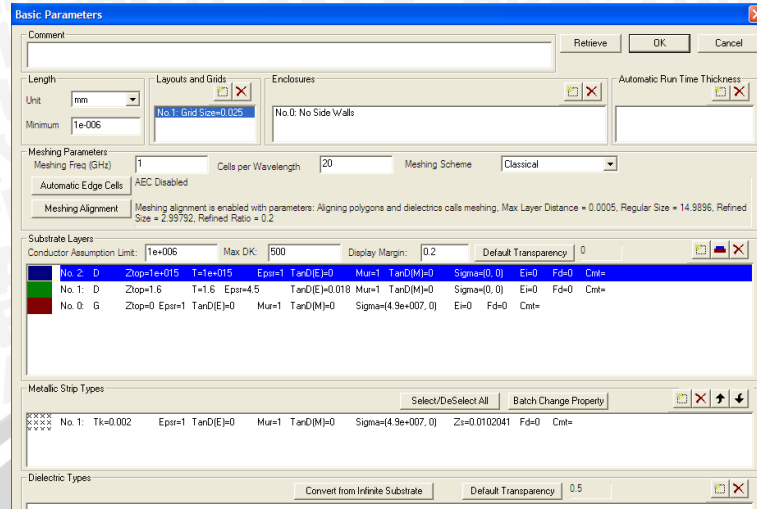
- Terlihat ada 3 lapisan diatas. Biru untuk udara (perhatikan Z_{top} -nya bernilai sebesar $1e+015$), hijau untuk lapisan konduktor (tembaga), sedangkan yang merah untuk lapisan *groundplane*-nya. Untuk meng-*edit* nilai-nilai dari parameter spesifikasi bahan pada tiap lapisan, tekan 2 kali pada tiap lapisan yang diinginkan. Sebagai contoh untuk lapisan konduktor ditekan 2 kali, maka kemudian muncul tampilan seperti Gambar 5 berikut.



Gambar 5 : Tampilan Untuk Mengubah Parameter Lapisan Konduktor

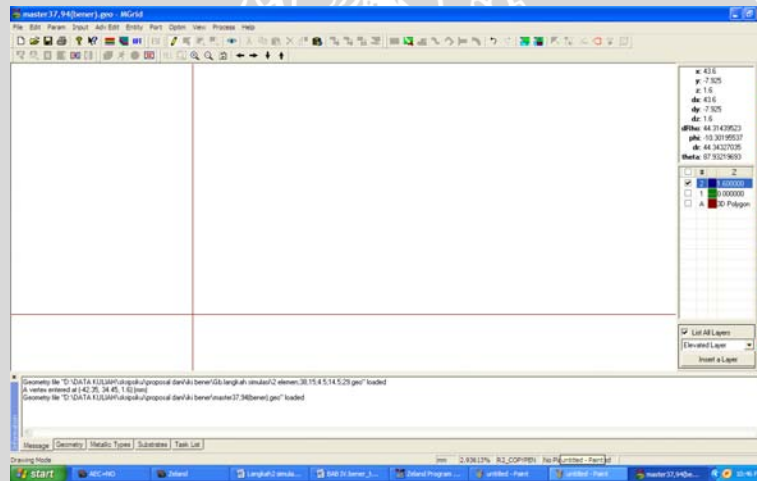
Sumber : Perancangan

- Terlihat ada variabel-variabel seperti *Top Surface*, *Dielectric Constant*, serta *Loss Tangent for Epsr* yang masing-masingnya berarti ketebalan bahan (dalam satuan mm), Konstanta Dielektrik, serta *Loss Tangent* untuk bahan yang dimaksud. Untuk simulasi kali ini disesuaikan dengan spesifikasi bahan yang tealah tersebut diatas, sehingga setelah semua nilai (untuk lapisan konduktor) dimasukkan maka tampilan akan terlihat seperti Gambar 5. Lalu tekan *OK*.
- Lakukan langkah yang sama untuk lapisan *groundplane*, tetapi yang diubah hanyalah *Real Part of Conductivity*-nya. Ubahlah menjadi nilai $5.8e+007$ sehingga diperoleh tampilan seperti ditunjukkan pada Gambar 6. Lalu tekan *OK*, dan akan muncul tampilan menu MGRID seperti ditunjukkan oleh Gambar 7.



Gambar 6 : Tampilan Spesifikasi Semua *Layer* Setelah Diubah
Sumber : Perancangan

Kemudian berikut ini adalah tampilan menu MGRID.



Gambar 7 : Tampilan menu MGRID
Sumber : Perancangan

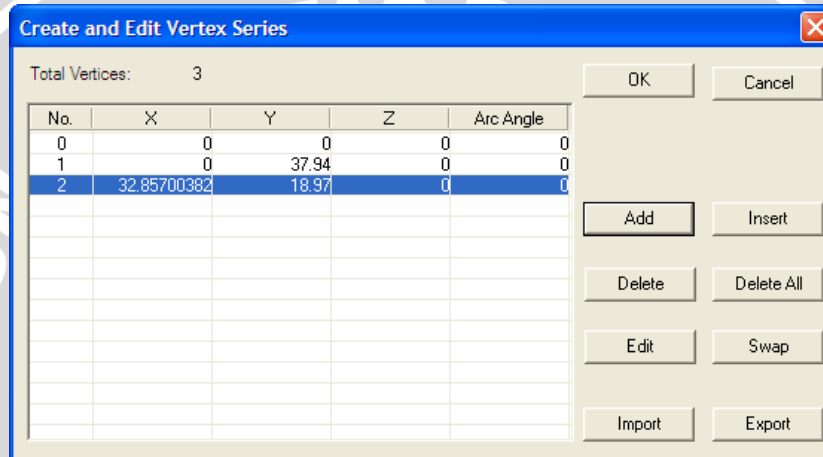
8. Setelah *window* seperti diatas muncul, maka mulailah untuk membuat bentuk antena yang diinginkan. Untuk simulasi kali ini digunakan bentuk *patch* segitiga sama sisi (*equilateral triangular*). Untuk membuatnya, perlu ditentukan dahulu posisi koordinat masing-masing titik (*x* dan *y*) berdasarkan panjang sisinya, sedangkan untuk posisi *z* tetap. Setelah dihitung, didapatkan posisi koordinat sebagai berikut.

Tabel 1 : Posisi Koordinat Untuk Patch Segitiga

No.	x	Y
1	0	0
2	0	37,94
3	32,85700382	18,97

Sumber : Perancangan

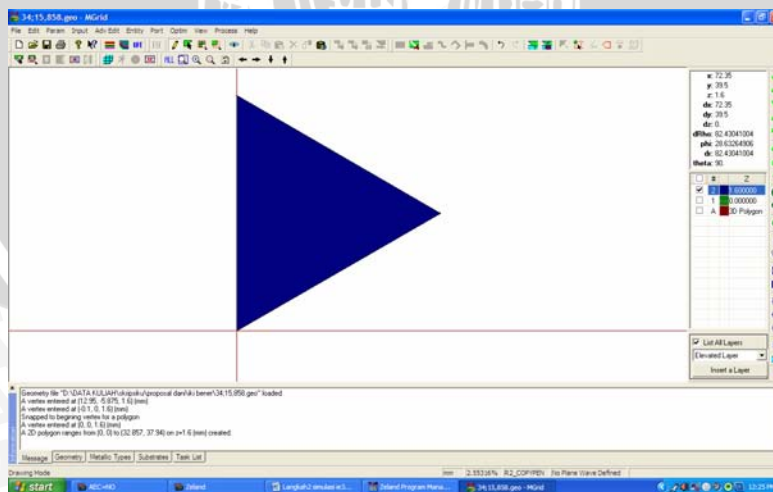
Untuk memasukkannya dalam *Zeland IE3D™*, pilih *Create and Edit Vertices*, tekan *Add*, dan masukkan koordinat yang telah didapat. Tampilan *window*-nya adalah sebagai berikut.



Gambar 8 : Tampilan untuk mengubah nilai variabel-variabel

Sumber : Perancangan

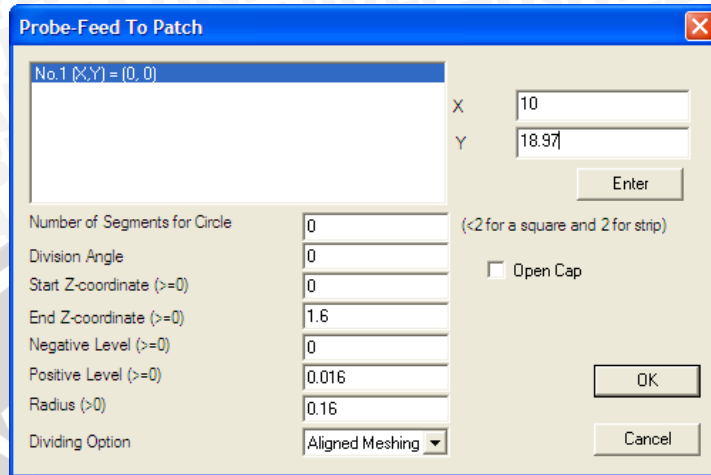
9. Tekan *OK* lalu akan muncul sebuah *patch* yang berbentuk segitiga pada *window* MGRID seperti ditunjukkan pada Gambar 9 berikut.



Gambar 9 : Tampilan *Patch* Segitiga

Sumber : Perancangan

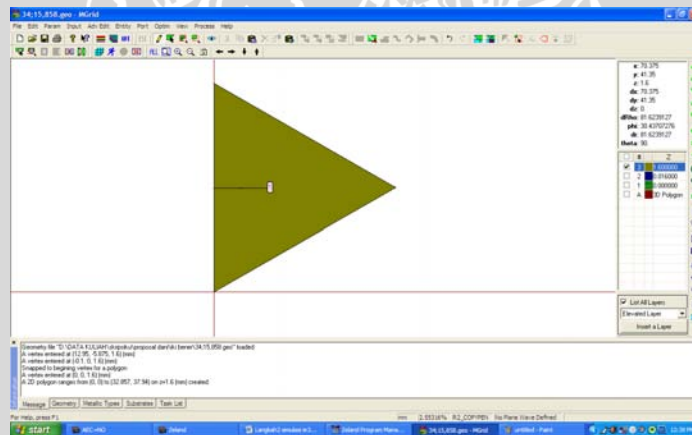
10. Untuk memasang *port*, tekan *Probe-Feed To Patch*, kemudian masukkan koordinat *port* ($x = 10$; $y = 18,97$), tekan *Enter* à *OK*. Tampilan langkah 10 dapat dilihat pada Gambar 10 berikut.



Gambar 10 : Tampilan Untuk Membuat *Port*

Sumber : Perancangan

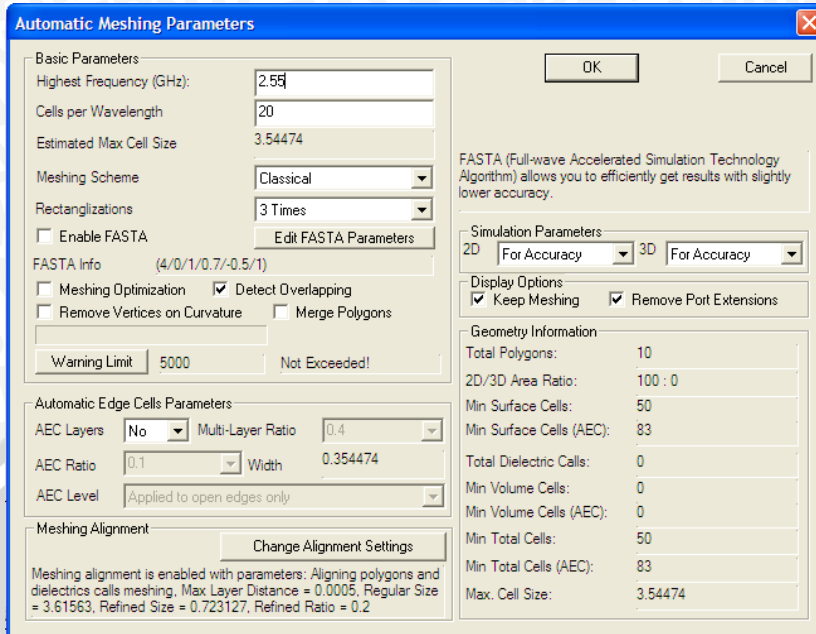
- Kemudian tampilan untuk *patch* setelah diberi *port* dapat dilihat pada Gambar 11 berikut.



Gambar 11 : Tampilan *Patch* Setelah Dipasang *Port*

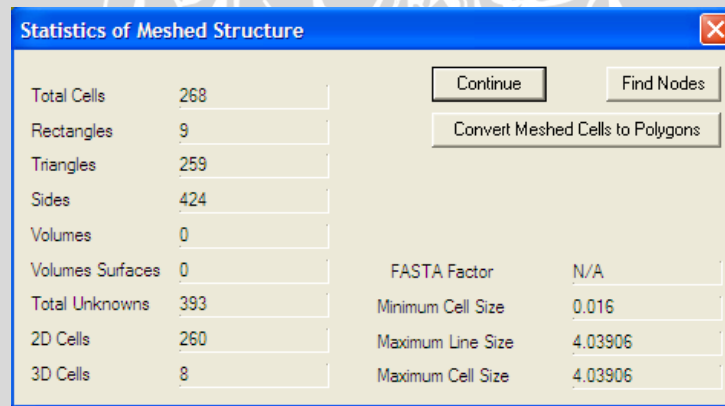
Sumber : Perancangan

11. Sebelum disimulasikan mengenai bagaimana performa antenna maka *file* geometri ini harus disimpan terlebih dahulu. Setelah itu pilih menu *Process* à *Display Meshing*, lalu muncul *window Automatic Meshing Parameters*. Samakan pengisian variabelnya seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 12. Lalu tekan *OK*.



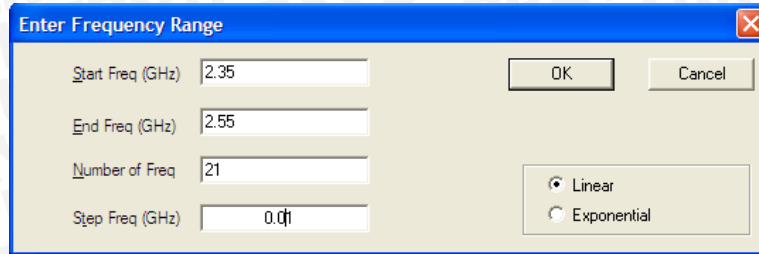
Gambar 12 : Tampilan Pengubahan Variabel-variabel *Meshing*
 Sumber : Perancangan

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



Gambar 13 : Variabel-variabel yang Berubah Setelah *Meshing*
 Sumber : Perancangan

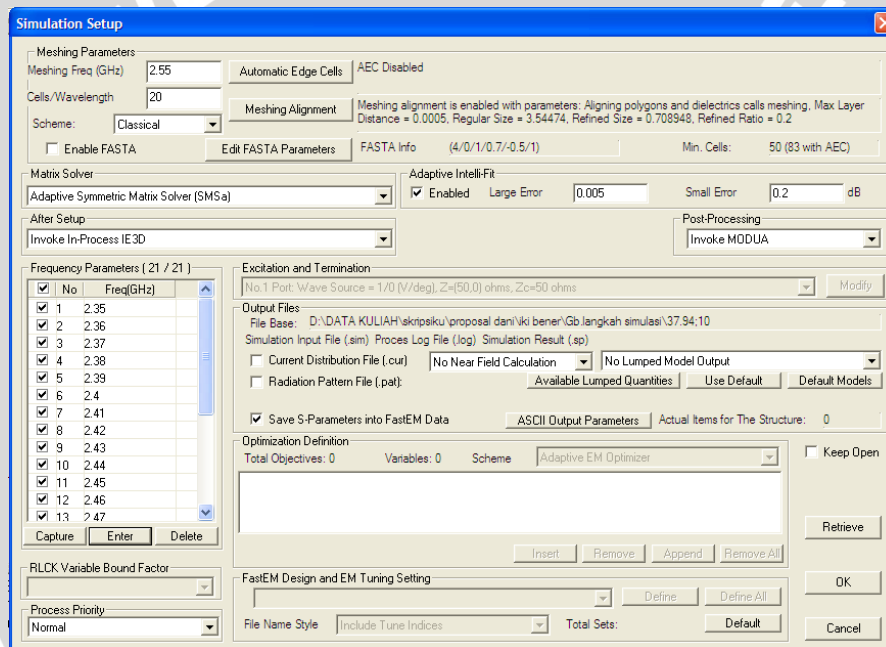
13. Pilih menu *Process* à *Simulate*. Setelah muncul *window Simulation Setup* pilihlah *icon Enter* pada kolom *Frequency Parameters* lalu masukkan nilai-nilai berikut pada *window Enter Frequency Range*. Lihat Gambar 14, kemudian tekan *OK*.



Gambar 14 : Tampilan Untuk Memasukkan Rentang Frekuensi yang Disimulasikan

Sumber : Perancangan

14. Sehingga *window Simulation Setup* menjadi seperti Gambar 15, dan tekan *OK*. Centang pada semua *step* frekuensinya, untuk melihat secara detail perubahan grafik keluarannya.

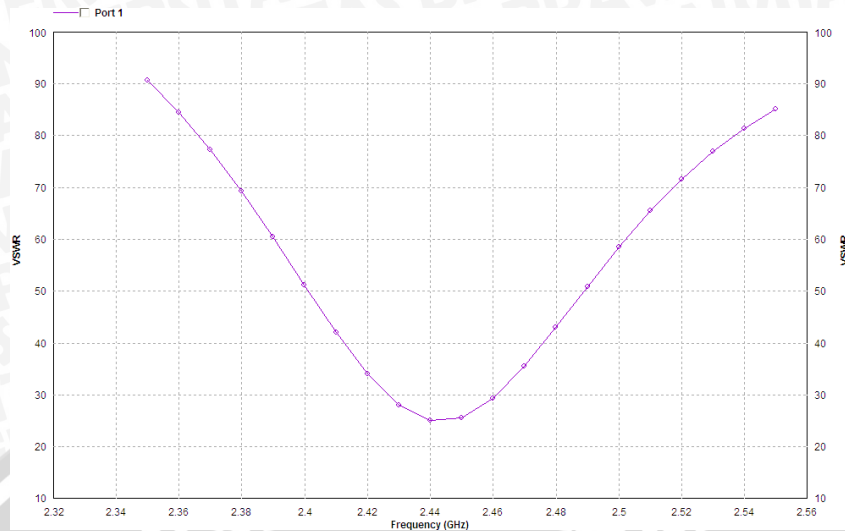


Gambar 15 : Tampilan *Window Simulation Setup*

Setelah Rentang Frekuensi Ditentukan

Sumber : Perancangan

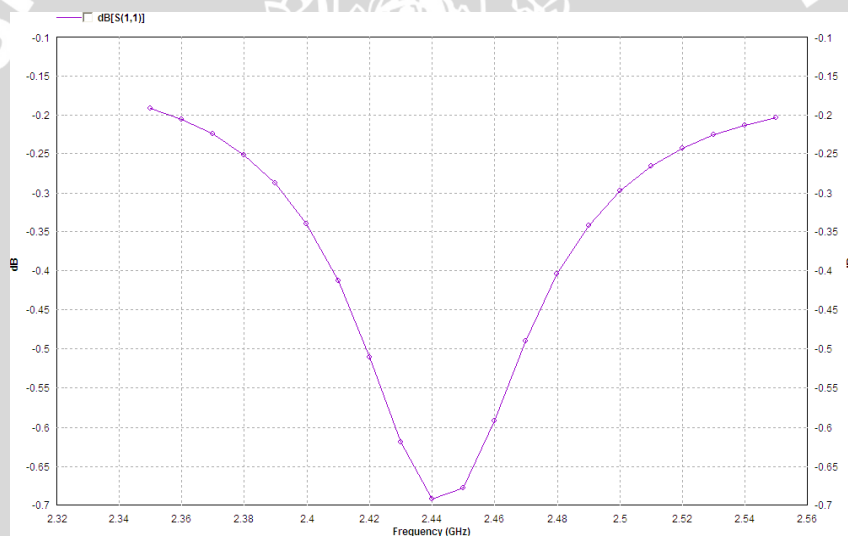
- Tunggu sebentar sampai simulasi selesai dan dihasilkan grafik VSWR seperti Gambar 16 berikut.



Gambar 16 : Grafik VSWR Hasil Simulasi Satu Elemen

Sumber : Simulasi

Kemudian untuk grafik *return loss* dapat dilihat pada Gambar 17 berikut.



Gambar 17 : Grafik *Return Loss* Hasil Simulasi Satu Elemen

Sumber : Simulasi

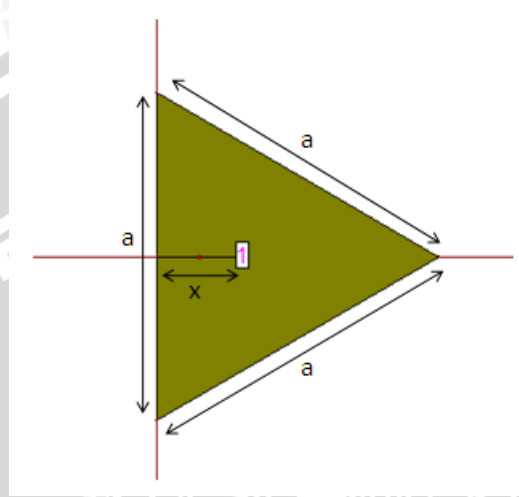
Dari hasil simulasi terlihat bahwa antena belum memenuhi kriteria yang diinginkan, yakni *return loss* bernilai < -10 dB, dan VSWR bernilai < 2 . Oleh karena itu harus dilakukan optimasi.

Tahap 2 – OPTIMASI

a. Satu Elemen

Optimasi dilakukan secara manual dengan mengubah panjang sisi segitiga dan mengubah posisi *port* pada *patch*. Optimasi dilakukan sama dengan langkah 1-16 dan dicari hasil yang paling sesuai dengan yang diinginkan.

Dari hasil optimasi, didapatkan dimensi optimal dari patch adalah sebagai berikut.



Gambar 18 : Elemen peradiasi

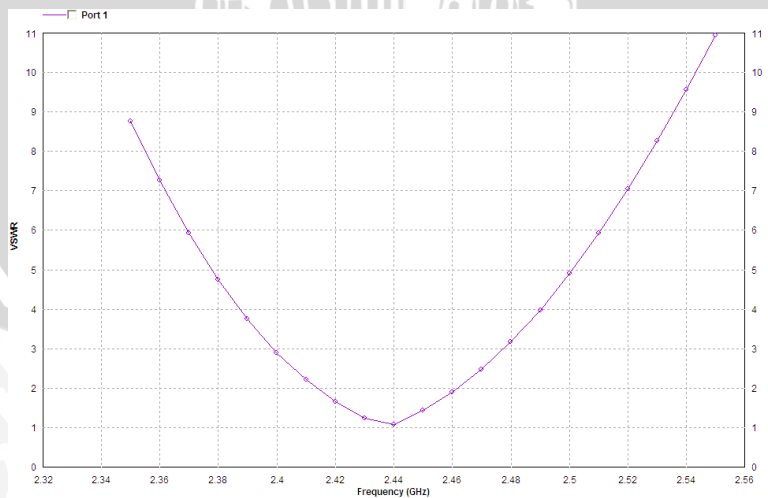
Sumber : Perancangan

Keterangan Gambar 18 :

Panjang sisi (*a*) = 38,15 mm

Posisi port (*x*) = 4,5 mm

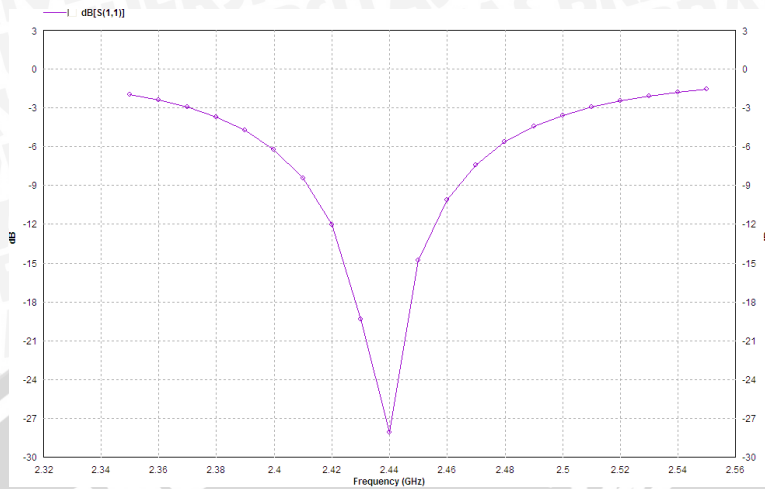
Berikut adalah tampilan grafik VSWR hasil optimasi.



Gambar 19 : Grafik VSWR Hasil Optimasi Satu Elemen

Sumber : Simulasi

Untuk grafik *return loss* dapat dilihat pada Gambar 20 berikut.



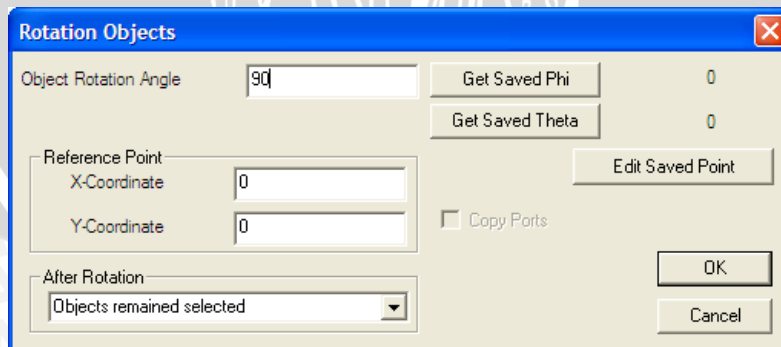
Gambar 20 : Grafik *Return Loss* Hasil Optimasi Satu Elemen
Sumber : simulasi

Dari Gambar 19 dan 20 dapat dilihat bahwa antenna telah memenuhi kriteria sesuai dengan yang diinginkan, yakni mempunyai nilai *return loss* < -10 dB serta VSWR yang mempunyai nilai < 2. Tetapi *bandwidth* yang didapat belum mencukupi dari *bandwidth* yang diinginkan. Oleh karena itu, perlu dibuat antenna *array*-nya.

b. Array Dua Elemen

Untuk mengatur agar saluran transmisi paralel horizontal, maka perlu disesuaikan posisi dari bentuk *patch* segitiganya.

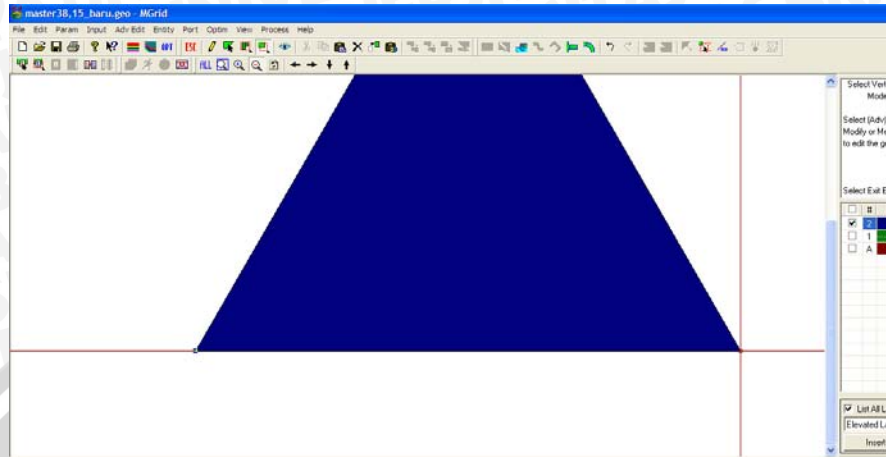
15. Ulangi langkah 1-9 diatas sehingga terbentuk *patch* segitiga.
16. Pilih *Select Polygon*, klik pada *patch*, *Rotate* dan *Edit* sesuai pada Gambar 21 berikut.



Gambar 21 : Tampilan Untuk Menyesuaikan Posisi *Patch*

Sumber : Perancangan

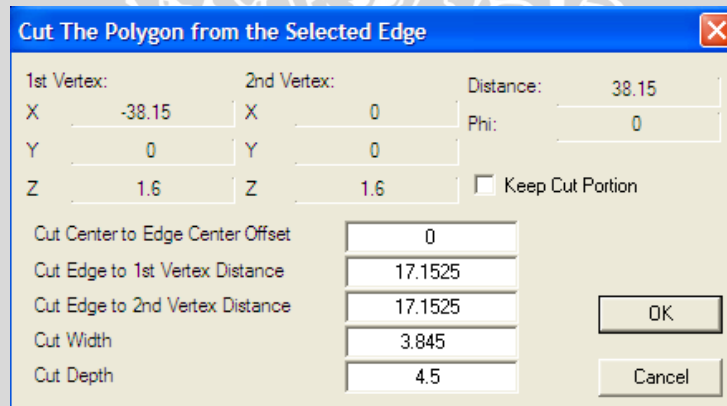
17. Setelah *patch* disesuaikan, pilih *Select Vertices*, *drag* pada kedua ujung kaki segitiga sehingga didapat seperti Gambar 22 berikut.



Gambar 22 : Tampilan *Patch* setelah didrag

Sumber : Perancangan

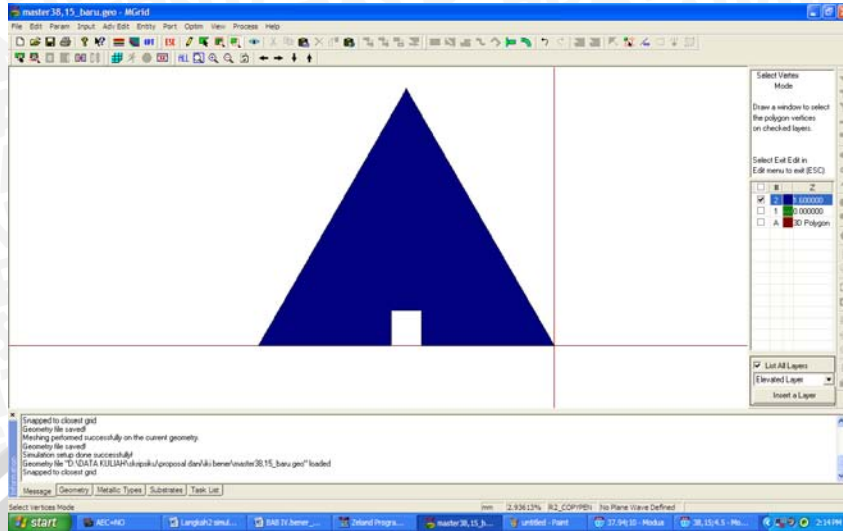
18. Pilih *Adv Edit* à *Cut Into Polygon On Edge*, ubah *Cut Width* dan *Cut Depth* seperti pada Gambar 23 berikut.



Gambar 23 : Tampilan Untuk Membuat *Inset Feed*

Sumber : Perancangan

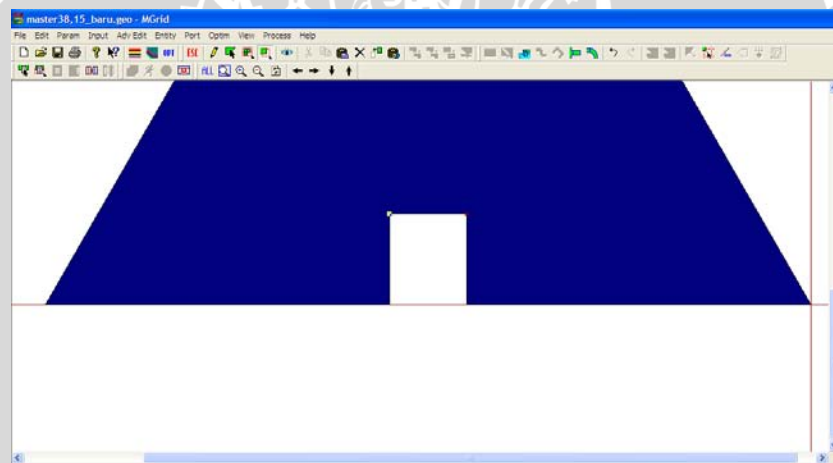
Tampilan setelah dibuat *inset feed* adalah sebagai berikut.



Gambar 24 : Tampilan Setelah Dibuat *Inset Feed*

Sumber : Perancangan

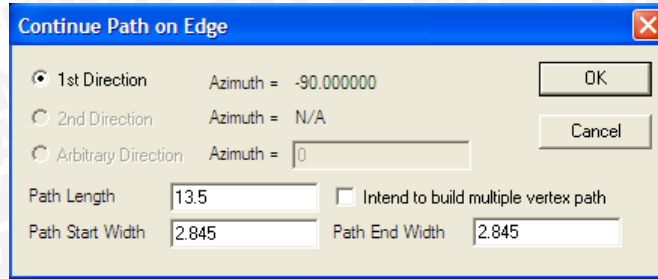
19. Pilih *Select Vertices*, *drag* pada kedua ujung atas *inset feed* sehingga terdapat kotak di kedua ujungnya. Tampilannya dapat dilihat pada Gambar 25 berikut.



Gambar 25 : Tampilan Untuk Membuat Saluran Transmisi

Sumber : Perancangan

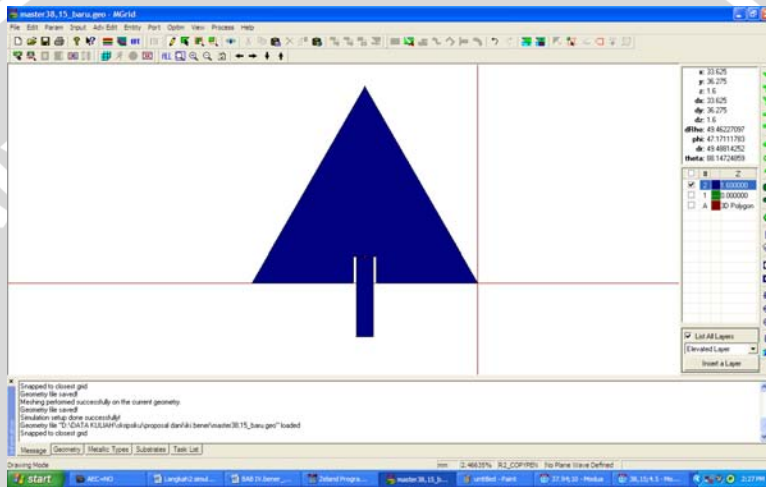
20. Pilih *Adv Edit* à *Continue Straight Patch*, dan ubah *Path Length* dan *Path Start Width* sesuai gambar berikut. Selanjutnya tekan *OK*.



Gambar 26 : Tampilan Untuk Membuat Saluran Transmisi

Sumber : Perancangan

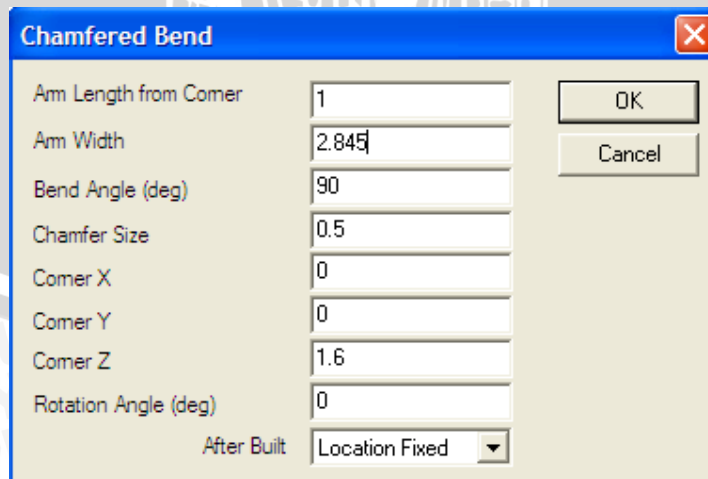
Selanjutnya tampilannya seperti gambar berikut.



Gambar 27 : Tampilan Setelah Dibuat Saluran Transmisi

Sumber : Perancangan

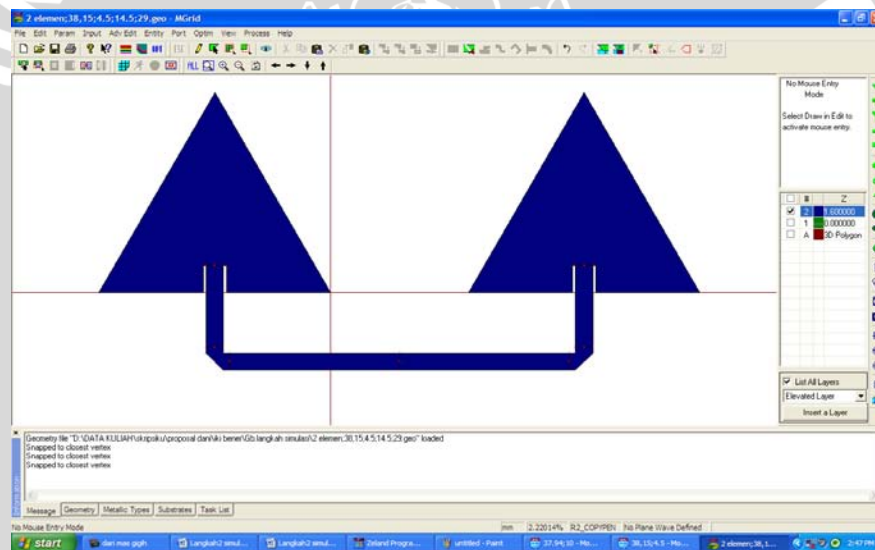
21. Buatlah *bending* dengan meng-klik *icon Chamfered Bend* pada *Toolbar* sebelah kanan *window MGRID*. Lalu akan muncul tampilan seperti Gambar 28 berikut.



Gambar28 : Tampilan mengubah variabel *chamfered bend*

Sumber : Perancangan

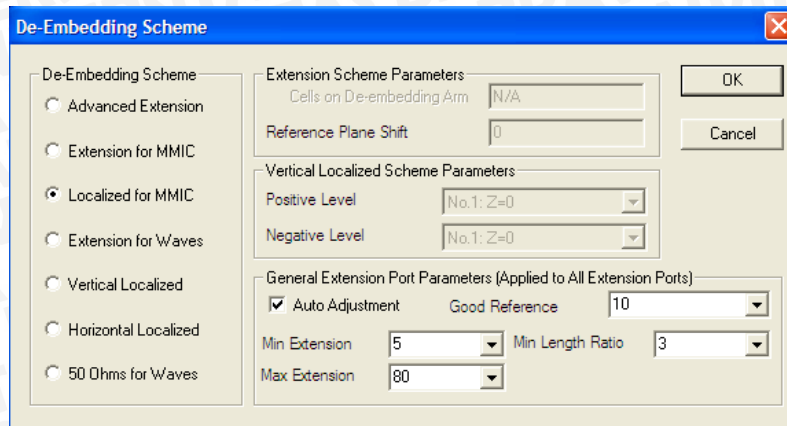
22. Setelah itu akan terbentuk *chamfered bend* pada *window* MGRID dan tinggal menggabungkannya saja dengan saluran transmisi pada elemen peradiasi yang sudah ada. Caranya adalah dengan meng-klik *icon Select Polygon* pada *toolbar* bagian atas *window* MGRID, lalu klik *chamferd bend*-nya. Kemudian tekan tombol (pada *keyboard*) *Shift+Tab* secara bersamaan untuk mengubah titik referensi penempelan *chamferd bend* pada saluran transmisi. Kemudian pindah & tempelkan *chamfered bend* pada saluran transmisi dengan menekan *Shift+M* secara bersamaan. Untuk membentuk susunan *array* sesuai dengan bentuk yang direncanakan maka *Select Vertices* pada sisi sebelah kanan *chamfered bend* lalu pilih *Adv Edit* à *Continue Straight Path* dengan ukuran sesuai perhitungan.
23. Pilih *Select Polygon*, klik pada seluruh *patch*, pilih *Edit* à *Copy And Reflect...* untuk membuat duplikasi *array*-nya. Atur posisinya sehingga terbentuk seperti Gambar 29 berikut.



Gambar 29 : Tampilan *Patch* Setelah Di-*array*

Sumber : Perancangan

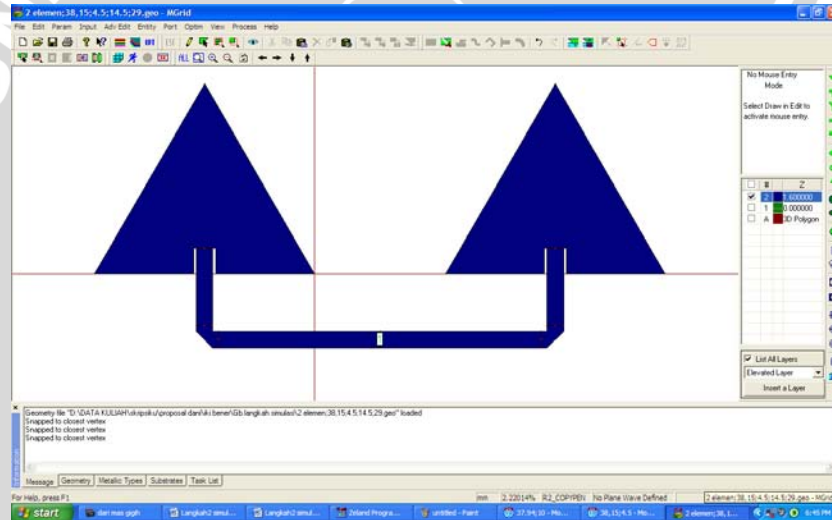
24. Setelah *patch* & *path* terbentuk, maka dibuat *port* untuk antena. Untuk mendefinisikan letak *port* maka ditentukan dahulu jenis *port* yang akan digunakan. Untuk simulasi ini, pilih dahulu menu *Port* à *Port For Edge Group*. Sesuaikan pilihan sama dengan yang ditunjukkan oleh Gambar 30, lalu tekan *OK*.



Gambar 30 : Tampilan Pilihan Jenis Port

Sumber : Perancangan

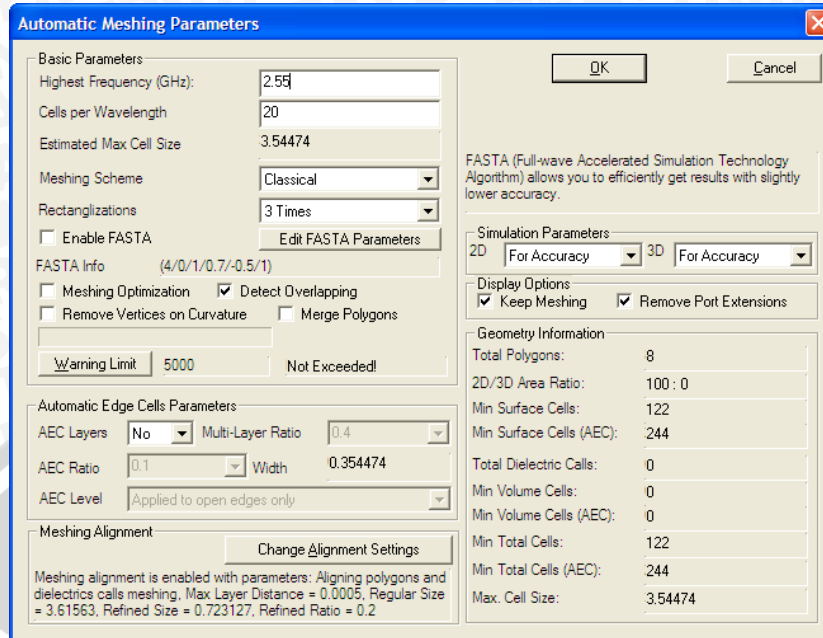
25. Kemudian *drag* pada bagian yang akan diberi port, maka akan muncul port dan hasilnya dapat dilihat pada Gambar 31 berikut.



Gambar 31 : Tampilan Patch Setelah Diberi Port

Sumber : Perancangan

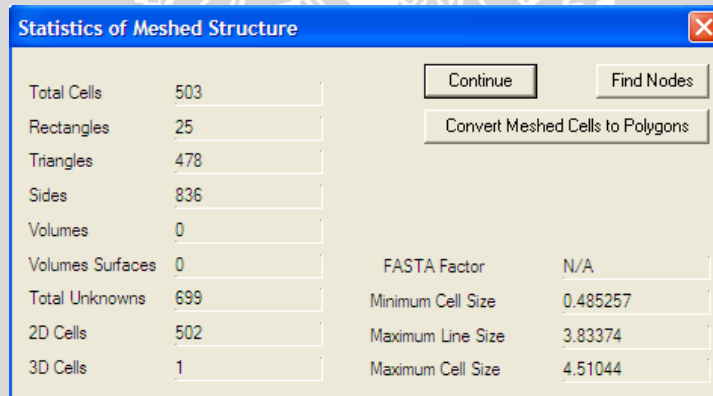
26. Sebelum disimulasikan, *file* ini harus disimpan terlebih dahulu. Setelah itu pilih menu *Port* à *Exit Port (X)*. Setelah itu pilih menu *Process* à *Display Meshing*, lalu muncul *window Automatic Meshing Parameters*. Ubah variabelnya seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 32. Kemudian tekan *OK*.



Gambar 32 : Tampilan Pengubahan Variable-variabel *Meshing*

Sumber : Perancangan

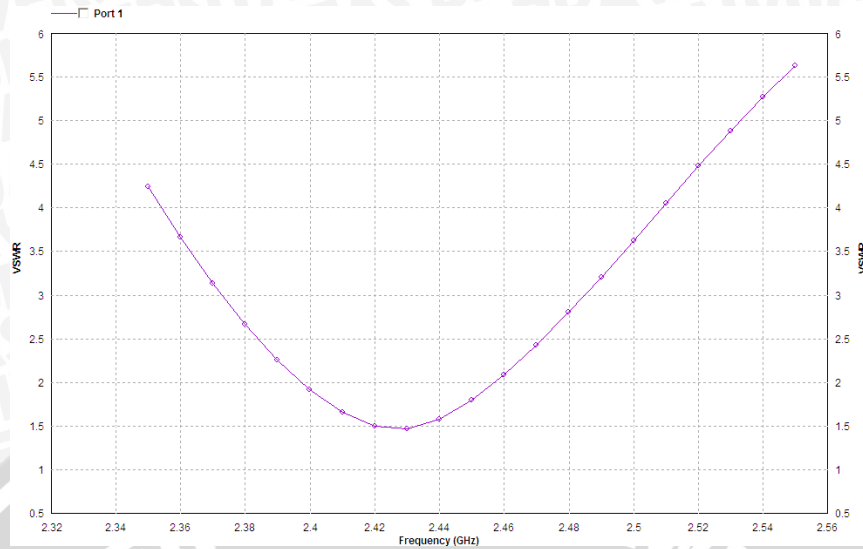
27. Kemudian muncul tampilan seperti Gambar 33. Klik *Continue*.



Gambar 33 : Variabel-variabel yang Berubah Setelah *Meshing*

Sumber : Perancangan

28. Ulangi langkah 13 dan 14 sehingga diperoleh grafik VSWR sebagai berikut.

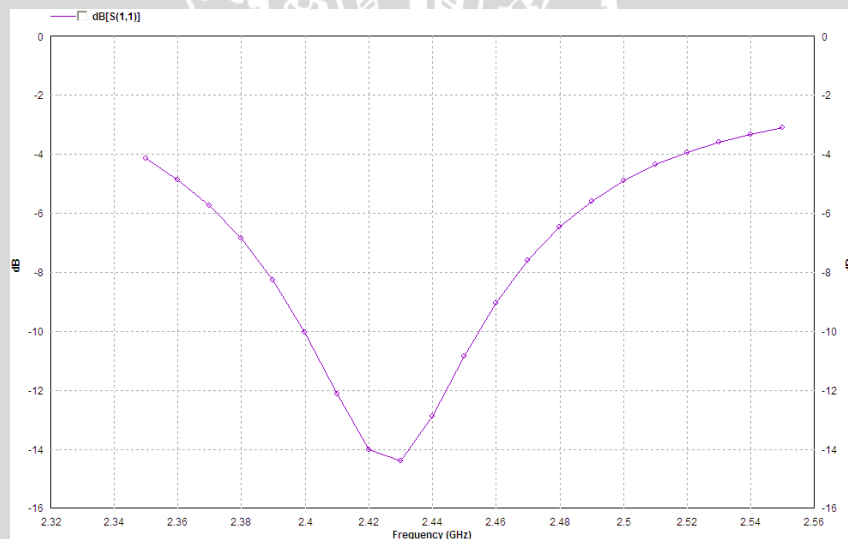


Gambar 34 : Grafik VSWR Hasil Simulasi

Array Dua Elemen Sebelum Optimasi

Sumber : Simulasi

Sedangkan untuk grafik *return loss* dapat dilihat pada Gambar 35 berikut.



Gambar 35 : Grafik *Return Loss* Hasil Simulasi

Array Dua Elemen Sebelum Optimasi

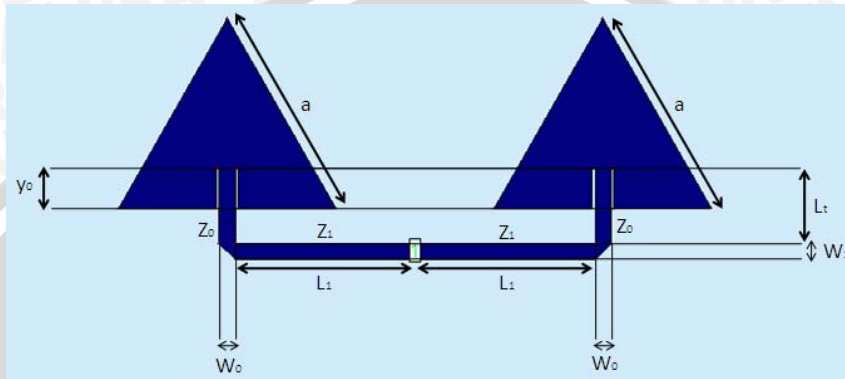
Sumber : Simulasi

Dari hasil simulasi terlihat bahwa antenna telah memenuhi kriteria yang diinginkan, yakni *return loss* < -10 dB, dan VSWR bernilai < 2. Tetapi *range* frekuensinya perlu disesuaikan dengan frekuensi yang diinginkan. Oleh karena itu perlu dilakukan optimasi.

Optimasi dilakukan secara manual dalam tiga tahap yaitu dengan mengubah panjang kedalaman *inset feed* (y_0), panjang saluran *inset feed* (L_1) dan panjang saluran transmisi antar elemen (L_1).

29. Ulangi langkah 1-9, dilanjutkan langkah 15-28 dengan ketiga parameter diatas yang diubah-ubah sehingga didapatkan hasil yang optimal.

Dari hasil optimasi, didapatkan dimensi optimal dari *patch* adalah sebagai berikut.



Gambar 36 : Antena Mikrostrip *Equilateral Triangular Array* Setelah Optimasi

Sumber : Perancangan

Keterangan Gambar 36 :

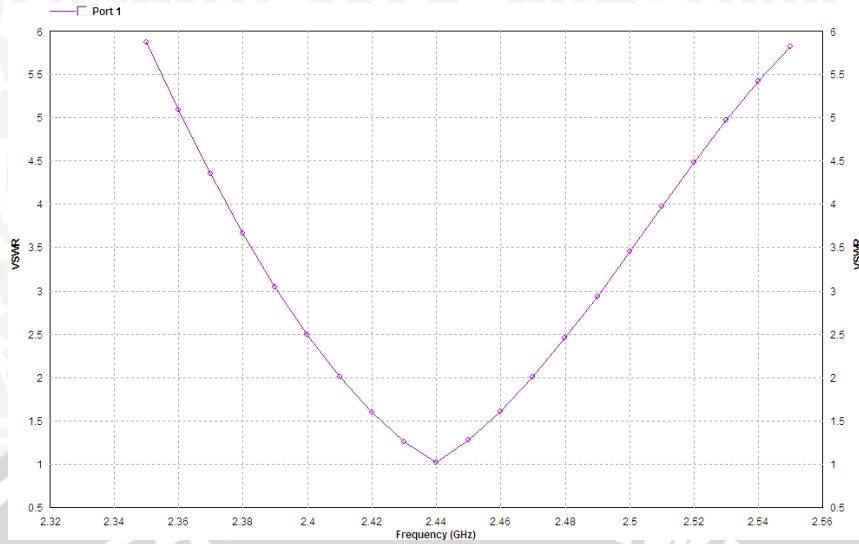
$$a = 38,15 \text{ mm}$$

$$y_0 = 6,55 \text{ mm}$$

$$Z_0 = 100 \Omega : W_1 = 2,845 \text{ mm}, L_1 = 14,8 \text{ mm}$$

$$Z_1 = 100 \Omega : W_1 = 2,845 \text{ mm}, L_1 = 29 \text{ mm}$$

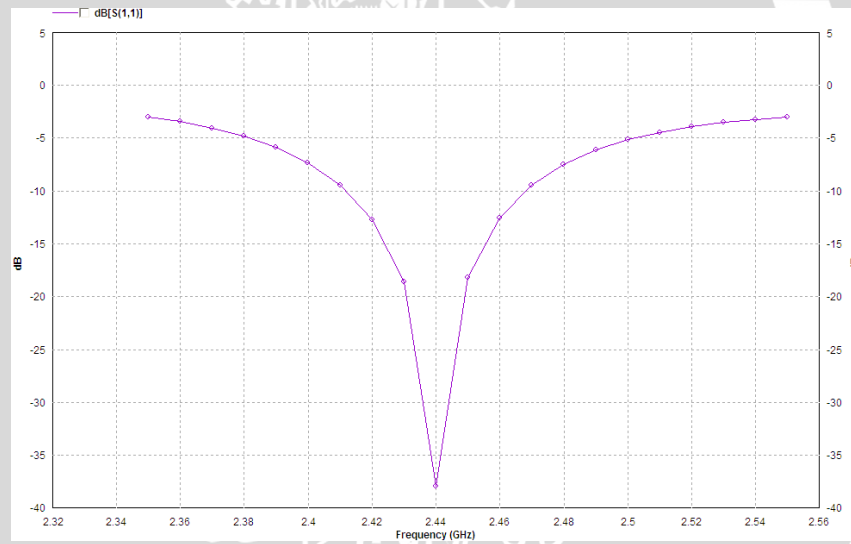
Berikut adalah tampilan grafik VSWR hasil optimasi.



Gambar 37 : Grafik VSWR Hasil Optimasi Dua Elemen Peradiasi

Sumber : Simulasi

Untuk grafik *return loss* dapat dilihat pada Gambar 38 berikut.

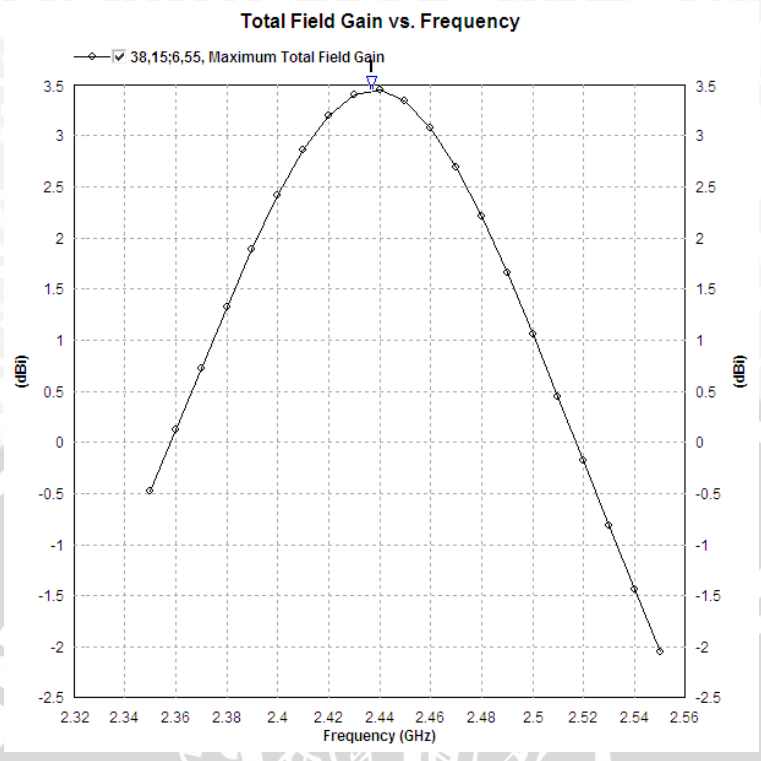


Gambar 38 : Grafik *Return Loss* Hasil Optimasi

Dua Elemen Peradiasi

Sumber : simulasi

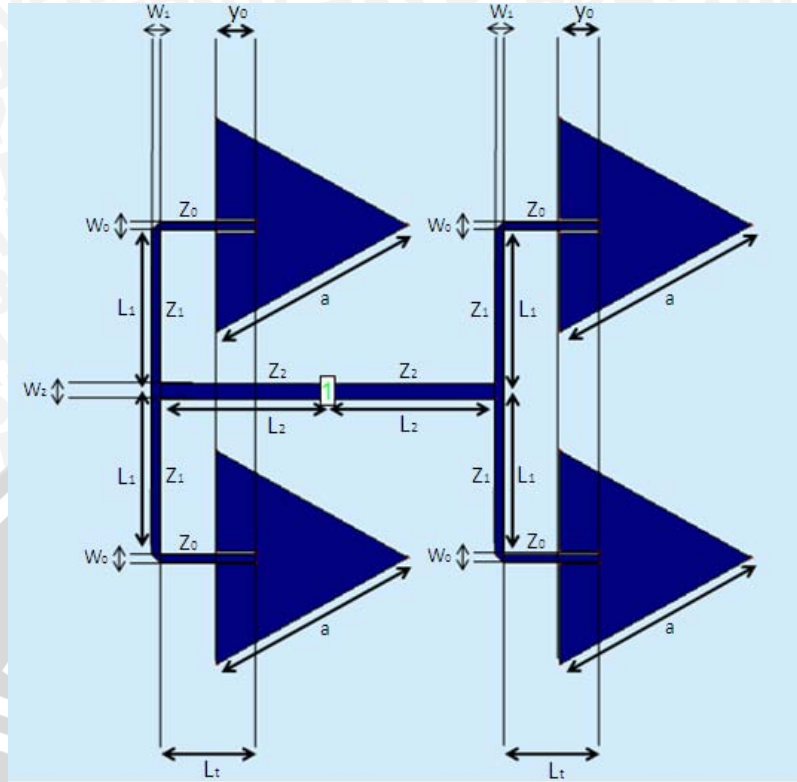
Untuk grafik *gain* dapat dilihat pada Gambar 39 berikut.



Gambar 39 : Grafik Hasil Optimasi *Gain Array* Dua Elemen
 Sumber : Simulasi

c. Array Empat Elemen

Parameter-parameter hasil perhitungan dapat dilihat pada Gambar 40 berikut.



Gambar 40 : Antena Mikrostrip *Equilateral Triangular Array* Sebelum Optimasi
 Sumber : Perancangan

Keterangan Gambar 40 :

$a = 38,15 \text{ mm}$

$y_0 = 6,55 \text{ mm}$

$Z_0 = 200 \Omega : W_0 = 1,422 \text{ mm}, L_1 = 14,5 \text{ mm}$

$Z_1 = 200 \Omega : W_1 = 1,422 \text{ mm}, L_1 = 29 \text{ mm}$

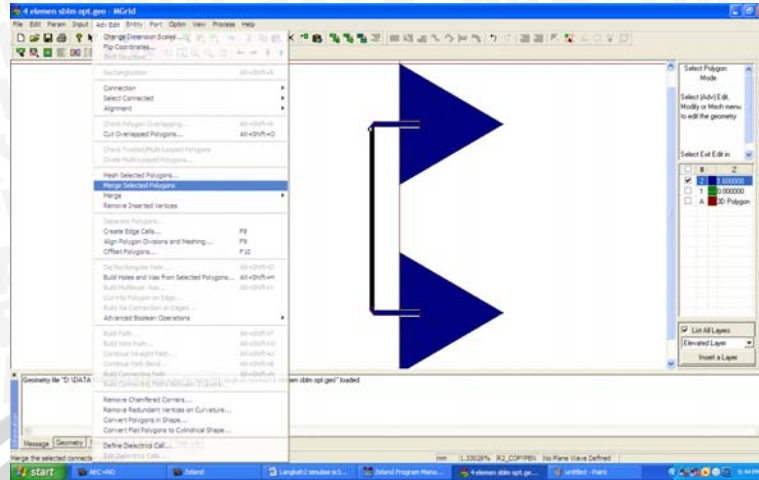
$Z_2 = 100 \Omega : W_2 = 2,845 \text{ mm}, L_2 = 29 \text{ mm}$

30. Ulangi langkah 1-9, dilanjutkan langkah 15-23 dengan nilai parameter sesuai dengan nilai diatas.

31. Pilih *Select Polygon*, klik pada kedua bidang untuk menggabungkannya.

Selanjutnya *Adv Edit* à *Merger Selected Polygon* seperti pada Gambar 41 berikut.

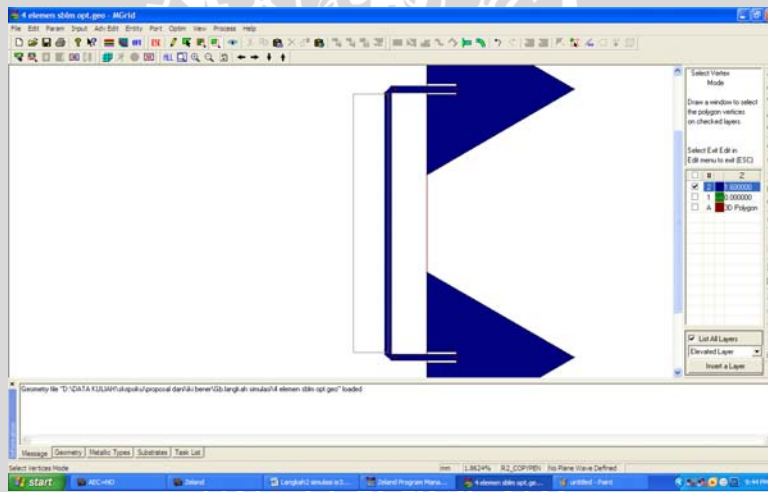
Setelah itu klik *OK*



Gambar 41 : Tampilan Untuk Menggabungkan *Polygon*

Sumber : Perancangan

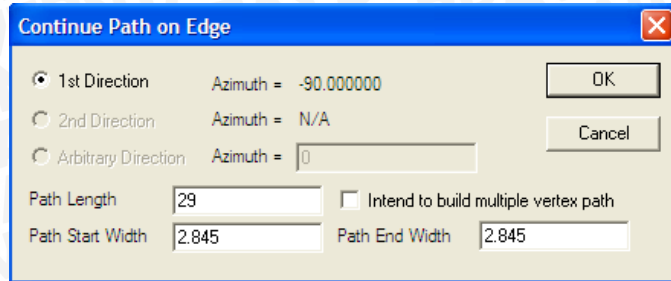
32. Drag pada kedua sisi bawah *polygon* yang telah digabungkan, sehingga muncul tanda kotak pada masing-masing ujungnya, seperti terlihat pada Gambar 42 berikut.



Gambar 42 : Tampilan Untuk Membuat Saluran Transmisi Horisontal

Sumber : Perancangan

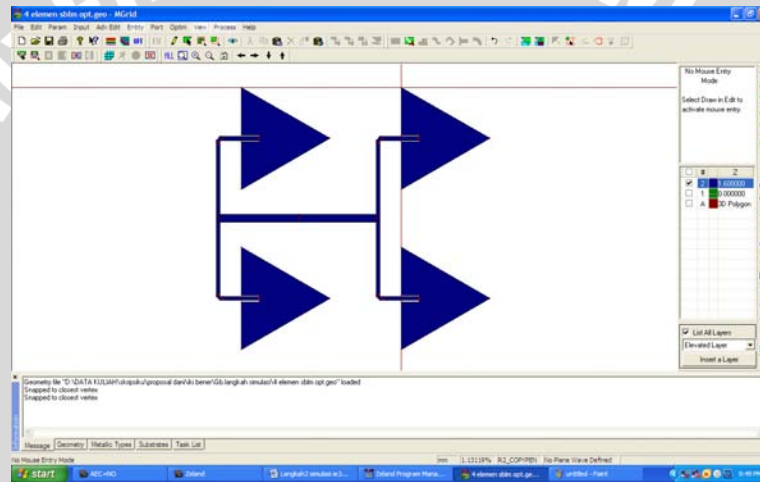
33. Pilih *Adv Edit* à *Continue Straight Path...*, dan ubah parameter sesuai dengan Gambar 43 berikut. Kemudian tekan *OK*.



Gambar 43 : Tampilan Untuk *Continue Straight Path*

Sumber : Perancangan

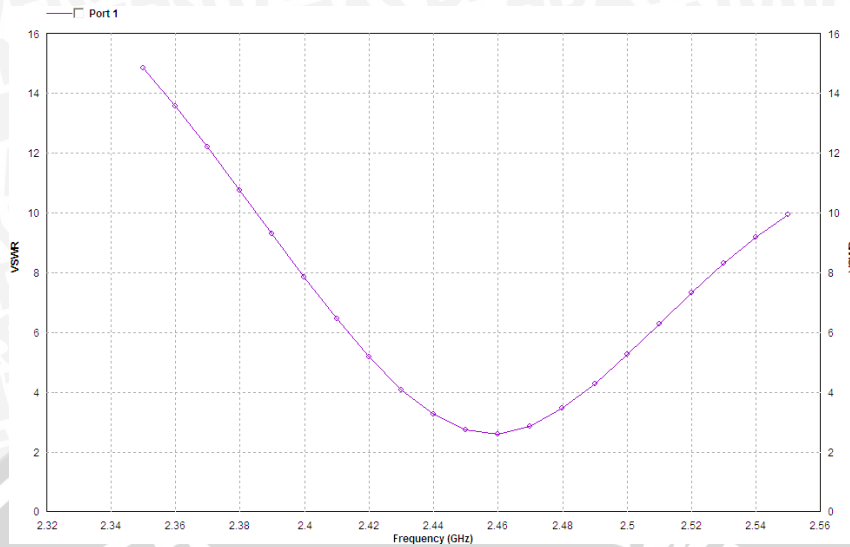
34. *Copy patch array* dua elemen yang ada dan ulangi langkah 32-33 untuk bagian kanan saluran transmisi. Atur posisinya dan gabungkan dengan *patch* awal sehingga berbentuk seperti Gambar 44 berikut.



Gambar 44 : Tampilan Antena Setelah Digabungkan

Sumber : Perancangan

35. Untuk member port dan menyimulasikan antenna, ulangi langkah 24-28 sehingga menghasilkan grafik seperti Gambar 45 berikut.

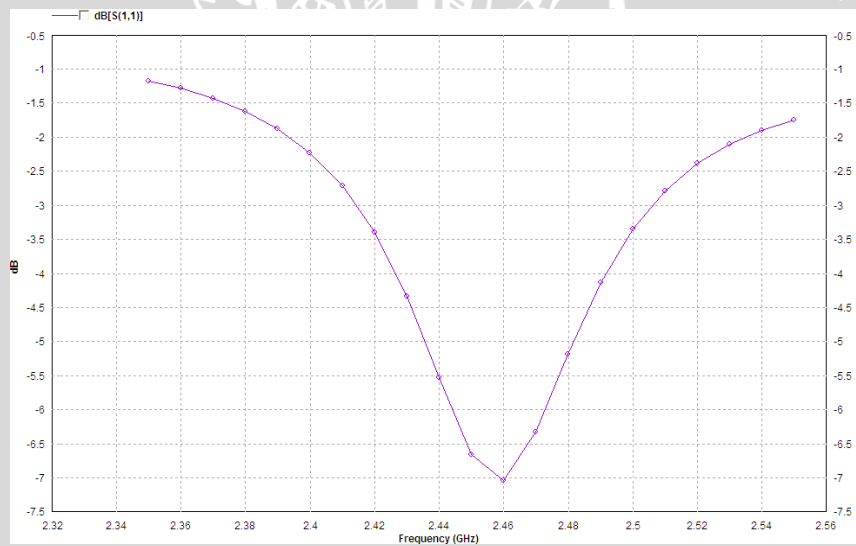


Gambar 45 : Tampilan Grafik VSWR Antena

Array Empat Elemen Sebelum Optimasi

Sumber : Perancangan

Sedangkan untuk grafik return loss dapat dilihat pada Gambar 46 berikut.



Gambar 46 : Tampilan Grafik *Return Loss* Antena

Array Empat Elemen Sebelum Optimasi

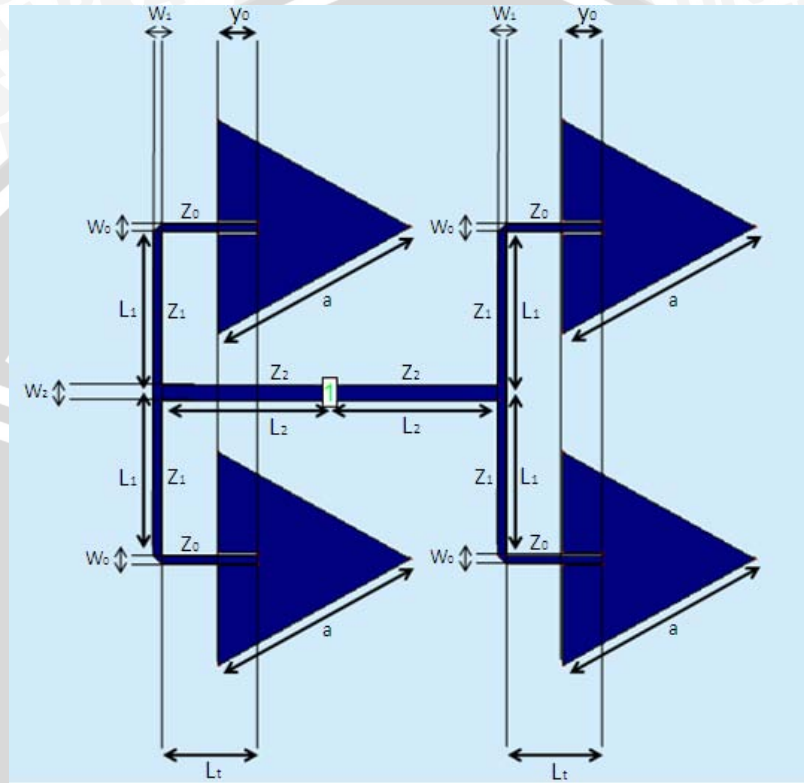
Sumber : Perancangan

Dari hasil simulasi terlihat bahwa antena *array* empat elemen belum memenuhi kriteria yang diinginkan, yakni *return loss* < -10 dB, dan VSWR bernilai < 2. Oleh karena itu perlu dilakukan optimasi.

Optimasi dilakukan secara manual dengan mengubah ukuran pada empat bagian antenna yaitu panjang kedalaman *inset feed* (y_0), panjang saluran *inset feed* (L_1), panjang saluran transmisi antar elemen vertikal (L_1), serta panjang saluran transmisi antar elemen pada arah horisontal (L_2) sehingga didapat dimensi yang diinginkan.

36. Ulangi langkah 29

Dari hasil optimasi, didapatkan dimensi optimal dari *patch* adalah sebagai berikut.



Gambar 47 : Antena Mikrostrip *Equilateral Triangular Array* Setelah Optimasi

Sumber : Perancangan

Keterangan Gambar 47 :

$$a = 38,15 \text{ mm}$$

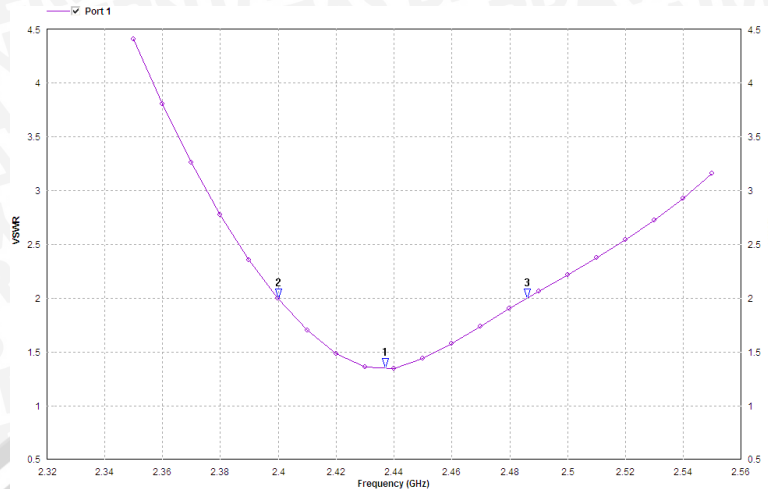
$$y_0 = 6,57 \text{ mm}$$

$$Z_0 = 200 \Omega ; W_0 = 1,422 \text{ mm} ; L_1 = 16,5 \text{ mm}$$

$$Z_1 = 200 \Omega ; W_1 = 1,422 \text{ mm} ; L_1 = 35,5 \text{ mm}$$

$$Z_2 = 100 \Omega ; W_2 = 2,845 \text{ mm} ; L_2 = 29 \text{ mm}$$

Berikut adalah tampilan grafik VSWR hasil optimasi.

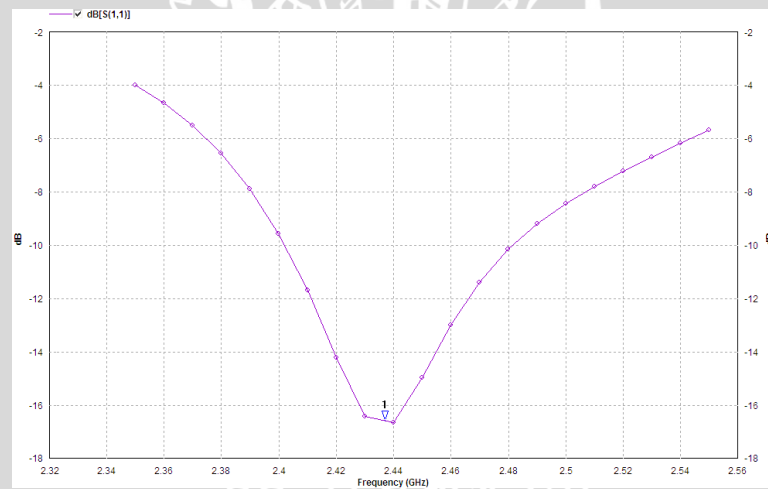


Gambar 48 : Grafik VSWR Hasil Optimasi

Array Empat Elemen Peradiasi

Sumber : simulasi

Untuk grafik *return loss* dapat dilihat pada gambar 49 berikut.

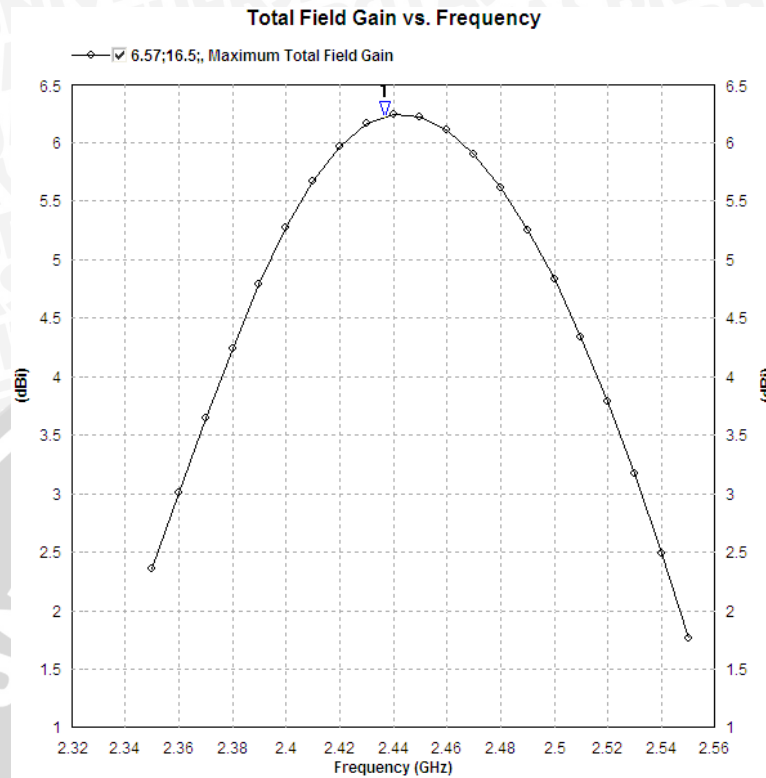


Gambar 49 : Grafik *Return Loss* Hasil Optimasi

Array Empat Elemen Peradiasi

Sumber : Simulasi

Untuk grafik *gain* dapat dilihat pada Gambar 50 berikut.



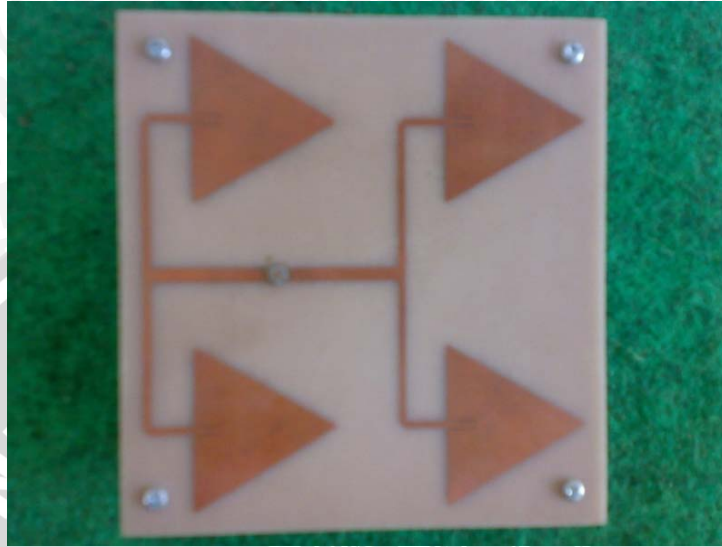
Gambar 50 : Grafik Hasil Optimasi *Gain Array* Empat Elemen

Sumber : Simulasi

Dari Gambar 48, 49, dan 50 dapat dilihat bahwa simulasi antenna telah mencapai hasil yang optimum sesuai dengan parameter yang diharapkan.

Lampiran

II. Dokumentasi Pengukuran



Gambar 51 : Antena Mikrostrip *Equilateral Triangular Array* 2x2

Sumber : Fabrikasi



Gambar 52 : Antena Mikrostrip *Equilateral Triangular Array* yang terhubung dengan

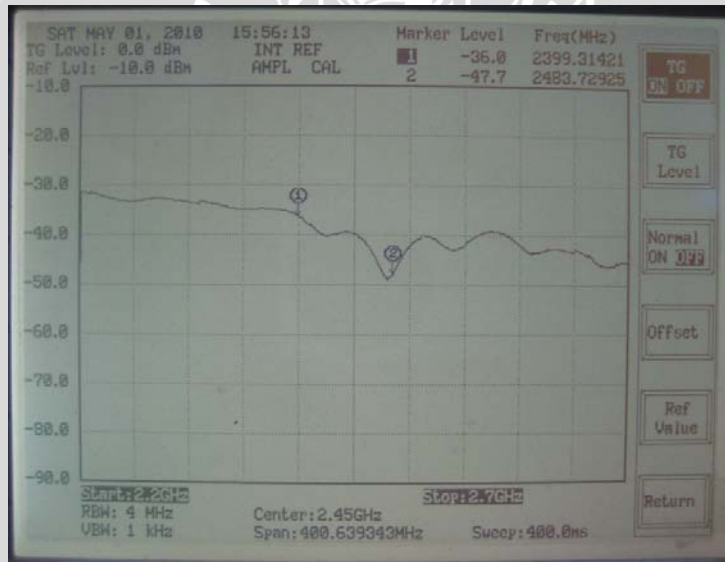
GW Instek Spectrum Analyzer 2,7 GHz.

Sumber : Pengukuran



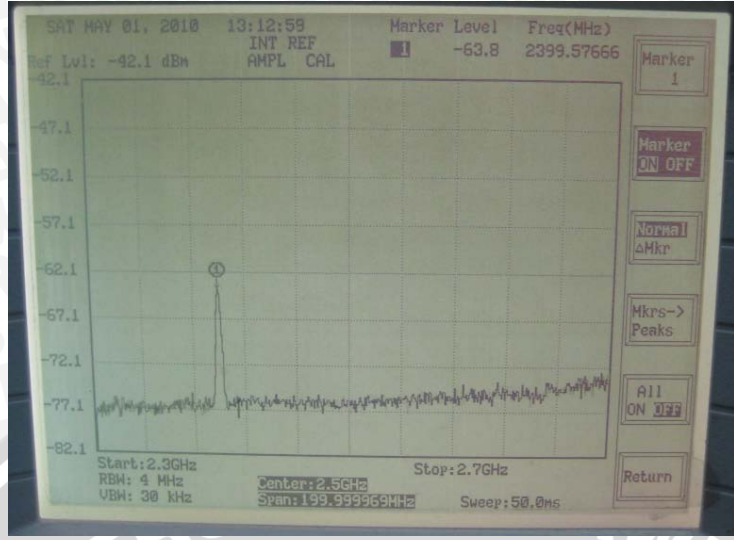
Gambar 53 : Hasil Pengukuran *Return Loss* (2 layar) pada Rentang 2,2 GHz – 3 GHz

Sumber : Pengukuran



Gambar 54 : Hasil Pengukuran *Return Loss* (1 layar) pada Rentang 2,2 GHz – 3 GHz

Sumber : Pengukuran



Gambar 55 : Hasil Pengukuran *Gain* pada Frekuensi 2,32 GHz

Sumber : Pengukuran



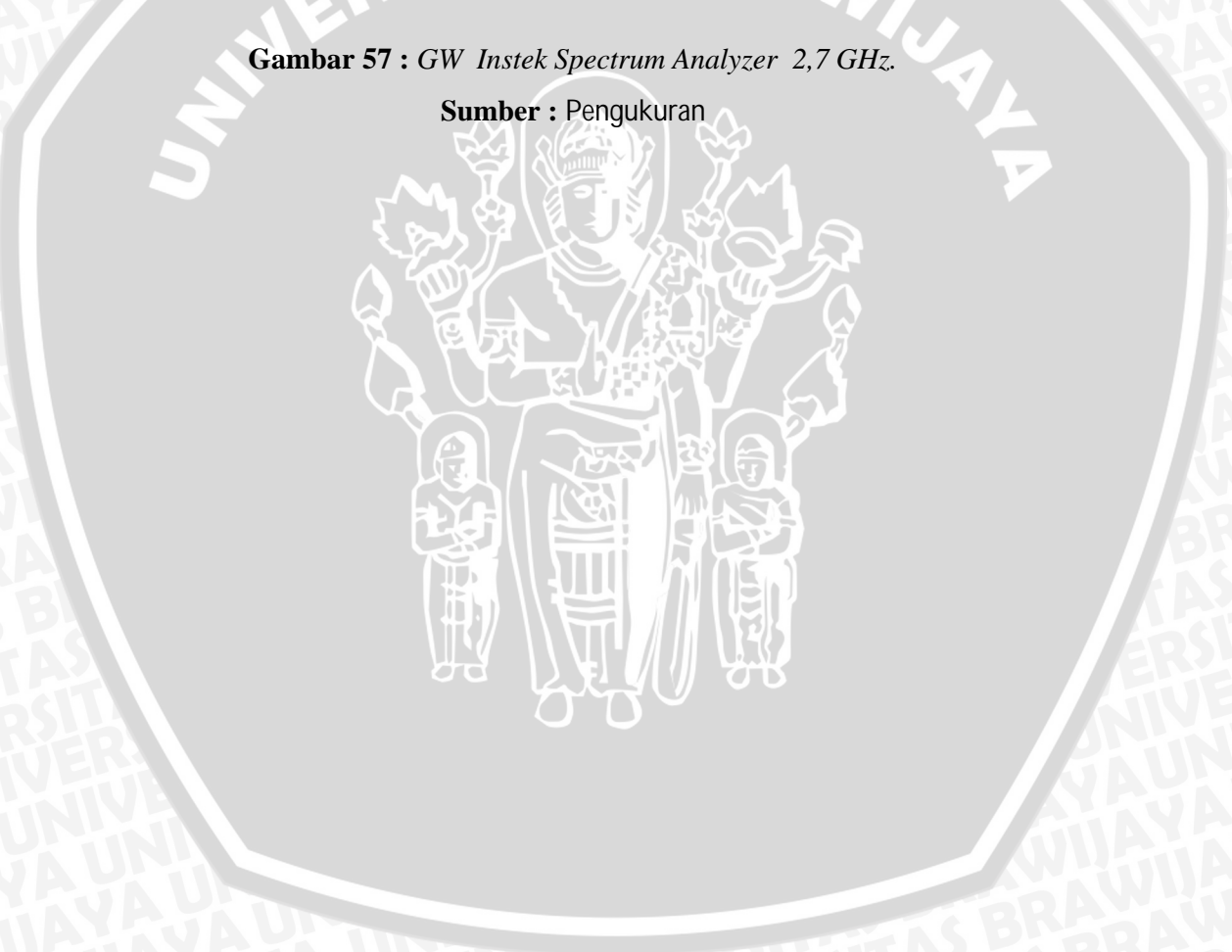
Gambar 56 : Aeroflex IFR 3413 Signal Generator 250 kHz – 3 GHz

Sumber : Pengukuran



Gambar 57 : GW Instek Spectrum Analyzer 2,7 GHz.

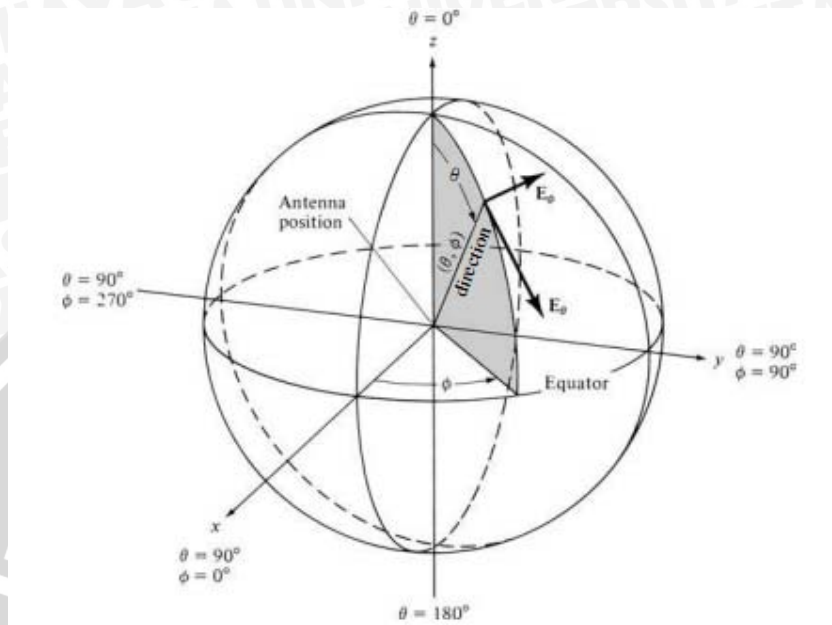
Sumber : Pengukuran



Lampiran

III. Referensi Pengukuran

1. Pola radiasi



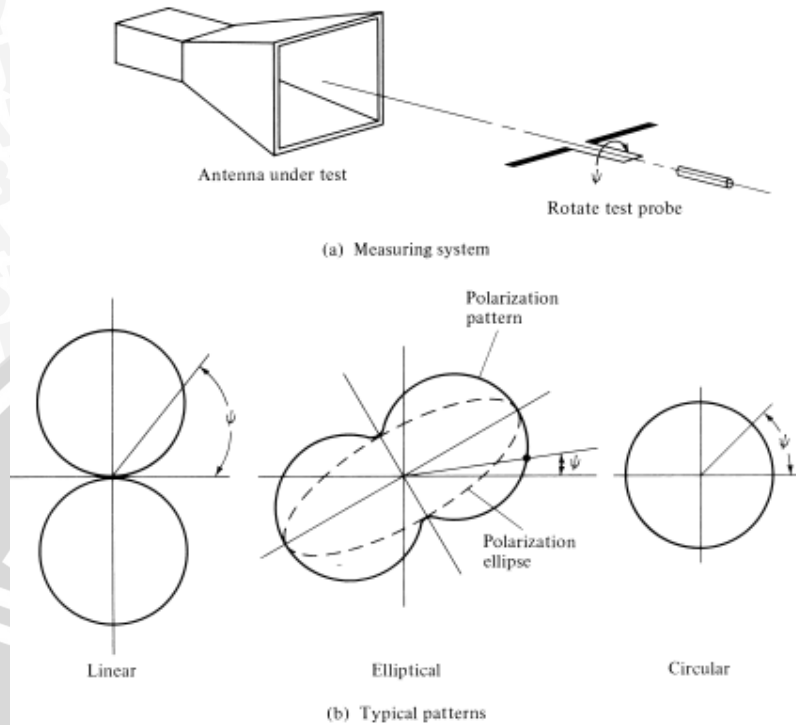
Gambar 1 : Sistem Geometri Koordinat Bola untuk Pengukuran Pola Radiasi Antena

Sumber : Balanis (*IEEE Standard Test Procedures for Antennas, IEEE Std 149-1979*)

Keterangan Gambar 1 :

Pengukuran pola radiasi horisontal dilakukan dengan memutar antena uji pada bidang azimuth (•), sedangkan untuk pengukuran pola radiasi vertikal dilakukan dengan memutar antena uji pada bidang elevasi (•). Hasil dari pola radiasi adalah diagram polar 3 dimensi.

2. Polarisasi



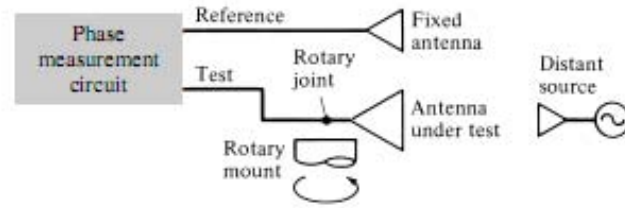
Gambar 2 : Sistem Pengukuran Polarisasi

Sumber : Balanis (*IEEE Standart Test Procedures for Antennas, IEEE Std 149-1979*)

Keterangan Gambar 2 :

Pengukuran polarisasi dilakukan dengan memutar antenna referensi atau antenna uji sampai 360° dengan garis lurus antara antenna uji dan antenna referensi sebagai sumbu putarnya.

3. Gain



Gambar 3 : Pengukuran gain pada medan jauh

Sumber : Balanis (*IEEE Standart Test Procedures for Antennas, IEEE Std 149-1979*)

Keterangan Gambar 3 :

Pengukuran dilakukan pada jarak tertentu menggunakan antenna referensi sebagai perbandingan. Antena yang digunakan dapat berupa antenna *dipole* yang gainnya telah diketahui (2,15 dBi).

Perhitungan *gain* dengan metode perbandingan dapat menggunakan rumus :

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

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