

**PERENCANAAN DAN PEMBUATAN ANTENA MIKROSTRIP
KOTAK-SEGITIGA ARRAY 2X2 UNTUK FREKUENSI 1575 MHz**

**SKRIPSI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh:
IQBAL BUDHI PRASETYO
NIM. 0510633045-63

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK**

MALANG

2010

repository.ub.ac

LEMBAR PERSETUJUAN

**PERENCANAAN DAN PEMBUATAN ANTENA MIKROSTRIP
KOTAK-SEGITIGA ARRAY 2X2 UNTUK FREKUENSI 1575 MHz**

**SKRIPSI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh:

IQBAL BUDHI PRASETYO

NIM. 0510633045-63

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

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

M. Fauzan Edy Purnomo,ST.,MT.
NIP. 19710609 200012 1 001

LEMBAR PENGESAHAN

**PERENCANAAN DAN PEMBUATAN ANTENA MIKROSTRIP
KOTAK-SEGITIGA ARRAY 2X2 UNTUK FREKUENSI 1575 MHz**

**SKRIPSI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh:

**IQBAL BUDHI PRASETYO
NIM. 0510633045-63**

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
tanggal 4 Agustus 2010

DOSEN PENGUJI

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

Rusmi Ambarwati, ST., MT.
NIP. 19720204 200003 2 002

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

Mengetahui
Ketua Jurusan Teknik Elektro

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

PENGANTAR



Alhamdulillah, segala puji hanya bagi Allâh Subhanahu Wa Taâla, Rabb alam semesta. Dialah Allâh, Tuhan Yang Maha Satu, Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Dialah Sebaik baik Penolong dan Sebaik baik Pelindung. Shalawat dan salâm kepada Nabi Muhammad Rasulullâh Shallallâhu Alaihi Wa Salâm, pemilik syafaât di Hari Akhir, sang pembawa kabar gembira dan sebaik baik suri tauladan bagi yang mengharap Rahmat dan Hidayah-Nya.

Sungguh hanya melalui Pertolongan dan Perlindungan Allâh SWT semata sehingga kami dapat menyelesaikan skripsi ini. Dengan seizin Allâh SWT, di kesempatan yang baik ini kami ingin menghaturkan rasa terima kasih dan penghargaan yang sebesar besarnya atas bantuan sehingga terselesainya skripsi ini kepada:

1. Keluarga tercinta,
Ayahanda, Setya Budhi. dan Ibunda, Winarti. yang selalu memberikan kasih sayang dan doanya yang tiada akhir.
Adik-adikku Ana, Kiki dan Kakakku Amelia, yang selalu jadi penyemangat dan motivasi untuk melakukan yang terbaik.
2. Bapak Rudy Yuwono, ST., M.Sc., selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya dan Bapak Muhammad Aziz Muslim, ST., MT., Ph.D. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro.
3. Bapak Rudy Yuwono, ST., MSc. dan M. Fauzan Edy Purnomo, ST., MT. selaku dosen pembimbing skripsi.
4. Ibu Erni Yudaningtyas, Ir., MT selaku dosen pembimbing akademik.
5. Syarifah, wanita luar biasa yang tak henti-hentinya memberi semangat dan perhatian disaat susah maupun senang. Terima kasih telah mau berbagi waktu, ilmu dan pengalaman hidup yang selalu menjadi inspirasi
6. Keluarga besar Angkatan 2005 “*StreamLine*” khususnya sahabat-sahabat *touring club*, serta para *Tahuers* (Ucup, Dani, Bachtiar, Syamsul, Styobudi) Terima kasih telah berbagi kebahagiaan, canda dan tawa.
7. Semua pihak yang telah memberikan bantuan serta dukungan baik secara langsung maupun tidak langsung atas penyusunan skripsi ini.

Sekiranya Allâh SWT mencatat amalan ikhlas kami dan semua pihak yang turut membantu sehingga skripsi ini terselesaikan. Akhirnya, kami menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna namun semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi kita semua. Allâhumma Amîn.

Malang, 14 Agustus 2010

Penulis



DAFTAR ISI

PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR GRAFIK	ix
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR LAMPIRAN	xi
ABSTRAKSI	xii
BAB I. PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Ruang Lingkup	2
1.4. Tujuan	3
1.5. Sistematika Penulisan	3
BAB II. DASAR TEORI	
2.1. Konsep Dasar Antena	4
2.2. Parameter Dasar Antena	5
2.2.1. Pola radiasi	5
2.2.1.1. Pola <i>Isotropic, Directional, dan Omnidirectional</i>	6
2.2.1.2. <i>Lobe</i> Pola Radiasi	7
2.2.1.3. Daerah Medan Radiasi	9
2.2.1.4. Intensitas Radiasi	10
2.2.2. <i>Gain</i> (Penguatan)	11
2.2.3. <i>Directivity</i> (Keterarahan)	12
2.2.4. <i>Return Loss</i> dan Koefisien Pantul	13
2.2.5. <i>VSWR</i>	14
2.2.6. <i>Bandwidth</i>	14
2.2.7. Polarisasi	16
2.2.7.1. Polarisasi Linier	16
2.2.7.2. Polarisasi Lingkaran	17
2.2.7.3. Polarisasi Elips	18

2.2.8. Impedansi Terminal Antena.....	19
2.3. Antena Mikrostrip.....	20
2.3.1. Teknik Pencatuan Antena Mikrostrip.....	23
2.3.1.1. <i>Microstrip Line Feed</i>	23
2.3.1.2. <i>Coaxial Feed</i>	24
2.3.1.3 <i>Aperture Coupling</i>	24
2.3.1.4 <i>Proximity Coupling</i>	25
2.3.2. Spesifikasi Substrat dan Bahan Konduktor.....	26
2.3.3. Dimensi Elemen Peradiasi.....	26
2.3.3.1. Elemen peradiasi antena mikrostrip kotak.....	27
2.3.3.2. Elemen peradiasi antena mikrostrip segitiga.....	29
2.3.4. Impedansi Antena Mikrostrip.....	30
2.3.5. <i>Impedance Matching</i>	30
2.3.6. Perencanaan Dimensi Saluran Transmisi.....	31
2.3.7. Jarak Antar Elemen.....	31
2.3.8. <i>Microstrip Discontinuities</i>	32
2.4. Antena <i>Array</i>	32
2.5. GPS (<i>Global Positioning System</i>).....	33

BAB III. METODOLOGI

3.1. Studi Literatur	35
3.2. Pengumpulan Data.....	35
3.3. Perancangan dan Pembuatan.....	35
3.4. Pengukuran.....	36
3.5. Analisa Antena.....	37
3.6. Pengambilan Kesimpulan dan Saran.....	37

BAB IV. PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ANTENA MIKROSTRIP KOTAK-SEGITIGA ARRAY

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

4.5. Perancangan Mekanisme Pencatuan Antena Mikrostrip	41
4.6. Perencanaan Dimensi Saluran Transmisi Sebelum Optimasi	42
4.7. Hasil Optimasi Antena Sebelum Optimasi	44
4.8. Optimasi Antena Mikrostrip Kotak-segitiga <i>Array</i> 2x2 Empat Elemen	46
4.8.1. Optimasi Ukuran Lebar Saluran Transmisi (W_0)	46
4.8.2. Optimasi Ukuran Kedalaman <i>Inset feed</i> (y_0) dan (y_1)	46
4.8.3. Optimasi Ukuran Panjang Saluran <i>Inset feed</i> (L_t)	47
4.8.4. Optimasi Dimensi Elemen Peradiasi Kotak (L), dan Segitiga (a)	48
4.9. Pembuatan Antena Mikrostrip	53
4.9.1. Alat – alat dan Bahan Yang Digunakan	53
4.9.2. Pencetakan Pola Antena Mikrostrip Pada Substrat	54
4.9.3. <i>Etching</i> (Pelarutan)	55
4.9.4. Penyolderan	55

**BAB V. PENGUJIAN DAN ANALISIS HASIL PENGUKURAN ANTENA
MIKROSTRIP KOTAK-SEGITIGA *ARRAY***

5.1. Pendahuluan	56
5.2. Pengukuran <i>Return Loss</i> , Perhitungan <i>VSWR</i> dan Koefisien Pantul	56
5.2.1. Alat-alat yang digunakan	56
5.2.2. Prosedur Pengukuran	57
5.2.3. Hasil Pengukuran	57
5.2.4. Analisa Hasil Pengukuran	60
5.3. Pengukuran <i>Gain</i> Antena	60
5.3.1. Alat-alat yang digunakan	60
5.3.2. Prosedur Pengukuran	60
5.3.3. Hasil Pengukuran	61
5.3.4. Analisa Hasil Pengukuran	62
5.4. Pengukuran Polarisasi	62
5.4.1. Alat-alat yang digunakan	62
5.4.2. Prosedur Pengukuran	63
5.4.3. Hasil Pengukuran	63
5.4.4. Analisa Hasil Pengukuran	65
5.5. Pengukuran Pola Radiasi	66

5.5.1.	Alat-alat yang digunakan.....	66
5.5.2.	Prosedur Pengukuran.....	66
5.5.3.	Hasil Pengukuran	67
5.5.4.	Analisa Hasil Pengukuran.....	71
5.6.	Perhitungan <i>Directivity</i>	71
5.6.1.	Cara Perhitungan.....	71
5.6.2.	Hasil Perhitungan.....	72
5.7.	Perhitungan <i>Bandwidth</i>	72
5.8.	Analisis Parameter Antena.....	72

BAB VI. PENUTUP

6.1.	Kesimpulan.....	74
6.2.	Saran.....	75

DAFTAR PUSTAKA	76
-----------------------------	----

LAMPIRAN	78
-----------------------	----



DAFTAR GAMBAR

No	Judul	Halaman
Gambar 2.1.	Rangkaian pengganti antena	4
Gambar 2.2.	Pola Radiasi <i>Isotropic</i>	6
Gambar 2.3	Pola Radiasi <i>Directional</i>	6
Gambar 2.4.	Pola Radiasi <i>Omnidirectional</i>	7
Gambar 2.5.	<i>Lobe-lobe</i> Pola Radiasi	7
Gambar 2.6.	Pembagian Daerah Medan Radiasi Antena	9
Gambar 2.7.	Terminal Referensi dan Rugi-Rugi Antena	11
Gambar 2.8.	Grafik VSWR Terhadap Fungsi Frekuensi	14
Gambar 2.9.	Pengukuran <i>Bandwidth</i> Berdasarkan <i>Plot Return Loss</i>	15
Gambar 2.10a.	Polarisasi Linier Vertikal	17
Gambar 2.10b.	Polarisasi Linear Horisontal	17
Gambar 2.11a.	<i>Right Hand Circular Polarization</i>	18
Gambar 2.11b.	<i>Left Hand Circular Polarization</i>	18
Gambar 2.12.	Polarisasi Elips	19
Gambar 2.13.	Struktur Antena Mikrostrip	20
Gambar 2.14.	Macam-Macam Bentuk Elemen Mikrostrip	21
Gambar 2.15.	Perambatan Gelombang pada Antena Mikrostrip	21
Gambar 2.16.	Penampang Antena Mikrostrip	22
Gambar 2.17	<i>Microstrip Line Feed</i>	23
Gambar 2.18.	Metode <i>Coaxial Feed</i>	24
Gambar 2.19.	<i>Aperture Coupling Feed</i>	25
Gambar 2.20.	<i>Proximity Coupling Feed</i>	25
Gambar 2.21.	Elemen Peradiasi Kotak	27
Gambar 2.22.	Elemen Peradiasi Segitiga	29
Gambar 2.23.	<i>Microstrip Bend</i>	32
Gambar 2.24.	<i>T Junction</i>	32
Gambar 2.25.	Konfigurasi Satelit GPS	34
Gambar 4.1.	Antena Mikrostrip Kotak-segitiga <i>Array</i> Sebelum Optimasi	43

Gambar 4.2.	Tampilan IE3D Antena Kotak-segitiga Empat Elemen Sebelum Optimasi	44
Gambar 4.3.	Antena Mikrostrip Kotak-segitiga Array Setelah Optimasi	49
Gambar 4.4.	Tampilan IE3D Antena Kotak-segitiga Empat Elemen Setelah Optimasi	50
Gambar 4.5.	<i>Gain Pattern</i> 3D antena setelah optimasi	53
Gambar 5.1.	Rangkaian Pengukuran <i>Return Loss</i>	57
Gambar 5.2.	Rangkaian Pengukuran <i>Gain</i> Antena	60
Gambar 5.3.	Rangkaian Pengukuran <i>Polarisasi</i> Antena	63
Gambar 5.4.	Diagram Polar <i>Polarisasi</i> Antena Mikrostrip Kotak-segitiga Array	65
Gambar 5.5.	Rangkaian Pengukuran <i>Pola Radiasi</i> Antena	66
Gambar 5.6.	<i>Pola Radiasi</i> Horizontal Antena Mikrostrip Kotak-segitiga Array	70
Gambar 5.7.	<i>Pola Radiasi</i> Vertikal Antena Mikrostrip Kotak-segitiga Array	70



DAFTAR GRAFIK

No	Judul	Halaman
Grafik 4.1.	Hasil Simulasi S_{11} Antena Sebelum Optimasi	44
Grafik 4.2.	Hasil Simulasi VSWR Antena Sebelum Optimasi	45
Grafik 4.3.	Hasil Simulasi S_{11} Antena Setelah Optimasi	50
Grafik 4.4.	Hasil Simulasi VSWR Antena Setelah Optimasi	51
Grafik 4.5.	Hasil Simulasi <i>Gain</i> Antena Setelah Optimasi	52
Grafik 4.6.	Hasil Simulasi Nilai <i>Directivity</i> Antena Setelah Optimasi	52
Grafik 5.1.	Grafik Fungsi <i>Return Loss</i> Terhadap Frekuensi	59
Grafik 5.2.	Grafik Fungsi VSWR Terhadap Frekuensi	59



DAFTAR TABEL

No	Judul	Halaman
Tabel 2.1.	Karakteristik User GPS <i>Receiver</i>	33
Tabel 4.1.	Nilai VSWR dengan Optimasi Lebar Saluran Transmisi (Wo)	46
Tabel 4.2.	Nilai VSWR dengan Optimasi Posisi <i>Inset feed</i> y_{01} dan y_{02}	47
Tabel 4.3.	Nilai VSWR dengan Optimasi Panjang Saluran Transmisi	48
Tabel 4.4.	Nilai VSWR dengan Optimasi Ukuran Elemen Peradiasi	48
Tabel 5.1.	Hasil Pengukuran <i>Return Loss</i> Antena Mikrostrip Kotak-segitiga <i>Array</i>	58
Tabel 5.2.	Hasil pengukuran <i>Gain</i> Antena Mikrostrip Kotak-segitiga <i>Array</i>	62
Tabel 5.3.	Hasil Pengukuran Polarisasi Antena Mikrostrip Kotak-segitiga <i>Array</i>	64
Tabel 5.4.	Hasil Pengukuran Pola Radiasi Horizontal Antena Mikrostrip Kotak-segitiga <i>Array</i>	68
Tabel 5.5.	Hasil Pengukuran Pola Radiasi Vertikal Antena Mikrostrip Kotak-segitiga <i>Array</i>	69
Tabel 5.6.	Karakteristik Antena Mikrostrip Kotak-segitiga <i>Array</i> Hasil Pembuatan	73

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Langkah-Langkah Simulasi..... 78
Lampiran 2. Dokumentasi Pengukuran..... 96



ABSTRAK

Iqbal Budhi Prasetyo, Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya, Agustus 2010, *Perancangan dan Pembuatan Antena Mikrostrip Kotak-segitiga Array 2X2 Untuk Frekuensi 1575 MHz*. Dosen Pembimbing : Rudy Yuwono, ST., M.Sc dan M. Fauzan Edy Purnomo, ST.,MT

Kebutuhan pemakaian GPS dengan frekuensi kerja 1575 MHz untuk keperluan navigasi sifatnya semakin *portable*. Maka dari itu diperlukan antena yang memiliki karakteristik dimensi kecil dan antena tipe mikrostrip menjadi pilihan utama. Penelitian yang dilakukan terhadap antena mikrostrip ini juga semakin banyak, salah satunya pada bentuknya yang beragam. diantaranya adalah antena mikrostrip dengan bentuk *triangular* (segitiga sama sisi), dan *rectangular* (kotak). Penelitian ini dilakukan dengan menggabungkan kedua elemen tersebut, hingga didapatkan performansi yang lebih baik daripada hanya menggunakan satu elemen saja.

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

Pada perancangan dan pembuatan antena digunakan substrat *epoxy fiberglass* FR-4 dengan konstanta dielektrik (ϵ_r) = 4,6. Elemen peradiasi berbentuk kotak dan segitiga yang disusun secara *array* sejumlah empat elemen peradiasi. Antena hasil perancangan disimulasikan dengan *software* simulator IE3D™. Setelah memenuhi parameter yang diinginkan, dilakukan fabrikasi antena dan pengukuran terhadap parameter-parameter antena hasil fabrikasi tersebut.

Hasil pengukuran antena mikrostrip kotak-segitiga *array* 2x2 pada frekuensi 1575 MHz yaitu nilai *VSWR* sebesar 1,477; *return loss* sebesar -14,30 dB; nilai *gain* sebesar 6,159 dBi; nilai *directivity* sebesar 10,94 dB dan polarisasi linier. Bentuk pola radiasi mikrostrip kotak-segitiga *array* 2x2 adalah *directional* dengan $\phi_{HP} = 65^\circ$ dan $\theta_{HP} = 60^\circ$. Berdasarkan parameter-parameter tersebut antena hasil perancangan ini dapat bekerja pada frekuensi yang diinginkan yaitu 1575 MHz, namun untuk mengaplikasikan pada GPS *Receiver* masih butuh perangkat *Low Noise Amplifier* (LNA) karena gain yang dibutuhkan sebesar 25 dBi.

Kata kunci : Antena mikrostrip, *kotak-segitiga* , GPS, LNA, 1575 MHz

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 seperti suara, data, gambar atau video. Informasi tersebut dapat disajikan dalam waktu yang singkat meskipun dalam jarak yang sangat jauh.

Perkembangan teknologi telekomunikasi untuk kepentingan navigasi juga terus berkembang. Salah satu aplikasinya adalah GPS (*Global Positioning System*) yang menggunakan teknologi komunikasi satelit untuk memberikan informasi yang dibutuhkan dalam keperluan navigasi. Teknologi ini dikembangkan oleh USA pada tahun 1970an melalui NAVSTAR GPS (*Navigation System with Time and Ranging Global Positioning System*). Teknologi GPS banyak digunakan oleh alat transportasi baik darat, laut maupun udara yang membutuhkan informasi navigasi dengan mudah dan benar dalam waktu yang singkat.

Teknologi ini berupa penentuan sistem radio navigasi yang berbasis satelit. Oleh sebab itu, GPS dapat memberikan informasi posisi dan waktu dengan ketelitian yang tinggi. Kini teknologi GPS sudah dapat digunakan dan dinikmati melalui ponsel.

Salah satu perangkat bagian alat komunikasi yang sangat penting adalah antena. Kualitas sebuah antena sangat mempengaruhi kualitas informasi yang diterima. Sehingga antena sebagai salah satu perangkat telekomunikasi harus dibuat dengan dimensi yang kecil, fleksibel, praktis dan 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 sedang pada salah satu sisi lain dilapisi konduktor sebagai bidang pentanahan.

Antena mikrostrip bekerja pada alokasi frekuensi UHF (300 MHz – 3 GHz) sampai dengan X Band (5,2 GHz – 10,9 GHz) sehingga, antena mikrostrip dapat digunakan untuk antena telepon selular/*wireless* maupun komunikasi satelit.

Perancangan dan pembuatan antena mikrostrip akan menggunakan substrat FR4 dengan elemen peradiasi berbentuk kotak dan segitiga yang disusun secara *array* 2X2 dengan jumlah elemen peradiasi 4 elemen. Frekuensi kerja yang direncanakan adalah 1575 MHz yaitu pada band *Global Positioning System* L1 (GPS L1; 1575 MHz).

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan permasalahan yang ada, maka rumusan masalah dalam penulisan tugas akhir ini adalah:

1. Bagaimana merancang dan membuat antena mikrostrip kotak-segitiga *array* 2X2 empat elemen pada frekuensi kerja 1575 MHz .
2. Bagaimana mensimulasi antena mikrostrip kotak-segitiga *array* 2X2 empat elemen pada frekuensi 1575 MHz dengan menggunakan *software* IE3DTM .
3. Bagaimana pengukuran terhadap antena untuk mengetahui performansi antena yang meliputi *VSWR*, *Return Loss*, polarisasi, pola radiasi, *Bandwidth*, dan *gain*, serta membandingkan hasil pengukuran dengan hasil simulasi.

1.3 Ruang Lingkup

Berdasarkan pada permasalahan yang ada maka ruang lingkup pada skripsi ini dibatasi pada:

1. Antena yang dirancang adalah antena mikrostrip kotak-segitiga *array* 2X2 empat elemen dengan nilai *VSWR* <2 dan nilai *return loss* <-10 dB pada rentang pita frekuensi kerja yang diinginkan yaitu 1575 MHz.
2. Antena Mikrostrip yang dirancang berfungsi sebagai antena *receiver*.
3. Antena yang dirancang mempunyai nilai impedansi input 50 Ω
4. Rumus-rumus yang digunakan adalah rumus dasar perancangan yang lazim digunakan untuk antena mikrostrip kotak, segitiga dan saluran transmisi, berdasarkan referensi yang valid..
5. Pengukuran parameter antena meliputi *Return Loss*, *VSWR*, *gain*, pola radiasi, polarisasi antena dan *bandwidth*.
6. Pengukuran antena mikrostrip kotak-segitiga *array* untuk menganalisis performansi kerja antena yang telah dirancang dan difabrikasi, dilakukan di laboratorium antena dan *microwave* Institut Teknologi Telkom Bandung.
7. Alat yang dipergunakan yaitu *Network Analyzer* Agilent 8714ES 300 KHz-3 GHz, *Spectrum Analyzer* 8563E *Hawlett Packard* 30Hz – 26,5 GHz, *Sweep Oscillator* 8350 B *Hawlett Packard*..
8. Pengujian parameter antena berupa *gain*, pola radiasi dan polarisasi antena dilakukan di ruang terbuka.

9. Rugi-rugi perambatan gelombang elektromagnetik di ruang terbuka tidak diperhitungkan.

1.4 Tujuan

Tujuan dalam penulisan tugas akhir ini adalah merencanakan dan menganalisis antenna mikrostrip kotak-segitiga *array* 2X2 empat elemen pada frekuensi 1575 MHz.

1.5 Sistematika Penulisan

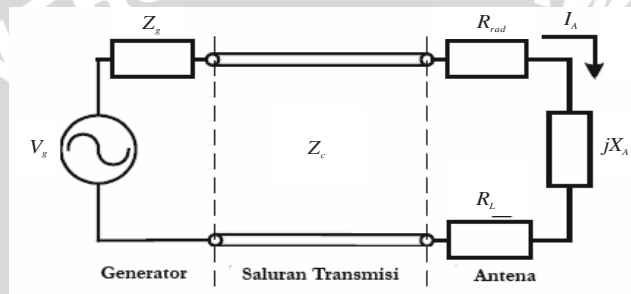
Sistematika penulisan laporan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- BAB I Pendahuluan yang memuat latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, metodologi dan sistematika penulisan.
- BAB II Membahas teori dasar yang berhubungan dengan teori dasar antenna serta perencanaan dan pembuatan antenna mikrostrip.
- BAB III Metodologi, menjelaskan tentang tahapan penyelesaian tugas akhir.
- BAB IV Menjelaskan proses perencanaan, simulasi dan pembuatan antenna mikrostrip kotak-segitiga *array* pada frekuensi 1575 MHz.
- BAB V Menjelaskan tentang langkah-langkah pengukuran, hasil pengukuran serta analisis terhadap hasil pengukuran antenna mikrostrip kotak-segitiga *array* pada frekuensi 1575 MHz.
- BAB VI Penutup, berisi kesimpulan dan saran tugas akhir ini.

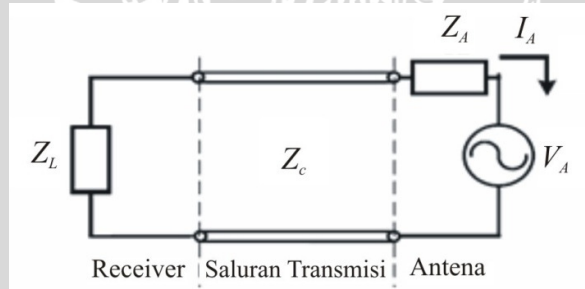
BAB II DASAR TEORI

2.1 Konsep Dasar Antena

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



a. Rangkaian ekuivalen saluran transmisi dengan mode memancar.



b. Rangkaian ekuivalen saluran transmisi dengan mode menerima.

Gambar 2.1 Rangkaian Pengganti Antena

Sumber : Anonim

Keterangan Gambar 2.1:

V_g = generator sumber tegangan

Z_g = impedansi generator

R_{rad} = resistansi radiasi

R_L	= resistansi rugi
jX_A	= reaktansi antena
Z_A	= impedansi antena
I_A	= arus antena
V_A	= tegangan antena
Z_C	= impedansi saluran transmisi
Z_L	= impedansi <i>receiver</i>

Dalam kondisi ideal, energi yang dihasilkan oleh sumber seharusnya ditransmisikan seluruhnya oleh antena. Namun pada kenyataannya terdapat kerugian konduksi-dielektrik yang diakibatkan oleh rugi-rugi yang umum terjadi pada suatu saluran transmisi dan ketidaksesuaian impedansi antara saluran transmisi dengan antena.

2.2 Parameter Dasar Antena

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

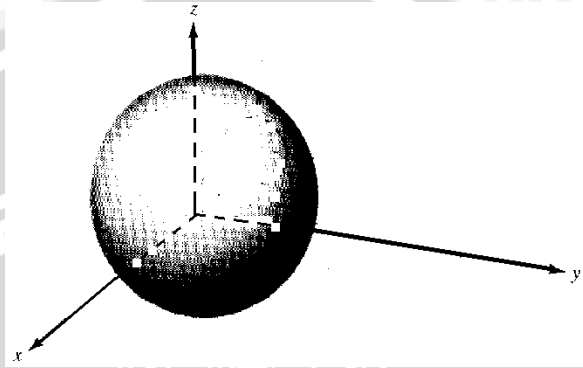
Terdapat beberapa karakteristik antena yang perlu dan penting untuk diketahui dalam pemilihan maupun perancangan sebuah antena. Karakteristik itu antara lain: pola radiasi, polarisasi, *gain*, *bandwidth*, *VSWR*, *input impedance*, *return loss* dan *bandwidth*.

2.2.1 Pola Radiasi

Pola radiasi antena didefinisikan sebagai fungsi matematis atau representasi grafis dari sifat-sifat radiasi antena sebagai fungsi dari koordinat ruang. Dalam banyak kasus, pola radiasi ditentukan dalam *far-field region* dan direpresentasikan sebagai fungsi koordinat jarak. Sifat-sifat radiasi meliputi rapat fluks daya, intensitas radiasi, kuat medan, *directivity* fasa atau polarisasi.

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

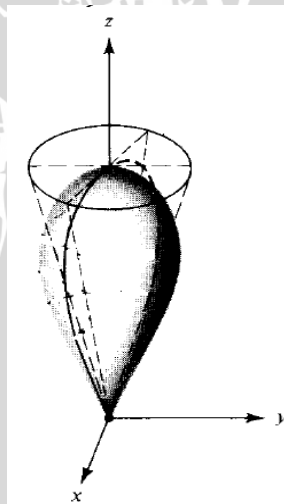
Berdasarkan pola radiasinya, antenna terbagi atas antenna dengan pola radiasi *Isotropic*, *Directional*, dan *Omnidirectional*. Radiator isotropis didefinisikan sebagai hipotesis antenna tanpa rugi yang mempunyai radiasi sebanding dalam semua arah. Meskipun pola seperti ini adalah pola ideal yang secara fisik tidak mungkin direalisasikan, namun seringkali dijadikan acuan untuk menyatakan sifat keterarahan suatu antenna.



Gambar 2.2 pola radiasi *isotropic*

Sumber : Balanis, 1997 :35

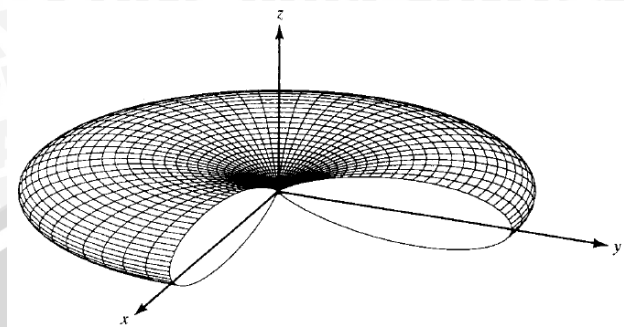
Antena direksional adalah antenna yang mempunyai sifat radiasi atau penerimaan gelombang EM yang lebih efektif pada suatu arah tertentu dibandingkan arah lainnya



Gambar 2.3 pola radiasi *directional*

Sumber : Balanis, 1997 :45

. Sedangkan antenna *omnidirectional* adalah antenna yang mempunyai pola *directional* pada suatu bidang tertentu dan pola *non-directional* pada bidang tegak lurus lainnya.

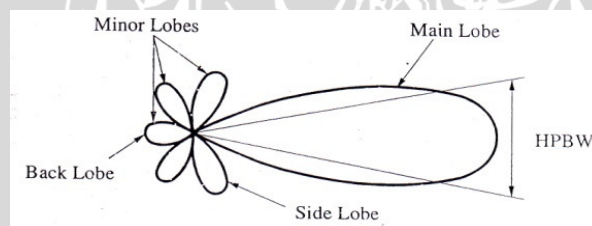


Gambar 2.4 pola radiasi *omnidirectional*

Sumber : Balanis, 1997 :51

2.2.1.2 Lobe Pola Radiasi

Pola radiasi terdiri atas bagian-bagian yang disebut *Lobes*, yang dikelompokkan ke dalam *major* dan *minor* (*side* dan *back lobe*).



Gambar 2.5 *Lobe-lobed* Pola Radiasi

Sumber : Balanis, 1997 :31

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

Pola radiasi antenna dapat dihitung dengan perbandingan antara daya pada sudut nol derajat (radiasi daya maksimum) dengan daya pada sudut tertentu. Maka pola radiasi (P) dinyatakan (Balanis, 1982) :

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

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

dengan :

P = intensitas radiasi antenna pada sudut tertentu (dB)

P_o = daya yang diterima antenna pada sudut 0° (watt)

P_T = daya yang diterima antenna pada sudut tertentu (watt)

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.

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

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

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

dengan :

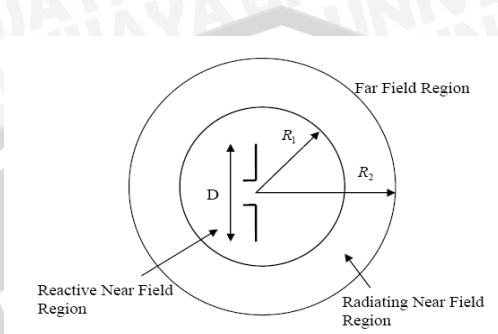
F/B = *Front to Back ratio* (dB)

P_m = daya puncak *main lobe* (dBm)

P_l = daya puncak *back lobe* (dBm)

2.2.1.3 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 2.6 berikut:



Gambar 2.6 Pembagian Daerah Medan Radiasi Antena

Sumber : Balanis, 1997 :33

$$\text{dengan } r_1 = 0,62\sqrt{D^3/\lambda}, \tag{2-4}$$

$$r_2 = 2D^2/\lambda \tag{2-5}$$

r_1 dan r_2 = jarak medan radiasi (m)

Daerah medan radiasi terbagi menjadi tiga, yaitu :

- *Reactive Near-Field Zone*

Pada daerah ini, medan reaktif sangat mendominasi.

Batas daerah ini:

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

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 :

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

- *Far-Field (Franhouffer) Zone*

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

Batas daerah ini :

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

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

2.2.1.4 Intensitas Radiasi

Intensitas radiasi dalam arah tertentu didefinisikan sebagai daya yang diradiasikan dari suatu antenna per satuan sudut solid. Intensitas radiasi adalah parameter medan jauh dan dapat diperoleh melalui perkalian rapat radiasi dengan kuadrat jarak. Dalam bentuk persamaan matematis Intensitas radiasi dinyatakan sebagai (Balanis, 1997:38) :

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

dengan

U = intensitas radiasi (W/satuan sudut solid)

W_{rad} = rapat radiasi (W/m^2)

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

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

dengan

E = intensitas medan elektrik jauh suatu antenna

E_{θ}, E_{ϕ} = komponen medan elektrik jauh suatu antenna

η = impedansi intrinsik medium

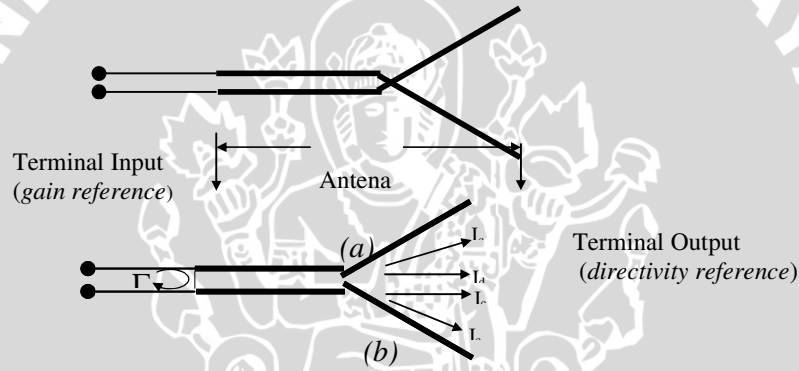
Sehingga pola daya juga merupakan pengukuran intensitas radiasi. Total daya diperoleh dengan mengintegalkan intensitas radiasi, seperti dinyatakan dalam persamaan (2-11) terhadap luasan sudut solid, 4π . Sehingga

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

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

2.2.2 Gain (Penguatan)

Salah satu pengukuran yang penting untuk menggambarkan performa suatu antenna adalah *gain* (penguatan). Meski *gain* antenna erat kaitannya dengan *directivity*, *gain* adalah pengukuran yang memperhitungkan efisiensi antenna maupun keterarahannya. *Gain* antenna dibedakan atas : *absolute gain* dan *relative gain*.



Gambar 2.7 Terminal Referensi dan Rugi-Rugi Antena

Sumber : Balanis, 1997 : 59

Absolute gain suatu antenna (pada arah tertentu) didefinisikan sebagai perbandingan intensitas radiasi antenna pada arah tertentu terhadap intensitas radiasi yang akan diperoleh jika daya yang diterima antenna diradiasikan secara isotropis. Intensitas radiasi dari daya yang diradiasikan secara isotropis sebanding dengan daya yang diterima (pada terminal input) antenna dibagi dengan 4π . Dalam bentuk persamaan, hal ini dapat dinyatakan sebagai (Balanis, 1997 : 59):

$$G = 4\pi \frac{\text{radiation intensity}}{\text{total input power}} = 4\pi \frac{I(\theta, \phi)}{P_{in}} \quad (2-12)$$

Dalam banyak kasus kita berhubungan dengan *relative gain* yang didefinisikan sebagai perbandingan penguatan daya pada arah tertentu terhadap penguatan daya antenna referensi dalam arah acuannya (dengan catatan bahwa kedua antenna mempunyai daya masukan yang sama). Untuk *gain* relatif, antenna referensi yang digunakan berupa antenna sumber isotropis tanpa rugi. Sehingga

$$G = \frac{4\pi I(\theta, \phi)}{P_{in} \text{ (lossless isotropic source)}} \quad (2-13)$$

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

$$G = G_{ref} \times \frac{P_U}{P_R}$$

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

$$G(\text{dB}) = 10 \log 1,64 \frac{P_U}{P_R} \quad (2-14)$$

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

dengan

G = gain antenna uji (dB)

G_{ref} = gain antenna referensi (dB)

P_U = daya yang diterima antenna uji (dBm)

P_R = daya yang diterima antenna referensi (dBm)

2.2.3 Keterarahan (*Directivity*)

Keterarahan (*directivity*) dari suatu antenna didefinisikan sebagai ”perbandingan antara intensitas radiasi maksimum dengan intensitas radiasi dari antenna referensi *isotropis*”. Keterarahan dari sumber *non-isotropis* adalah sama dengan perbandingan intensitas radiasi maksimumnya di atas sebuah sumber *isotropis* (Balanis, 1982: 29). Nilai

keterarahan (*directivity*) diperoleh dari pengukuran pola radiasi. Keterarahan pada antena secara umum dinyatakan dari persamaan di bawah ini (Balanis, 1982: 494):

$$D = \frac{4\pi_{(steradian)}}{\theta \cdot \phi_{(radian^2)}} \quad (2-16)$$

$$P_{rad} = \phi_{hp}^0 \theta_{hp}^0 \quad (2-17)$$

dengan:

$$D = \text{directivity (dB)}$$

$$\theta = -3\text{dB beamwidth pola radiasi vertikal (rad)}$$

$$\Phi = -3\text{dB beamwidth pola radiasi horisontal (rad)}$$

2.2.4 Return Loss dan Koefisien Pantul

Return loss (S_{11}) adalah salah satu parameter yang digunakan untuk mengetahui berapa banyak daya yang hilang pada beban dan tidak kembali sebagai pantulan. Seperti halnya *VSWR*, *return loss* merupakan parameter yang menggambarkan kesesuaian impedansi (*matching*) antena. Koefisien pantul merupakan perbandingan antara tegangan yang dipantulkan terhadap tegangan maju. Antena yang sangat bagus dapat memiliki nilai *return loss* yang lebih rendah dari -10 dB sehingga 90% sinyal diserap dan hanya 10% yang dipantulkan kembali. Koefisien refleksi dinyatakan sebagai (Kraus, 1988: 832):

$$\Gamma = \frac{V_o^-}{V_o^+} \quad (2-18)$$

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

Return loss dinyatakan sebagai bentuk logaritmik dari koefisien pantul.

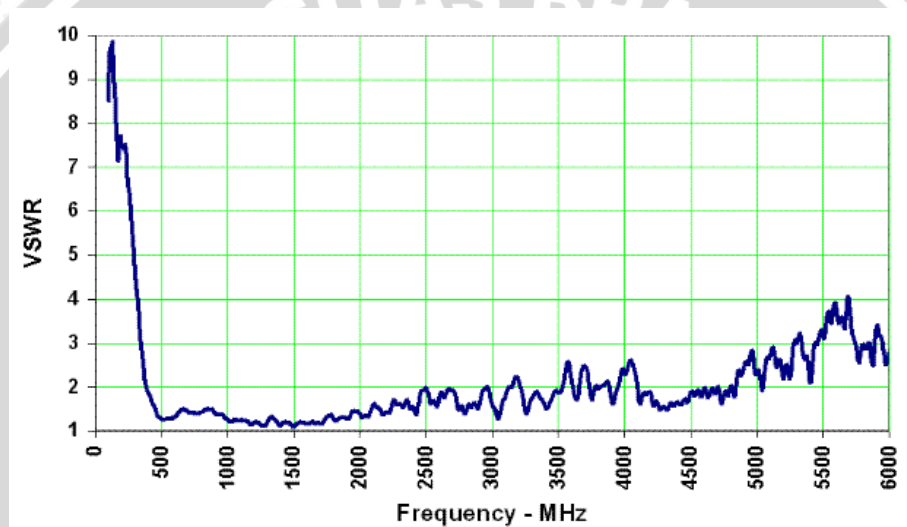
$$S_{11} = -20 * \log|\Gamma| \quad (2-19)$$

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

2.2.5 VSWR

VSWR adalah rasio amplitudo tegangan maksimum terhadap amplitudo tegangan minimum dalam pola tegangan berdiri. Fluktuasi level daya yang dikarenakan adanya ketidaksesuaian saluran transmisi dengan beban. Besarnya nilai VSWR bervariasi antara 1 sampai ∞ (tak terhingga). Semakin tinggi VSWR, semakin besar pula ketidaksesuaian saluran transmisi dengan beban. VSWR dinyatakan sebagai (Kraus, 1988: 833):

$$VSWR = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \quad (2-20)$$



Gambar 2.8 Grafik vswr Terhadap Fungsi Frekuensi

Sumber : www.google.com/raylcross.net/floatant/index.html

2.2.6 Bandwidth

Bandwidth didefinisikan sebagai jangkauan frekuensi dimana performa antena, dengan mengacu pada beberapa karakteristik, dapat memenuhi standar yang telah ditentukan. Untuk antena *broadband*, *bandwidth* biasanya dinyatakan sebagai perbandingan frekuensi atas dengan frekuensi bawah dalam rentang frekuensi kerja. Untuk

antena *narrowband*, *bandwidth* dinyatakan sebagai persentase beda frekuensi (frekuensi atas kurang frekuensi bawah) terhadap frekuensi tengah dari lebar pita.

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

$$B_p = \frac{f_u - f_l}{f_c} \times 100\% \quad (2-21)$$

$$f_c = \frac{f_l + f_u}{2} \quad (2-22)$$

$$B_r = \frac{f_u}{f_l} \quad (2-23)$$

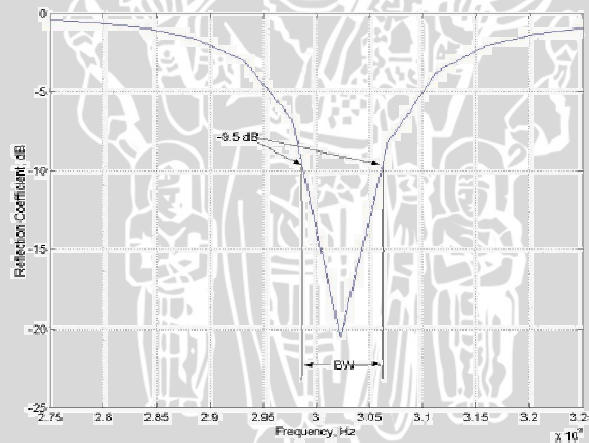
dengan :

B_p = *bandwidth* dalam persen (%)

B_r = *bandwidth* rasio

f_u = jangkauan frekuensi atas (Hz)

f_l = jangkauan frekuensi bawah (Hz)



Gambar 2.9 Pengukuran *bandwidth* Berdasarkan *Plot Return Loss*

Sumber: Punit S. Nakar, 2004 : 22

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

2.2.7 Polarisasi

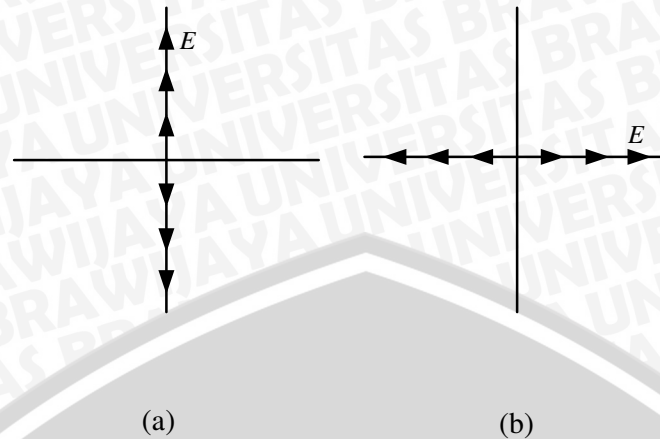
Suatu medan elektromagnetik terdiri atas medan listrik dan medan magnet yang saling tegak lurus satu sama lain. Energi dari medan elektromagnetik mengalir bolak-balik dari satu medan ke medan lainnya dengan cara berosilasi. Fenomena ini disebut polarisasi. Polarisasi gelombang teradiasi merupakan sifat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

Polarisasi suatu antena dalam arah tertentu didefinisikan sebagai polarisasi gelombang yang diradiasikan oleh antena. Ketika arahnya tidak diberitahukan, maka polarisasi yang dianggap adalah polarisasi pada arah *gain* maksimum. Pada kenyataannya polarisasi dari energi radiasi bervariasi dengan arah dari pusat antena, sehingga bagian pola yang berbeda mungkin mempunyai polarisasi yang berbeda. Terdapat tiga tipe polarisasi: polarisasi *linear*, *circular* dan *elliptical*. Polarisasi *linear* ditentukan oleh posisi dan arah medan elektrik terhadap *ground* atau permukaan bumi sebagai acuan. Ketika medan elektrik sejajar dengan *ground*, maka disebut polarisasi *horizontal* dan disebut polarisasi *vertikal* apabila tegak lurus dengan *ground*.

2.2.7.1 Polarisasi Linier

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

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



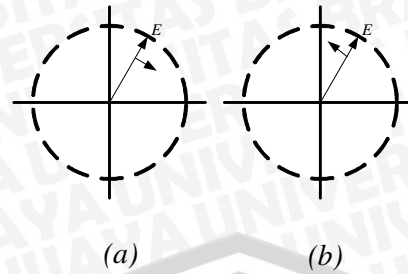
Gambar 2.10 a) Polarisasi Linier Vertikal
 b) Polarisasi Linear Horizontal
 Sumber : Punit, 2004 : 21

2.2.7.2 Polarisasi Lingkaran

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

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

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



Gambar 2.11 : a) *Right Hand Circular Polarization*.

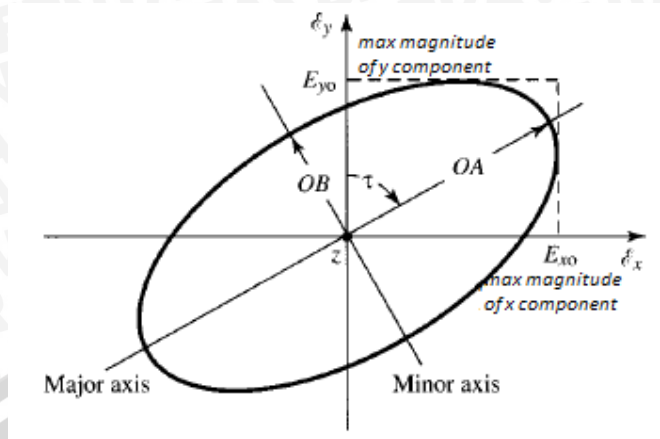
b) *Left Hand Circular Polarization*.

Sumber : Punit, 2004 : 21

2.2.7.3 Polarisasi Elips

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

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



Gambar 2.12 polarisasi elips

Sumber : Balanis,1997 : 65

2.2.8 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):

$$Z_A = R_A + jX_A \tag{2-24}$$

dengan :

Z_A = Impedansi terminal antena (Ω)

R_A = Resistansi terminal antena (Ω)

X_A = Reaktansi terminal antena (Ω)

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

$$P_{in} = I^2.R_A \tag{2-25}$$

Dengan daya yang dipancarkan :

$$P_{rad} = I^2.R_{rad} \tag{2-26}$$

dengan :

P_{in} = daya input antena (watt)

I = arus 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) :

$$|\Gamma| = \left| \frac{Z_{ant} - Z_c}{Z_{ant} + Z_c} \right| \quad (2-27)$$

sehingga diperoleh:

$$Z_{ant} = Z_c \left(\frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \right) \quad (2-28)$$

dengan :

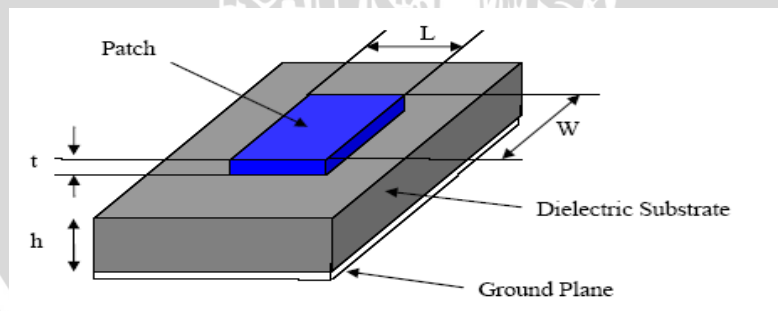
Z_{ant} = impedansi antena (Ω)

Z_c = impedansi karakteristik (Ω)

Γ = koefisien pantul

2.3 Antena Mikrostrip

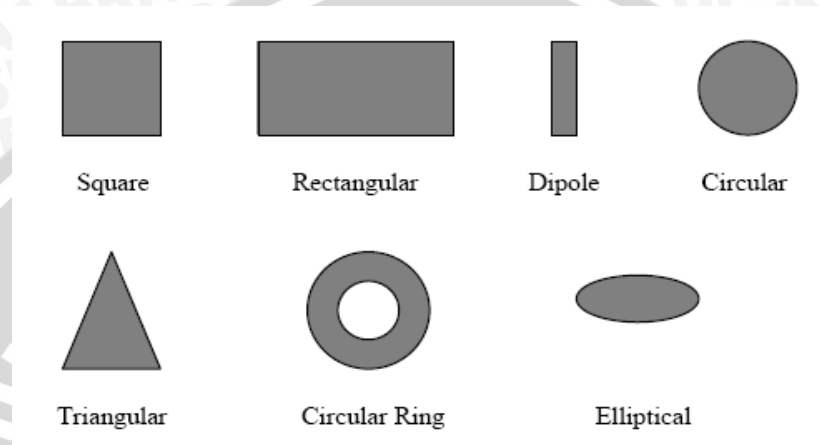
Pada dasarnya antena *microstrip* terdiri atas lapisan peradiasi (*patch*) yang berada pada suatu lapisan (*substrate*) dielektrik yang mempunyai bidang pentanahan pada salah satu sisinya (Liao, 1987: 197). Lapisan peradiasi pada umumnya terbuat dari bahan penghantar (konduktor) dan dapat memiliki bentuk yang bermacam-macam. Lapisan peradiasi dan saluran transmisi biasanya dicetak diatas bahan dielektrik.



Gambar 2.13 Struktur Antena Mikrostrip

Sumber: Punit S. Nakar, 2004 : 31

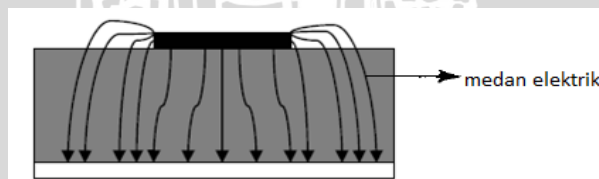
Untuk mempermudah dalam hal memprediksi dan menganalisis kinerja antenna, lapisan peradiasi umumnya berbentuk kotak, persegi, lingkaran, segitiga, elips atau bentuk umum lainnya sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 2.13 di atas. Setiap *substrat* memiliki nilai konstanta dielektrik (ϵ_r) yang berkisar antara $2.2 \leq \epsilon_r \leq 12$, misalnya *Teflon RTI Duroid* atau *alumina* atau *FR4* dengan rugi-rugi *tangent* dari 0,0001 sampai 0,018.



Gambar 2.14 Macam-Macam Bentuk Elemen Mikrostrip

Sumber: Punit S. Nakar, 2004 : 32

Untuk performansi antenna pemilihan *substrat* sangat berpengaruh, semakin tebal *substrat*, *bandwidth* juga semakin lebar tetapi dimensi akan bertambah besar begitu juga sebaliknya. Karena itu perlu diperhitungkan pencapaian antara dimensi antenna dan performansinya.



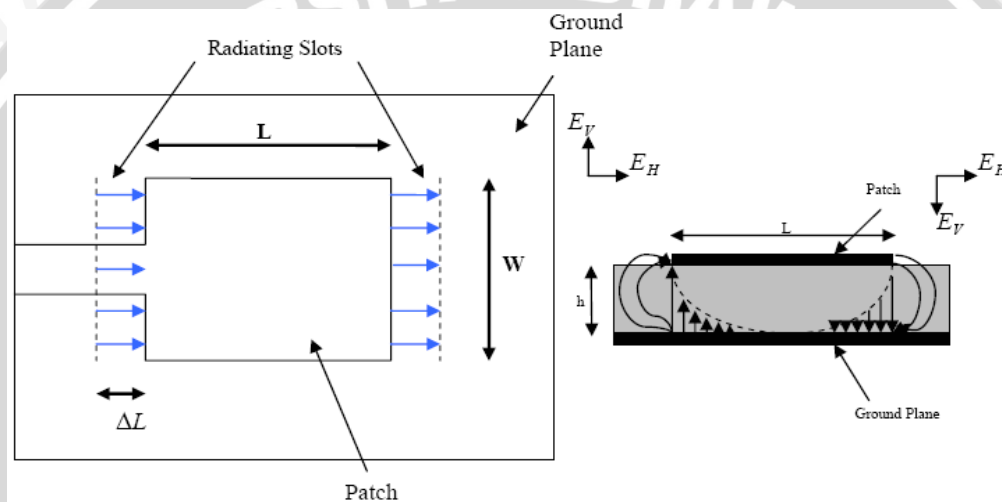
Gambar 2.15 Perambatan Gelombang pada Antena Mikrostrip

Sumber: Punit S. Nakar, 2004 : 32

Sebagaimana dilihat pada Gambar diatas, sebagian besar garis medan elektrik berpindah sisi kedalam substrat dan sebagian lainnya berada di udara (untuk $L/h \gg 1$ dan $\epsilon_r \gg 1$, sebagian besar garis medan elektrik berada didalam substrat). Akibatnya, saluran

transmisi ini tidak dapat mendukung mode penjalaran *TEM* (*transverse-elektromagnetik*) yang murni, sehingga kecepatan fasanya diudara akan mengalami perbedaan dengan kecepatan fasa didalam substrat. Sebaliknya mode dominan akan berupa mode *Quasi-TEM*.

Mode TM_{10} menunjukkan bahwa medan bervariasi setiap satu siklus setengah panjang gelombang didalam media, dan tidak ada variasi disepanjang lebar *patch*. Pada gambar dibawah, misalnya *patch* antenna mikrostrip diwakili oleh dua buah slot yang terpisah oleh saluran transmisi sepanjang L dan rangkaian terbuka pada kedua ujungnya. Di sepanjang *patch*, terjadi tegangan maksimum dan arus minimum dikarenakan ujung yang terbuka. Medan pada tepi *patch* dapat dipecahkan dengan komponen normal dan *tangensial* terhadap bidang pentanahan.



Gambar 2.16 Penampang Antena Mikrostrip

Sumber: Punit S. Nakar, 2004 : 41

Dapat dilihat dari Gambar 2.16 bahwa komponen normal dari medan elektrik pada kedua tepi lebar adalah berlawanan arah dan berbeda fasa selama panjang patch $\lambda_d/2$ sehingga saling meniadakan satu sama lain dalam arah *broadside*. Komponen *tangensial* yang sefasa menghasilkan kombinasi medan yang memberi medan radiasi maksimum pada arah normal terhadap bidang permukaan. Dengan demikian sepanjang sisi lebar dapat direpresentasikan sebagai dua slot peradiasi, yang terpisah sejauh $\lambda_d/2$ dan mengalami radiasi pada ruang diatas bidang pentanahan. Medan tepi (*fringing*) di sepanjang lebar sisi

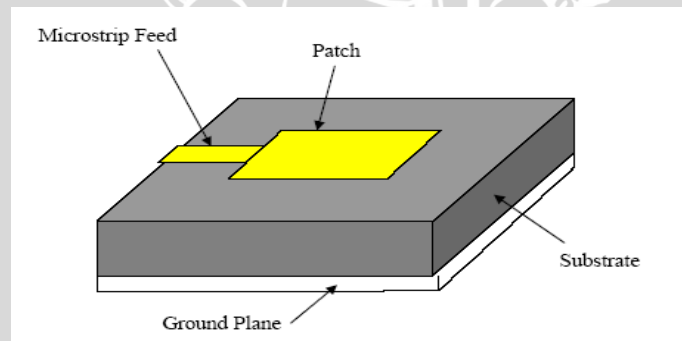
dapat dimodelkan sebagai slot peradiasi yang secara elektrik terlihat mempunyai dimensi lebih besar dari dimensi fisiknya.

2.3.1 Teknik Pencatuan Antena Mikrostrip

Teknik *feed* atau pencatuan adalah teknik yang digunakan untuk menghubungkan antara antena mikrostrip dengan saluran transmisi lainnya, umumnya yang dihubungkan adalah bagian *patch* antena mikrostrip. Secara mendasar ada dua cara yaitu dengan kontak langsung maupun kontak tidak langsung atau tidak bersentuhan. Kontak langsung dilakukan dengan menghubungkan secara langsung saluran mikrostrip dengan elemen *patch* atau saluran transmisi. Sedangkan hubungan kontak tidak langsung menggunakan metode kopel medan listrik untuk mentransfer daya dari saluran ke bagian peradiasi. Ada 4 cara yang biasanya digunakan pada pencatuan antena mikrostrip yaitu *microstrip line*, *coaxial feed*, *aperture coupling* dan *proximity coupling*.

2.3.1.1 Microstrip Line Feed

Pada tipe pencatuan ini, bagian konduktor dihubungkan secara langsung dengan bagian samping *patch* mikrostrip. Lebar *strip* konduktor lebih kecil dari pada elemen peradiasi antena mikrostrip, dengan mengatur posisi strip konduktor maka impedansi *matching* antena dapat didapat tanpa tambahan rangkaian impedansi *matching*.

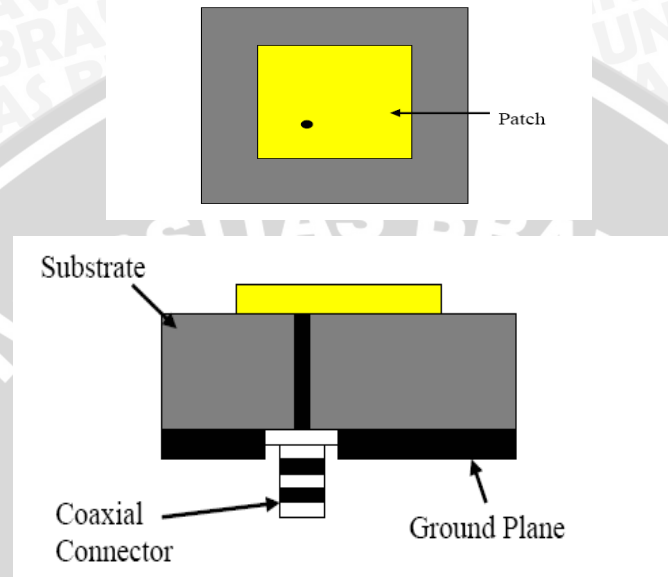


Gambar 2.17 Microstrip Line Feed

Sumber: Punit S. Nakar, 2004: 34

2.3.1.2 Coaxial Feed

Coaxial feed atau *probe feed* adalah teknik yang umum digunakan pada pencatuan antena. Seperti terlihat pada gambar 2.18 konduktor bagian dalam dari kabel *coaxial* dihubungkan dengan elemen peradiasi dan konduktor bagian luar dari kabel *coaxial* dihubungkan dengan bidang pentanahan (*ground plane*).



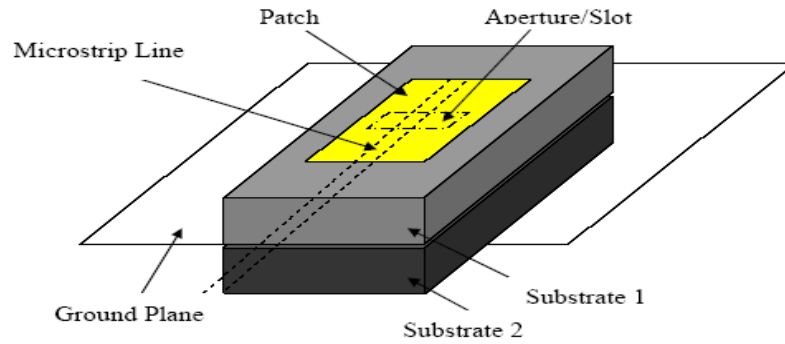
Gambar 2.18 Metode *Coaxial feed*

Sumber: Punit S. Nakar, 2004: 35

Kelebihan dari metode ini adalah pencatuan dapat diletakkan pada letak yang diinginkan untuk mendapatkan *matching* impedansi dari antena. Metode ini mudah dalam pembuatan tetapi mempunyai kelemahan yaitu *bandwidth* antena yang sempit.

2.3.1.3 Aperture Coupling

Pada tipe pencatuan ini elemen peradiasi dan bagian pencatu terpisah dengan bidang pentanahan (*ground plane*) seperti pada gambar 2.19. *Coupling* antara elemen peradiasi antena (*patch*) dan saluran pencatu (*line feed*) dibuat melalui *slot* atau *aperture*. Untuk mengoptimalkan radiasi antara elemen peradiasi dengan saluran pencatu maka dapat digunakan substrat yang berbeda.

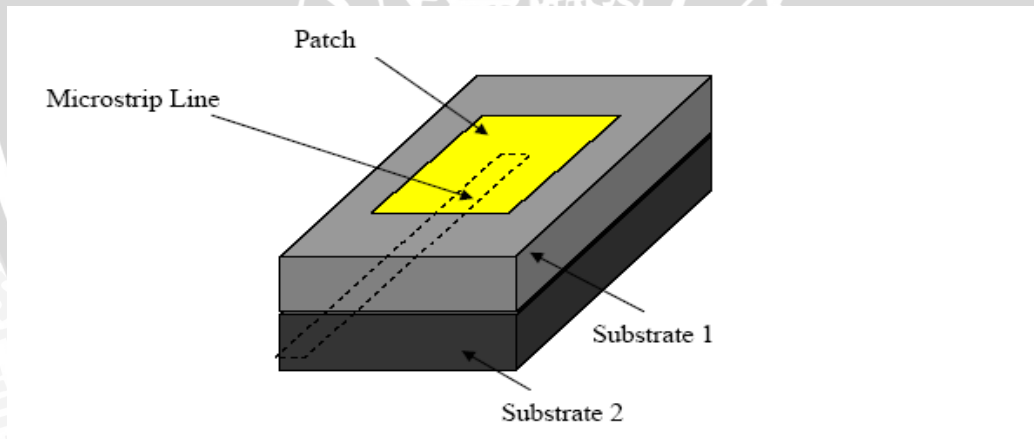


Gambar 2.19 Aperture Coupling Feed

Sumber: Punit S. Nakar, 2004: 36

2.3.1.4 Proximity Coupling

Metode ini disebut juga *coupling* elektromagnetik, seperti pada gambar 2.20 terdapat dua bahan substrat dengan meletakkan saluran pencatu diantara kedua substrat dan bagian elemen peradiasi pada substrat bagian atas. Kelebihan dari metode ini adalah *bandwidth* yang lebih lebar dari pada teknik pencatuan yang lain. Untuk optimasi antena dapat digunakan bahan substrat yang berbeda. *Matching* dapat diperoleh dengan mengatur panjang saluran pencatu dan perbandingan lebar saluran pencatu dengan lebar elemen peradiasi.



Gambar 2.20 Proximity Coupling Feed

Sumber: Punit S. Nakar, 2004: 37

2.3.2 Spesifikasi Substrat dan Bahan Konduktor

Bahan substrat yang digunakan adalah sebagai berikut :

Bahan Epoxy fiberglass – FR 4

- Konstanta dielektrik (ϵ_r) = 4.5 - 4.6
- 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 (σ)
= 5.80×10^7 mho m^{-1}
- Impedansi karakteristik saluran = 50 Ω
- Frekuensi kerja = 1575 MHz

2.3.3 Dimensi Elemen Peradiasi

Untuk menentukan dimensi elemen peradiasi, maka terlebih dahulu harus ditentukan frekuensi acuan (f_r) yang digunakan untuk mencari panjang gelombang diruang bebas (λ_0).

$$\lambda_0 = \frac{c}{f_r} \text{ (m)} \quad (2-29)$$

Setelah nilai λ_0 diperoleh, maka panjang gelombang pada saluran transmisi mikrostrip (λ_d) dapat dihitung dengan persamaan :

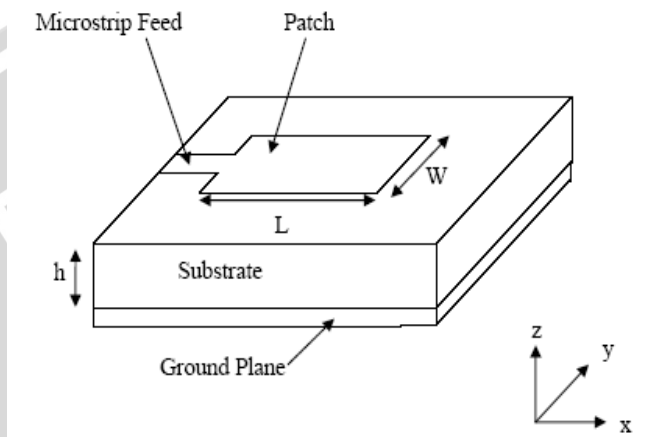
$$\lambda_d = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_r}} \text{ (m)} \quad (2-30)$$

dengan :

ϵ_r = konstanta dielektrik bahan (F/m)

2.3.3.1 Elemen peradiasi antena mikrostrip kotak

Pada elemen peradiasi kotak terdiri dari dua bagian yaitu lebar (W), dan panjang (L), seperti terlihat pada gambar 2.21 berikut:



Gambar 2.21 Elemen peradiasi kotak
sumber: Punit S. Nakar, 2004 : 40

Nilai konstanta dielektrik efektif (ϵ_{reff}) harus dihitung untuk menghitung perambatan dan propagasi gelombang dalam saluran. Besarnya ϵ_{reff} lebih kecil daripada ϵ_r . Persamaan ϵ_{reff} adalah sebagai berikut (Balanis, 1978:728)

Untuk $\frac{W}{h} \geq 1$:

$$\epsilon_{reff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[1 + 12 \frac{h}{W} \right]^{-\frac{1}{2}} \quad (2-31)$$

dengan:

- ϵ_{reff} = konstanta dielektrik efektif (F/m)
- ϵ_r = konstanta dielektrik bahan (F/m)
- h = tinggi bahan *substrat* (mm)
- W = lebar *patch* (mm)

Untuk menentukan lebar (W) dari elemen radiasi antena *microstrip* digunakan persamaan (Balanis,1997: 730) :

$$W = \frac{c}{2 \cdot f_r} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} \quad (2-32)$$

dengan :

W = Lebar elemen radiasi (mm)

f_r = frekuensi kerja pada antena (Hz)

ϵ_r = konstanta dielektrik bahan (F/m)

Pada umumnya *patch microstrip* memiliki panjang sebesar setengah panjang gelombang. Untuk menentukan panjang (L) dari elemen radiasi antena *microstrip* digunakan persamaan (Balanis, 1997: 730):

$$L = \frac{c}{2 \cdot f_r \sqrt{\epsilon_{reff}}} - 2 \cdot \Delta L \quad (2-33)$$

dengan

$$\Delta L = 0,412 \cdot h \cdot \frac{(\epsilon_{reff} + 0,3) \left(\frac{W}{h} + 0,264 \right)}{(\epsilon_{reff} - 0,258) \left(\frac{W}{h} + 0,8 \right)} \quad (2-34)$$

dengan :

L = panjang elemen radiasi (mm)

ϵ_{reff} = konstanta dielektrik efektif (F/m)

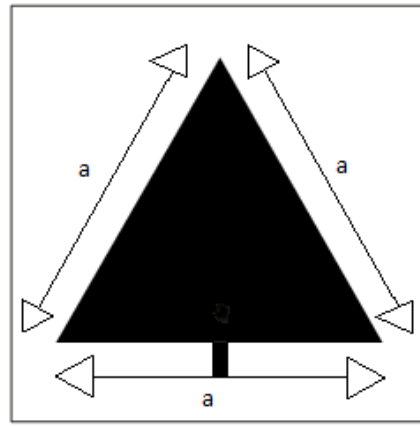
h = ketebalan bahan (mm)

W = lebar elemen radiasi (mm)

f_r = frekuensi kerja pada antena (Hz)

c = kecepatan cahaya di ruang bebas ($3 \cdot 10^8$ m/s)

2.3.3.2 Elemen peradiasi antena mikrostrip segitiga



Gambar 2.22 Elemen peradiasi segitiga
sumber: Perancangan

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

$$f_r = \frac{2c}{3a_{eff}\sqrt{\epsilon_r}} \sqrt{m^2 + mn + n^2} \tag{2-35}$$

Dengan:

- f_r = frekuensi resonansi
- a_{eff} = dimensi efektif sisi segitiga
- c = kecepatan cahaya 3×10^8 m/s
- ϵ_r = konstanta dielektrik substrat
- m, n = nilai integer dari mode distribusi gelombang EM pada *patch*

Sedangkan nilai dimensi efektif sisi segitiga dari elemen peradiasi ditentukan dengan persamaan (Dahele and Lee)

$$a_{eff} = a + \frac{h}{\sqrt{\epsilon_r}} \tag{2-36}$$

Dengan:

- h = ketebalan substrat

2.3.4 Impedansi Antena Mikrostrip

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

$$Z_A = 90 \frac{\epsilon_r^2}{\epsilon_r - 1} \left(\frac{L}{W} \right)^2 \Omega \quad (2-37)$$

dengan :

Z_A = impedansi masukan elemen radiasi (Ω)

L = panjang elemen radiasi (mm)

W = lebar elemen radiasi (mm)

Besarnya impedansi masukan dapat dikurangi dengan memperlebar *patch* antena dengan batasan $W/L \leq 2$ karena efisiensi *aperture* untuk *patch* tunggal mulai turun dengan rasio W/L lebih dari 2 (Balanis, 1997: 734). Besarnya resistansi *input* pada frekuensi resonansi dapat diubah dengan menggunakan *inset feed* pada jarak tertentu dari tepi elemen peradiasi. Nilai resistansi input untuk antena mikrostrip dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan (Balanis, 1997: 734):

$$R_{in}(y = y_0) = R_{in}(y = 0) \cos^2 \left(\frac{\pi}{L} y_0 \right) \quad (2-38)$$

dengan :

y_0 = kedalaman *inset feed* (mm)

2.3.5 Impedance Matching

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

$$Z_T = \sqrt{Z_0 \cdot Z_A} \quad (2-39)$$

dengan:

Z_T = impedansi *transformer* (Ω)

Z_0 = impedansi karakteristik saluran transmisi (Ω)

Z_A = impedansi beban/antena (Ω)

2.3.6 Perencanaan Dimensi Saluran Transmisi

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

$$W_o = \frac{\eta}{Z_o} x \frac{h}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (\text{mm}) \quad (2-40)$$

dengan :

W_o = lebar saluran transmisi (mm)

η = impedansi karakteristik ruang bebas ($120\pi \Omega$)

h = ketebalan substrat (mm)

Z_o = impedansi karakteristik (Ω)

ϵ_r = permitivitas dielektrik bahan (F/m)

Selanjutnya panjang saluran transmisi dapat dicari dengan persamaan berikut (Astoto, 2004 : 23)

$$L_t = \frac{1}{4} \lambda_d \quad (\text{mm}) \quad (2-41)$$

dengan :

λ_d = panjang gelombang pada saluran transmisi mikrostrip (mm)

2.3.7 Jarak Antar Elemen

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

$$r \geq 0,6\lambda_d \quad (\text{mm}) \quad (2-42)$$

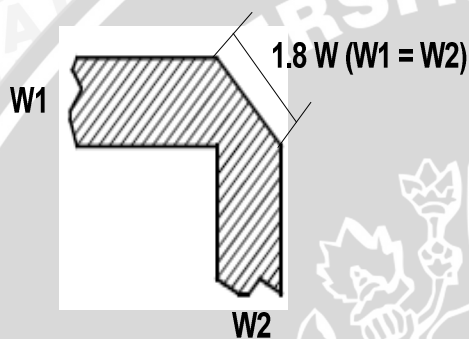
dengan :

r = jarak antar elemen peradiasi (mm)

λ_d = panjang gelombang pada saluran transmisi mikrostrip (mm)

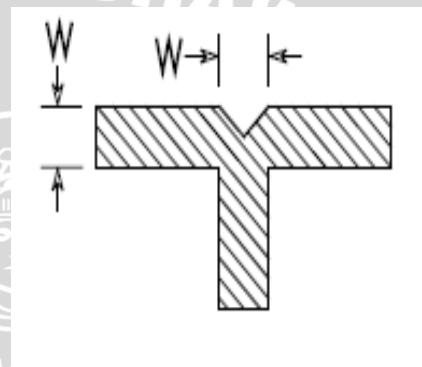
2.3.8 *Microstrip Discontinuities*

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 2.23 *Microstrip Bend*

Sumber: (Johan L, 2002 : 16)



Gambar 2.24 *T Junction*

Sumber: (Johan L, 2002 : 16)

2.4 *Antena Array*

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

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

Pada antena *array* selain mempunyai keuntungan, juga mempunyai kerugian. Keuntungan dari antena *array* ialah dapat meningkatkan penguatan (*gain*) dan *bandwidth* antena. Penguatan antena *array* adalah merupakan penjumlahan dari daya yang

dipancarkan dari daya yang dipancarkan dari setiap elemen radiasi pada arah tertentu, sehingga semakin banyak elemen *array* penguatan akan semakin besar. Dengan semakin besarnya penguatan maka keterarahan (*directivity*) pun akan meningkat.

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.

2.5 GPS (*Global Positioning System*)

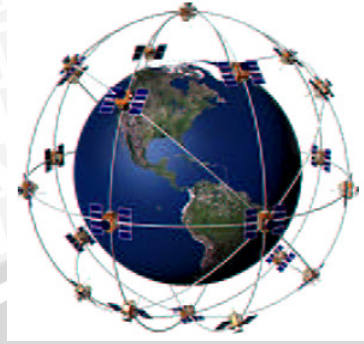
GPS merupakan salah satu teknologi yang dikembangkan dalam teknologi komunikasi satelit yang banyak digunakan untuk keperluan navigasi dan transportasi. Teknologi ini dikembangkan oleh Amerika pada tahun 1970an melalui NAVSTAR GPS (*Navigation System with Time and Ranging Global Positioning System*) yang menyediakan informasi navigasi. Pada konfigurasinya NAVSTAR GPS terdiri dari 21 satelit pada 6 bidang orbit yang berada pada ketinggian 20.200 km (10.898 mil) diatas permukaan bumi. Bidang orbitnya memiliki jarak pisah 60° dan kemiringan 55° terhadap bidang ekuator. Setiap satelit menyelesaikan satu kali putaran dalam 12 jam. GPS beroperasi pada frekuensi L1 1575,42 MHz untuk sipil dan L2 1227.6 MHz untuk militer. Spesifikasi antena untuk pengguna GPS ditunjukkan pada tabel 2.1. Layanan GPS yang terbaru terdiri dari 24 satelit NAVSTAR GPS. Hasilnya, sangat memungkinkan untuk menentukan, secara cepat dan akurat, posisi dan kecepatan dimanapun diatas permukaan bumi.

Tabel 2.1 Karakteristik User GPS Receiver

Parameter	Specification
Frequency	L1 1575.42
Gain	25 dBi
Bandwidth	± 10 MHz desired
Input Impedance	50 Ω

Sumber : www.google.com/Low Profile Integrated GPS and Cellular Antenna.pdf

Konfigurasi satelit GPS ditunjukkan pada gambar 2.21 berikut:



Gambar 2.25 Konfigurasi Satelit GPS

Sumber : www.google.com/Low Profile Integrated GPS and Cellular Antenna.pdf

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



BAB III

METODOLOGI

Penyusunan skripsi ini dilakukan dengan perancangan dan perealisasi antenna mikrostrip kotak-segitiga *array* empat elemen pada frekuensi 1575 MHz agar dapat menampilkan unjuk kerja sesuai dengan yang direncanakan dan mengacu pada rumusan masalah.

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

3.1 Studi Literatur

Dalam melakukan studi literatur, kegiatan yang dilakukan adalah :

1. Melakukan kajian pustaka untuk memahami parameter-parameter dalam perancangan antenna mikrostrip kotak-segitiga *array* empat elemen.
2. Pemahaman mengenai antenna mikrostrip kotak-segitiga *array* empat elemen serta perencanaan bentuk fisik antenna.

3.2 Pengumpulan Data

Data yang digunakan adalah data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh dari hasil pengukuran di Laboratorium *Microwave* Institut Teknologi Telkom Bandung yaitu pengukuran *VSWR*, *Return Loss*, *Gain*, Pola Radiasi, dan polarisasi. Data sekunder diperoleh dari studi literatur (buku, jurnal-jurnal, dan internet) dan simulasi hasil perancangan menggunakan *software* IE3D™.

3.3 Perancangan dan Pembuatan

Dalam perancangan sebuah antenna mikrostrip kotak-segitiga *array* empat elemen, kegiatan yang dilakukan adalah:

1. Menentukan frekuensi kerja yaitu L1 1575 MHz dan substrat yang digunakan dalam perancangan yaitu FR4.
2. Perhitungan dimensi antenna elemen peradiasi kotak, segitiga, dan dimensi saluran transmisi. Kemudian hasilnya akan disimulasikan menggunakan *software* IE3D™.

3. Jika hasil simulasi dan optimasi sudah memenuhi persyaratan parameter yang ditentukan (nilai $VSWR < 2$, $Return\ loss < -10$ dB, serta $Bandwidth > 10$ MHz), maka dilanjutkan dengan fabrikasi antenna.

3.4 Pengukuran

Untuk dapat mengetahui karakteristik dan performansi dari antenna yang telah dibuat maka dilakukan pengukuran terhadap beberapa parameter antenna pada frekuensi kerjanya. Pengukuran parameter-parameter antenna tersebut dilaksanakan di Laboratorium *Microwave* Institut Teknologi Telkom Bandung. Pengukuran ini meliputi:

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

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

2. Pengukuran *gain* antenna

Alat yang digunakan adalah *Sweep Oscillator*, *Spectrum Analyzer* dan 1 buah antenna dipole $\lambda/2$ (sebagai antenna referensi) dan sebuah antenna pemancar. Antenna ini digunakan sebagai antenna standar dengan nilai penguatan sudah diketahui sebelumnya. Penguatan antenna ini kemudian dibandingkan dengan penguatan antenna yang diukur (antenna mikrostrip kotak-segitiga *array* empat elemen).

3. Pengukuran pola radiasi

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

4. Pengukuran polarisasi

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

5. Perhitungan *bandwidth*

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

6. Perhitungan *directivity*

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

3.5 Analisis Antena

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

3.6 Pengambilan Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan merupakan kontribusi pokok dari hasil analisis pengukuran parameter-parameter antena yang diukur dan dibandingkan dengan hasil simulasi, serta pemberian saran untuk evaluasi terhadap peningkatan performansi antena yang telah dibuat.



BAB IV

PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ANTENA MIKROSTRIP KOTAK-SEGITIGA ARRAY

4.1 Tinjauan Umum

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

Dalam bab ini akan dibahas mengenai penentuan bahan substrat, konduktor dan dimensi elemen peradiasi. Selanjutnya akan dilakukan simulasi dengan program simulator IE3D untuk mendapatkan *VSWR*, *return loss*, *directivity*, *gain* dan *bandwidth* berdasarkan hasil perancangan dengan menggunakan formula 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 – FR 4

Konstanta dielektrik (ϵ_r) = 4,6

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) = 1575 MHz

Impedansi karakteristik saluran = 50 Ω

4.3 Perencanaan Dimensi Elemen Peradiasi Segitiga

Untuk menentukan dimensi elemen peradiasi maka terlebih dahulu harus ditentukan nilai frekuensi kerja (f_r) yaitu 1575 MHz dengan nilai perambatan diruang bebas (c) sebesar 3×10^8 m/s.

Dengan menggunakan persamaan (2-29) untuk frekuensi 1575 MHz, diperoleh:

$$\lambda_0 = \frac{c}{f_r} \quad \lambda_0 = \frac{3 \times 10^8}{1575 \times 10^6}$$

$$= 0,19 \text{ m}$$

Dan dari panjang gelombang pada saluran transmisi mikrostrip persamaan (2-30), diperoleh :

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

$$\lambda_d = \frac{0,19}{\sqrt{4,6}} = 0,0885 \text{ m}$$

Kemudian dihitung besarnya sisi (a) elemen peradiasi antenna mikrostrip dengan persamaan (2-35), diperoleh :

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

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

$$a_{\text{eff}} = \frac{2 \times 3 \times 10^8}{3 \times 1575 \times 10^6 \times \sqrt{4,6}} \sqrt{1^2 + 1 \times 0 + 0^2}$$

$$a_{\text{eff}} = 59,2 \text{ mm}$$

Selanjutnya besar sisi segitiga sama sisi a didapat dengan persamaan (2-36):

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

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

$$a = 58,46 \text{ mm}$$

Jadi untuk elemen peradiasi dengan bentuk segitiga pada frekuensi 1575 MHz dimensinya adalah $a = 58,46 \text{ mm}$ atau $5,846 \text{ cm}$.

4.4 Perencanaan Dimensi Elemen Peradiasi kotak

Selanjutnya adalah menghitung dimensi elemen peradiasi antenna *microstrip* dengan menggunakan persamaan (2.32) :

$$W = \frac{c}{2 \cdot f_r} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}}$$

$$W = \frac{3 \times 10^8}{2 \times 1,575 \times 10^9} \sqrt{\frac{2}{4,6+1}} = \frac{3}{31,5} \sqrt{\frac{2}{5,6}} = 0,0569m = 56,9mm$$

Sedangkan untuk menentukan panjang elemen peradiasi (L), terlebih dahulu harus ditentukan konstanta dielektrik efektif dengan menggunakan persamaan (2.31):

$$\begin{aligned} \epsilon_{\text{reff}} &= \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[1 + 12 \frac{h}{W} \right]^{\frac{1}{2}} \\ \epsilon_{\text{reff}} &= \frac{4,6+1}{2} + \frac{4,6-1}{2} \left[1 + 12 \cdot \frac{1,6}{56,9} \right]^{\frac{1}{2}} = 2,8 + 1,8(1 + 0,37434)^{\frac{1}{2}} \\ &= 2,8 + 1,8 \cdot \left(\frac{1}{1,156474857} \right) = 4,3564540 \approx 4,356 \end{aligned}$$

Sehingga dimensi panjang elemen peradiasi (L) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.33) dan (2.34) :

$$L = \frac{c}{2 \cdot f_r \sqrt{\epsilon_{\text{reff}}}} - 2 \cdot \Delta L$$

dengan :

$$\begin{aligned} \Delta L &= 0,412 \cdot h \cdot \frac{(\epsilon_{\text{reff}} + 0,3) \left(\frac{W}{h} + 0,264 \right)}{(\epsilon_{\text{reff}} - 0,258) \left(\frac{W}{h} + 0,8 \right)} \\ \Delta L &= 0,412 \cdot 1,6 \cdot \frac{(4,356 + 0,3) \left(\frac{56,9}{1,6} + 0,264 \right)}{(4,356 - 0,258) \left(\frac{56,9}{1,6} + 0,8 \right)} = 0,6592 \cdot \frac{(4,656)(35,8265)}{(4,098)(36,3625)} \\ &= 0,6592 \cdot \frac{166,808184}{149,013525} = 0,7379192922 \text{ mm} \end{aligned}$$

maka :

$$L = \frac{c}{2 \cdot f_r \sqrt{\epsilon_{\text{reff}}}} - 2 \cdot \Delta L$$

$$\begin{aligned}
 L &= \frac{3 \times 10^8}{2 \times 1,575 \times 10^9 \sqrt{4,356}} - 2 \times 0,7379192922 \times 10^{-3} \\
 &= \frac{3}{31,5 \times 2,087103256} - 1,475838584 \times 10^{-3} \\
 &= 0,04563171227 - 1,475838584 \times 10^{-3} \\
 &= 0,04415587 \quad m = 44,15587 \quad mm \approx 44,16 \quad mm
 \end{aligned}$$

Dengan panjang (L) dan lebar (W) *patch* berturut-turut adalah 44,16 mm dan 56,9 mm, maka dapat diketahui impedansi masukannya berdasarkan persamaan (2.37) adalah sebesar :

$$\begin{aligned}
 Z_A &= 90 \cdot \frac{\epsilon_r^2}{\epsilon_r - 1} \left(\frac{L}{W} \right)^2 \\
 &= 90 \cdot \frac{4,6^2}{4,6 - 1} \left(\frac{44,16}{56,9} \right)^2 = 90 \cdot \frac{21,16}{3,6} \cdot 0,60233 \\
 &= 318,63 \quad \Omega \approx 319 \quad \Omega
 \end{aligned}$$

Pada perancangan dimensi antenna ini, dimensi antenna akan dioptimalkan dengan memangkas ukuran lebarnya sehingga lebar *patch* akan sama dengan ukuran panjangnya. Namun demikian hal ini akan berdampak pada kenaikan nilai impedansi input antenna menjadi sebesar

$$Z_A = 90 \frac{4,6^2}{4,6 - 1} \left(\frac{44,16}{44,16} \right)^2 \approx 529 \quad \Omega$$

4.5 Perencanaan Mekanisme Pencatutan Antena Mikrostrip

Dengan mengacu pada dasar teori pada subbab 2.3.1.1 maka pada perancangan antenna untuk penyelesaian tugas akhir ini akan menggunakan tipe pencatutan dengan skema kontak langsung, yaitu *microstrip line feed*. Seperti diketahui pada bagian sebelumnya impedansi pada tepi *patch* peradiasi senilai dengan 529 Ohm. Nilai ini dapat diubah (dikurangi) dengan menggunakan *microstrip line feed* yang menjorok ke dalam atau disebut dengan *inset feed*. Dengan menganggap bahwa impedansi antenna bernilai *real*, maka impedansi input yang diinginkan (50 ohm) dapat diperoleh melalui pengaturan posisi *inset* pada jarak tertentu dari tepi elemen peradiasi. Adapun jarak *inset* dari tepi diperoleh dengan menggunakan persamaan (2-38), [Balanis 1997 : 734].

$$R_{in}(y = y_0) = R_{in}(y = 0) \cos^2\left(\frac{\pi}{L} y_0\right)$$

$$50 = 529 \cos^2\left(\frac{180}{44,16} y_0\right)$$

$$y_0 = \left(\cos^{-1} \sqrt{\left(\frac{50}{529}\right)}\right) \left(\frac{44,16}{180}\right)$$

$$y_0 = 17,68 \text{ mm}$$

4.6 Perencanaan Dimensi Saluran Transmisi Sebelum Optimasi

Untuk menghitung impedansi saluran transmisi dapat digunakan persamaan (2.37) di bawah ini :

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

$$Z_T = \sqrt{50 \times 529}$$

$$Z_T = 162 \Omega$$

Untuk menghitung dimensi saluran transmisi dapat digunakan persamaan (2.38) di bawah ini :

$$W_o = \frac{\eta}{Z_T} \times \frac{h}{\sqrt{\epsilon_r}} \text{ (mm)}$$

Dengan nilai $h = 1.6 \text{ mm}$ dan $\epsilon_r = 4.6$ maka diperoleh nilai W_o (lebar saluran transmisi) sebesar

$$W_o = \frac{120\pi}{162} \times \frac{1.6}{\sqrt{4,6}} \text{ (mm)}$$

$$W_o \approx 1,8 \text{ mm}$$

Untuk panjang saluran transformer dapat dicari dengan persamaan (2.39)

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

Dengan $\lambda_d = 0,0885 \text{ m}$, maka panjang saluran transformer adalah :

$$L_t = \frac{1}{4} \times 0,0885 = 0,022615 \text{ m} = 22,61 \text{ mm}$$

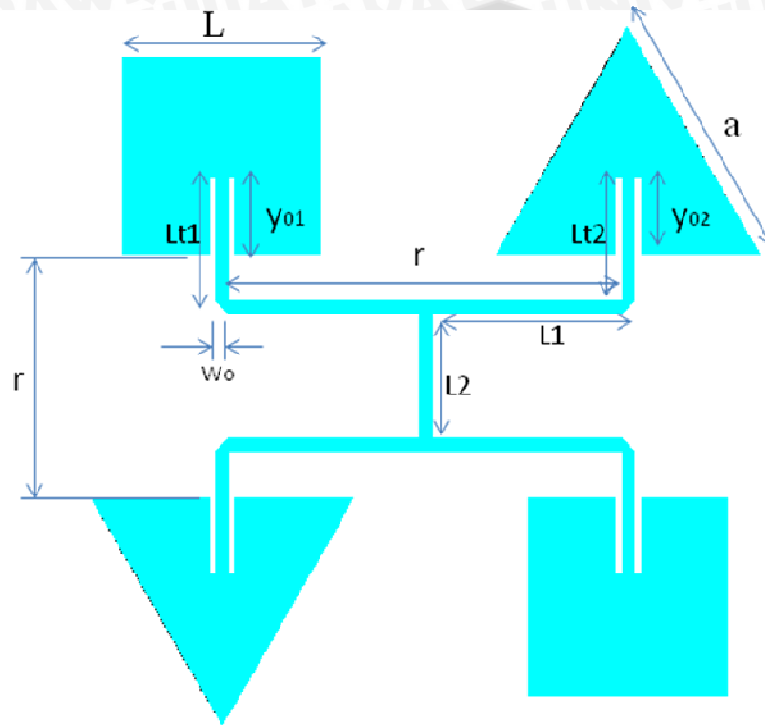
Penentuan jarak antara elemen peradiasi dapat digunakan persamaan (2.40) dibawah ini :

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

Dengan $\lambda_d = 0,0885 \text{ m}$, maka panjang r sebesar :

$$r \geq 0,6 \times 0,0885 \text{ m}$$

$$r \geq 0,0531 \text{ m}$$



Gambar 4.1 Antena Mikrostrip kotak-segitiga *Array* Sebelum Optimasi

Sumber : Perancangan

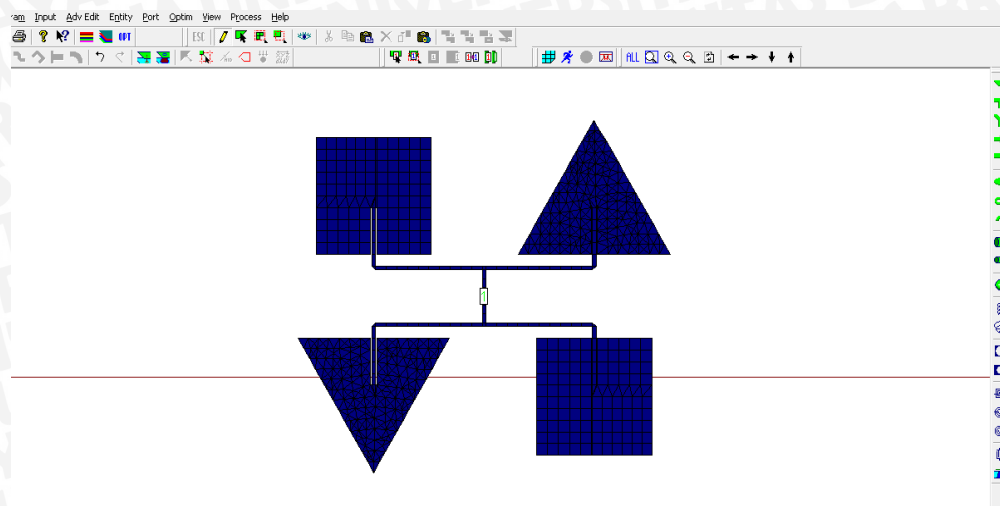
Keterangan gambar:

$$L = 44,16 \text{ mm} \quad a = 58,46 \text{ mm} \quad Lt1 = 22,61 \text{ mm} \quad Lt2 = 22,61 \text{ mm} \quad y02 = 17,68 \text{ mm}$$

$$L1 = 44 \text{ mm}, \quad L2 = 28 \text{ mm} \quad W0 = 1,8 \text{ mm} \quad y01 = 17,68 \text{ mm}$$

Setelah melakukan perhitungan dimensi elemen peradiasi dan saluran transmisi kemudian hasil dimensi perancangan ini dimasukkan ke program simulator dalam hal ini ialah IE3D™. Dengan program simulator IE3D akan didapat hasil keluaran parameter-parameter antenna yang dapat dijadikan acuan awal apakah antenna hasil perancangan berdasarkan teori yang ada dapat bekerja dengan baik. Sehingga hasil keluaran program

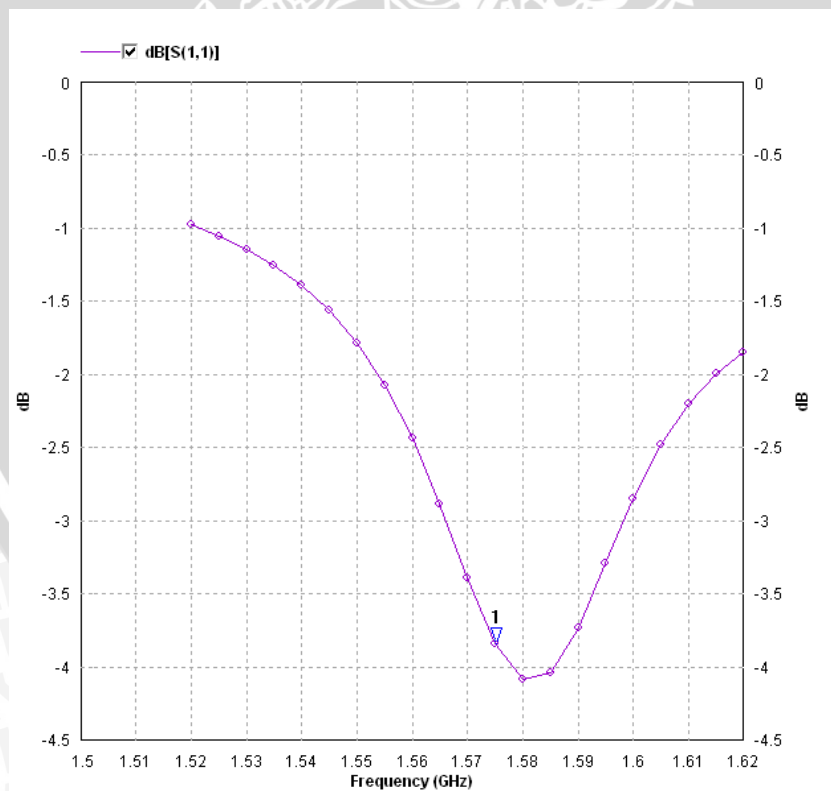
simulator IE3D ini mendekati hasil yang sebenarnya. Adapun tampilan IE3D dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 4.2 Tampilan IE3D Antena kotak-segitiga Empat Elemen sebelum optimasi

Sumber : Simulasi

4.7 Hasil Simulasi Antena Sebelum Optimasi



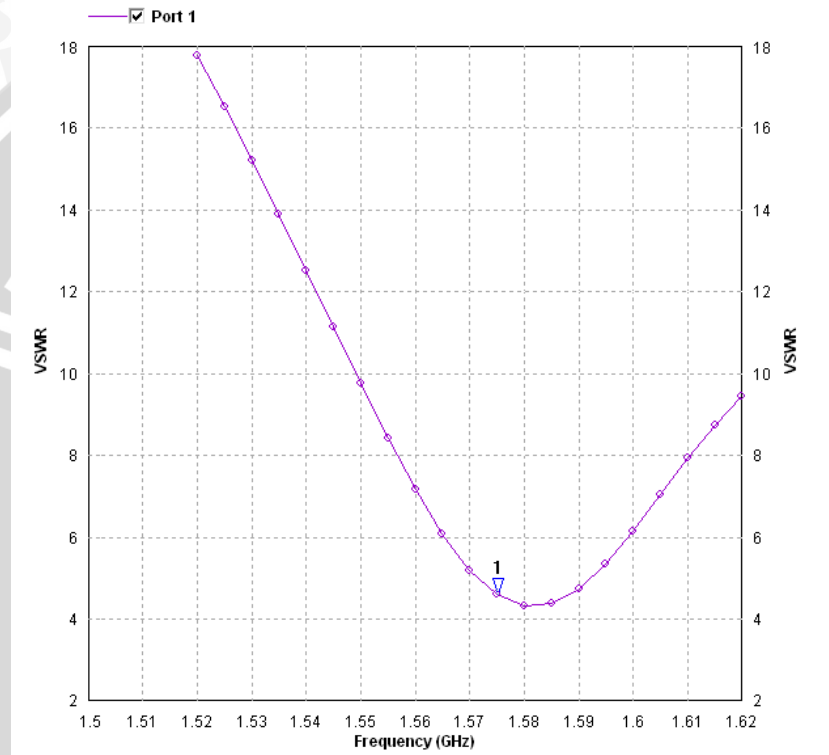
Grafik 4.1 Hasil Simulasi S_{11} Antena Sebelum Optimasi

Sumber : Simulasi

Hasil Simulasi pada Grafik 4.1 menunjukkan nilai S_{11} dari elemen peradiasi. Untuk nilai S_{11} sebuah antenna bekerja dengan baik jika nilai $S_{11} < -10$ dB.

Dari hasil simulasi dapat dilihat bahwa antenna mencapai nilai S_{11} -3,840 dB pada frekuensi 1575 MHz. Hal ini berarti antenna tidak bekerja pada frekuensi 1575 MHz. Untuk itu perlu dilakukan optimasi, sehingga antenna dapat bekerja pada frekuensi 1575MHz.

Untuk parameter selanjutnya yaitu VSWR dapat dilihat pada grafik di bawah ini:



Grafik 4.2 Hasil Simulasi VSWR antenna Sebelum Optimasi

Sumber : Simulasi

Simulasi pada Grafik 4.2 menunjukkan nilai VSWR dari elemen peradiasi. Untuk nilai VSWR sebuah antenna bekerja dengan baik jika nilai $VSWR < 2$.

Dari hasil simulasi dapat dilihat bahwa antenna mencapai nilai VSWR 4,230 pada frekuensi 1575 MHz.

Berdasarkan kedua parameter di atas yaitu S_{11} dan VSWR, dapat kita lihat bahwa antenna belum dapat bekerja dengan baik pada frekuensi yang diinginkan yaitu 1575 MHz.

4.8 Optimasi Antena Mikrostrip Kotak-segitiga Array 2X2 Empat Elemen

Formula-formula pada penulisan ini, digunakan untuk mendapatkan dimensi dasar antena kotak-segitiga, selanjutnya dilakukan optimasi terhadap satu parameter melalui uji coba simulator. Setelah mendapatkan nilai optimal pada parameter tersebut, maka nilai parameter itu ditetapkan sebagai acuan untuk mengoptimasi parameter berikutnya, sampai didapat nilai optimal dari semua parameter.

4.8.1 Optimasi Ukuran Lebar Saluran Transmisi (W_o)

Optimasi ini dilakukan dengan cara mengubah-ubah ukuran dari lebar saluran transmisi (W_o), sehingga didapatkan hasil yang paling optimal. Berikut ini adalah hasil optimasi dengan perbandingan nilai VSWR.

Tabel 4.1 Nilai VSWR dengan Optimasi Lebar saluran Transmisi (W_o)

No.	W_o (mm)	VSWR
1.	1,8	4,230
2.	1	5,674
3.	2	3,406
4.	2,4	3,634
5.	2,8	2,539
6.	3	2,812

Sumber : Simulasi

Dari Tabel 4.1 dapat dilihat bahwa nilai optimum W_o adalah pada ukuran 2,8 mm, dengan nilai VSWR 2,539. Kondisi ini belum memenuhi syarat bekerjanya sebuah antena karena nilai VSWR masih diatas 2. Untuk itu perlu dilakukan optimasi pada dimensi lainnya.

4.8.2 Optimasi Ukuran Kedalaman *Inset feed* (y_0) dan (y_1)

Optimasi ini dilakukan dengan cara mengubah-ubah ukuran dari kedalaman *inset feed* pada elemen kotak maupun segitiga. Agar jarak antar elemen tetap maka perubahan kedalaman *inset feed* harus diikuti dengan perubahan dimensi panjang saluran *inset feed* (L_t) sehingga didapatkan hasil yang paling optimal. Berikut ini adalah hasil optimasi dengan perbandingan nilai VSWR.

Tabel 4.2 Nilai VSWR dengan Optimasi Posisi *inset feed* y_{01} dan y_{02}

Lt1	Lt2	y_{01} (mm)	y_{02} (mm)	VSWR
22,61	22,61	17,68	17,68	2,539
21,93	21,93	17	17	2,208
20,93	20,93	16	16	2,801
21,93	20,93	17	16	2,118
21,93	19,93	17	15	1,998
21,93	18,93	17	14	1,923
21,93	17,93	17	13	1,792
21,93	16,93	17	12	1,747
21,93	15,93	17	11	1,685
21,93	14,93	17	10	1,643
21,93	13,93	17	9	1,623
21,93	12,93	17	8	1,886

Sumber : Simulasi

Dari Tabel 4.2 dapat dilihat bahwa nilai optimum y_{01} dan y_{02} berturut-turut adalah 17mm dan 9mm, dengan nilai VSWR 1,623. Kondisi ini sudah memenuhi syarat bekerjanya sebuah antenna karena nilai VSWR kurang dari 2, namun masih perlu dilakukan optimasi pada dimensi lainnya.

4.8.3 Optimasi Ukuran panjang saluran *inset feed* (L_t)

Optimasi ini dilakukan dengan cara mengubah-ubah ukuran panjang saluran transmisi (L_t). Ada dua panjang transmisi yang akan dioptimasi, yaitu L_{t1} dan L_{t2} . optimasi dilakukan hingga mendapatkan nilai VSWR yang paling kecil (mendekati nilai 1).

Tabel 4.3 Nilai VSWR dengan Optimasi Panjang Saluran Transmisi

Lt1 (mm)	Lt2 (mm)	VSWR
21, 93	13, 93	1,623
20, 93	12, 93	1,620
21, 93	13, 93	1,618
22, 93	14, 93	1,615
23, 93	15, 93	1,613
24, 93	16, 93	1,602
25, 93	17, 93	1,589
26, 93	18, 93	1,558
27,93	19,93	1,498
28,93	20,93	1,598

Sumber : Simulasi

Dari Tabel 4.3 dapat dilihat bahwa nilai optimum Lt1 dan Lt2 berturut-turut adalah 27,93mm dan 19,93mm, dengan nilai VSWR 1,498.

4.8.4 Optimasi Dimensi Elemen Peradiasi Kotak(L), dan Segitiga(a)

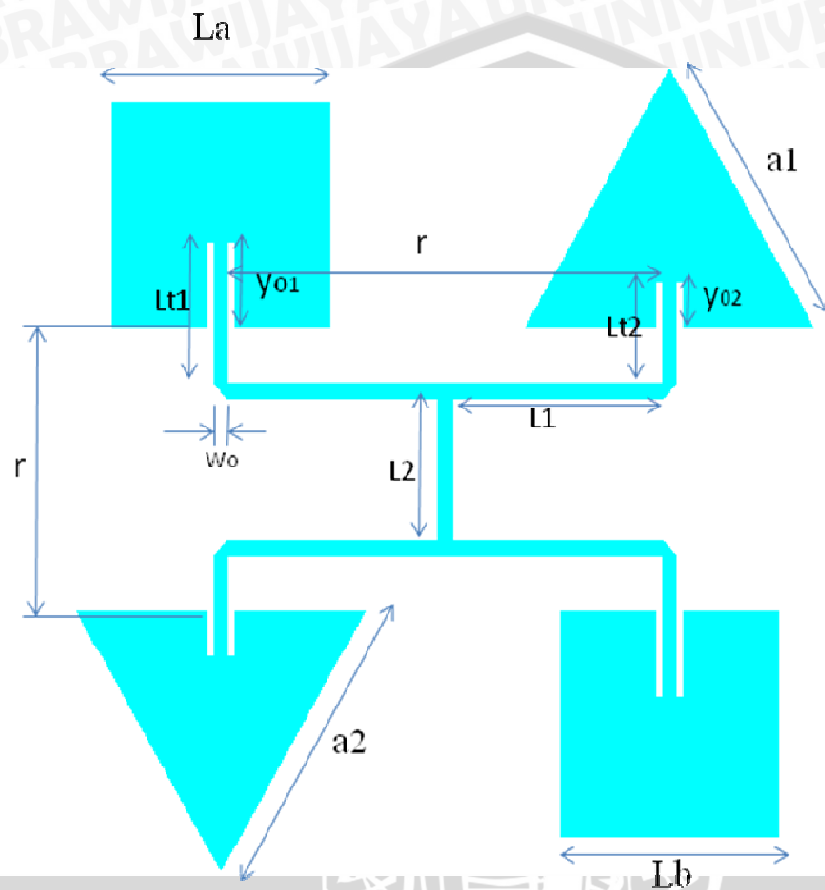
Optimasi ini dilakukan dengan cara mengubah-ubah ukuran elemen peradiasi antenna yaitu Lb dan a2. Optimasi dilakukan hingga mendapatkan nilai VSWR yang paling kecil serta *bandwidth* yang cukup lebar.

Tabel 4.4 Nilai VSWR dengan Optimasi Ukuran Elemen Peradiasi

L(mm)		a (mm)		VSWR	Bandwidth (MHz)
La(mm)	Lb(mm)	a1(mm)	a2(mm)		
44,16	44,16	58,46	58,46	1,498	56,88
44,16	44,2	58,46	58,92	1,498	58,04
44,16	44,3	58,46	59,38	1,289	64,32
44,16	44,4	58,46	59,84	1,094	72,96
44,16	44,5	58,46	59,95	1,092	76,56
44,16	44,6	58,46	60	1,102	76,32

Sumber : Simulasi

Dari Tabel 4.4 dapat dilihat bahwa nilai optimum ukuran elemen peradiasi adalah, $L_b=44,5\text{mm}$; $a_2= 59,95\text{mm}$; $L_a=44,16\text{mm}$; $a_1=58,46\text{mm}$. Dengan nilai VSWR 1,092 dan *bandwidth* sebesar 76,56MHz, antenna ini dapat dikatakan sudah optimum karena nilai VSWR yang sudah mendekati nilai 1 .

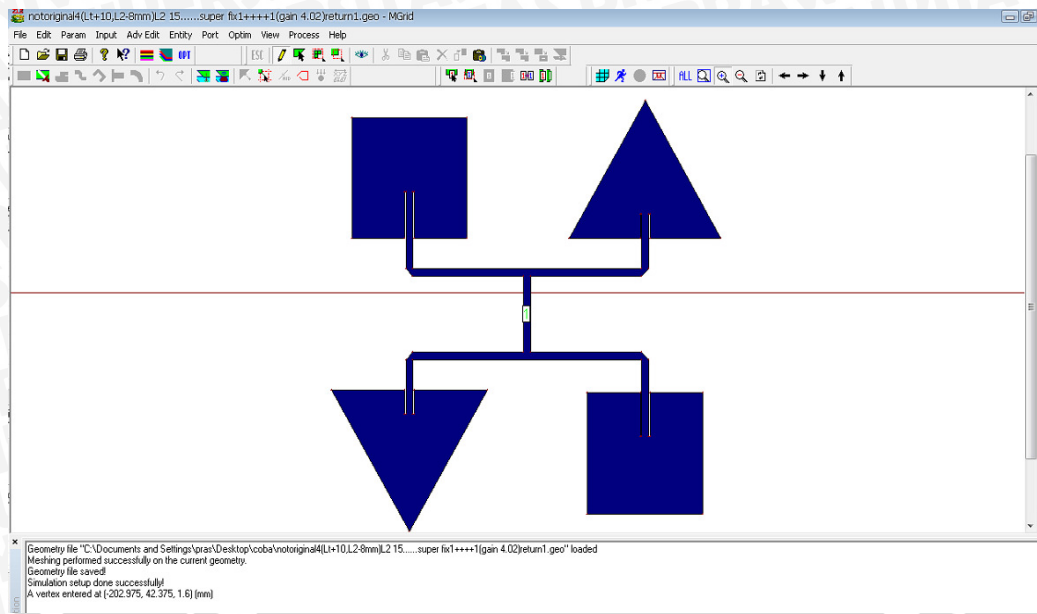


Gambar 4.3 Antena Mikrostrip kotak-segitiga Array Setelah Optimasi

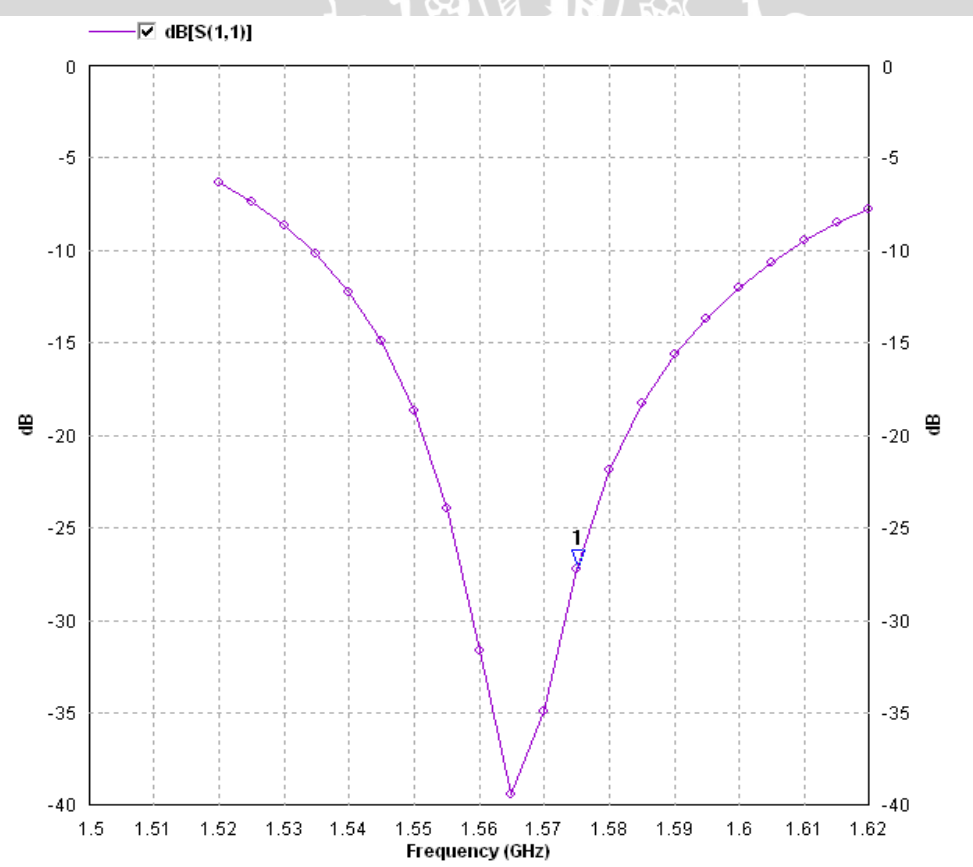
Sumber : Perancangan

Keterangan gambar:

$L_a= 44,16 \text{ mm}$, $a_1= 58,46 \text{ mm}$, $L_{t1}=27,93\text{mm}$, $y_{02}=9 \text{ mm}$, $L_2=28 \text{ mm}$,
 $L_b=44,5\text{mm}$, $a_2=59,95\text{mm}$, $L_{t2}=19,93\text{mm}$, $y_{01}=17\text{mm}$, $L_1=44 \text{ mm}$,
 $W_0=2,8\text{mm}$.

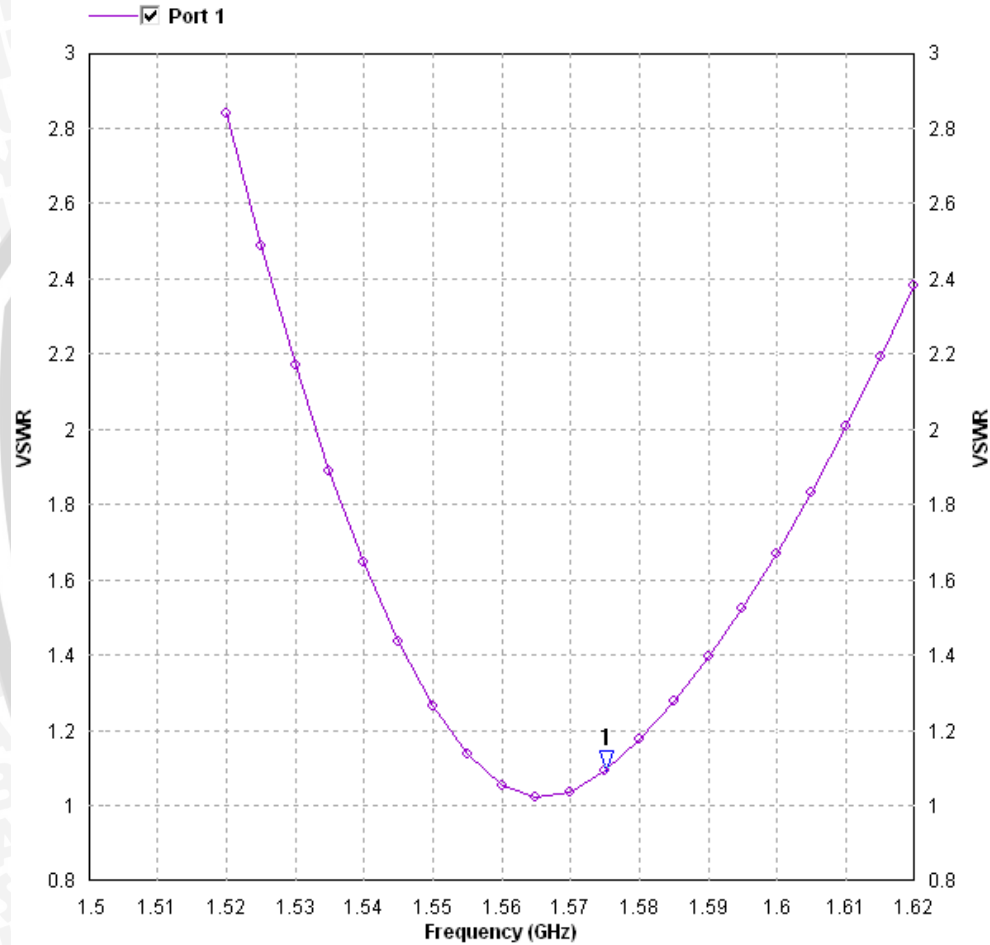


Gambar 4.4 Tampilan IE3D Antena kotak-segitiga Empat Elemen setelah optimasi
Sumber : Simulasi



Grafik 4.3 Hasil Simulasi S₁₁ Antena Setelah Optimasi
Sumber : Simulasi

Sebuah antenna bekerja dengan baik jika nilai *return loss* < -10 dB. Dari simulasi dapat dilihat pada Gambar 4.22, kedua titik dimana *return loss* = -10 dB, yaitu pada frekuensi 1534,3 MHz dan pada frekuensi 1607,7 MHz. Sedangkan pada frekuensi 1575 MHz, *return loss*-nya sebesar -27,14 dB. Dari hasil tersebut *return loss* sudah dapat bekerja sesuai frekuensi yang diinginkan.



Grafik 4.4 Hasil Simulasi VSWR antenna Setelah Optimasi

Sumber : Simulasi

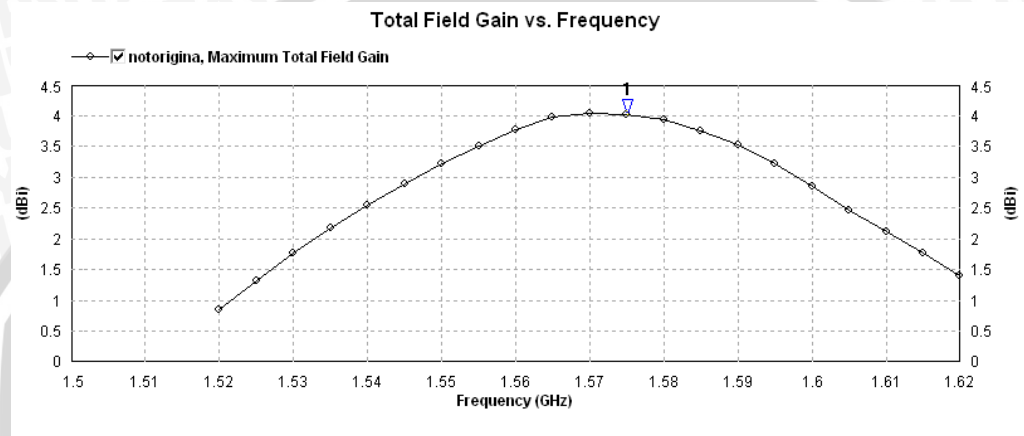
Dari grafik hasil optimasi pada Gambar 4.23 dapat dilihat bahwa elemen peradiasi sudah bekerja pada frekuensi 1575 MHz. Pada grafik diatas juga dapat diketahui besarnya *bandwidth* yaitu pada rentang nilai $VSWR \leq 2$. Nilai $VSWR < 2$ dimulai dari 1533,12

MHz sampai 1609,68 MHz, sehingga antenna mempunyai *bandwidth* sebesar (1609,68-1533,12) MHz = 76,56 MHz.

Bandwidth dalam persen :

$$B_p = \frac{f_u - f_l}{f_c} \times 100\% = \frac{1609,68 - 1533,12}{1571,4} \times 100\% = 4,87 \%$$

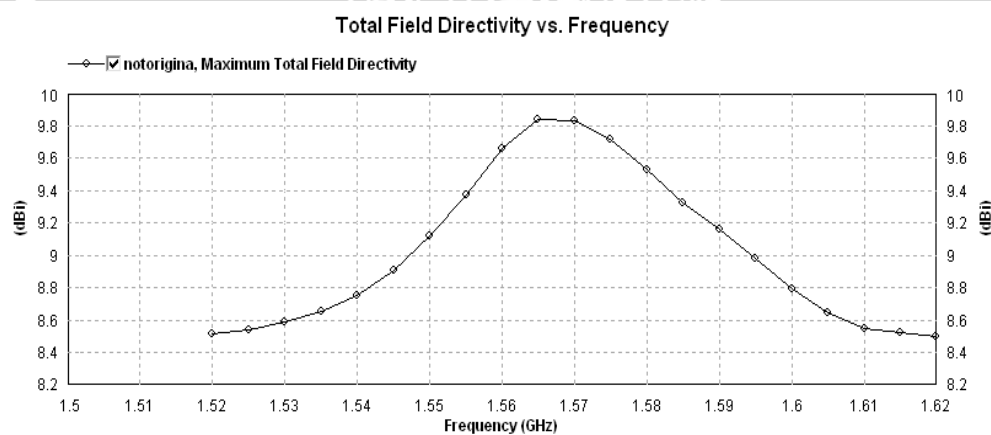
Bandwidth yang didapat relatif besar, serta sudah memenuhi frekuensi kerja yang diinginkan yaitu 1575 MHz dan untuk nilai VSWR 1,092



Grafik 4.5 Hasil Simulasi *Gain* antenna Setelah Optimasi

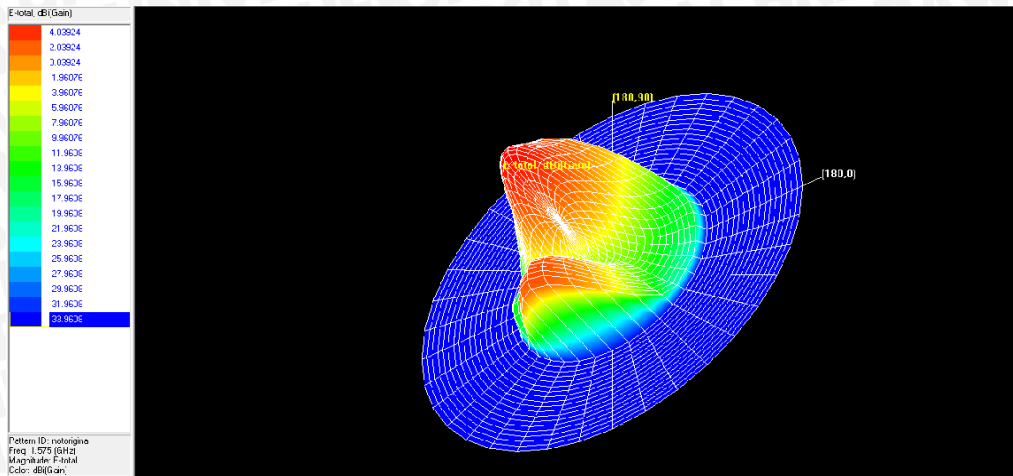
Sumber : Simulasi

Dari hasil simulasi pada gambar 4.24 dilihat nilai *Gain* pada simulasi empat elemen setelah optimasi didapat sebesar 4,039 dBi. Hasil tersebut dapat memenuhi nilai *Gain* yang direncanakan sebesar *Gain* > 1 dBi.



Grafik 4.6 Hasil Simulasi Nilai *Directivity* antenna Setelah Optimasi

Sumber : Simulasi



Gambar 4.5 Gain Pattern 3D antenna setelah optimasi

Sumber : Simulasi

Setelah melihat hasil optimasi simulasi antenna, nilai VSWR sudah mencapai frekuensi kerja 1575 MHz, serta *return loss* dan *gain* mencapai nilai maksimal, sesuai dengan nilai frekuensi kerja yang diinginkan

Dengan demikian langkah selanjutnya adalah fabrikasi antenna yang desainnya sesuai dengan hasil simulasi yaitu menggunakan antenna mikrostrip kotak-segitiga *array* empat elemen peradiasi.

4.9 Pembuatan Antena Mikrostrip

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

4.9.1 Alat-alat dan Bahan yang Digunakan

Bahan dan alat yang digunakan dalam pembuatan 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. Ulano – 133

4. *Screen* T – 180
5. Amplas *waterproof* CC – Cw
6. Gergaji besi
7. Kikir penghalus
8. Konektor antena standar SMA
9. Bor dan mata bor dengan diameter 1 mm
10. Solder dan timah

4.9.2 Pencetakan pola antena mikrostrip pada substrat

Pola antena mikrostrip yang akan dicetak di atas PCB terlebih dahulu digambar dengan program *AutoCAD 2008*, untuk kemudian dicetak di atas kertas kalkir sebagai *sample layout*. Untuk menghasilkan cetakan *layout* yang baik dilakukan dengan menggunakan *printer* berteknologi laser, agar ketelitian dari dimensi jalur-jalurnya tetap terjaga. Selain itu hasil *layout* dengan kertas kalkir ini harus terjaga kebersihannya, agar kotoran yang mungkin melekat 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 sampai bersih, lalu dikeringkan. Setelah *screen* kering 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, *screen* dikeringkan dengan menggunakan *hairdryer*.

Setelah itu lembar *layout* yang sebelumnya sudah diletakkan di atas *screen* yang telah terlapisi ulano-133 tersebut, untuk selanjutnya disinari 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 pada PCB.

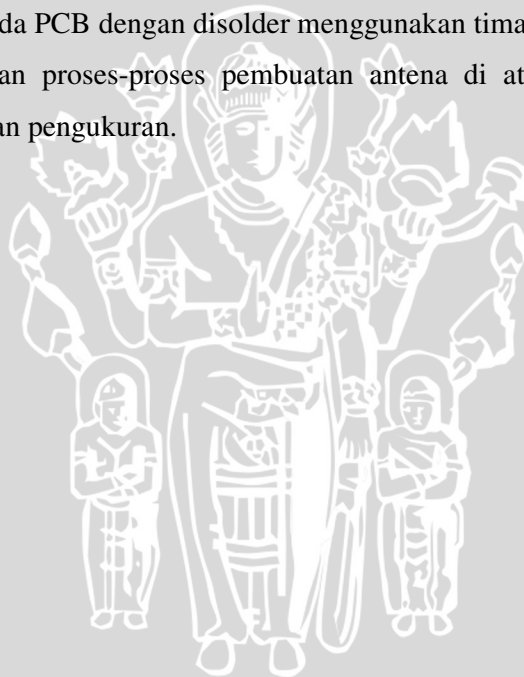
4.9.3 Etching (Pelarutan)

Setelah tercetak pola antena mikrostrip, proses selanjutnya adalah melarutkan 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.

4.9.4 Penyolderan

Tahap berikutnya yang merupakan proses terakhir, yaitu melakukan penyolderan dengan menghubungkan konektor SMA dengan antena mikrostrip yang sudah jadi. Sebelum disolder, dilakukan pengeboran pada PCB di titik catunya. Setelah itu dilakukan pemasangan konektor pada PCB dengan disolder menggunakan timah sebagai perekat.

Setelah melakukan proses-proses pembuatan antena di atas, selanjutnya antena mikrostrip siap dilakukan pengukuran.



BAB V

PENGUJIAN DAN ANALISIS HASIL PENGUKURAN ANTENA MIKROSTRIP KOTAK-SEGITIGA ARRAY

5.1 Pendahuluan

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

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

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

Pengukuran parameter-parameter tersebut dilakukan di Laboratorium *Microwave* Institut Teknologi Telekomunikasi Bandung.

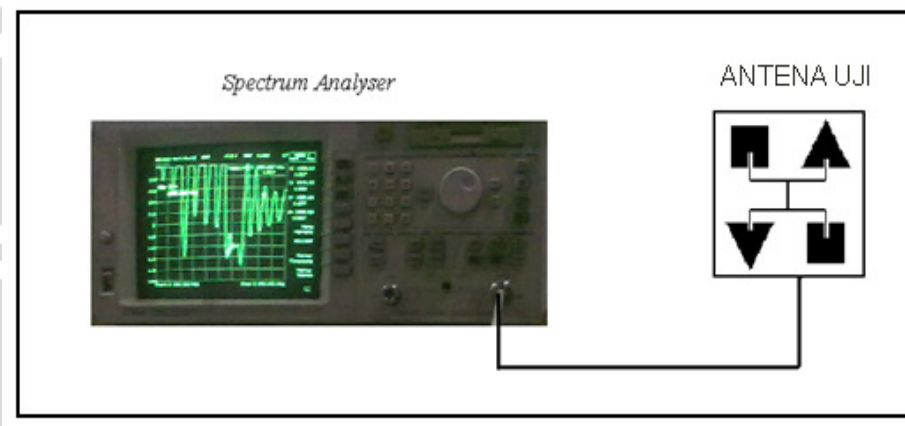
5.2 Pengukuran *Return Loss*, Perhitungan VSWR dan Koefisien Pantul

5.2.1 Alat-alat yang digunakan

- *RF Network Analyzer Agilent 8714ES 300 kHz – 3000 MHz.*
- Antena uji (Antena Mikrostrip Kotak-segitiga *Array*).
- Kabel koaksial *RG-58A/U.*
- Konektor *N Female* dan *converter N to SMA.*

5.2.2 Prosedur Pengukuran

1. Menghidupkan alat ukur *RF Network Analyzer* dan tunggu ± 5 menit untuk persiapan pengukuran.
2. Menghubungkan kabel koaksial RG-58A/U dengan alat ukur *RF Network Analyzer*.
3. Mengkalibrasi alat ukur *RF Network 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 di bawah ini.



Gambar 5.1 Rangkaian Pengukuran *Return Loss*

Sumber : Pengukuran

4. Mengatur alat ukur *RF Network Analyzer* pada range frekuensi 1530 MHz – 1688 MHz.
5. Mencatat nilai VSWR yang ditunjukkan oleh alat ukur *RF Network Analyzer* pada range frekuensi 1528 MHz-1688 MHz dengan step kenaikan setiap 10 MHz.

5.2.3 Hasil Pengukuran

Dari hasil pengukuran *return loss* dapat dihitung nilai koefisien pantul dan nilai VSWR antenna. Perhitungan nilai VSWR dan koefisien pantul dengan persamaan (2-19) dan (2-20) sebagai berikut:

$$f_r = 1575 \text{ MHz}$$

$$RL = -14,30 \text{ dB}$$

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

$$\Gamma = 0,192571659$$

$$VSWR = \frac{1+|\Gamma|}{1-|\Gamma|} = \frac{1+|0,192571659|}{1-|0,192571659|} = 1,477$$

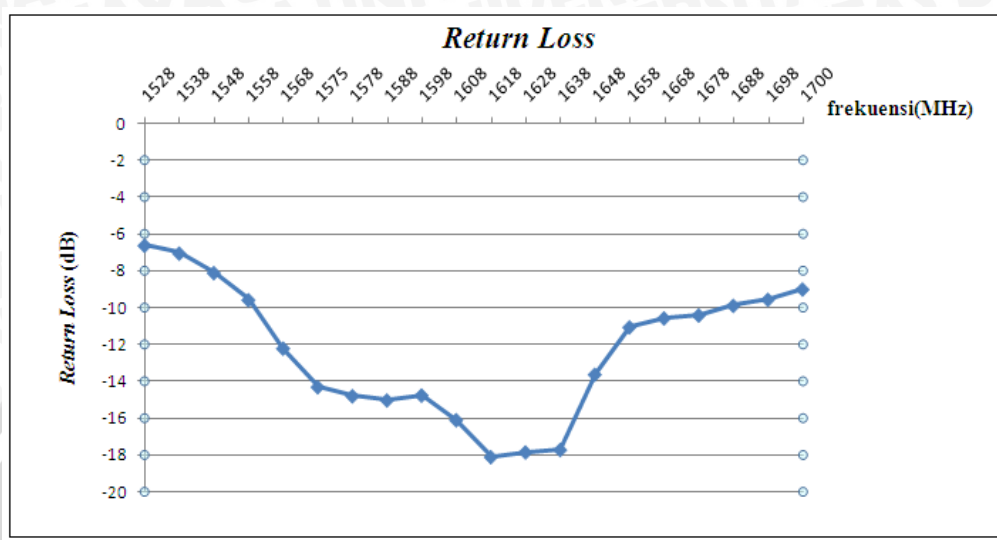
Dengan cara perhitungan yang sama, data hasil pengukuran *return loss*, maka VSWR dan koefisien pantul antena mikrostrip Kotak-segitiga *Array* dapat dilihat pada Tabel 5.1 berikut.

Tabel 5.1 Hasil Pengukuran *Return Loss* Antena Mikrostrip Kotak-segitiga *Array*

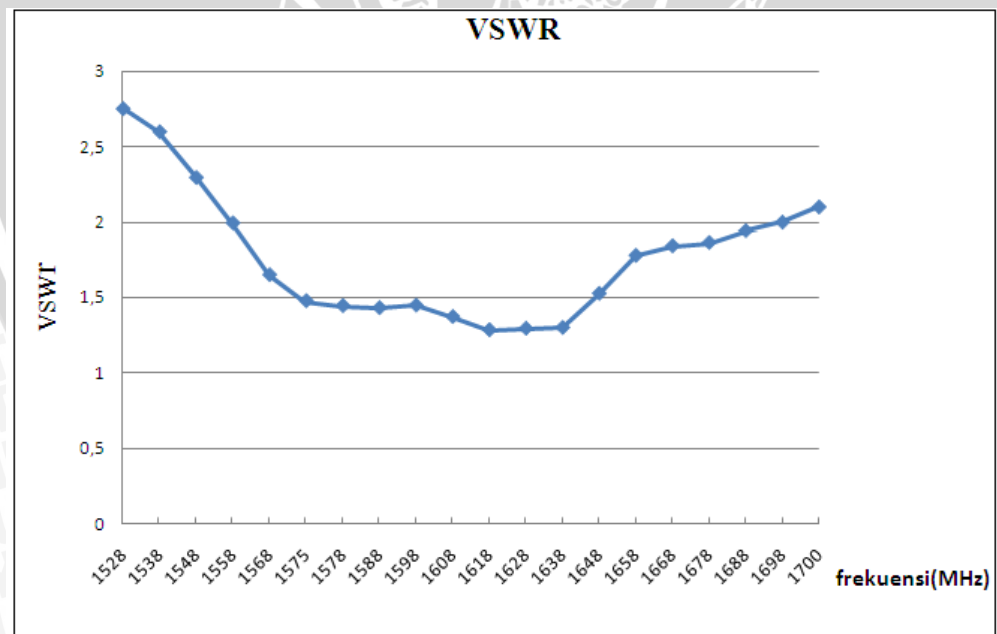
No.	Frekuensi (MHz)	Return Loss (dB)	Koefisien Pantul	VSWR
1	1528	-6,61	0,466950959	2,752
2	1538	-7,04	0,444444444	2,600
3	1548	-8,10	0,393203883	2,296
4	1558	-9,57	0,331997328	1,994
5	1568	-12,20	0,245830189	1,650
6	1575	-14,30	0,192571659	1,477
7	1578	-14,79	0,182004090	1,445
8	1588	-15,02	0,177293295	1,431
9	1598	-14,75	0,183006535	1,448
10	1608	-16,09	0,156829796	1,372
11	1618	-18,10	0,124343257	1,284
12	1628	-17,84	0,128160418	1,294
13	1638	-17,71	0,130056546	1,299
14	1648	-13,62	0,208234362	1,526
15	1658	-11,05	0,280057595	1,778
16	1668	-10,56	0,296270232	1,842
17	1678	-10,40	0,301675977	1,864
18	1688	-9,88	0,320421338	1,943
19	1698	-9,55	0,333111037	1,999
20	1700	-8,99	0,354838709	2,100

Sumber : Hasil Pengukuran

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



Grafik 5.1 Grafik Fungsi *Return Loss* Terhadap Frekuensi
 Sumber : Hasil Pengukuran



Grafik 5.2 Grafik Fungsi VSWR Terhadap Frekuensi
 Sumber : Hasil Pengukuran

5.2.4 Analisis Hasil Pengukuran

Berdasarkan hasil pengukuran, antenna mikrostrip Kotak-segitiga *Array* range frekuensi yang diukur mulai dari 1528 MHz - 1700 MHz. Pada frekuensi 1575 MHz antenna memiliki nilai *return loss* sebesar -14,30 dB, koefisien pantul sebesar 0,1925, dan nilai *VSWR* sebesar 1,477. Hal ini berarti antenna dapat bekerja pada frekuensi kerja yang direncanakan dan masih dalam batas yang diijinkan yaitu $VSWR \leq 2$.

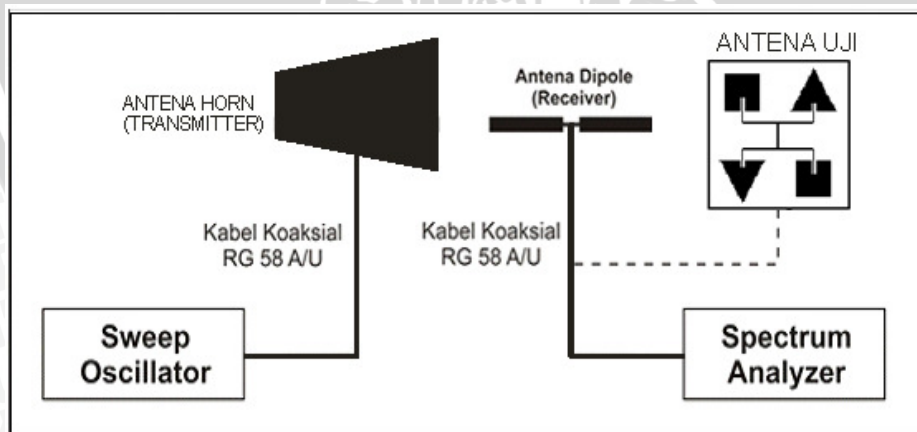
5.3 Pengukuran *Gain* Antena

5.3.1 Alat-alat yang digunakan

- *Sweep Oscillator 8350B 1 - 26.5 GHz Hewlett Packard.*
- *Spectrum Analyzer 8653E 30 Hz – 26.5 GHz Hewlett Packard.*
- Satu buah antenna standar *dipole sleeve $\lambda/2$*
- Satu buah antenna *horn* sebagai *transmitter*.
- Antena uji (Antena Mikrostrip Kotak-segitiga *Array*)
- Kabel koaksial RG-58A/U
- Konektor tipe *N Female* dan *converter N to SMA*
- Dua Buah Tiang penyangga

5.3.2 Prosedur Pengukuran

1. Merangkai peralatan seperti pada Gambar 5.2.



Gambar 5.2 Rangkaian Pengukuran *Gain* Antena

Sumber : Pengukuran

2. Antena *horn* dipasang sebagai antena pemancar dan antena dipole $\lambda/2$ dipasang sebagai antena referensi pada sisi penerima.
 3. *Sweep Oscillator* diatur pada frekuensi 1575 MHz dan mencatat daya antena *horn* yang terukur pada *Spectrum Analyzer*.
 4. Antena *dipole* $\lambda/2$ pada penerima (referensi) diganti dengan antena uji (Antena mikrostrip *kotak-segitiga array*) hasil perancangan.
- Mengulangi langkah 4 dengan masing-masing pengambilan data 10 kali kemudian mencatat daya yang diterima

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 :

$$f_r = 1575 \text{ MHz}$$

$$P_R = -41,336 \text{ dBm}$$

$$P_U = -37,327 \text{ dBm}$$

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

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

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

$$G_{AUT}(\text{dBi}) = 2,15(\text{dBi}) - 37,327(\text{dBm}) - (-41,336)(\text{dBm}) = 6,159 \text{ dBi}$$

Untuk hasil pengukuran dapat dilihat pada Tabel 5.2 di bawah ini:

Tabel 5.2. Hasil pengukuran *Gain* Antena Mikrostrip Kotak-segitiga *Array*

No. Pengukuran	Antena	
	Antena Uji (dBm)	Antena Referensi (dBm)
1	-37,5	-41,33
2	-37,6	-41,67
3	-37,3	-42,50
4	-37,1	-40,83
5	-37,5	-42,17
6	-37,0	-41,17
7	-37,17	-40,33
8	-37,17	-41,50
9	-37,33	-41,53
10	-37,6	-40,33
Rata-rata	-37,327	-41,336
Gain (dBi)	6,159	2,15

Sumber : Hasil Pengukuran

5.3.4 Analisis Hasil Pengukuran

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

Pada frekuensi perencanaan antenna yaitu 1575 MHz antenna memiliki nilai *gain* 6,159 dBi yang berarti melebihi hasil simulasi yaitu 4,039 dBi. Ini telah memenuhi persyaratan yang diinginkan pada *gain* antenna mikrostrip yang umumnya > 4 dBi.

5.4. Pengukuran Polarisasi

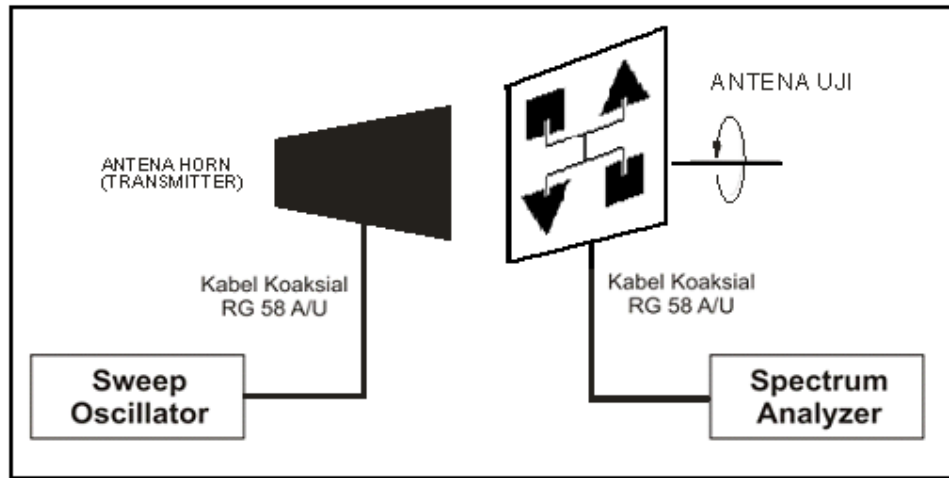
5.4.1 Alat-alat yang digunakan

- *Sweep Oscillator 8350B* 1 - 26.5 GHz *Hewlett Packard*.
- *Spectrum Analyzer 8653E* 30 Hz – 26.5 GHz *Hewlett Packard*.
- Satu buah antenna *horn* sebagai *transmitter*.
- Antena uji (Antena Mikrostrip Kotak-segitiga *Array*)
- Kabel koaksial RG-58A/U
- Konektor tipe N *Female* dan *converter* N to SMA

Dua buah tiang penyangga dengan interval sudut putar tiap 10^0

5.4.2 Prosedur Pengukuran

1. Memasang antenna *horn* sebagai antenna pemancar dengan menghubungkannya ke *Sweep Oscillator* menggunakan kabel koaksial RG-58A/U, seperti ditunjukkan pada Gambar 5.3 berikut.



Gambar 5.3 Rangkaian Pengukuran Polarisasi Antena

Sumber : Pengukuran

2. Memasang antenna uji (Antena Mikrostrip Kotak-segitiga *Array*) sebagai antenna penerima dengan menghubungkannya ke *Spectrum Analyzer* menggunakan kabel koaksial RG-58A/U, seperti ditunjukkan pada gambar 5.3.
3. Memosisikan antenna pemancar sejajar dengan antenna uji, kemudian mengatur *Sweep Oscillator* pada frekuensi 1575 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 nilai normalisasi untuk tiap sudut putarnya.

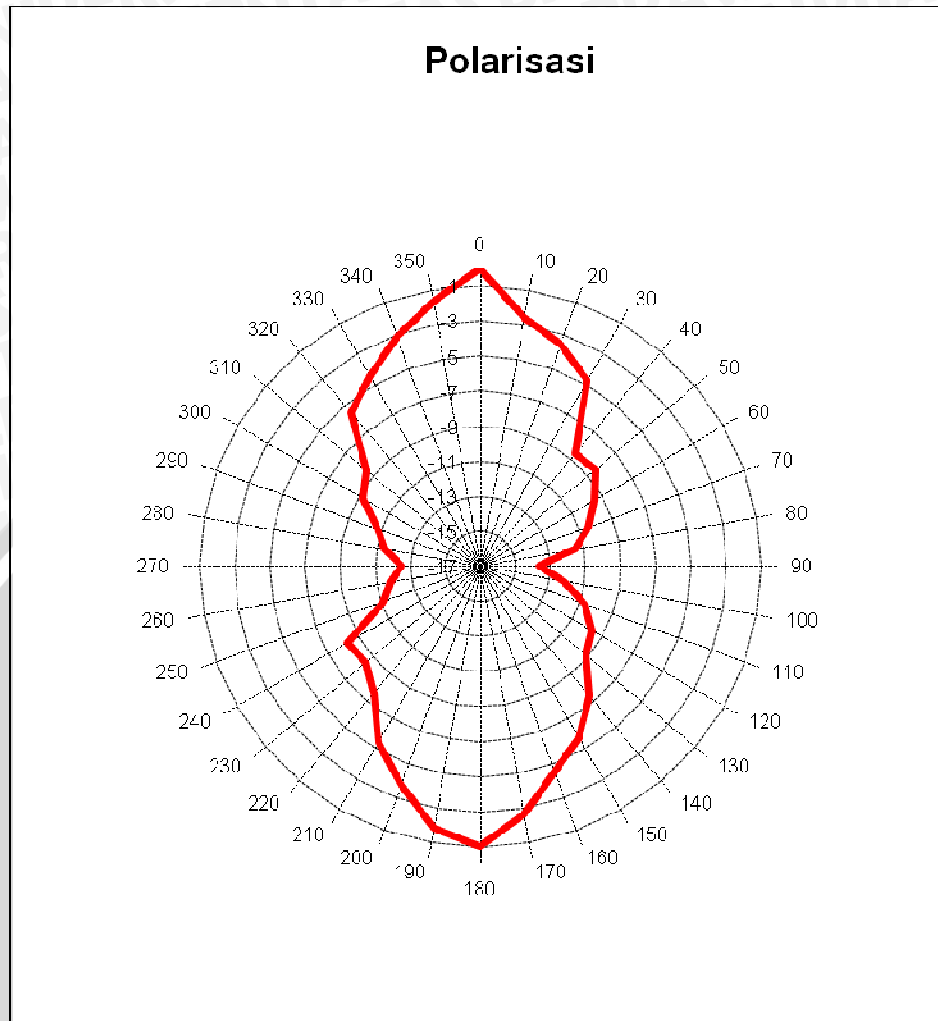
5.4.3 Hasil Pengukuran

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

Tabel 5.3 Hasil Pengukuran Polarisasi Antena Mikrostrip Kotak-segitiga Array

Sudut	Level terima (-dBm)	Level terima (-dBm)	Level terima (dBm)	Level terima (dBm)	Rata-Rata	Normalisasi
0	38,33	37,59	-38,33	-37,59	-37,96	0
10	40,83	40,33	-40,83	-40,33	-40,57	-2,61
20	41,33	41,67	-41,33	-41,67	-41,5	-3,54
30	42,86	42,55	-42,86	-42,55	-42,7	-4,74
40	46,58	46,57	-46,58	-46,57	-46,57	-8,61
50	46,57	46,17	-46,57	-46,17	-46,37	-8,41
60	47,83	47,13	-47,83	-47,13	-47,47	-9,51
70	48,33	48,5	-48,33	-48,5	-48,41	-10,45
80	49,87	49,13	-49,87	-49,13	-49,48	-11,52
90	51,83	51,37	-51,83	-51,37	-51,6	-13,64
100	50,33	49,83	-50,33	-49,83	-50,07	-12,11
110	48,67	48,5	-48,67	-48,5	-48,58	-10,62
120	47,55	47,67	-47,55	-47,67	-47,61	-9,65
130	47,67	46,43	-47,67	-46,43	-47,05	-9,09
140	45,17	45,37	-45,17	-45,37	-45,27	-7,31
150	43,83	43,5	-43,83	-43,5	-43,66	-5,7
160	42,43	42,5	-42,43	-42,5	-42,46	-4,5
170	40,5	40,67	-40,5	-40,67	-40,58	-2,62
180	38,93	38,99	-38,93	-38,99	-38,96	-1
190	39,63	39,83	-39,63	-39,83	-39,73	-1,77
200	42,33	41,17	-42,33	-41,17	-41,71	-3,75
210	43,5	43,17	-43,5	-43,17	-43,33	-5,37
220	45,67	45,33	-45,67	-45,33	-45,5	-7,54
230	46,17	46,67	-46,17	-46,67	-46,41	-8,45
240	48,55	47,87	-48,55	-47,87	-48,2	-8,24
250	49,33	48,83	-49,33	-48,83	-49,07	-11,11
260	50,12	49,5	-50,12	-49,5	-49,8	-11,84
270	50,33	50,67	-50,33	-50,67	-50,5	-12,54
280	49,67	49,17	-49,67	-49,17	-49,41	-11,45
290	48,55	48,83	-48,55	-48,83	-48,69	-10,73
300	47,17	47,33	-47,17	-47,33	-47,25	-9,29
310	46,33	46,67	-46,33	-46,67	-46,5	-8,54
320	43,67	43,33	-43,67	-43,33	-43,5	-5,54
330	42,33	42,5	-42,33	-42,5	-42,41	-4,45
340	41,83	40,33	-41,83	-40,33	-41,02	-3,06
350	39,5	39,67	-39,5	-39,67	-39,59	-1,63

Sumber : Hasil Pengukuran



Gambar 5.4 Diagram Polar Polarisasi Antena Mikrostrip Kotak-segitiga Array

Sumber : Hasil Pengukuran

5.4.4 Analisis Hasil Pengukuran

Berdasarkan data hasil pengukuran polarisasi Tabel 5.3, dengan mengubah data nilai daya yang telah dinormalisasi ke dalam bentuk diagram polar, maka dapat diketahui bentuk polarisasi antena. Bentuk polarisasi antena yang diuji dapat dilihat dalam Gambar 5.4 di atas.

Berdasarkan Gambar 5.4 antena ini dapat digolongkan sebagai antena yang berpolarisasi linier. Walaupun tidak linier sempurna namun dengan memiliki nilai maksimum pada sudut 0° dan 180° serta minimum pada sekitar 90° dan 270° maka sudah dapat dikatakan memiliki polarisasi linier. Bentuk polarisasi sesuai dengan teori bahwa antena mikrostrip memiliki polarisasi linier.

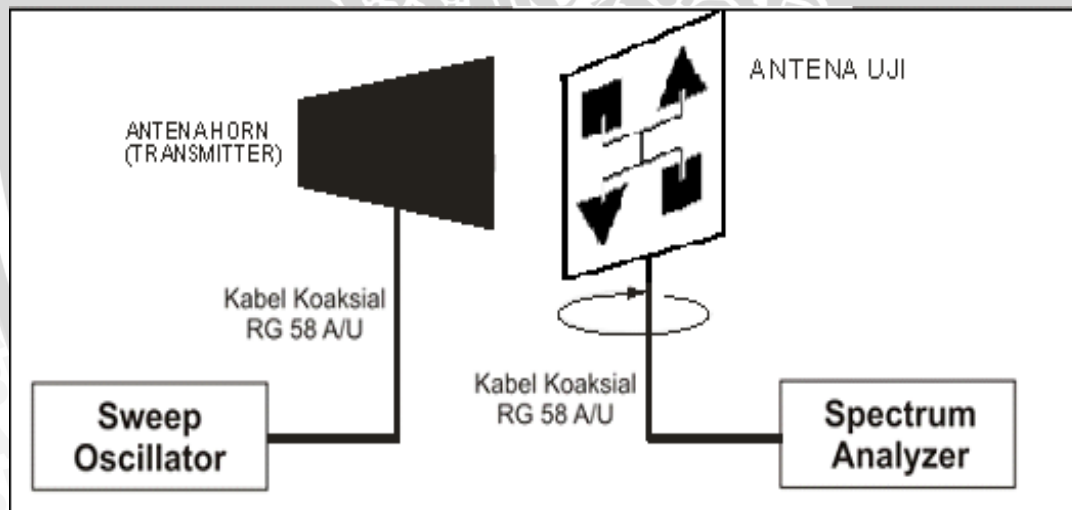
5.5 Pengukuran Pola Radiasi

5.5.1 Alat-alat yang digunakan

- *Sweep Oscillator 8350B 1 - 26.5 GHz Hewlett Packard.*
- *Spectrum Analyzer 8653E 30 Hz – 26.5 GHz Hewlett Packard.*
- Satu buah antena *horn* sebagai *transmitter*.
- Antena uji (Antena Mikrostrip *Kotak-segitiga Array*)
- Kabel koaksial RG-58A/U
- Konektor tipe *N Female* dan *converter N to SMA*.
- Dua buah tiang penyangga dengan interval sudut putar 10°

5.5.2 Prosedur pengukuran

1. Memasang antena *horn* sebagai antena pemancar dengan menghubungkannya ke *Sweep Oscillator* menggunakan kabel koaksial RG-58A/U, seperti ditunjukkan pada Gambar 5.7 berikut.



Gambar 5.5. Rangkaian Pengukuran *Pola Radiasi* Antena

Sumber : Pengukuran

2. Memasang antenna uji (antenna mikrostrip Kotak-segitiga *Array*) sebagai antenna penerima dengan menghubungkannya ke *Spectrum Analyzer* menggunakan kabel koaksial RG-58A/U, seperti ditunjukkan pada Gambar 5.5.
3. Mengatur *Sweep Oscillator* pada frekuensi 1575 MHz.
4. Memutar antenna uji (antenna mikrostrip Kotak-segitiga *Array*) secara horizontal, dari 0° sampai 360° dengan interval 10° , dan mencatat nilai daya yang ditunjukkan oleh *Spectrum Analyzer* pada tiap-tiap interval pemutaran untuk mendapatkan nilai pola radiasi horizontal.
5. Menghitung harga normalisasi untuk tiap sudut putarnya.
6. Memutar antenna pemancar dan antenna uji (antenna mikrostrip Kotak-segitiga *Array*) 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 antenna uji. Pola radiasi yang diperoleh yaitu Pola Radiasi Horizontal dan Pola Radiasi Vertikal. Data hasil pengukuran Pola Radiasi Horizontal dan Pola Radiasi Vertikal terlihat dalam Tabel 5.4 berikut:

Tabel 5.4 Hasil Pengukuran Pola Radiasi Horizontal Antena Mikrostrip Kotak-segitiga Array.

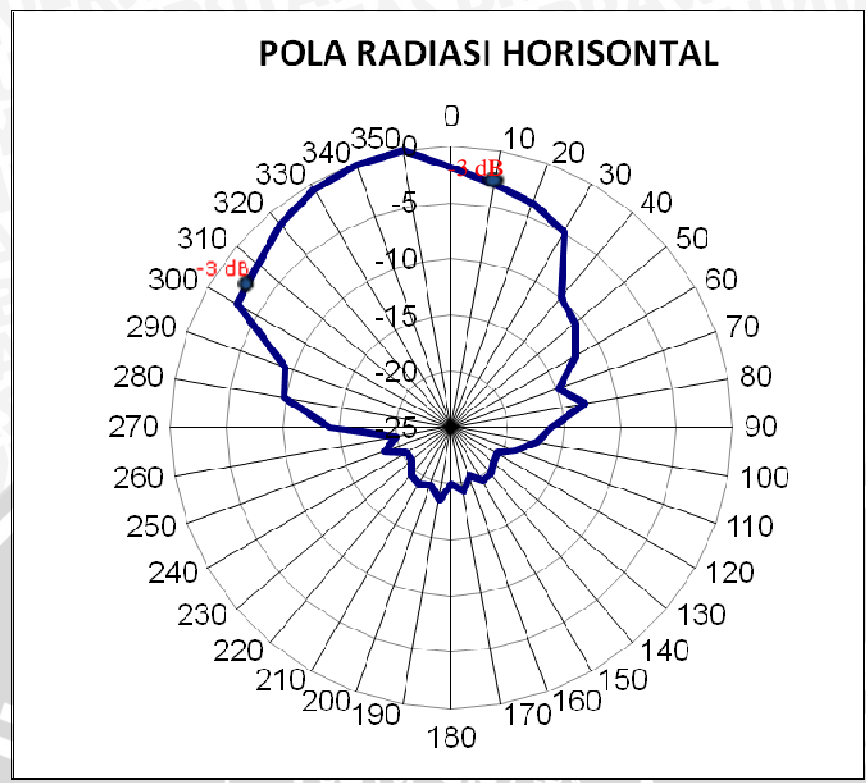
Sudut	Level terima (-dBm)	Level terima (-dBm)	Level terima (dBm)	Level terima (dBm)	Rata-Rata	Normalisasi
0	37,5	37,6	-37,5	-37,6	-37,55	-1,85
10	39,0	38,5	-39,0	-38,5	-38,75	-3,05
20	38,5	38,17	-38,5	-38,17	-38,335	-2,635
30	40,5	40,8	-40,5	-40,8	-40,65	-4,95
40	45,5	45,8	-45,5	-45,8	-45,65	-9,95
50	46,6	46,1	-46,6	-46,1	-46,35	-10,65
60	48,0	48,17	-48,0	-48,17	-48,085	-12,385
70	50,0	51,2	-50,0	-51,2	-50,6	-14,9
80	48,3	49,1	-48,3	-49,1	-48,7	-13
90	52,0	51,8	-52,0	-51,8	-51,9	-16,2
100	53,13	53,0	-53,13	-53,0	-53,065	-17,365
110	55,17	54,3	-55,17	-54,3	-54,735	-19,035
120	56,0	56,17	-56,0	-56,17	-56,085	-20,385
130	56,3	55,5	-56,3	-55,5	-55,9	-20,2
140	55,6	55,0	-55,6	-55,0	-55,3	-19,6
150	55,3	55,17	-55,3	-55,17	-55,235	-19,535
160	56,17	56,0	-56,17	-56,0	-56,085	-20,385
170	55,0	54,8	-55,0	-54,8	-54,9	-19,2
180	55,8	55,5	-55,8	-55,5	-55,65	-19,95
190	54,0	54,3	-54,0	-54,3	-54,15	-18,45
200	55,0	55,3	-55,0	-55,3	-55,15	-19,45
210	55,3	54,3	-55,3	-54,3	-54,8	-19,1
220	55,0	55,17	-55,0	-55,17	-55,085	-19,385
230	56,06	56,17	-56,06	-56,17	-56,115	-20,415
240	56,0	56,3	-56,0	-56,3	-56,15	-20,45
250	54,1	54,5	-54,1	-54,5	-54,3	-18,6
260	55,6	55,8	-55,6	-55,8	-55,7	-20
270	50,0	49,8	-50,0	-49,8	-49,9	-14,2
280	45,8	45,3	-45,8	-45,3	-45,55	-9,85
290	44,5	45,5	-44,5	-45,5	-45	-9,3
300	40,0	39,13	-40,0	-39,13	-39,565	-3,865
310	38,13	38,17	-38,13	-38,17	-38,15	-2,45
320	37,5	36,58	-37,5	-36,58	-37,04	-1,34
330	36,3	36,17	-36,3	-36,17	-36,235	-0,535
340	35,8	36,0	-35,8	-36,0	-35,9	-0,2
350	35,6	35,8	-35,6	-35,8	-35,7	0

Sumber : Hasil Pengukuran

Tabel 5.5 Hasil Pengukuran Pola Radiasi Vertikal Antena Mikrostrip Kotak-segitiga Array.

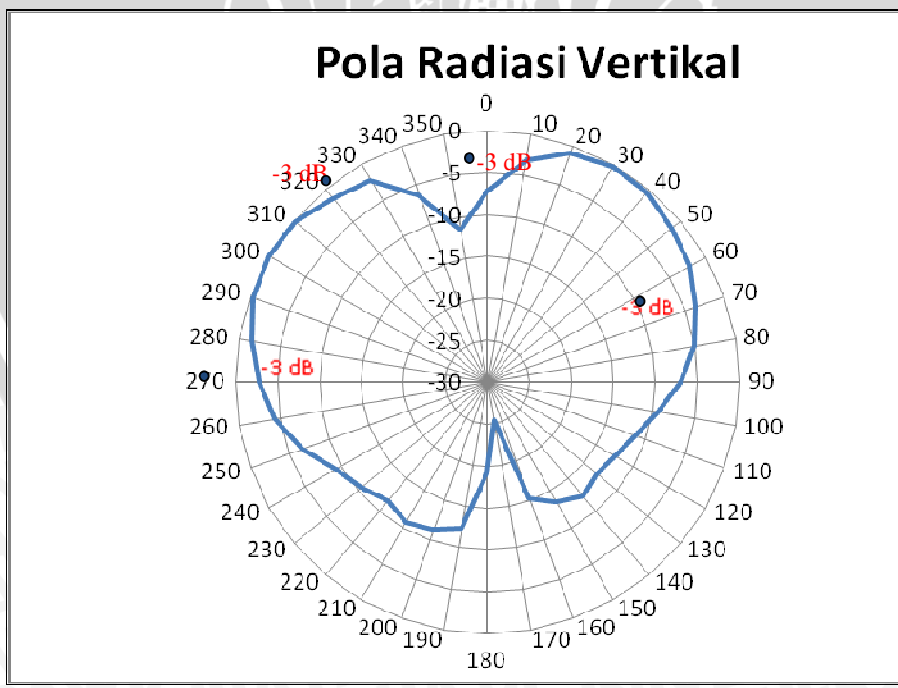
Sudut	Level terima (-dBm)	Level terima (-dBm)	Level terima (dBm)	Level terima (dBm)	Rata-Rata	Normalisasi
0	36,0	38,3	-36,0	-38,3	-37,15	-7,33
10	32,8	33,0	-32,8	-33,0	-32,9	-3,085
20	30,5	31,0	-30,5	-31,0	-30,75	-0,935
30	30,0	30,17	-30,0	-30,17	-30,085	-0,27
40	30,33	30,17	-30,33	-30,17	-30,25	-0,435
50	31,0	31,17	-31,0	-31,17	-31,085	-1,27
60	32,0	31,83	-32,0	-31,83	-31,915	-2,1
70	33,5	33,33	-33,5	-33,33	-33,415	-3,6
80	34,6	34,8	-34,6	-34,8	-34,7	-4,885
90	36,8	36,6	-36,8	-36,6	-36,7	-6,885
100	39,0	39,17	-39,0	-39,17	-39,085	-9,27
110	40,8	41,3	-40,8	-41,3	-41,05	-11,235
120	42,17	42,3	-42,17	-42,3	-42,235	-12,42
130	42,8	42,6	-42,8	-42,6	-42,7	-12,885
140	42,0	42,17	-42,0	-42,17	-42,085	-12,27
150	43,13	43,6	-43,13	-43,6	-43,365	-13,55
160	43,17	47,0	-43,17	-47,0	-45,085	-15,27
170	54,5	55,8	-54,5	-55,8	-55,15	-25,335
180	49,17	48,8	-49,17	-48,8	-48,985	-19,17
190	42,0	42,17	-42,0	-42,17	-42,085	-12,27
200	41,17	41,0	-41,17	-41,0	-41,085	-11,27
210	40,3	40,8	-40,3	-40,8	-40,55	-10,735
220	41,5	41,3	-41,5	-41,3	-41,4	-11,585
230	40,5	40,1	-40,5	-40,1	-40,3	-10,485
240	39,17	39,0	-39,17	-39,0	-39,085	-9,27
250	36,5	36,3	-36,5	-36,3	-36,4	-6,585
260	34,6	34,5	-34,6	-34,5	-34,55	-4,375
270	32,6	32,8	-32,6	-32,8	-32,7	-2,885
280	31,3	31,5	-31,3	-31,5	-31,4	-1,585
290	30,17	30,33	-30,17	-30,33	-30,25	-0,435
300	29,8	29,83	-29,8	-29,83	-29,815	0
310	30,0	30,17	-30,0	-30,17	-30,085	-0,27
320	31,33	31,17	-31,33	-31,17	-31,25	-1,435
330	32,0	32,17	-32,0	-32,17	-32,085	-2,27
340	36,0	36,17	-36,0	-36,17	-36,085	-6,27
350	41,5	44,3	-41,5	-44,3	-41,4	-11,585

Sumber : Hasil Pengukuran



Gambar 5.6 Pola Radiasi Horizontal Antena Mikrostrip Kotak-segitigaArray

Sumber : Hasil Pengukuran



Gambar 5.7 Pola Radiasi Vertikal Antena Mikrostrip Kotak-segitigaArray

Sumber : Hasil Pengukuran

5.5.4 Analisis Hasil Pengukuran

Berdasarkan Tabel 5.4 dan Tabel 5.5 dapat digambarkan bentuk pola radiasi antena hasil perancangan pada diagram polar, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 5.6 dan Gambar 5.7. Berdasarkan Gambar 5.6 dan Gambar 5.7 tersebut dapat diketahui bahwa bentuk pola radiasi antena hasil perancangan (antena mikrostrip Kotak-segitiga *Array*) adalah *directional*, yaitu memiliki intensitas radiasi maksimum pada satu arah tertentu.

Berdasarkan Gambar 5.6 dan Gambar 5.7 juga diperoleh nilai -3dB *beamwidth* pola radiasi horizontal untuk frekuensi 1575 MHz adalah 65° ($\phi_{HP} = 65^\circ$), dan nilai -3dB *beamwidth* pola radiasi vertikal adalah 60° ($\theta_{HP} = 60^\circ$).

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 (2-16) berikut:

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

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

sehingga,

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

dengan :

$$D = \text{directivity}$$

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

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

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

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

5.6.2 Hasil perhitungan

Berdasarkan data hasil pengukuran pola radiasi, diperoleh nilai -3dB *beamwidth* pola radiasi horizontal untuk frekuensi 1575 MHz adalah 65° ($\phi_{HP} = 65^\circ$), dan nilai -3dB *beamwidth* pola radiasi vertikal adalah 60° ($\theta_{HP} = 60^\circ$). Maka nilai *directivity* antenna mikrostrip Kotak-segitiga *Array* hasil pembuatan adalah:

$$D = \frac{41000}{65^\circ \cdot 60^\circ}$$

$$= 10,51$$

$$D_{(dB)} = 10 \log 10,51 = 10,21 \text{ dB}$$

5.7 Perhitungan *Bandwidth*

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

Berdasarkan data hasil pengukuran *VSWR*, antenna dapat bekerja pada range frekuensi < 1558 MHz sampai frekuensi > 1698 MHz. Sehingga *bandwidth* antenna ini adalah:

$$B = f_u - f_l$$

$$B = 1698 \text{ MHz} - 1558 \text{ MHz} = 140 \text{ MHz}$$

Jadi, antenna memiliki *bandwidth* 140 MHz

Bandwidth dalam persen :

$$B_p = \frac{f_u - f_l}{f_c} \times 100\% = \frac{1698 - 1558}{1628} \times 100\% = 8,59 \%$$

Bandwidth antenna hasil pengukuran masih lebih besar dari *bandwidth* hasil perancangan yaitu sebesar 76,56 MHz.

5.8 Analisis Parameter Antena

Berdasarkan hasil pengukuran antenna pembuatan yang telah dilakukan, dapat kita lihat beberapa parameter-parameter antenna mikrostrip kotak-segitiga *array* hasil pembuatan yang meliputi *Return Loss*, *VSWR*, Koefisien Pantul, *Gain*, Pola Radiasi, Polarisasi, *Bandwidth*, dan *Directivity* yang menunjukkan antenna sesuai dengan perencanaan, yakni pada frekuensi 1575 MHz nilai *return loss* sebesar -14,30 dB sesuai dengan nilai standar

return loss < -10 dB dan nilai VSWR sebesar 1,477 berarti sesuai dengan perencanaan yaitu nilai VSWR ≤ 2 . Koefisien pantul sebesar 0,1925 yang menunjukkan bahwa sebagian besar sinyal dari antena dapat tersalurkan. Nilai *gain* sebesar 6,159 dBi. Pola radiasi antena adalah *directional* dengan polarisasinya yang berbentuk linier. *Bandwidth* antena sebesar 1 MHz dengan *directivity* antena sebesar 10,21 dB. Sehingga dapat diketahui karakteristik antena mikrostrip kotak-segitiga *array* hasil pengukuran yang ditunjukkan pada Tabel 5.6 berikut.

Tabel 5.6 Karakteristik Antena Mikrostrip *Kotak-segitigaArray* Hasil Pembuatan

Frekuensi kerja	1575 MHz
<i>Return Loss</i>	-14,30 dB
VSWR	1,477
Koefisien Pantul	0,1925
<i>Gain</i>	6,159 dBi
Pola Radiasi	<i>directional</i>
Polarisasi	Linier
<i>Bandwidth</i>	140 MHz
<i>Directivity</i>	10,21 dB

Sumber : Hasil Pengukuran

Dengan memperhatikan karakteristik antena hasil fabrikasi, dapat dinyatakan bahwa antena ini bisa digunakan untuk aplikasi GPS L1 1,575 GHz karena nilai VSWR dan *return loss* yang sesuai dengan batas yang diijinkan yaitu VSWR < 2 dan RL < -10dB, nilai *gain* pun sesuai dengan persyaratan umum antena mikrostrip yaitu di atas 4 dBi. Nilai *bandwidth* sebesar 140 MHz pun lebih besar dari *requirement bandwidth* antena untuk aplikasi GPS L1 1,575 GHz yang hanya sebesar 10 MHz. Dengan melihat parameter-parameter tersebut dapat dikatakan bahwa antena mikrostrip kotak-segitiga *array* dua elemen hasil fabrikasi ini dapat bekerja pada frekuensi GPS L1 1575 MHz.

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. Dimensi antenna setelah dilakukan proses optimasi adalah sebagai berikut:

Elemen Peradiasi : $L_a = 44,16$ mm, $L_b = 44,5$ mm, $a_1 = 58,46$ mm, $a_2 = 59,95$ mm

$L_{t1} = 27,93$ mm, $y_{01} = 9$ mm, $L_2 = 28$ mm,

$L_{t2} = 19,93$ mm, $y_{02} = 17$ mm, $L_1 = 44$ mm, $W_0 = 2,8$ mm

Nilai *VSWR* antenna mikrostrip kotak-segitiga *array* dua elemen hasil pembuatan dalam frekuensi kerja yang direncanakan yaitu 1575 MHz ialah sebesar 1,477. Nilai *VSWR* antenna ini masih dalam batas yang diijinkan $VSWR \leq 2$. Untuk nilai *Return Loss*, pada frekuensi 1575 Mhz adalah -14,30 dB yang masih dalam batas diijinkan yaitu $RL < -10$ dB.

2. Nilai *gain* antenna mikrostrip kotak-segitiga *array* dua elemen pada frekuensi kerja yang direncanakan yaitu 1575 MHz ialah sebesar 4,039 dBi untuk simulasi dan 6,159 dBi untuk pengukuran.
3. Hasil pengukuran pola radiasi, untuk bidang horizontal maupun vertikal yang diplotkan pada diagram polar, menunjukkan bahwa bentuk pola radiasi mikrostrip kotak-segitiga *array* dua elemen hasil pembuatan adalah *directional*, dengan sudut $\phi_{HP} = 65^\circ$ dan $\theta_{HP} = 60^\circ$ untuk frekuensi 1575 MHz
4. Hasil pengukuran polarisasi menunjukkan bahwa antenna mikrostrip kotak-segitiga *array* memiliki polarisasi linier.
5. Hasil perhitungan *directivity* menunjukkan antenna ini memiliki nilai *directivity* sebesar 9,71 dBi untuk simulasi dan 10,94 dBi untuk hasil pengukuran.
6. Berdasarkan perhitungan *bandwidth*, antenna mikrostrip kotak-segitiga *array* memiliki *bandwidth* sebesar 140 MHz (8,59 %). *Bandwidth* antenna hasil pengukuran lebih besar dari *bandwidth* hasil perancangan yang hanya sebesar 76,56 MHz (4,86%).

6.2. Saran

1. Dalam melakukan pengukuran, untuk ketepatan dan ketelitian hasil pengukuran disarankan agar pengukuran dilakukan di tempat yang bebas dari benda-benda yang dapat mempengaruhi hasil pengukuran. Disarankan untuk melakukan pengujian dan pengukuran di dalam ruangan *Anechoic Chamber*. Selain itu, diperlukan bahan penyangga antena yang berupa isolator yang baik.
2. Perencanaan antena 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 antena.
3. Dalam proses pembuatan antena mikrostrip, perlu diperhatikan ketebalan substrat dielektrik dan lapisan tembaga untuk elemen peradiasi yang digunakan, agar didapatkan antena mikrostrip yang dapat bekerja optimal sesuai dengan yang direncanakan.
4. Proses pemasangan konektor pada antena juga memerlukan ketepatan agar dalam proses pengeboran dan penyolderan bisa lebih halus karena konektor yang terpasang pada antena juga akan mempengaruhi *loss* pada daya yang dicatukan pada saluran transmisi antena.
5. Untuk pengaplikasian pada *GPS Receiver*, perlu ditambahkan perangkat berupa *Low Noise Amplifier* (LNA) pada antenna karena gain yang dibutuhkan perangkat GPS sebesar 25 dBi.

DAFTAR PUSTAKA

- Balanis, Constantine A. 1982. *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.
- Hund, Edgar. 1989. *Microwave Communications*. McGraw-Hill International, New York.
- Kraus, John Daniel. 1988. *Antennas*. McGraw-Hill International, New York.
- Lagerqvist, Johan. 2002. *Design and Analysis of an Electrically Steerable Microstrip Antenna for Ground to Air Use*. Lulea University of Technology. Thesis
- Leung, Martin. 2002. *Microstrip Antenna Using Mstrip40*. Division of Management and Technology University of Canberra Act 2601.
- Luthfiannur, Muhammad. 2009. *Perencanaan dan Pembuatan Equilateral Triangular Mikrostrip Antenna Untuk Aplikasi GPS (Global Positioning System)*. Skripsi, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Malang.
- Nakar, Punit S. 2004. *Design of a Compact Microstrip Patch Antenna for use in Wireless/Cellular Devices*. The Florida State University. Thesis.
- Nasimuddin and A. K. Verma. 2004. *Fast and Accurate Model For Analysis of Equilateral Triangular Patch Antenna*. Journal of Microwaves and Optoelectronics, Vol.3, No. 4.
- Stutzman, Warren L. and G. A. Thiele. 1981. *Antenna Theory and Design*. John Willey and Son, Inc. New York.

Anonymous. www.zeland.com

Anonymous. www.google.com/Low Profile Integrated GPS and Cellular Antenna.pdf



LAMPIRAN

1. LANGKAH-LANGKAH SIMULASI

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

Bahan Epoxy fiberglass – FR 4

Konstanta dielektrik (ϵ_r) = 4.6

Ketebalan lapisan dielektrik (h) = 1.6 mm

Loss tangent = 0.018

Bahan pelapis substrat (konduktor) tembaga

Ketebalan bahan konduktor (t) = 0.1 mm

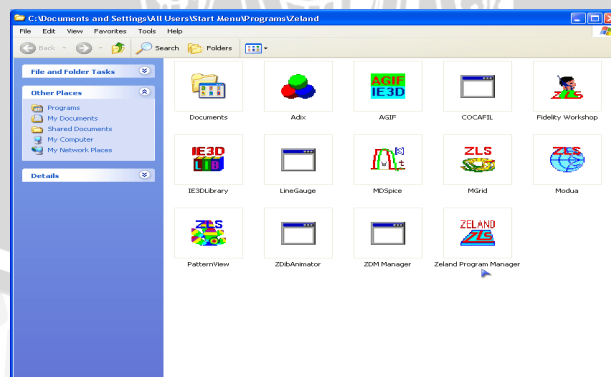
Konduktifitas tembaga (σ) = 5.80×10^7 mho m^{-1}

Frekuensi kerja (f_r) = 2440 MHz

Impedansi karakteristik saluran = 50Ω

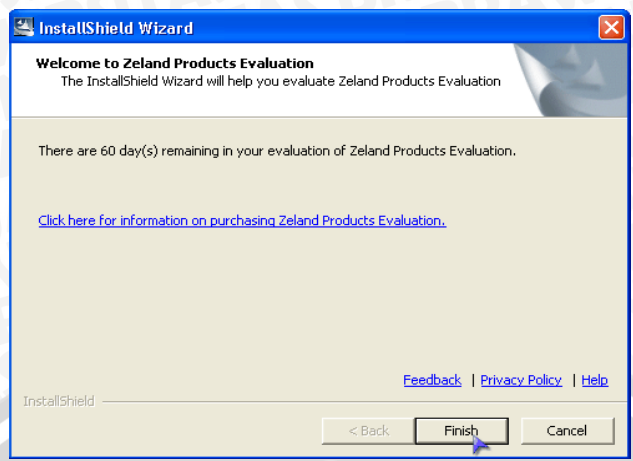
Tahap 1 Simulasi Antena Kotak-segitiga *Array* 2x2

- Langkah pertama adalah menginstall program IE3D, hingga didapatkan tampilan sebagai berikut:



Gambar 1. Tampilan Zeland Folder

Sumber : Simulasi

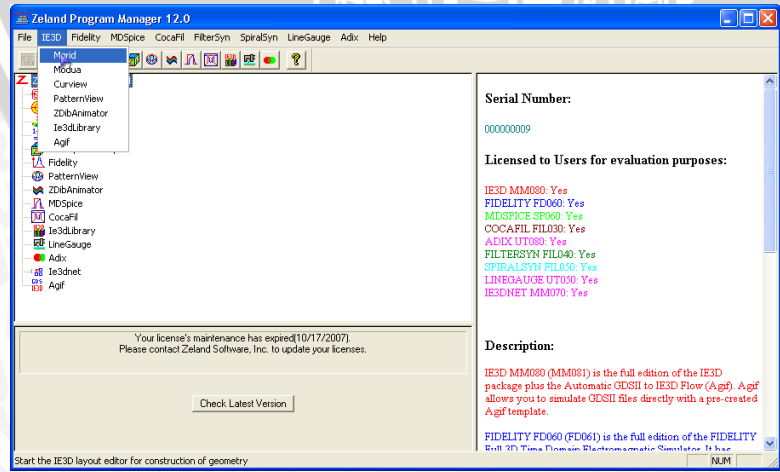


Gambar 2. Zeland InstallShield Wizard
Sumber : Simulasi



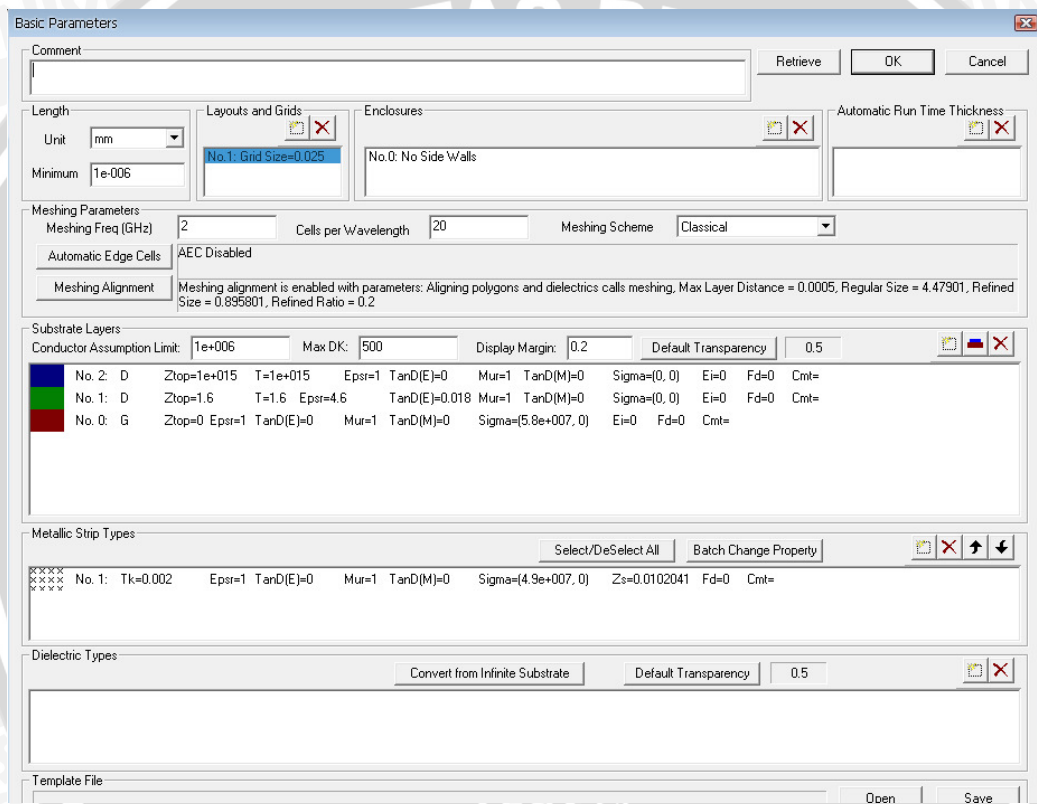
Gambar 3. Zeland User Agreement
Sumber : Simulasi

- 2. Setelah muncul tampilan *stand-by*, langkah selanjutnya adalah menekan tombol “IE3D”, kemudian tombol “Mgrid”.



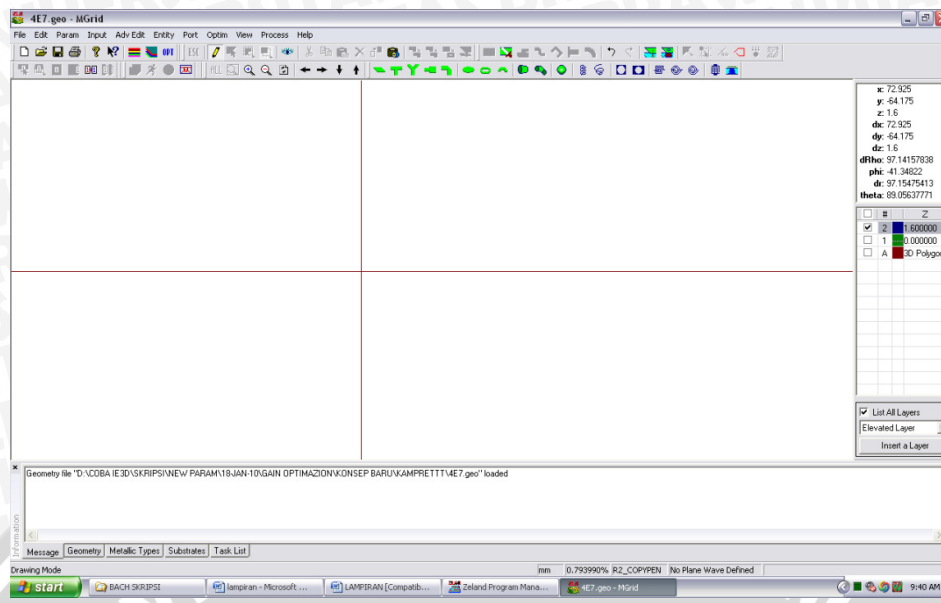
Gambar 4. Zeland Program Manager 12.0
Sumber : Simulasi

- Langkah berikutnya adalah menekan tombol “*Param*” dan “*Basic Parameters*”, kemudian mengedit *Grid Size*=1 dalam satuan mm, *Meshing Freq* = 3 GHz, *Cells per Wavelength* = 20. Pada substrate layer secara default tersedia dua layer yaitu layer *dielectrik* dan layer *ground*. Pada layer *ground* nilai konduktivitasnya diganti menjadi 5.80×10^7 mho m^{-1} (sesuai bahan konduktor yang dipilih). Kemudian menambahkan layer baru dengan cara menekan tombol “*insert new substrate*”, memasukkan nilai “*Top surface, Ztop*” = 1.6 mm, Konstanta Dielektrik, *Epsr* = 4.6. dan *loss tangent* = 0.018, kemudian menekan tombol OK untuk memasukkannya.

Gambar 5. Kotak Dialog *Basic Parameters*

Sumber : Simulasi

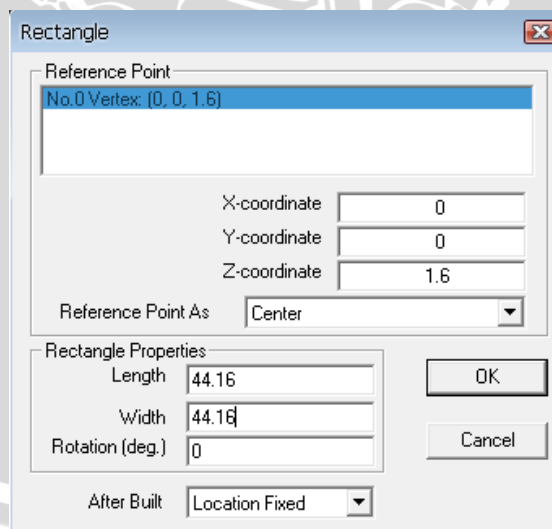
- Setelah semua nilai parameter dimasukkan, maka pada layar akan tampil lembar kerja seperti pada gambar 6.



Gambar 6. Mgrid

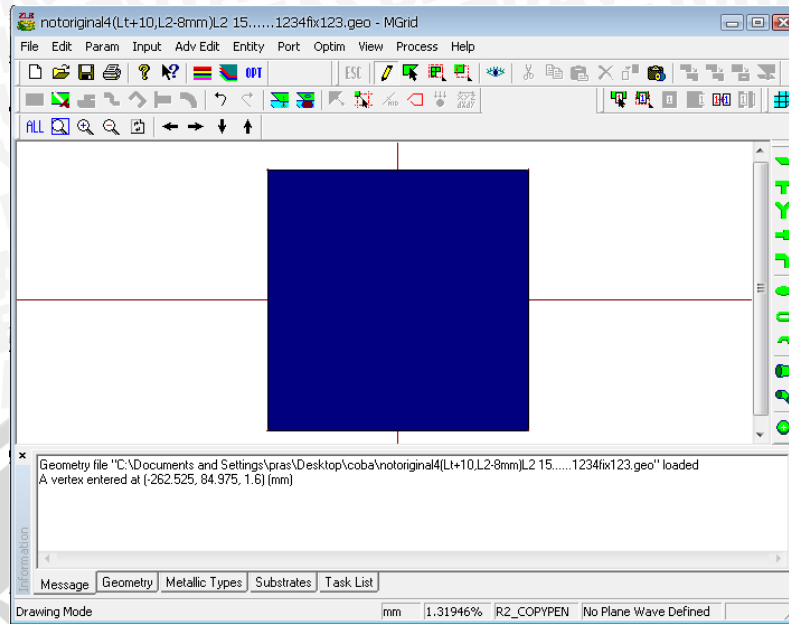
Sumber : Simulasi

- Langkah selanjutnya adalah membuat bentuk *patch* antenna yang telah dirancang, yaitu kotak dan segitiga. Untuk membuat bentuk *patch* kotak, dilakukan dengan cara menekan tombol “Entity” → “Rectangle”. Setelah itu memasukkan nilai sisi kotak, kemudian menekan tombol “OK”, seperti terlihat pada gambar 7 berikut:



Gambar 7. Kotak Dialog *Patch Rectangle*

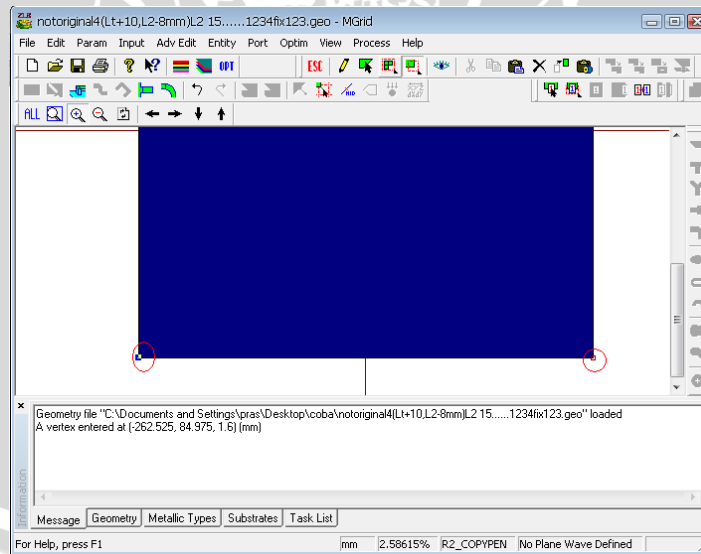
Sumber : Simulasi



Gambar 8. Tampilan *Patch* Kotak

Sumber : Simulasi

6. Setelah *patch* kotak terbentuk, selanjutnya membuat seleksi pada ujung bawah *patch*, dengan cara menekan tombol “*Select Vertices*”, kemudian menyeleksi 2 ujung bagian bawah *patch* kotak, sehingga timbul dua titik seperti gambar 9 dibawah ini:

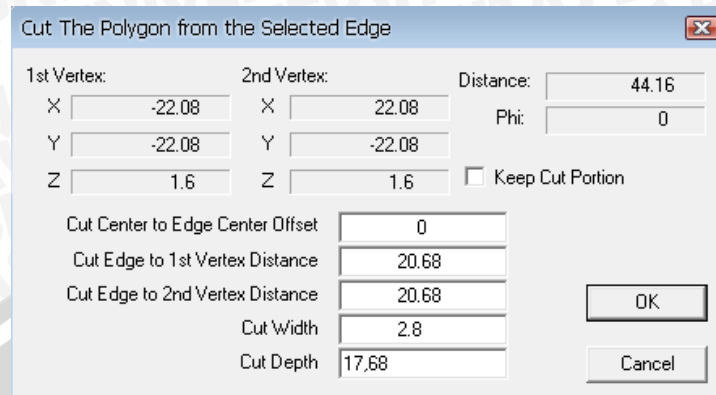


Gambar 9. Tampilan *Patch* Setelah Diseleksi

Sumber : Simulasi

7. Setelah terlihat ada dua titik di ujung bawah *patch*, kemudian membuat *inset feed* dengan cara menekan tombol “*Adv Edit*” → “*Cut Into Polygon On Edge*”,

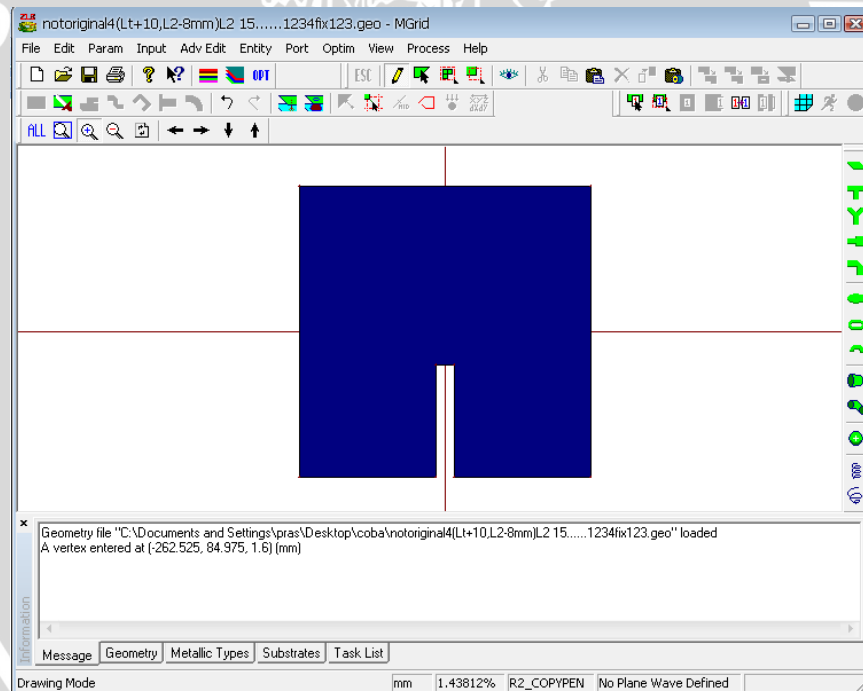
kemudian mengubah nilai “*Cut Width*” dan “*Cut Depth*” seperti pada Gambar 10 berikut:



Gambar 10. Tampilan Untuk Membuat *Inset Feed*

Sumber : Simulasi

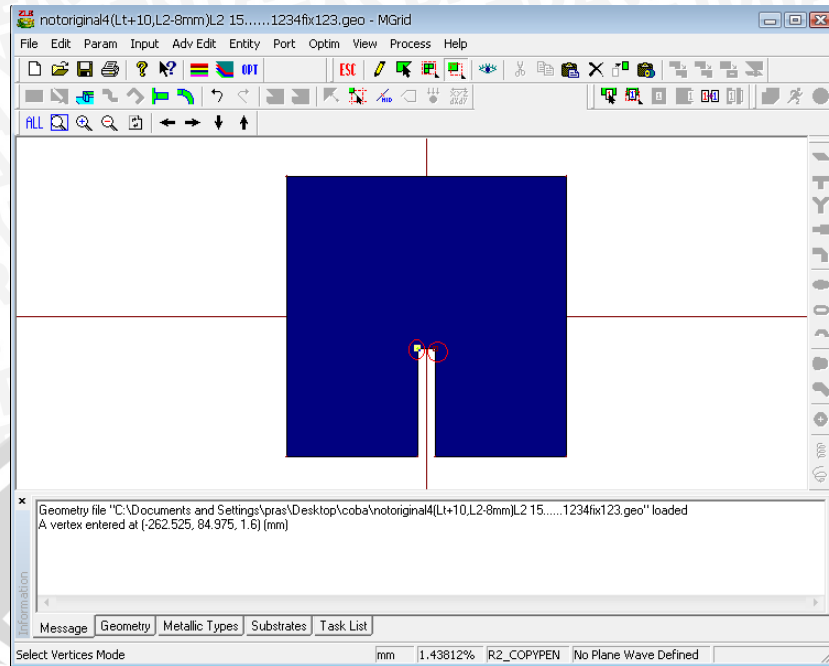
Tampilan setelah dibuat *inset feed* adalah sebagai berikut:



Gambar 11. Tampilan Setelah Dibuat *Inset Feed*

Sumber : Simulasi

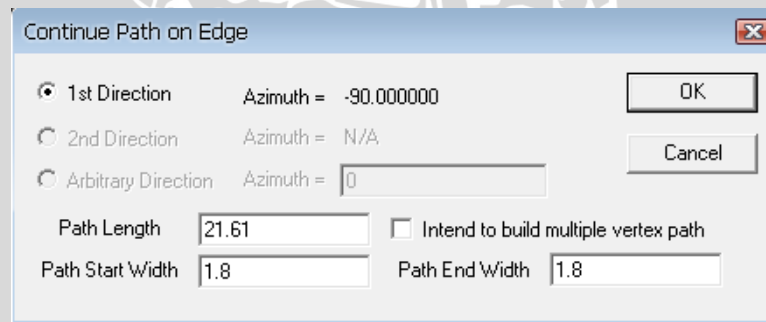
8. Setelah *inset feed* terbentuk, selanjutnya membuat seleksi pada pangkal *inset feed*, dengan cara menekan tombol “*Select Vertices*”, kemudian menyeleksi 2 ujung pangkal *inset feed*, sehingga timbul dua titik seperti gambar 12 dibawah ini:



Gambar 12. Tampilan *Inset Feed* Setelah Diseleksi

Sumber : Simulasi

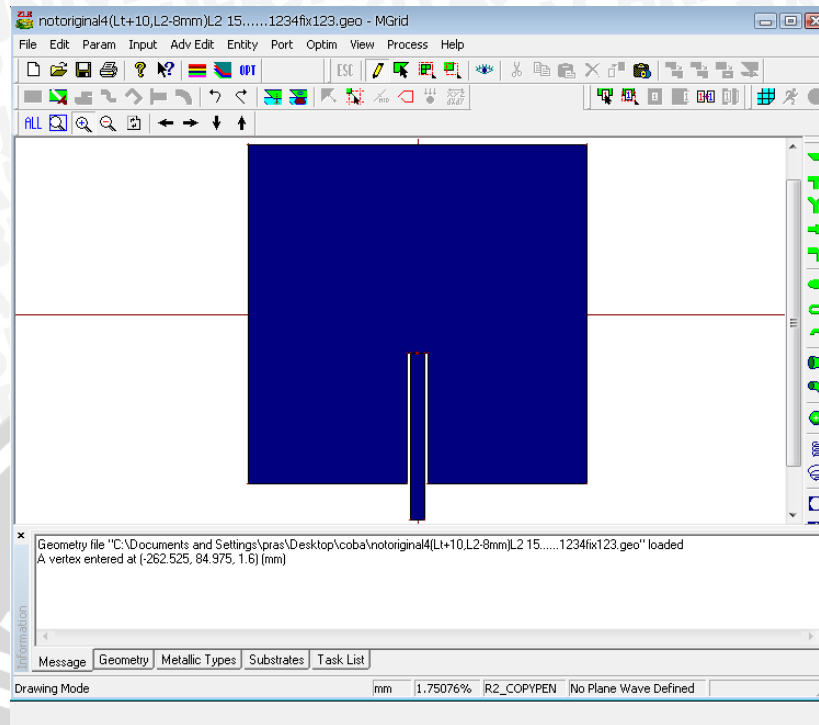
9. Langkah selanjutnya membuat saluran transmisi dengan cara menekan tombol “*Adv Edit*” → “*Continue Straight Patch*”, lalu mengubah *Path Length* dan *Path Start Width* sesuai gambar 13 berikut. Selanjutnya menekan *OK*.



Gambar 13. Tampilan Untuk Membuat Saluran Transmisi

Sumber : Simulasi

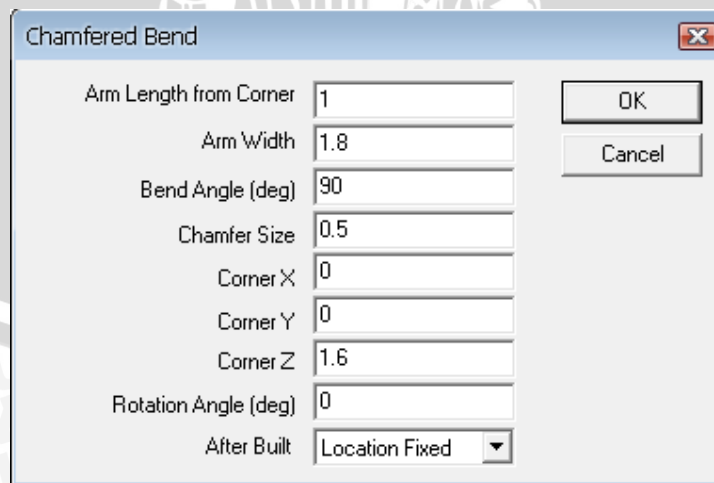
Selanjutnya tampilan gambar sebagai berikut:



Gambar 13. Tampilan Setelah Dibuat Saluran Transmisi

Sumber : Simulasi

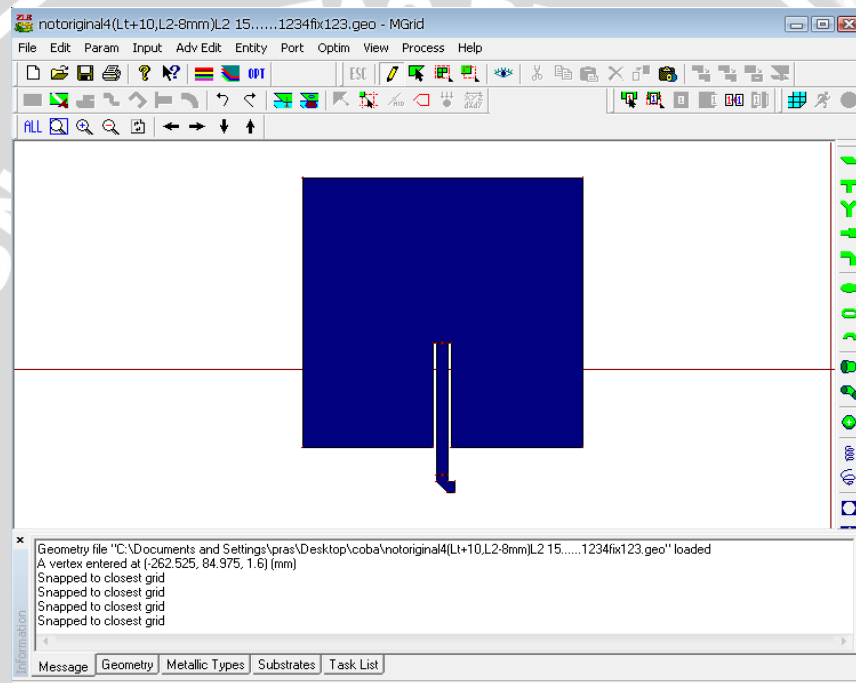
10. Langkah berikutnya membuat *bending* dengan menekan icon “*Chamfered Bend*” pada *Toolbar* sebelah kanan *window* MGRID. Lalu akan muncul tampilan seperti Gambar 14 berikut:



Gambar 14. Tampilan Mengubah Variabel *Chamfered Bend*

Sumber : Simulasi

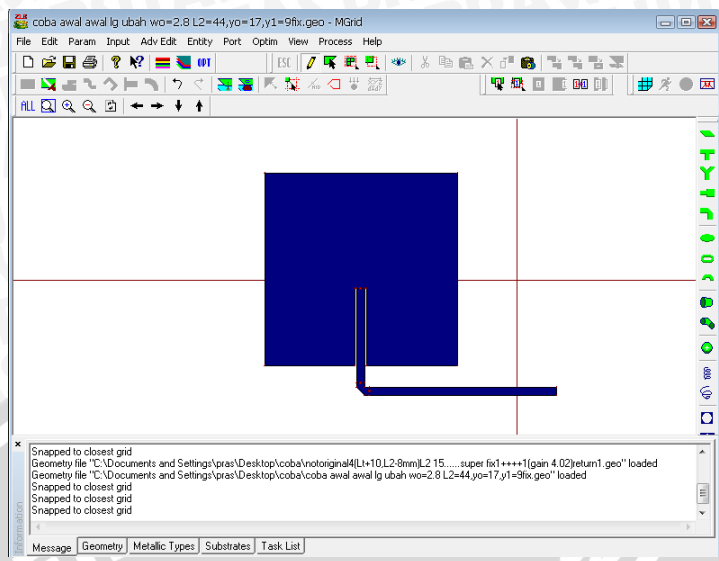
11. Setelah terbentuk *chamfered bend* pada *window* MGRID, selanjutnya menggabungkan *chamfered bend* dengan saluran transmisi pada elemen peradiasi yang sudah ada. Caranya adalah dengan menekan *icon* “*Select Polygon*” pada *toolbar* bagian atas *window* MGRID, kemudian menyeleksi *chamferd bend*-nya. Setelah itu menekan tombol (pada *keyboard*) *Shift+Tab* secara bersamaan untuk mengubah titik referensi penempelan *chamferd bend* pada saluran transmisi. Kemudian memindah & menempelkan *chamfered bend* pada saluran transmisi dengan menekan *Shift+M* secara bersamaan.



Gambar 15. Tampilan *Chamfered Bend* Setelah Digabung Dengan Saluran Transmisi

Sumber : Simulasi

12. Untuk membentuk susunan *array* sesuai dengan bentuk yang direncanakan, langkah selanjutnya membuat saluran transmisi horisontal dengan menekan “*Select Vertices*” pada sisi sebelah kanan *chamfered bend* lalu memilih “*Adv Edit*” → “*Continue Straight Path*” dengan ukuran sesuai perhitungan.



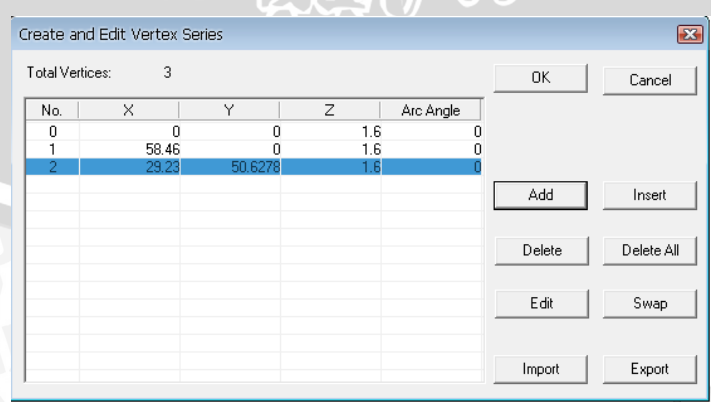
Gambar 16. Tampilan *Chamfered Bend* Setelah Ditambahkan Saluran Transmisi
 Sumber : Simulasi

- Selanjutnya membuat bentuk *patch* segitiga sama sisi. Untuk membuat *patch* segitiga 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.

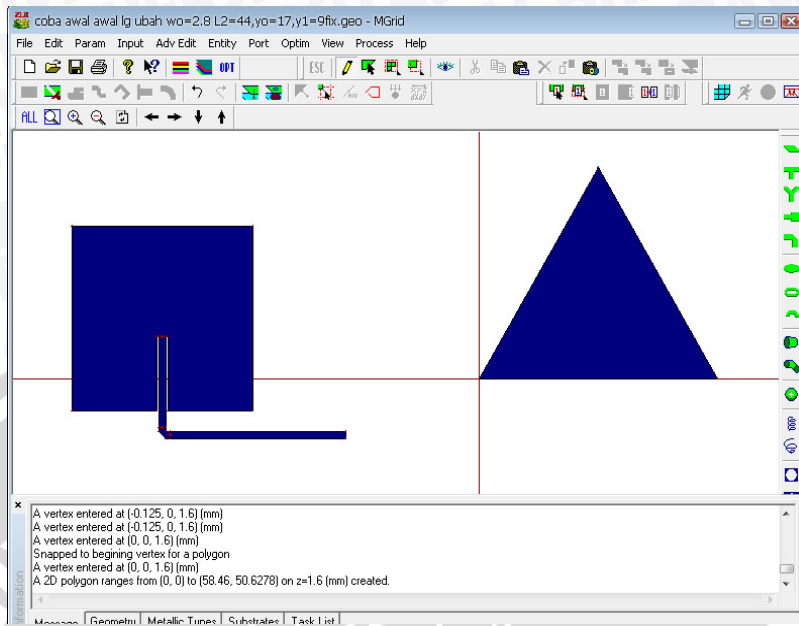
Tabel 1 : Posisi Koordinat Untuk Patch Segitiga

No.	x	y
1	0	0
2	58,46	0
3	29,23	50,6278

Sumber : perancangan



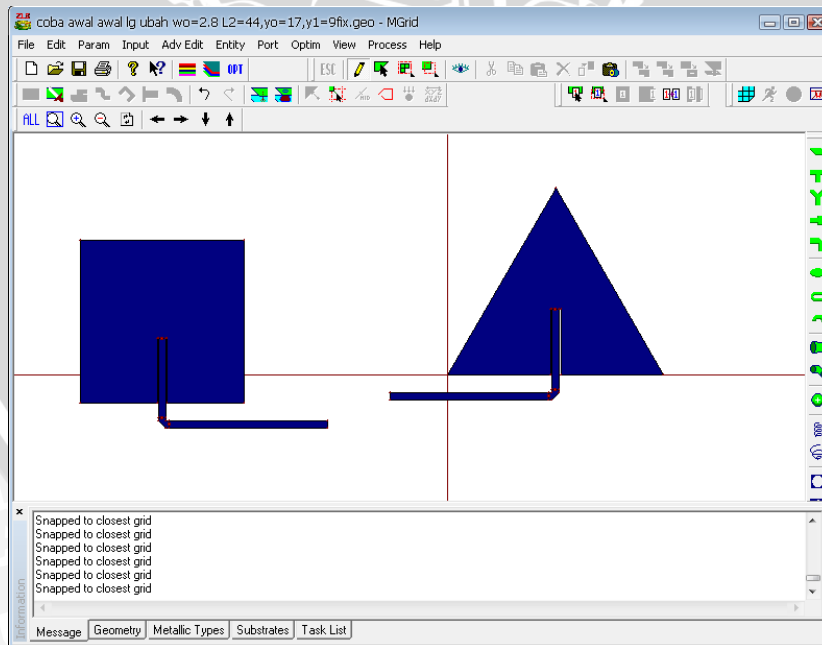
Gambar 17. Tampilan Untuk Mengubah Nilai Variabel Koordinat
 Sumber : Simulasi



Gambar 18. Tampilan Patch Segitiga Yang Telah Terbentuk

Sumber : Simulasi

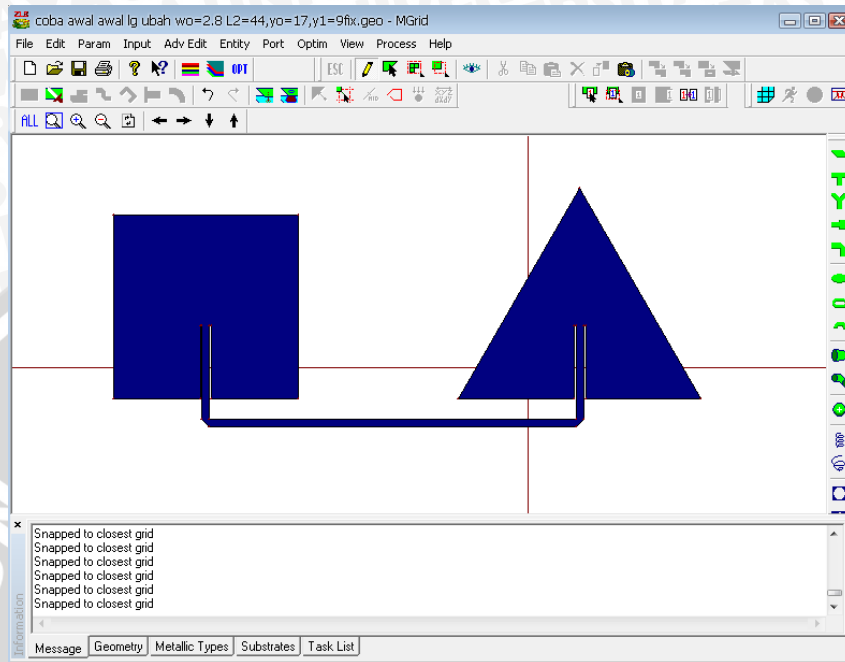
14. Untuk membuat *inset feed* serta saluran transmisi, bisa dilakukan dengan cara mengulang langkah 6-12 dengan nilai parameter yang sama. Khusus untuk langkah 10, nilai "Rotation angle" diubah menjadi menjadi 90



Gambar 19. Tampilan Patch Segitiga Yang Telah Ditambahkan Chamfered Bend

Sumber : Simulasi

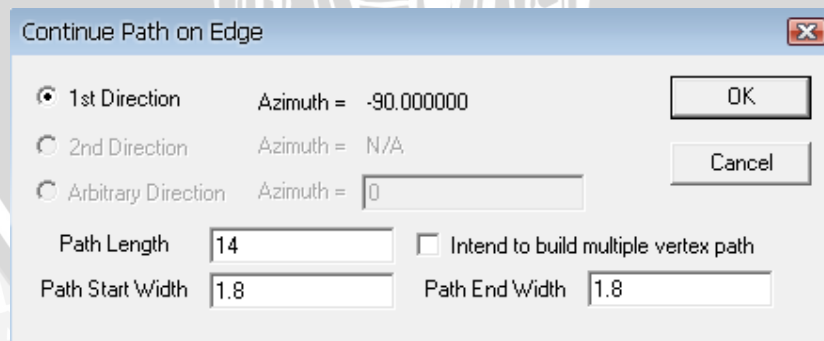
15. Langkah selanjutnya menggabungkan kedua elemen dengan cara yang sama dengan langkah 11.



Gambar 20. Tampilan *Patch* Kotak dan Segitiga Setelah Digabung

Sumber : Simulasi

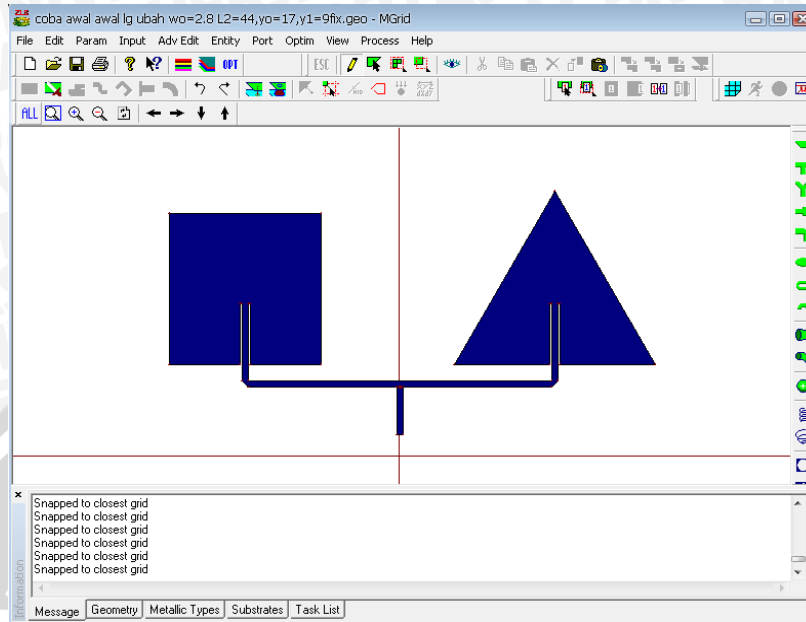
16. Selanjutnya membuat saluran transmisi vertikal dengan cara menyeleksi bagian bawah *patch* kotak-segitiga hingga timbul dua titik, kemudian menekan tombol “Adv Edit” → “Continue Straight Path”, dan mengubah parameter seperti gambar 21 berikut:



Gambar 21. Tampilan Untuk *Continue Straight Path*

Sumber : Simulasi

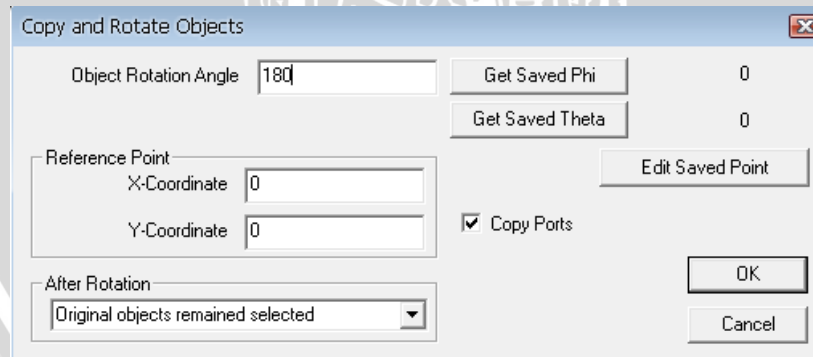
Sehingga dihasilkan gambar sebagai berikut:



Gambar 22. Tampilan *Patch* Kotak-segitiga dengan Saluran Transmisi Vertikal

Sumber : Simulasi

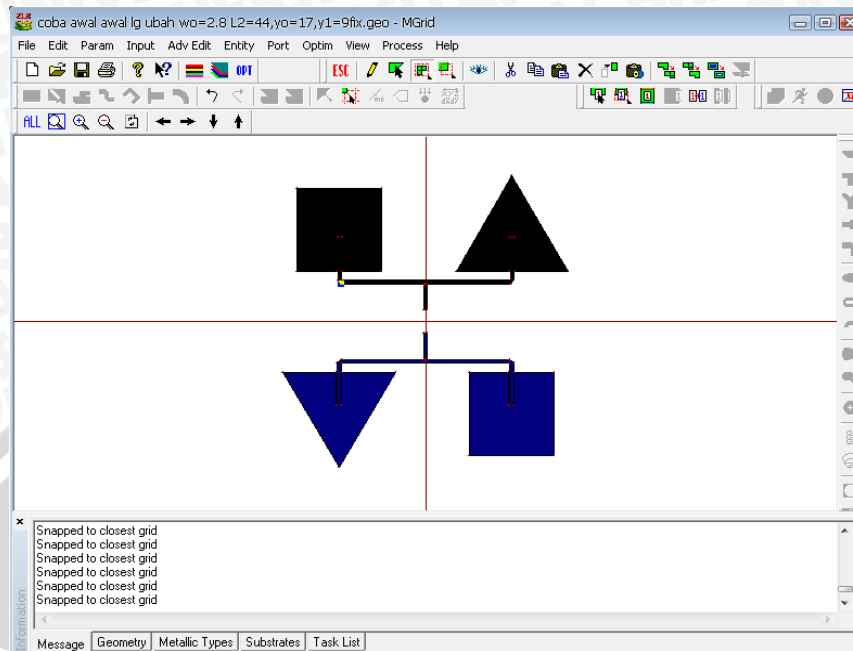
- Langkah berikutnya adalah mengandakan *patch* kotak-segitiga yang telah dibuat hingga menghasilkan *patch* kotak-segitiga empat elemen, dengan cara menyeleksi *patch* kotak-segitiga, kemudian menekan tombol “Edit” → ”Copy and Rotate” dan mengisi nilai parameter seperti gambar 22 berikut:



Gambar 22. Tampilan Perintah *Copy and Rotate*

Sumber : Simulasi

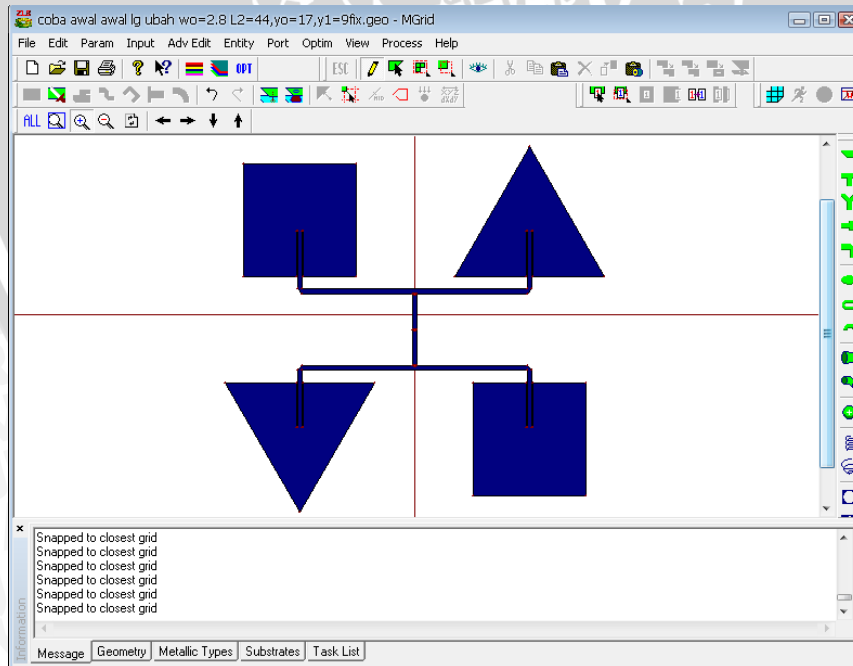
Setelah menekan tombol OK, akan terlihat gambar sebagai berikut:



Gambar 23. Patch Kotak-segitiga Setelah Digandakan

Sumber : Simulasi

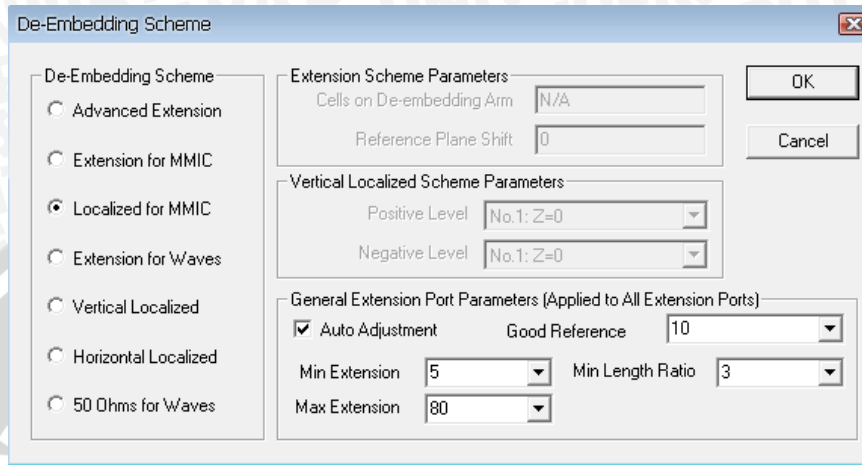
18. Langkah selanjutnya menggabungkan kedua *patch* tersebut dengan cara yang sama dengan langkah 11, hingga di dapat gambar sebagai berikut:



Gambar 24. Patch Kotak-segitiga Setelah Digabung

Sumber : Simulasi

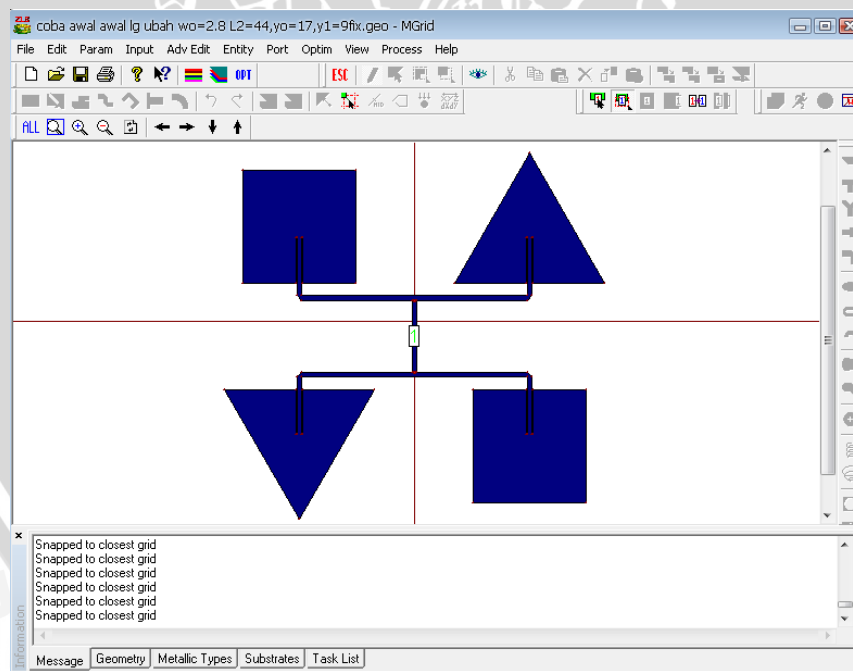
19. Setelah *patch* tergabung, maka langkah selanjutnya membuat *port* untuk antena. Untuk mendefinisikan letak *port*, terlebih dahulu menentukan jenis *port* yang akan digunakan dengan cara menekan tombol pilih “Por”*t* → “Port For Edge Group”. seperti ditunjukkan oleh Gambar 30 berikut:



Gambar 25. Tampilan Pilihan Jenis *Port*

Sumber : Simulasi

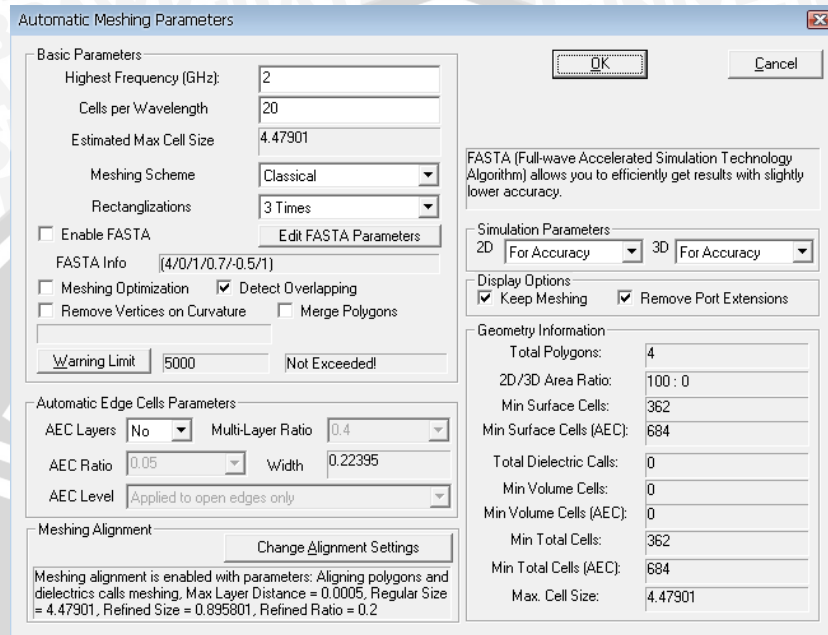
Setelah menekan tombol OK, akan tampak gambar seperti berikut:



Gambar 26. Tampilan *Patch* Setelah Diberi *Port*

Sumber : Simulasi

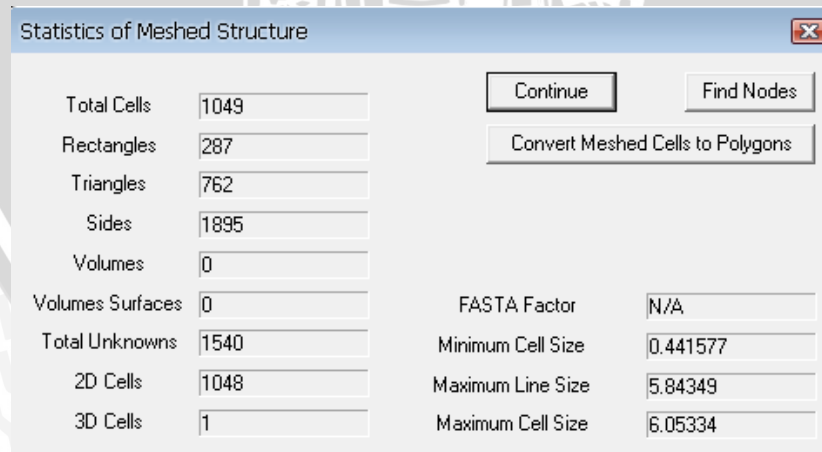
20. Sebelum disimulasikan, *file* ini harus disimpan terlebih dahulu. kemudian menekan tombol “Port” → “Exit Port (X)”. Setelah itu memilih menu “Process” → “Display Meshing”, kemudian akan muncul *window Automatic Meshing Parameters*. Selanjutnya mengubah variabelnya seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 27. Kemudian menekan OK.



Gambar 27. Tampilan Pengubahan Variable-variabel *Meshing*

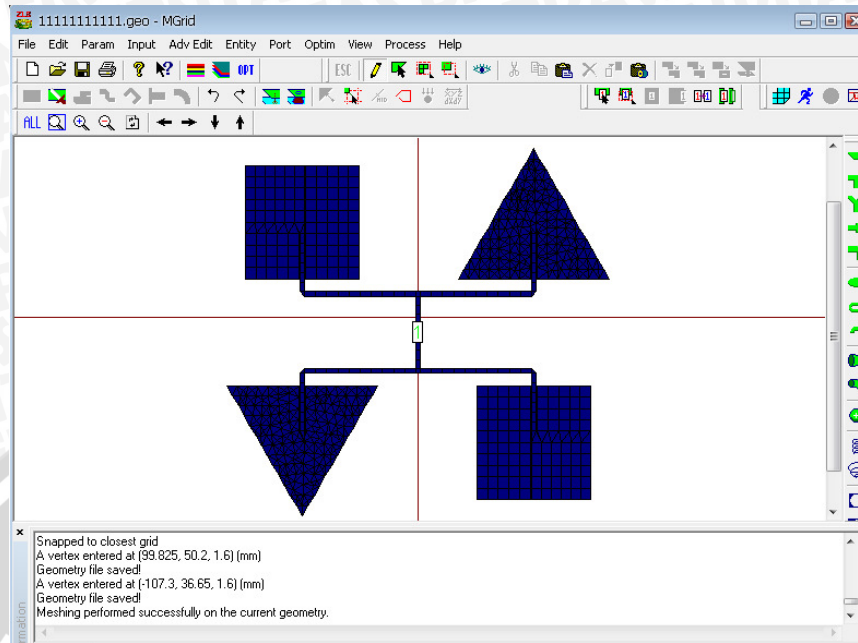
Sumber : Simulasi

21. Kemudian muncul tampilan seperti Gambar 28. kemudian menekan *Continue*



Gambar 28. Tampilan Statistik Struktur *Meshing*

Sumber : Simulasi



Gambar 29. Tampilan Patch Setelah Proses Meshing

Sumber : Simulasi

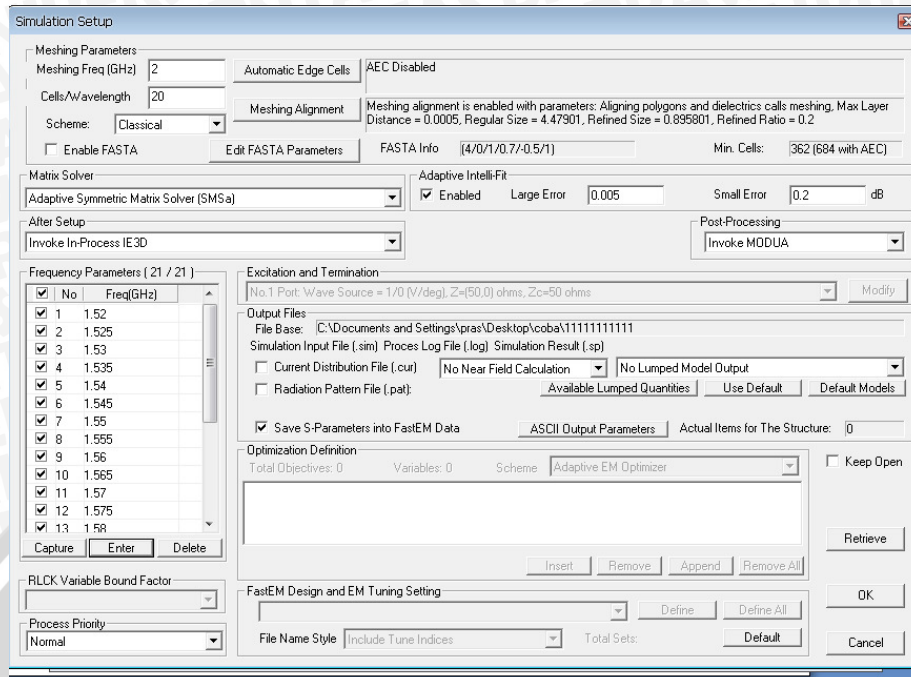
22. Untuk menjalankan simulasi, tekan tombol “Process” → “Simulate”. Setelah muncul window *Simulation Setup* pilihlah icon “Enter” pada kolom *Frequency Parameters* kemudian memasukkan nilai-nilai frekuensi pada window *Enter Frequency Range*. Seperti terlihat pada Gambar 30, kemudian tekan OK.



Gambar 30. Tampilan Rentang Frekuensi yang Disimulasikan

Sumber : Simulasi

23. Akan muncul tampilan window *Simulation Setup* menjadi seperti Gambar 31, lalu menekan OK untuk memulai proses simulasi. Agar perubahan grafik keluarannya terlihat detail, kolom pada semua *step* frekuensinya harus ditandai.



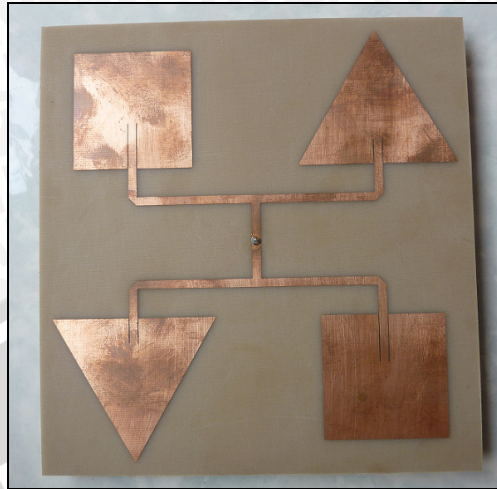
Gambar 31. Tampilan *Window Simulation Setup* Setelah Rentang Frekuensi Ditentukan
 Sumber : Simulasi

24. Langkah terakhir adalah menunggu hingga hasil simulasi bisa dilihat.

Tahap 2 Optimasi Antena Kotak-segitiga *Array 2x2*

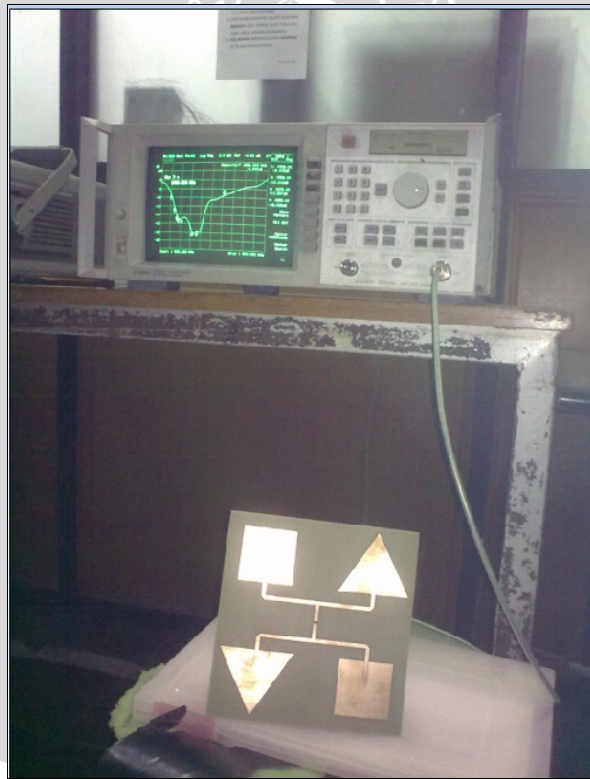
Dari hasil perencanaan awal di atas hasil kurang maksimal sehingga harus dioptimasi untuk mendapatkan hasil sesuai yang diinginkan pada frekuensi 1575 MHz. Optimasi dalam hal ini dilakukan secara manual dengan mengubah dimensi dari antena untuk menentukan frekuensi kerja yang tepat dan lebar saluran transmisi untuk menentukan *matching* yang terbaik dari antena ini.

2. DOKUMENTASI PENGUKURAN



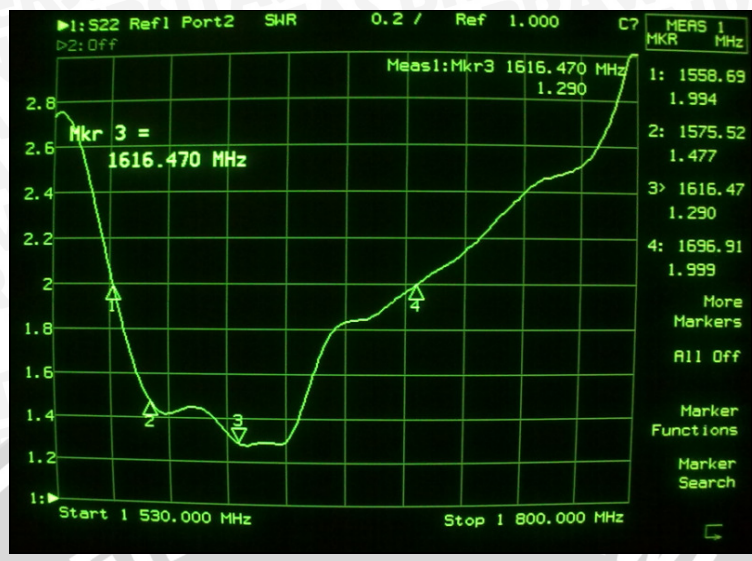
Gambar 32. Antena Mikrostrip Kotak-segitiga Array 2x2

Sumber : Fabrikasi



Gambar 33. Antena Mikrostrip Kotak-segitiga Array yang terhubung dengan Agilent RF Network Analyzer 8714ES 300KHz – 3GHz

Sumber : Pengukuran



Gambar 34. Hasil Pengukuran VSWR pada Rentang 1,53 – 1,8 GHz
 Sumber : Pengukuran



Gambar 35. Pengukuran gain, polarisasi, dan polaradiasi pada outdoor
 Sumber : Pengukuran