



UNIVERSITAS INDONESIA

ANTENA MIKROSTRIP SEGITIGA DENGAN SALURAN
PENCATU BERBENTUK GARPU YANG DIKOPEL SECARA
ELEKTROMAGNETIK

TESIS

SLAMET PURWO SANTOSA

640503049X

FAKULTAS TEKNIK
TEKNIK TELEKOMUNIKASI

DEPOK

DESEMBER 2008



UNIVERSITAS INDONESIA

ANTENA MIKROSTRIP SEGITIGA DENGAN SALURAN
PENCATU BERBENTUK GARPU YANG DIKOPEL SECARA
ELEKTROMAGNETIK

TESIS

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister
Teknik

Oleh

SLAMET PURWO SANTOSA

640503049X

FAKULTAS TEKNIK
TEKNIK ELEKTRO
TEKNIK TELEKOMUNIKASI
DEPOK
DESEMBER 2008

Universitas Indonesia

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Tesis ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Slamet Purwo Santosa
NPM : 640503049X
Tanda Tangan : 
Tanggal : 25 Desember 2008

HALAMAN PENGESAHAN

Tesis ini diajukan oleh

Nama : Slamet Purwo Santosa
NPM : 640503049X
Program Studi : Teknik Telekomunikasi
Judul Tesis : Antena Mikrostrip Segitiga dengan Saluran Pencatu Berbentuk Garpu yang Dikopel secara lektromagnetik

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Magister Teknik pada Program Studi Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Eko Tjipto Rahardjo, Msc ()
Penguji : Prof. Ir. Harry Sudiby, MSc, Ph.D ()
Penguji : Ir. Rochmah N Sukardi, MSc ()
Penguji : Fitri Yuli Zulkifli, ST, MSc ()

Handwritten signatures of the examiners and supervisor, including the name 'Yuli' and 'A'.

Ditetapkan di : Depok
Tanggal : 23 Desember 2008

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan tesis ini. Penulisan tesis ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Magister Teknik Jurusan Teknik Telekomunikasi pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan tesis ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan tesis ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

(1) Prof. Dr. Ir. Eko Tjipto Rahardjo, Msc, selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan tesis ini;

(2) Ayahanda H. Cholil dan Ibunda Hj. Sitti Solekha yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral “maafkan aku jika aku tidak bisa menjadi seperti yang kalian harapkan” dan adik-adikku

(3) Teman-temanku di ANTV dan sahabatku yang telah banyak membantu saya dalam menyelesaikan tesis ini.

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, 25 Desember 2008

Penulis

Universitas Indonesia

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TESIS UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Slamet Purwo Santosa
NPM : 640503049X
Program Studi : Teknik Telekomunikasi
Departemen : Teknik Elektro
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Tesis

demikian demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul :

Antena Mikrostrip Segitiga dengan Saluran Pencatu Berbentuk Garpu yang Dikopel secara Elektromagnetik

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 25 Desember 2008

Yang menyatakan



(SLAMET PURWO SANTOSA)

ABSTRAK

Nama : Slamet Purwo Santosa

Program Studi : Teknik telekomunikasi

Judul : ANTENA MIKROSTRIP SEGITIGA DENGAN
SALURANPENCATU BERBENTUK GARPU YANG DIKOPEL SECARA
ELEKTROMAGNETIK

Untuk mendukung sebuah sistem telekomunikasi tanpa kabel maka diperlukan sebuah antenna baik sebagai pengirim ataupun sebagai penerima. Antenna ini sebaiknya memiliki bentuk yang praktis, ringan, dan mudah dalam perencanaannya. Pada beberapa aplikasi dibutuhkan antenna yang memiliki *bandwidth* yang lebar. Pada tesis kali ini dirancang sebuah antenna mikrostrip segitiga yang dikopel secara elektromagnetik dengan saluran pencatu berbentuk garpu. Perencanaan antenna ini dapat digunakan sebagai antenna WLAN yang bekerja pada frekwensi 2,4 GHz. Antenna ini terdiri dari dua lapisan subtrat dimana lapisan yang pertama berfungsi sebagai elemen radiator dan alpisan kedua berfungsi sebagai lapisan pencatu yang berbentuk garpu yang dapat memberikan efek kopling yang kuat, dan diatara lapisan satu dan dua itu dibatasi oleh bahan dielektrik yang berfungsi untuk mengkopel saluran catu ke *patch* antenna. Hasil dari perencanaan antenna maka didapat sebuah antenna yang memiliki bandwidth sekitar 101.1MHz, nilai *returnloss* nya -39.906 dB dan nilai VSWRnya sebesar 1:1.9 dan gain 6dB, dari parameter-parameter diatas maka antenna ini dapat digunakan sebagai antenna WLAN.

.

Kata kunci:

antenna mikrostrip, subtrat, *patch*, saluran catu

ABSTRACT

Name : Slamet Purwo Santosa
Study Program : Telecommunication Engineering
Title : Triangular Microstrip Antenna with Transmission line Formed
fork that Coupled by Electromagneticly

To support the wireless telecommunication system it need a good antenna as sender or as receivers. The best antenna is has form practise, light, and easy in the planning. in the several of applications is wanted antenna that has wide bandwidth. In this tesis is designed a triangular microstrip antenna that coupled by electromagneticly with transmission line formed fork. This antenna planning has to serve the purpose of antenna Wlan in frequency 2,44 ghz. This antenna consists of two layers substrate where is first layer functioned as radiator element and the second layer functioned as layer transmission line, formed fork that can give strong coupling effect, and beetwen first layer and the second one that limited by dielectric material that functioned to couple transission linel to the patch. From this antenna planning it have got a antenna that has bandwidth around 101.1 MHz, returnloss -39.906 dB, VSWR as big as 1: 1.9 and gain about 6dB, from the parameters on these antenna will serve the purpose of antenna WLAN.

Key words:

microstrip antenna, substrate, patch, transmission line

DAFTAR ISI

	halaman
COVER DALAM	i
HALAMAN JUDUL.....	ii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINILITAS.....	iii
LEMBAR PENGESAHAN.....	iv
UCAPAN TERIMA KASIH	v
PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	vi
ABSTRAK	vii
<i>ABSTRACT</i>	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 LATAR BELAKANG.....	1
1.2 TUJUAN PENELITIAN.....	3
1.3 BATASAN MASALAH.....	3
1.4 RUMUSAN MASALAH.....	4
1.5 METODOLOGI PENELITIAN.....	4
1.6 SISTEMATIKA PENULISAN.....	5
BAB II ANTENA MIKROSTRIP SEGITIGA.....	6
2.1 ANTENA.....	6
2.2 ANTENA MIKROSTRIP.....	6
2.3 ANTENA MIKROSTRIP SEGITIGA.....	8
2.3.1 Elemen Peradiasi.....	11
2.4 ANTENA <i>PROXIMITY</i> COUPLING DICATU DENGAN SALURAN MIKROSTRIP.....	11
2.5 PENENTUAN UKURAN KOMPONEN ANTENA.....	14
2.5.1 Penentuan Ukuran Segitiga.....	14
2.5.2 Penentuan Saluran Catu Antena Mikrostrip.....	14
2.5.3 Karakteristik Saluran Catu Mikrostrip untuk $W/h \geq 2$	15
2.5.4 Karakteristik Saluran Mikrostrip (<i>Microstrip Line</i>) untuk $W/h \leq 1$	15
2.5.5 Menentukan Impedansi Matching.....	16
2.6 PARAMETER ANTENA MIKROSTRIP.....	16
2.6.1 Pola radiasi (<i>Radiation Patern</i>).....	17

2.6.1.1 Pola Radiasi Antena <i>Directional</i>	17
2.6.1.2 Pola Radiasi Antena Omnidirectional.....	17
2.6.2 Impedansi <i>Input</i>	18
2.6.3 VSWR.....	19
2.6.4 <i>Return Loss</i>	19
2.6.5 <i>Gain Antena</i>	19
2.6.6 Polarisasi.....	20
2.6.7 <i>Bandwidth</i>	21
2.7 RUGI-RUGI PADA SALURAN CATU.....	22
2.7.1 Rugi-rugi Dielektrik.....	22
2.7.2 Rugi-rugi Konduktor.....	22
2.7.3 Rugi-rugi Radiasi.....	23
BAB III PERANCANGAN ANTENA MIKROSTRIP SEGITIGA.....	24
3.1 PERANCANGAN ANTENA	24
3.2 PENENTUAN SUBSTRAT.....	24
3.2.1 Konstanta dielektrik.....	24
3.2.2 Rugi tangensial substrat.....	25
3.2.3 Konduktivitas penghantar.....	25
3.3 PERANGKAT YANG DIGUNAKAN.....	25
3.4 DIAGRAM ALIR PERENCANAAN ANTENA SEGITIGA.....	27
3.5 PERANCANGAN ANTENA MIKROSTRIP SEGITIGA YANG DIKOPLING SALURAN PENCATU BERBENTUK GARPU.	28
3.6 PERANCANGAN SALURAN CATU MIKROSTRIP.....	29
3.6.1 Panjang dan Lebar Saluran Catu.....	29
3.6.2 Perancangan Saluran Pencatu Berbentuk Garpu.....	32
3.7 PENENTUAN DIMENSI SEGITIGA.....	34
3.8 SKEMA AWAL BENTUK ANTENA MIKROSTRIP SEGITIGA.....	37
3.9 HASIL AKHIR PERANCANGAN ANTENA SEGITIGA.....	39

3.10 HASIL SIMULASI MENGGUNAKAN <i>MICROWAVE OFFICE</i> 2004.....	40
BAB IV ANALISA PENGUKURAN ANTENA HASIL PERANCANGAN.....	43
4.1 HASIL PENGUKURAN ANTENA.....	43
4.1.1 Pengukuran Port Tunggal.....	43
4.1.1.1 Return Loss.....	44
4.1.1.2 Impedansi Masukan.....	45
4.1.1.3 VSWR	46
4.1.2 Pengukuran pola radiasi.....	46
4.1.3 Pengukuran gain.....	49
4.2 ANALISIS HASIL SIMULASI DAN PENGUKURAN ANTENA.....	52
4.2.1 Analisa Hasil Simulasi dan Pengukuran Antena Port Tunggal.....	52
4.2.1.1 Return Loss.....	52
4.2.1.2 VSWR.....	53
4.2.1.3 Analisa Pola Radiasi.....	55
BAB V KESIMPULAN.....	57
DAFTAR ACUAN.....	58
LAMPIRAN 1 Grafik Pengukuran Port Tunggal.....	59
LAMPIRAN 2 Data Hasil Pengukuran Pola Radiasi.....	61
LAMPIRAN 3 Data Hasil Pengukuran Gain.....	63
LAMPIRAN 4 Data Pengukuran Return Loss dan VSWR.....	65
LAMPIRAN 5 Perubahan Komponen Antena Mikrostrip Segitiga yang Dikopling Pencatu Berbentuk Garpu.....	66

DAFTAR GAMBAR

	halaman
Gambar 2.1 <i>Microstrip Patch Antenna</i>	7
Gambar 2.2 Pola medan elemen peradiasi segitiga sama sisi.....	11
Gambar 2.3 <i>Proximity coupled feed</i>	12
Gambar 2.4 Teknik pendekatan catuan	13
Gambar 2.5 Rangkaian equivalen	13
Gambar 2.6 <i>Wilkinsons power divider</i>	17
Gambar 2.7 Macam-macam polarisasi	20
Gambar 3.1 Diagram alir pembuatan antena.....	27
Gambar 3.2 Menentukan lebar saluran catu menggunakan PCAAD 3.0.....	29
Gambar 3.3 Menentukan ukuran pencatu berbentuk garpu	33
Gambar 3.4 Menentukan lebar saluran catu berbentuk garpu PCAAD 3.0	33
Gambar 3.5 Ukuran segitiga sama sisi.....	36
Gambar 3.6 Skema awal antena segitiga hasil perhitungan.....	37
Gambar 3.7 Simulasi nilai Return Loss dan VSWR <i>Microwave Office</i> <i>2004</i>	37
Gambar 3.8 Antena segitiga dari hasil simulasi microwave office 2004.....	40
Gambar 3.9 Simulasi nilai return loss dan VSWR pada vantean segitiga hasil simulasi.....	41
Gambar 4.1 Konfigurasi pengukuran port tunggal.....	43
Gambar 4.2 Grafik Return Loss hasil pengukuran.....	44
Gambar 4.3 Grafik Zin hasil pengukuran.....	45
Gambar 4.4 Grafik VSWR hasil pengukuran.....	46
Gambar 4.5 Konfigurasi pengukuran pola radiasi.....	48
Gambar 4.6 Grafik perbandingan pola radiasi E-CO dan H-CO.....	48
Gambar 4.7 Konfigurasi pengukuran Gain antena	51
Gambar 4.8 Grafik hasil pengukuran Gain	51
Gambar 4.9 Perbandingan <i>return loss</i> simulasi dan pengukuran.....	52
Gambar 4.10 Grafik perbandingan VSWR simulasi dan pengukuran.....	53

Gambar 4.11	Grafik pola radiasi hasil simulasi medan E-CO.....	54
Gambar 4.12	Grafik perbandingan pola radiasi hasil pengukuran dan simulasi.....	56

DAFTAR TABEL

	halaman
Tabel 3.1 Ukuran komponen hasil perhitungan	36
Tabel 3.2 Ukuran komponen hasil simulsai	41
Tabel 4.1 Hasil pengukuran perancangan antenna	44
Tabel 4.2 Hasil simulasi dan pengukuran	53

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Antena mikrostrip saat ini banyak digunakan dalam berbagai aplikasi telekomunikasi. Hal ini dikarenakan antena ini memiliki beberapa keuntungan diantaranya: bentuknya yang praktis, ringan, mudah dalam perencanaan dan pabrikan. Dalam beberapa aplikasi sangatlah dibutuhkan antena dengan *bandwidth* yang lebar. Teknologi yang membutuhkan *bandwidth* yang lebar antara lain *Digital Communication System (DCS)*, *Universal Mobile Telecommunication System (UMTS)*, *Personal Communication System (PCS)*, W-LAN, BWA 5.2 dan BWA 5.8, dan WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*).

Untuk masing-masing teknologi diatas memiliki standar operasi yang berbeda-beda, sesuai dengan izin dan lisensi yang didapat dari pengatur izin frekuensi pemerintah. Untuk pengelolaan frekuensi ini diatur dalam *white paper* “*Penataan Frekuensi Radio Layanan Akses Pita Lebar Berbasis Nirkabel*” november 2006 [1]. Dalam *white paper* ini pemerintah mengatur pengalokasian frekuensi untuk layanan akses pita lebar berbasis nirkabel. DCS berlaku pada pita frekuensi (1710-1885 MHz), PCS pada pita frekuensi (1907.5–1912.5 MHz), UMTS pada pita frekuensi (1920-2170MHz), WLAN 2.4 GHz pada pita frekuensi (2400-2483.5 MHz), BWA 5,2 pada pita frekuensi (5150-5350MHz), dan BWA 5,8 pada pita frekuensi (5725-5825MHz). Untuk Alokasi frekuensi WiMAX sendiri sudah diterapkan di beberapa negara adalah pada frekuensi 2,3 GHz, 2,5GHz, 3,3GHz, 3,5GHz, dan 5,8GHz, bahkan sekarang ini sedang ingin ditambahkan alokasi frekuensi untuk WiMAX pada frekuensi 700 MHz.

Alokasi frekuensi kerja WLAN yang digunakan pada perancangan antena ini adalah pada frekuensi 2.4 GHz (2400 MHz – 2483.5 MHz). Alasan mengapa dipilihnya frekuensi ini karena frekuensi 2,4 GHz (2400–2483.5MHz) merupakan standar Standar industri 802.11 dan variasi revisi-revisinya adalah bagian dari Wireless LAN. 802.11. WLAN biasa disebut juga sebagai WiFi (*Wireless Fidelity*). Termasuk di dalam standar ini versi-versi 802.11a, 802.11b, dan

802.11g. Variasi dan perbedaan dari standar-standar tersebut ada pada pita frekuensi dan pada data *transmission rate* [2].

- 802.11a adalah versi kecepatan tinggi dari standar 802.11, dikembangkan untuk dapat beroperasi pada spektrum 5,7 Ghz dan memiliki kecepatan transmisi data sampai dengan 54 Mbps. Sistem ini mampu menyediakan 8 kanal lebar 25 MHz tanpa saling tumpang tindih dan mampu melayani sampai dengan 64 pengguna pada setiap *access point*nya.
- 802.11b beroperasi pada pita frekuensi 2,4 Ghz dan memiliki kecepatan transfer data sampai dengan 11 Mbps. 802.11b menyediakan 3 kanal yang tidak saling tumpang tindih, dan mampu melayani sampai dengan 32 pengguna setiap *access point* nya.
- 802.11g adalah standar yang beroperasi pada pita 2.4 GHz yang mampu melayani kecepatan data sampai dengan 54 Mbps. 802.11g memiliki kompatibilitas dengan 802.11b. sama dengan 802.11b, 802.11g menyediakan 3 kanal yang tidak saling tumpang tindih.

Dalam perancangan antenna disini hanya membahas antenna WLAN kelas 802.11 b dan g, latar belakang penggunaan band frekuensi 2.4 GHZ sebagai alokasi pita frekuensi WLAN adalah :

- Frekuensi 2.4 GHZ memiliki lebar *bandwidth* 83 MHz, cenderung terlihat lebar.
- Banyak Negara "*license exempt*" (mem- bebas - lisensi -kan) band ini. Isi lisensi itu antara lain minimalisasi regulasi di-band ini dan *access is free* pada band ini
- Cocok atau sesuai untuk *density fixed* dan *mobile system*

Untuk mendukung perkembangan terkini dari komunikasi *wireless* seringkali membutuhkan suatu karakteristik antenna yang mempunyai ukuran kecil, ringan, biaya rendah, proses fabrikasi yang mudah, dan *conformal* (dapat menyesuaikan dengan tempat dimana antenna tersebut diletakkan). Antena mikrostrip merupakan salah satu jenis antenna dengan karakteristik yang tepat untuk memenuhi kebutuhan antenna tersebut.

Akan tetapi jenis antena ini memiliki beberapa kelemahan, diantaranya : *gain* rendah, keterarahan yang kurang baik, efisiensi rendah, rugi-rugi hambatan pada saluran pencatu, eksitasi gelombang permukaan dan *bandwidth* rendah.

Salah satu teknik yang digunakan untuk meningkatkan *bandwidth* adalah dengan teknik pengkopelan [3]. Teknik yang digunakan disini adalah *proximity coupling* yang terdiri dari dua lapisan substrat, dimana lapisan pertama sebagai peradiator dan lapisan yang kedua berfungsi sebagai saluran catu, dimana gelombang elektromagnetik akan teradiasi dari efek kopling dari kedua elemen.

Efek kopling itu dikendalikan oleh lebar *patch* dan sisipan dari saluran mikrostrip pada bagian bawah dari tepi *patch*. Peningkatan dari efek kopling dengan mengandalkan lebar *patch* sangatlah terbatas sehingga kita dapat memodifikasi teknik saluran pencatunya untuk meningkatkan *bandwidth*. Dengan menggunakan saluran garpu sebagai pencatunya, maka *bandwidth* diharapkan dapat meningkat dibandingkan dengan pencatu yang berbentuk lurus.

1.2 TUJUAN PENELITIAN

Tujuan penulisan Tesis ini adalah merancang dan memfabrikasi antena mikrostrip segitiga yang dikopling saluran pencatu berbentuk garpu yang bekerja pada frekuensi 2,4 GHz, dengan *bandwidth* yang relative besar hampir 100MHz dan memiliki bentuk yang sederhana.

1.3 BATASAN MASALAH

Beberapa pembatasan masalah dalam penyusunan Tesis ini adalah :

1. Antena segitiga dikopling saluran pencatu yang berbentuk garpu.
2. Perangkat lunak yang digunakan dalam simulasi adalah MWO 2004 (Microwave Office 2004).
3. Substrat dielektrik yang digunakan adalah FR4 dengan $\epsilon_r = 4.4$ dan ketebalan substrat 1,6 mm dan loss tangen 0.002.

1.4 RUMUSAN MASALAH

Masalah yang akan diteliti dalam Tesis ini yaitu bagaimana caranya merancang suatu antenna mikrostrip segitiga yang dikopling saluran pencatu bernetuk garpu :

1. Metode pendekatan untuk permodelan antenna mikrostrip segitiga yang dikopling saluran pencatu bernetuk garpu.
2. Penentuan panjang dan lebar pencatu transformator $\lambda/4$ untuk penyesuaian impedansi antenna.
3. Analisis hasil simulasi perancangan antenna.
4. Pengukuran parameter-parameter yang dibuat.
5. menganalisa parameter-parameter antenna hasil pengukuran.

1.5 METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi penyusunan Tesis ini adalah sebagai berikut :

1. Studi Literatur
Teori-teori penunjang yang digunakan untuk menyusun tesis ini
2. Simulasi dan Perancangan
Proses perancangan dan simulasi antenna menggunakan perangkat lunak MWO (*Microwave Office*) 2004 untuk memudahkan dalam proses perhitungan.
3. Fabrikasi
Proses pabriksi dilakukan dengan *etching* secara manual sesuai dengan ukuran hasil simulasi.
4. Pengukuran
Proses pengukuran dilakukan dengan menggunakan alat *network analyzer*, *power sensor*, dan *power meter* pada ruang *anechoic chamber* (ruang anti gema) di lab telkom UI. untuk pengukuran *return loss* / VSWR, impedansi masukan, pola radiasi, dan gain.

5. Analisis

Analisis dilakukan setelah proses perancangan, realisasi, dan pengukuran dilakukan. Analisis dilakukan untuk membandingkan hasil pengukuran dengan teori dan hasil simulasi.

1.6 SISTEMATIKA PENULISAN

Sistematika penulisan ini terdiri dari 5 bab yaitu :

- | | |
|---------|---|
| Bab I | Pendahuluan |
| | Latar belakang, tujuan penulisan, batasan masalah, metodologi penulisan, sistematika penulisan. |
| Bab II | Antena mikrostrip |
| | Bagian landasan teori ini terdiri dari teori-teori dasar yang menunjang penelitian yaitu mengenai antena mikrostrip segi tiga, elemen peradiasi pada antena mikrostrip segitiga dan parameter-parameter pada antena mikrostrip. |
| Bab III | Metodologi perancangan dan penelitian antena |
| | Bagian ini memberikan penjelasan mengenai perlengkapan yang dibutuhkan merancangan antena, substrat yang digunakan, penentuan dimensi antena dan serta <i>flowchart</i> dari antena yang akan dirancang. |
| Bab IV | Perancangan antena |
| | Bagian ini membahas dan menganalisis hasil pengukuran antena yang telah difabrikasi. |
| Bab V | Kesimpulan |
| | Merupakan kesimpulan dari isi tesis ini antena yang didapat dari hasil simulasi dan hasil dari pengukuran. |

BAB 2 ANTENA MIKROSTRIP SEGITIGA

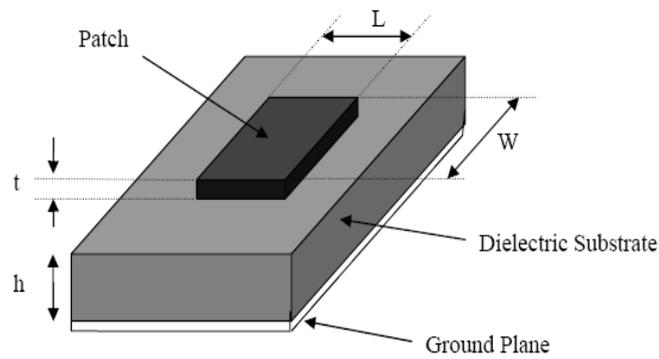
2.1 ANTENA

Dilihat dari sumber latar belakang sejarah telekomunikasi listrik berupa komunikasi nirkabel, berhasil ditemukan pertama kali oleh **Heindrich Rudolph Hertz**, beliau berhasil mendemonstrasikan sistem gelombang Elektromagnetik (EM) pertama kali pada tahun 1886 dengan menggunakan dipole $\lambda/2$.

Antena (*antenna* atau *areal*) didefinisikan sebagai suatu struktur yang berfungsi sebagai pelepas energi gelombang elektromagnetik di udara dan juga bisa sebagai penerima/penangkap energi gelombang elektromagnetik diudara. Karena merupakan perangkat perantara antara saluran transmisi dan udara, maka antena harus mempunyai sifat yang sesuai (*match*) dengan saluran pencatunya.

2.2 ANTENA MIKROSTRIP

Format dasar dari sebuah *microstrip patch antenna* (MPA) adalah radiasi *patch* pada satu sisinya dari suatu *substrate* yang dielektrum dan meradiasi *ground plane* pada satu sisi lainnya, seperti ditunjukkan pada gambar 2.1, *patch* secara umum dibuat dari bahan konduksi seperti tembaga atau emas dan dapat dibentuk sesuai dengan kebutuhan.



Gambar 2.1 *Microstrip patch antenna*

Microstrip Patch Antenna (MPA) saat ini sedang berkembang dan banyak digunakan dalam berbagai aplikasi komunikasi nirkabel dalam kaitannya dengan struktur yang *lowprofile*. Oleh karena itu MPA ini dapat diaplikasikan pada alat seperti : ponsel, pager, telemetri dan antena komunikasi pada peluru kendali dan yang lebih menarik MPA ini digunakan pada sistem satelit komunikasi [4].

Keuntungan menggunakan antena ini:

- volume yang rendah
- konfigurasi planar yang *lowprofile* yang mudah dibuat sesuai dengan kebutuhan.
- Biaya produksi yang rendah jika ingin di produksi secara massal
- Mendukung untuk polarisasi
- Dapat dengan mudah diintegrasikan dengan *microwave integrated sirkuit*.
- Mampu digunakan pada beberapa frekuensi kerja.

Kerugian menggunakan antena ini :

- *narrow bandwidth*
- efisiensi yang rendah
- *gain* yang rendah
- daya yang kecil

2.3 ANTENA MIKROSTRIP SEGITIGA

Dari bermacam-macam bentuk dasar geometri antena mikrostrip, ternyata *patch* antena segitiga sama sisi ini masih jarang dijadikan objek, padahal antena ini memiliki beberapa kelebihan jika dibandingkan dengan antena bentuk yang lain yaitu mampu menghasilkan performa yang serupa dengan bentuk dasar yang lain, memiliki luas *patch* yang lebih kecil, sehingga masih banyak kemungkinan untuk mengeksplorasi antena ini.

Formula yang digunakan untuk menghitung frekuensi resonansi berdasarkan model *cavity*. Metode resonator rongga (*cavity method*) merupakan metode dimana memodelkan antena sebagai resonator rongga. Resonator rongga tersusun atas dua buah dinding elektrik yaitu konduktor pada bagian atas dan bawah antena yang direpresentasikan sebagai *conducting patch* dan *ground plane*, dan sebuah dinding konduktor magnetik silindris di sekitar area sirkular dari resonator rongga. Substrat dielektrik diasumsikan terhubung diantara dua buah konduktor. Untuk sebuah resonator segitiga samasisi dapat diperoleh dengan persamaan sebagai berikut [4]:

$$f = \frac{ck_{mn}}{2\pi\sqrt{\epsilon_r}} = \frac{2c}{3a\sqrt{\epsilon_r}}(m^2 - mn - n^2)^{-0.5} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana

- C : kecepatan cahaya
- ϵ_r : konstanta dielektrik
- a : panjang sisi segitiga sama sisi

SubSkrip mn ini mengacu pada mode TM_{mn} sehingga mode TMnya adalah TM_{10} maka frekuensi resonansi untuk antenna ini menjadi :

$$f_{10} = \frac{2c}{3a\sqrt{\epsilon_r}} \dots\dots\dots(2.2)$$

Fenomena efek tepi dari suatu antenna mikrostrip dimana elemen peradiasi seolah-olah menjadi lebih lebar dibandingkan dengan aslinya, sehingga menyebabkan ukuran panjang segitiga sama sisi dengan rumus diatas tidak sepenuhnya benar. Hal ini dapat diatasi dengan menggunakan persamaan yang didapat oleh Helszein dan james :

$$a_{\text{eff}} = a + h (\epsilon_r)^{-0.5} \dots\dots\dots(2.3)$$

dimana a_{eff} adalah sisi efektif dari suatu antenna segitiga setelah dikurangi untuk mengkompensasi pengaruh efek tepi ini.

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa metode yang digunakan untuk menganalisa antenna mikrostrip ini adalah *model cavity*. Dimana *patch* peradiasi dan bidang pentanahan dipisahkan dengan bahan dielektrik yang memiliki konstanta dielektrik $\epsilon = \epsilon_r \epsilon_0$. Dan untuk nilai $h \ll \lambda_0$, medan listriknya dianggap homogen sepanjang sumbu z sehingga mode ini sama dengan

mode TM. Untuk mode TM_{mn}, distribusi medan listrik dan magnet pada elemen peradiasi berbentuk segitiga yang sama sisi.

$$E_z = A_{m,n,l} T(x, y)_{m,n,l} \dots \dots \dots (2.4)$$

$$H_x = \frac{j}{\omega\mu} \frac{\partial E_z}{\partial y} \dots \dots \dots (2.5)$$

$$H_y = \frac{-j}{\omega\mu} \frac{\partial E_z}{\partial x} \dots \dots \dots (2.6)$$

$$H_z = H_x = H_y = 0 \dots \dots \dots (2.7)$$

Dengan T(x,y) merupakan Fungsi Eigen

$$\begin{aligned} T(x, y)_{m,n,l} = & \cos \left[\left(\frac{2\pi x}{a\sqrt{3}} + \frac{2\pi}{3} \right) l \right] \cos \left[\frac{2\pi(m-n)y}{3a} \right] + \cos \left[\left(\frac{2\pi x}{a\sqrt{3}} \right) m \right] \cos \left[\frac{2\pi(n-l)y}{3a} \right] + \\ & \cos \left[\left(\frac{2\pi x}{a\sqrt{3}} + \frac{2\pi}{3} \right) n \right] \cos \left[\frac{2\pi(l-m)y}{3a} \right] \dots \dots \dots (2.8) \end{aligned}$$

Dimana

a : panjang sisi segitiga

m,n,l : notasi mode

Sebagai mode TM₁₀, persamaan medan dekatnya menjadi :

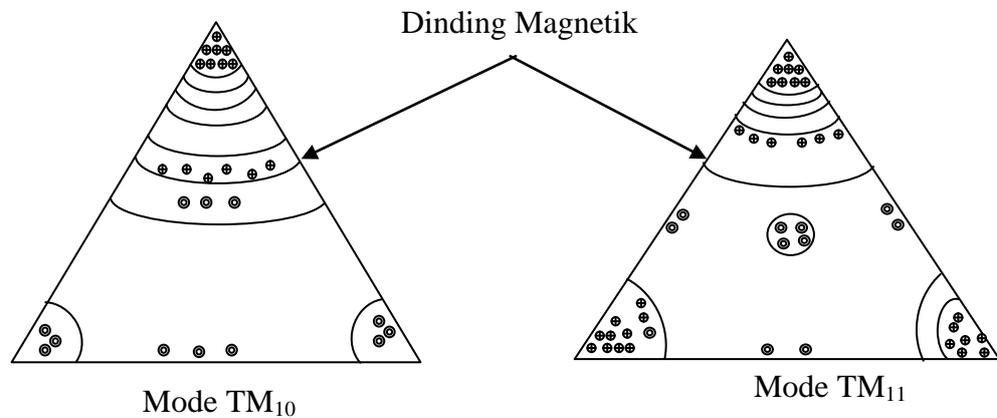
$$E_z = A_{1,0-1} \left[2 \cos \left(\frac{2\pi x}{a\sqrt{3}} + \frac{2\pi}{3} \right) \cos \frac{2\pi y}{3a} + \cos \frac{4\pi y}{3a} \right] \dots \dots \dots (2.9)$$

$$H_x = -jA_{1,0-1} \xi_0 \left[2 \cos \left(\frac{2\pi x}{a\sqrt{3}} + \frac{2\pi}{3} \right) \cos \frac{2\pi y}{3a} + \cos \frac{4\pi y}{3a} \right] \dots \dots \dots (2.10)$$

$$H_y = -j\sqrt{3}A_{1,0-1} \xi_0 \left[2 \cos \left(\frac{2\pi x}{a\sqrt{3}} + \frac{2\pi}{3} \right) \cos \frac{2\pi y}{3a} \right] \dots \dots \dots (2.11)$$

Dengan $\xi_0 = \frac{1}{120\pi}$ (mhos)

Untuk memperjelas bentuk pola TM₁₀ dan TM₁₁ dapat dilihat pada gambar 2.2 dibawah ini



Gambar 2.2 Pola medan elemen peradiasi segitiga sama sisi

2.3.1 Elemen Peradiasi

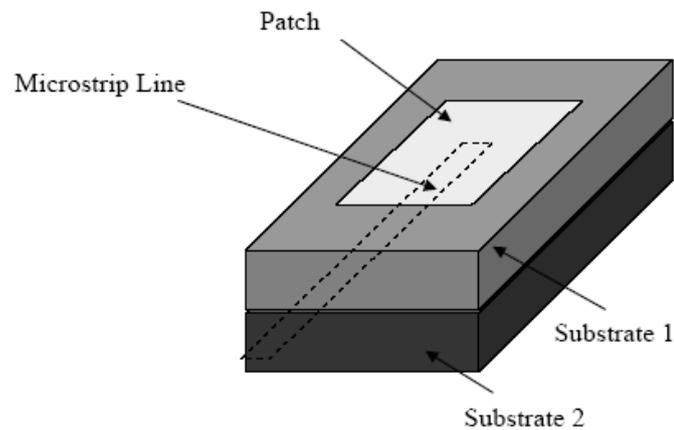
Dalam mendisain suatu antenna mikrostrip, langkah-langkahnya adalah menentukan frekuensi operasi sehingga dapat diperoleh ukuran dari elemen peradiasinya. Ukuran elemen peradiasi ini dipengaruhi oleh konstanta relatif dari *substrate*.

2.4 ANTENA *PROXYMITY COUPLING* DICATU DENGAN SALURAN MIKROSTRIP

Dapat dilakukan dengan cara menyatukan beberapa antenna/beberapa elemen antenna dengan harapan mendapatkan fekuensi kerja yang lebih lebar [4]. Antena tunggal dengan mendesaian sedemikian hingga mendapatkan frekuensi kerja yang lebih lebar.

Tipe *feed* ini juga disebut sebagai skema kopleng elektromagnetik. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.3 dimana dua dielektrik *substrate* digunakan seperti pada *feed line* diantara dua *substrate* dan *patch* peradiasi diatas *substrate*.

Keuntungan dari teknik *feed* ini adalah mengeliminasi radiasi *spurious feed* dan memberikan *bandwidth* yang besar. Skema ini juga memberikan dua pilihan antara dua media dielektrik yang berbeda, satu untuk *patch* dan satu lagi untuk *feed line* guna meningkatkan performa individu.



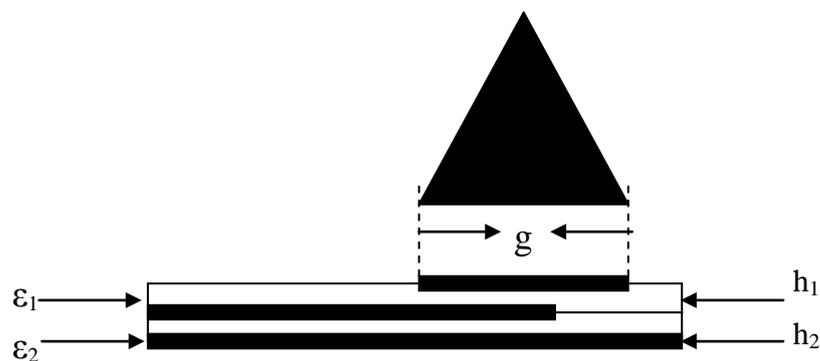
Gambar 2.3 *Proximity coupled feed*

Matching dapat dicapai dengan mengendalikan panjang *feed line* dan rasio lebar dan panjang dari *patch*. Kerugian utama dari skema ini adalah sukar di pabrikan karena dua dielektrik layer dimana membutuhkan penyesuaian. Juga akan menambah ketebalan antenna itu sendiri.

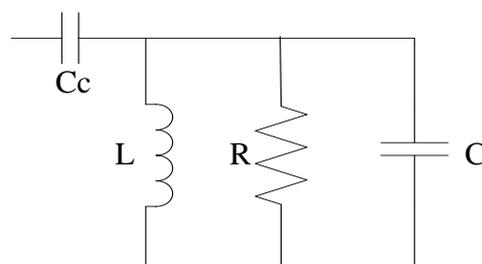
Ketika menggunakan saluran Mikrostrip pencatu saluran berada pada permukaan yang sama dengan *patch* dan langsung terhubung ke pinggir *patch*. Hal ini memberikan efek kopling yang rendah, sedangkan apabila saluran itu lebih rendah dari *patch* akan memberikan efek kopling yang kuat. Pada gambar 2.4 memperlihatkan pendekatan teknik pencatutan tersebut. Dalam antenna ini digunakan dua *substrate* dimana lapisan pertama terdapat *patch* segitiga dengan bagian *grounding* yang dihilangkan dan pada lapisan yang kedua digunakan sebagai saluran pencatu. Saluran itu yang berada dibawah membentuk rangkaian terbuka, dengan jarak (D) dari pinggir *patch* kepinggir saluran itu yang tumpang tindih, dimana ujung dari rangkaian terbuka memberikan mekanisme kopling utama terhadap antenna.

Mekanisme kopling ini didominasi secara kapasitif pada gambar 2.5 memperlihatkan rangkaian *equivalent* dimana rangkaian RLC mewakili *patch* dan C_c kopling dari saluran transmisi ke lempengan antenna. Posisi saluran transmisi berada dibawah lapisan antenna dan berhimpitan (*over lap*) mulai dari pinggir lempengan sejauh g menuju ujung saluran terbuka (*open circuit*). Medan pinggir yang terbentuk dari sirkit ujung terbuka yang akan menghasilkan suatu mekanisme kopling utama pada antenna ini dan hal ini disebut efek pengkopelan secara elektromagnetik.

Efek kopling dikendalikan oleh dua faktor utama yaitu : jarak penyisipan saluran (s) dan lebar *patch*. Kopling meningkat dengan penyisipan saluran yang mencapai $s=L/2$. Dimana kopling simetris terhadap pusat *patch* dan penurunan lebar *patch* ini akan menaikkan kopling. Dan dengan menambah cabang dua pada ujung saluran catu akan menambah efek kopling dan akan menghasilkan *bandwidth* yang lebih lebar.



Gambar 2.4 Teknik pendekatan catuan



Gambar 2.5 Rangkaian equivalent

2.5 PENENTUAN UKURAN KOMPONEN ANTENA

2.5.1 Penentuan Ukuran segitiga

Untuk menentukan dimensi antenna segitiga dapat digunakan persamaan dibawah ini:

$$f_{10} = \frac{2c}{3a\sqrt{\epsilon_r}} \dots\dots\dots(2.12)$$

$$a = \frac{2c}{3f_{10}\sqrt{\epsilon_r}} \dots\dots\dots(2.13)$$

Panjang sisi segitiga ini harus dikurangi lagi karena terdapat efek tepi dari elemen peradiasi, yang akan menyebabkan elemen peradiasi akan bertambah lebar. Sehingga panjang sisi segitiga efektif dapat dihitung dengan persamaan

$$a_{eff} = a + h(\epsilon_r)^{-0.5} (mm) \dots\dots\dots(2.14)$$

Dimana a_{eff} merupakan panjang efektif segitiga (mm)

Dalam disain ini subtract yang digunakan memiliki nilai-nilai sebagai berikut ϵ_r : 4.4, tang δ : 0.02, h : 1.6 mm dengan f_{10} : 2.44 GHz.

2.5.2 Penentuan Saluran Catu Antena Mikrostrip Untuk $W/h \leq 2$

Lebar saluran mikrostrip (W) tergantung dari impedansi karakteristik (Z_0) yang diinginkan. Adapun rumus untuk menghitung lebar saluran mikrostrip diberikan oleh persamaan di 2.15 di bawah ini.

$$\frac{W}{h} = \frac{8e^A}{e^{2A} - 2} \dots\dots\dots(2.15)$$

2.5.3 Penentuan Saluran Catu Antena Mikrostrip Untuk $W/h \geq 2$

Lebar saluran mikrostrip (W) tergantung dari impedansi karakteristik (Z_0) yang diinginkan. Adapun rumus untuk menghitung lebar saluran mikrostrip diberikan oleh persamaan di 2.15 di bawah ini. [5]

$$W = \frac{2h}{\pi} \left\{ B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} \left[\ln(B - 1) + 0,39 - \frac{0,61}{\epsilon_r} \right] \right\} \dots (2.16)$$

Jadi

$$\frac{W}{h} = \frac{2}{\pi} \left\{ B - 1 - \ln(2B) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} \left[\ln(B - 1) + 0,39 - \frac{0,61}{\epsilon_r} \right] \right\} \dots (2.17)$$

Dengan ϵ_r adalah konstanta dielektrik relatif dan :

$$A = \frac{Z_0}{60} \left\{ \frac{\epsilon_r + 1}{2} \right\}^{1/2} + \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1} \left\{ 0,23 + \frac{0,11}{\epsilon_r} \right\} \dots (2.18)$$

$$B = \frac{60\pi^2}{Z_0\sqrt{\epsilon_r}} \dots (2.19)$$

2.5.3 Karakteristik Saluran Mikrostrip (*Microstrip Line*) untuk $W/h \leq 1$

Konstanta dielektrik efektif (ϵ_{eff})

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[\frac{1}{\sqrt{1 + 12h/W}} + 0,04 \left(1 - \frac{W}{h} \right)^2 \right] \dots (2.20)$$

Dan karakteristik impedansi

$$Z_0 = \frac{60}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \ln \left(\frac{8h}{W} + \frac{W}{4h} \right) \dots (2.21)$$

2.5.4 Karakteristik Saluran Mikrostrip (*Microstrip Line*) untuk $W/h \geq 1$

Konstanta dielektrik efektif (ϵ_{eff}) adalah konstanta dielektrik efektif dari saluran mikrostrip. Ukuran konstanta ini bergantung pada ketebalan substrat dan lebar konduktor. Konstanta dielektrik pada mikrostrip ini dapat dicari dengan menggunakan persamaan 2.20 dibawah ini

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[\frac{1}{\sqrt{1 + 12h/W}} \right] \dots\dots\dots(2.22)$$

Dan karakteristik impedansi

$$Z_0 = \frac{120\pi / \sqrt{\epsilon_{eff}}}{W/h + 1,393 + 2/3 \ln(W/h + 1,44)} \dots\dots\dots (2.23)$$

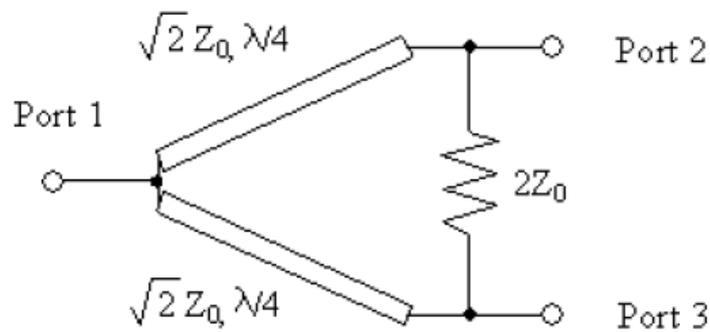
2.5.5 Menentukan Impedansi *Matching*

Untuk menentukan ukuran dari saluran pencatu, perancangan disini mengacu pada Wilkinson power divider [5]. Dimana *power divider* ini ditemukan oleh Ernest Wilkinson, beliau meneliti tentang sinyal yang dibelah sekitar tahun 1960. *Power divider* ini membelah sinyal masukan menjadi dua sinyal gelombang atau sebaliknya yaitu menggabungkan dua sinyal yang sama menjadi satu.

Gambar2.6 dari *power divider* yang paling sederhana ditunjukkan seperti gambar dibawah ini, dimana sebuah *port* dibelah menjadi dua, dengan transformasi $\frac{1}{4} \lambda$

dengan impedansi $\sqrt{2}Z_0$. Transformator $\frac{1}{4} \lambda$ adalah suatu teknik *impedance matching* dengan cara memberikan saluran transmisi dengan impedansi Z_T di antara dua saluran transmisi yang tidak *match*. Panjang saluran transmisi transformator $\lambda/4$ ini adalah sebesar $l = \frac{1}{4} \lambda_g$, dimana $\lambda_g = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_{eff}}}$ dimana λ_0

adalah panjang gelombang pada ruang bebas. Metode pencatuan secara langsung sulit untuk mencapai kondisi *matching*. Oleh karena itu dibutuhkan suatu cara untuk mendapatkan kondisi yang *matching*, yaitu dengan cara menambahkan transformator $\lambda/4$, pemberian *single stub*, dan *double stub*



Sumber: [6] Wilkinson power divider

2.6 PARAMETER ANTENA MIKROSTRIP

Performa dari suatu antena dapat diukur dari beberapa parameter dibawah ini [6]:

2.6.1 Pola radiasi (*Radiation Pattern*)

Pola radiasi (*radiation pattern*) merupakan salah satu parameter penting dari suatu antena. Parameter ini sering ditemui dalam spesifikasi suatu antena, sehingga pembaca dapat membayangkan bentuk pancaran yang dihasilkan oleh antena tersebut.

2.6.1.1 Pola Radiasi Antena *Directional*

Antena *Directional* biasanya digunakan oleh *client*, dikarenakan antena ini mempunyai pola radiasi yang terarah dan dapat menjangkau jarak yang relatif jauh daripada antena lainnya.

2.6.1.2 Pola Radiasi Antena *Omnidirectional*

Antena *Omnidirectional* pada umumnya mempunyai pola radiasi 360° apabila pola radiasinya dilihat pada bidang medan magnet (H).

2.6.2 Impedansi input

Impedansi *input* antenna adalah impedansi antenna di terminal catu (*feeder*)nya disebabkan perbandingan antara tegangan (V) dan arus (I) di terminal *input* atau catu (*feeder*).

$$Z_{in} = \frac{V}{I} \dots\dots\dots(2.24)$$

Dimana: Z_{in} : Impedansi *input* (Ω)

V : Tegangan terminal *input* (Volt)

I : Arus terminal *input* (A)

2.6.3 VSWR

Standing Wave Ratio (VSWR) adalah kemampuan suatu antenna untuk bekerja pada frekuensi yang di inginkan. Pengukuran VSWR berhubungan dengan pengukuran koefisien refleksi dari antenna tersebut. Perbandingan level tegangan yang kembali ke pemancar (V-) dan yang datang menuju beban (V+) ke sumbernya sering disebut koefisien pantul atau koefisien refleksi yang dinyatakan dengan simbol “ Γ ”.

$$\Gamma = \frac{V_-}{V_+} \dots\dots\dots(2.25)$$

Hubungan antara koefisien refleksi, impedansi karakteristik saluran (Z_0) dan impedansi beban/antenna (Z_1) dapat ditulis:

$$\Gamma = \frac{Z_1 - Z_0}{Z_1 + Z_0} \dots\dots\dots(2.26)$$

Harga koefisien refleksi ini dapat bervariasi antara 0 (tanpa pantulan/*match*) sampai 1, yang berarti sinyal yang datang ke beban seluruhnya dipantulkan kembali ke sumbernya semula. Maka untuk pengukuran VSWR.

$$VSWR = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \dots\dots\dots(2.27)$$

Besar nilai VSWR yang ideal adalah 1, yang berarti semua daya yang diradiasikan antena pemancar diterima oleh antena penerima (*match*). Semakin besar nilai VSWR menunjukkan daya yang dipantulkan juga semakin besar dan semakin tidak *match*.

2.6.4 Return Loss

Return loss adalah parameter dimana mengindikasikan jumlah *power* yang hilang pada saat pembebanan dan tidak kembali sebagai refleksi. Seperti yang dijelaskan pada bagian depan, gelombang mendahului pantulan terhadap formasi gelombang berdiri, ketika transmitter dan impedansi tidak *matching*. *Return loss* adalah sebuah parameter yang sama dengan VSWR untuk mengidentifikasi bagaimana keadaan *matching* antara *transmitter* dan antena. Return loss seperti yang diberikan :

$$RL = -20 \log_{10} |\Gamma| \quad (dB) \dots\dots\dots(2.28)$$

2.6.5 Gain antena

Gain antena (G_t) dapat dihitung dengan menggunakan antena lain sebagai antena yang standard atau sudah memiliki gain yang standard (G_s). Dimana

membandingkan daya yang diterima antara antenna standar (P_s) dan antenna yang akan diukur (P_t) dari antenna pemancar yang sama dan dengan daya yang sama.

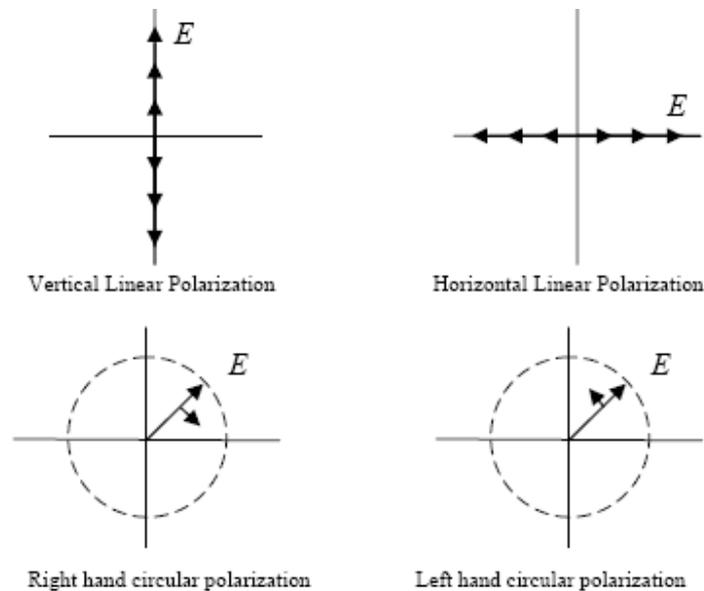
$$G_t = \frac{P_t}{P_s} \times G_s \dots \dots \dots (2.29)$$

Jika dirubah dalam satuan desibel maka menjadi,

$$G_t(dB) = P_t(dBm) - P_s(dBm) + G_s \dots \dots \dots (2.30)$$

2.6.6 Polarisasi

Polarisasi adalah radiasi gelombang yang didefinisikan sebagai sifat dari gelombang elektromagnetik yang menjelaskan arah dan amplitudo vektor kuat medan listrik sebagai fungsi waktu. Polarisasi gelombang elektromagnetik sama dengan kurva yang diikuti ujung vektor kuat medan E pada suatu titik sebagai fungsi waktu dan dilihat dari arah rambatan gelombang.



Gambar 2.7 Macam-macam polarisasi

2.6.7 Bandwidth

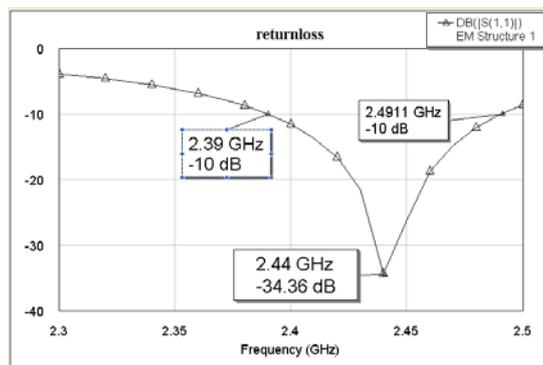
Bandwidth antenna didefinisikan sebagai batas frekuensi kerja yang digunakan pada sebuah antenna dengan aturan beberapa karakteristik yang disesuaikan. Bandwidth dapat sebagai batas dari frekuensi pada sisi yang lain dari frekuensi tengah dimana karakteristik antenna seperti impedansi input, pola radiasi, *beamwidth*, polarisasi, *side lobe level* atau gain semua tertutup untuk nilainya yang mana diperoleh pada frekuensi tengah seperti yang ditulis pada persamaan dibawah ini:

$$BW_{broadband} = \frac{f_H}{f_L} \dots\dots\dots(2.31)$$

$$BW_{narrowband} (\%) = \left[\frac{f_H - f_L}{f_c} \right] 100\% \dots\dots\dots(2.32)$$

Antena itu dikatakan *broadband* jika $\frac{f_H}{f_L} = 2$. Satu metode yang menganggap

sebuah antenna efisien yang beroperasi melalui batas frekuensi adalah dengan mengukur VSWR. Nilai $VSWR \leq 2$ ($RL \leq -10$ dB) ilai-nilai ini merupakan sebuah performa yang bagus dari sebuah antenna.



Gambar 2.8 Pengukuran *bandwidth* dari plot *return loss*.

2.7 RUGI-RUGI PADA SALURAN CATU

Dalam saluran Mikrostrip terdapat rugi-rugi utama, yaitu[7] :

2.7.1 Rugi-rugi Dielektrik

Besarnya rugi-rugi dielektrik ini dinyatakan dengan persamaan:

$$\alpha_d = 0.273 \left(\frac{\epsilon_r + 1}{\epsilon_r - 1} \right) \left(\frac{\epsilon_r}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \right) \frac{f \tan \delta}{c} (dB/cm) \dots \dots \dots (2.33)$$

Dimana $\tan \delta$: rugi2 elemen
 f : frekuensi kerja
 C : kecepatan cahaya 3.10^8 m/det

2.7.2 Rugi-rugi konduktor

Rugi-rugi dielektrik mempunyai nilai rendah pada saluran mikrostrip, maka sumber rugi-rugi yang utama berasal dari ketidak sempurnaan dari konduktor yang ada, besarnya rugi-rugi konduktor sesuai dengan persamaan :

$$\alpha_c = \frac{8686}{WZ_0} R_s (dB/cm) \dots \dots \dots (2.34)$$

Dimana R_s : Resistansi permukaan $\sqrt{\frac{\pi}{\frac{\mu}{\sigma_c}}}$ (2.35)

μ : permeabilitas medium (H/m)
 σ : konduktivitas beban (mho/m)

2.7.3 Rugi-rugi Radiasi

Rugi-rugi radiasi dinyatakan dengan rasio daya yang diradiasikan terhadap total daya yang diberikan ke saluran. Rasio daya yang diradiasikan oleh saluran mikrostrip dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut :

$$R_r = 240\pi^2 \left(\frac{h}{\lambda_0} \right)^2 \left[\frac{\epsilon_e + 1}{\epsilon_e} + \frac{\epsilon_e - 1}{2\epsilon_e \sqrt{\epsilon_e}} \ln \left(\frac{\sqrt{\epsilon_e} + 1}{\sqrt{\epsilon_e} - 1} \right) \right] \dots\dots\dots(2.36)$$

Dimana R_r : Rugi-rugi radiasi
 h : ketebalan antena
 ϵ_r : permitivitas efektif

BAB 3

PERANCANGAN ANTENA SEGITIGA

3.1 PERANCANGAN ANTENA

Pada perancangan antena ini sudah sesuai dengan standar industri 802.11 dan variasi revisinya. Termasuk didalamnya standarnya versi 802.11b dan 802.11g. Untuk perancangan antena ini diharapkan mampu beroperasi sesuai dengan standar 802.11b dan standar 802.11g. dengan frekuensi 2.4Hz -2.486GHz, yang membedakan dua standar ini hanya kecepatan transfer data, jika pada standar 802.11b memiliki kecepatan transfer data hingga 11Mbps sedangkan pada 802.11g memiliki kecepatan transfer hingga 54Mbps.[8]

Dalam mendisain suatu antena mikrostrip, langkah-langkahnya adalah menentukan frekuensi operasi sehingga dapat diperoleh ukuran dari elemen peradiasinya. Ukuran elemen peradiasi ini dipengaruhi oleh konstanta relatif dari *substrate*. Pada tulisan ini antena yang dirancang adalah antena yang berbentuk segitiga sama sisi, yang dicatu kopling dengan pencatu berbentuk garpu. Antena ini memiliki satu buah *port input* dan dua buah *port output*, yang diimplementasikan untuk membangkitkan antena yang dirancang.

3.2 PENENTUAN SUBSTRAT

Jenis substrat yang digunakan untuk antena mikrostrip akan mempengaruhi parameter-parameter dalam perancangan, karena tiap substrat ini memiliki parameter-parameter yang berbeda.

3.2.1 Konstanta dielektrik

Merupakan parameter yang akan mempengaruhi besarnya parameter-parameter yang lain terutama ukuran elemen peradiasi. Tebal substrat suatu antena mikrostrip diukur dari ketebalan bahan dielektriknya, sedangkan tebal elemen

penghantar merupakan tebal lapisan penghantar yang menghimpit bahan dielektrik. Ketebalan substrat dapat mempengaruhi *bandwidth* dan level kopling, semakin tipis substrat akan meningkatkan *bandwidth*.

3.2.2 Rugi tangensial substrat

Besarnya rugi-rugi ini diusahakan sekecil mungkin yaitu dibawah 0.001

3.2.3 Konduktivitas penghantar

Merupakan faktor yang menentukan baik tidaknya sifat penghantar listrik bahan. Biasanya terbuat dari bahan tembaga yang nilai konduktivitasnya 5.8×10^7 s/m.

3.3 PERANGKAT YANG DIGUNAKAN

Perancangan antenna ini menggunakan perangkat keras dan perangkat lunak. Perangkat keras digunakan untuk fabrikasi dan pengukuran antenna, sedangkan perangkat lunak digunakan untuk melakukan simulasi dan untuk mengetahui karakteristik atau kinerja antenna yang dirancang. Perangkat keras yang digunakan dalam perancangan antenna mikrostrip antara lain:

1. Substrat dielektrik FR4, sebagai bahan antenna.
2. *Network Analyzer HP 8753E* (30 kHz - 6 GHz)
Alat ini dapat digunakan untuk pengukuran *port* tunggal (mengukur VSWR, frekuensi resonansi, impedansi masukan, *return loss*, dan *bandwidth*) dan *port* ganda (mengukur pola radiasi dan *gain*).
3. *Power Meter Anritsu ML83A* untuk membaca daya keluaran dari antenna dan *network analyzer*.
4. *Power Sensor Anritsu MA72B* untuk mengukur daya keluaran dari antenna dan *network analyzer*.
5. Konektor SMA 50 ohm.
6. Kabel koaksial 50 ohm.

Adapun perangkat lunak yang digunakan yaitu :

1. *AWR Microwave Office 2004*

Perangkat lunak ini digunakan untuk merancang dan mensimulasikan antena yang dibuat. Setelah disimulasi akan diperoleh beberapa karakteristik antena seperti frekuensi kerja, *bandwidth*, impedansi *input*, *return loss*, VSWR, dan pola radiasi.

2. *PCAAD 3.0*

Perangkat lunak ini digunakan untuk menentukan lebar saluran pencatu.

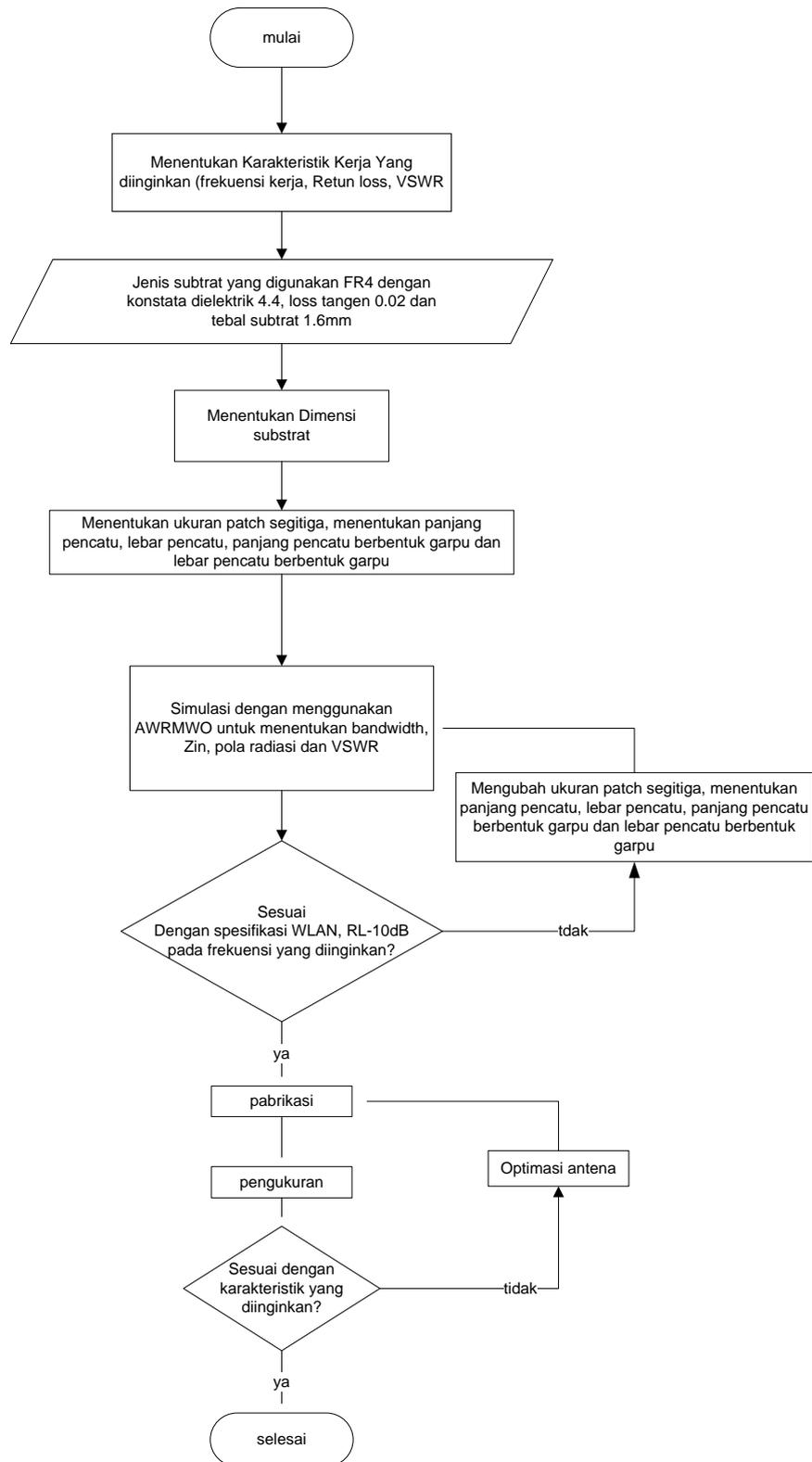
3. *Microsoft Visio 2003*

Untuk mempermudah proses pencetakan antena hasil simulasi

4. *Microsoft Excel 2003*

Perangkat lunak ini digunakan untuk mengolah data dengan persamaan matematis.

3.4 DIAGRAM ALIR PERENCANAAN ANTENA SEGITIGA



Gambar 3.1 Diagram alir perancangan antenna

3.5 PERANCANGAN ANTENA MIKROSTRIP SEGITIGA YANG DIKOPLING SALURAN PENCATU BERBENTUK GARPU

Dalam perancangan antenna pertama kali adalah menentukan karakteristik antenna yang diinginkan, dimana telah diperlihatkan pada diagram alir diatas. Karakteristik antenna yang dimaksud yaitu frekuensi kerja, *return loss*/VSWR, dan gain. Pada penelitian ini diharapkan dapat memberikan karakteristik hasil yang diinginkan yaitu [9]:

1. Frekuensi kerja : 2,4 GHz (2,4-2,5 GHz)
2. Impedansi terminal : 50 Ω koaksial konektor SMA
3. VSWR : 2
4. *return loss* : -10
5. Gain : > 5 dB

Dielektrik merupakan hal yang paling mendasar dari suatu rangkaian antenna mikrostrip. Substrat yang memenuhi sebuah fungsi elektrik dengan memfokuskan medan-medan elektromagnetik dan mencegah radiasi sirkuit yang tidak diinginkan. Pada tulisan ini bahan yang digunakan memiliki spesifikasi sebagai berikut :

- | | |
|---|----------|
| Konstanta dielektrik relatif (ϵ_r) | : 4.4 |
| Loss Tangen ($\tan \delta$) | : 0.02 |
| Ketebalan substrat (h) | : 1.6 mm |

Ketebalan substrat akan mempengaruhi *bandwidth* dan gelombang permukaan (*surface wave*). Semakin kecil tebal substrat maka efek gelombang permukaan semakin kecil. Dengan mengecilnya gelombang permukaan diharapkan dapat meningkatkan kinerja antenna seperti : gain, efisiensi, dan *bandwidth*. Konstanta dielektrik relatif (ϵ_r) akan mempengaruhi terjadinya gelombang permukaan. Namun dengan semakin kecilnya konstanta dielektrik, maka ukuran *patch* dan saluran pencatu mikrostrip yang dibutuhkan akan semakin

luas, karena ukuran *patch* dan saluran mikrostrip berbanding terbalik dengan konstanta dielektrik.

3.6 PERANCANGAN SALURAN CATU MIKROSTRIP

Pada saat pengukuran, pencatu antenna mikrostrip akan dihubungkan dengan konektor SMA 50Ω . Dengan demikian dalam perancangan pencatu antenna mikrostrip perlu impedansi masukan (Z_{in}) 50Ω . Untuk mendapatkan nilai impedansi saluran pencatu 50Ω , dapat dilakukan dengan mencari lebar saluran pencatu. Dengan menggunakan perangkat lunak PCAAD 3.0 dan memasukkan beberapa parameter yang dibutuhkan, maka secara otomatis akan diketahui nilai lebar impedansi 50Ω .

3.6.2 Menentukan panjang dan lebar saluran pencatu mikrostrip

Untuk lebar ukuran saluran pencatu sudah didapat nilainya yaitu sebesar 3.05mm dan dapat kita bulatkan menjadi 3mm untuk mempermudah perhitungan, nilai ini didapat dari hasil simulasi dengan menggunakan PCAAD 3.0.

Gambar 3.2 Menentukan lebar saluran catu menggunakan PCAAD 3.0

Untuk mencari panjang dari saluran pencatu ini dapat menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$W = \frac{2h}{\pi} \left\{ B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} \left[\ln(B - 1) + 0,39 - \frac{0,61}{\epsilon_r} \right] \right\}$$

Dengan $B = \frac{377\pi}{2Z_0\sqrt{\epsilon_r}}$,

dimana nilai notasi B merupakan sebuah penyederhanaan dari perhitungan.

Menghitung panjang dan lebar saluran catu untuk $Z_0 = 50$ ohm

$$B = \frac{377\pi}{2Z_0\sqrt{\epsilon_r}}$$

$$B = \frac{377 \times 3.14}{2 \times 50 \times \sqrt{4.4}} = 5.04 \approx 5$$

Dan

$$\frac{W}{h} = \frac{2}{\pi} \left\{ B - 1 - \ln(2B) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} \left[\ln(B - 1) + 0.39 - \frac{0.61}{\epsilon_r} \right] \right\}$$

$$\frac{W}{h} = \frac{2}{\pi} \left\{ B - 1 - \ln(2 \times 5 - 1) + \frac{4.4 - 1}{2 \times 4.4} \left[\ln(5 - 1) + 0.39 - \frac{0.61}{4.4} \right] \right\}$$

$$\frac{W}{h} = 1.6$$

$$\text{Untuk } \frac{W}{d} \leq 2$$

$$\frac{W}{d} = 1.6 \leq 2$$

Maka

$$W = 1.6 \times 1.6 = 2.56 \approx 3\text{mm}$$

Dari perhitungan diatas didapat lebar saluran catunya 3mm.

Untuk mencari ukuran panjang pencatu berbentuk garpu ini maka diperlukan ϵ_{eff} . Nilai ϵ_{eff} adalah konstanta dielektrik efektif dari saluran mikrostrip.

Ukuran konstanta ini bergantung pada ketebalan subtrat dan lebar konduktor. Konstanta dielektrik efektif pada mikrostrip ini dapat dicari dengan menggunakan persamaan dibawah ini :

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \frac{1}{\sqrt{1 + 12 \frac{d}{w}}}$$

$$\epsilon_{eff} = \frac{4.4 + 1}{2} + \frac{4.4 - 1}{2} \frac{1}{\sqrt{1 + 12 \frac{1.6}{3}}}$$

$$\epsilon_{eff} = \frac{5.4}{2} + \frac{3.4}{2} \frac{1}{\sqrt{18.6}}$$

Maka didapat $\epsilon_{eff} = 3.329$

Dan kecepatan fasa dan konstanta propagasi dapat ditentukan dengan persamaan berikut: $Vp = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_{eff}}}$, $\beta = K_0 \sqrt{\epsilon_{eff}}$, dimana Vp adalah kecepatan fasa dan β adalah konstanta propagasi.

Panjang saluran catu untuk pergeseran phase sebesar 90 derajat maka dapat menggunakan persamaan berikut :

$$\text{dimana } \theta = 90^\circ = \beta l = \sqrt{\epsilon_{eff}} k_0 l$$

$$\text{Jadi nilai } K_0 \text{ adalah : } k_0 = \frac{2\pi f}{c}$$

$$k_0 = \frac{2 \times 3.14 \times 2.44 \cdot 10^9}{3 \cdot 10^8}$$

$$k_0 = 51.1$$

Dimana θ adalah pergeseran fasa dan nilai k_0 adalah konstanta propagasi maka panjang L didapat

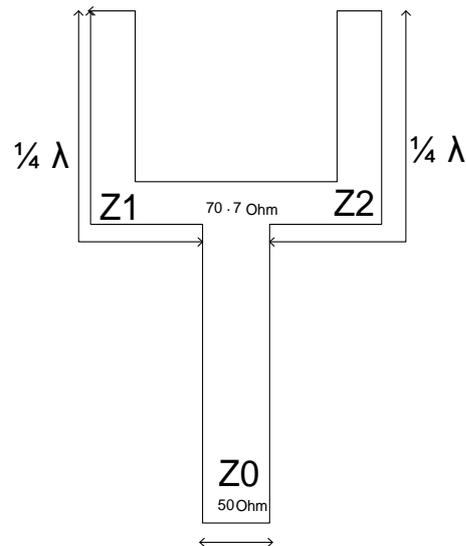
$$L = \frac{90^\circ \times \left(\frac{\pi}{180^\circ} \right)}{\sqrt{\epsilon_{eff}} k_0}$$

Maka didapat panjang saluran catunya sebesar,

$$L = \frac{90^\circ - \left(\frac{\pi}{180^\circ} \right)}{\sqrt{3.3} \times 51.1} = 16.8 \text{ mm} \approx 17 \text{ mm}$$

3.6.2 Perancangan Saluran Pencatu Berbentuk Garpu

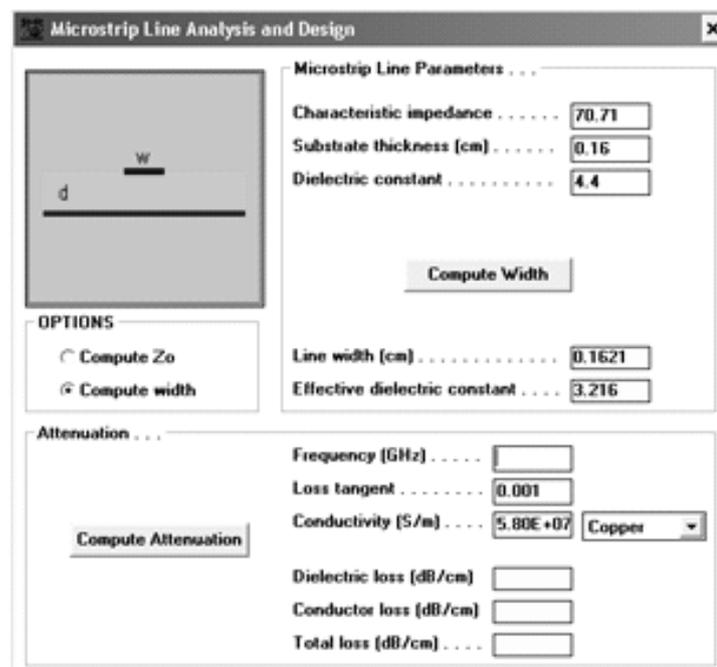
Sesuai dengan teori dari *Wilkinson divider* bahwa sinyal yang masuk kedalam suatu cabang dan akan dibelah dengan amplitudo yang sama, *output* fasa yang sama. Ketika ujung dari isolasi resistor antara *port 2* dan *3* berada pada potensial yang sama, tidak ada arus yang mengalir dan resistor tidak *dicouple* dari *input*. Dua *port output* akan di paralel pada *input* maka cabang-cabang itu harus ditransformasikan ke $2Z_0$ pada setiap masing-masing *port*, seperempat panjang gelombang setiap cabang. Jadi untuk panjang cabang saluran catunya adalah $\frac{1}{4} \lambda$ dan agar dapat *match* dengan impedansi karakteristik maka impedansi pada cabang saluran catu besarnya $\sqrt{2}Z_0$ [5].



Gambar 3.3 Menentukan ukuran pencatu berbentuk garpu

Nilai impedansi pada masing masing cabang adalah $Z_1=Z_2=\sqrt{2}Z_0=70.71$ Ohm.

Untuk menentukan lebar cabang saluran catu kita dapat menggunakan perangkat lunak PCAAD 3.0



Gambar 3.4 Menentukan lebar saluran catu berbentuk garpu PCAAD 3.0

Dari simulasi menggunakan PCAAAD 3.0 kita mendapatkan lebar saluran catu sebesar 1.6 mm. Dan nilai $\epsilon_{eff} = 3.22$ mm. Maka nilai l dapat dicari dengan persamaan

$$\begin{aligned}\epsilon_{eff} &= \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[\frac{1}{\sqrt{1 + 12h/W}} \right] \\ &= \frac{4.4 + 1}{2} + \frac{4.4 - 1}{2} \left[\frac{1}{\sqrt{1 + 12(1.6/1.6)}} \right] \\ &= 3.22\end{aligned}$$

Maka didapat panjang saluran catu 70.7 ohm

$$\begin{aligned}\lambda_g &= \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \\ \lambda_g &= \frac{3 \times 10^8}{\sqrt{3.22}} = \frac{2.4 \times 10^8}{1.84} = 69.8mm \\ l &= \frac{1}{4} \lambda_g = 17.5mm\end{aligned}$$

3.7 PENENTUAN DIMENSI SEGITIGA

Untuk menentukan dimensi antenna segitiga dapat digunakan persamaan dibawah ini :

$$\begin{aligned}f_{10} &= \frac{2c}{3a\sqrt{\epsilon_r}} \\ a &= \frac{2c}{3a\sqrt{\epsilon_r}}\end{aligned}$$

Untuk mengkompensasi efek tepi maka persamaan diatas menjadi

$$a_{eff} = a + \frac{h}{\sqrt{\epsilon_r}} (mm)$$

Dimana a_{eff} : panjang efektif segitiga (mm)

Dalam disain ini subtract yang digunakan memiliki nilai-nilai sebagai berikut ϵ_r : 4.4, tang δ : 0.02, h : 1.6 mm dengan f_{10} : 2.4 GHz

Maka didapat

$$f_{10} = \frac{2c}{3a\sqrt{\epsilon_r}}$$

$$a = \frac{2 \times 3 \times 10^8}{3 \times 2.44 \times 10^9 \sqrt{4.4}}$$

$$a = \frac{6 \times 10^8}{15.35 \times 10^9}$$

$$a = 0.03907m \approx 39mm$$

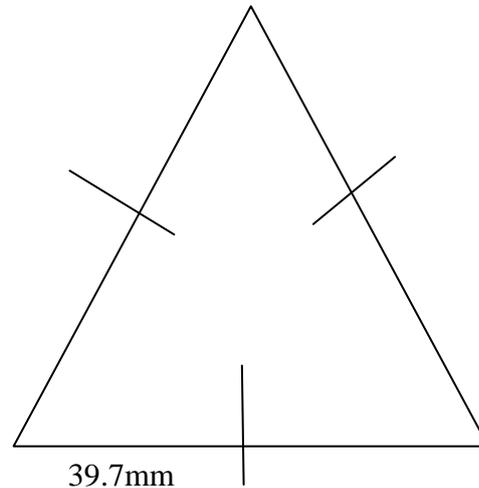
Panjang sisi segitiga ini harus dikurangi lagi karena terdapat efek tepi dari elemen peradiasi, yang akan menyebabkan elemen peradiasi akan bertambah lebar. Sehingga panjang sisi segitiga efektif dapat dihitung dengan persamaan dibawah ini.

$$a_{eff} = a + \frac{h}{\sqrt{\epsilon_r}} (mm)$$

$$a_{eff} = 39 + \frac{1.6}{\sqrt{4.4}} = 39 + 0.7 = 39.7mm$$

Dari perhitungan diatas didapat nilai efektif yang akan digunakan sebagai panjang sisi *patch* segitiga seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.2, ukuran segitiga inilah yang nantinya akan digunakan sebagai simulasi. Dan sebagai

rancangan awal antenna dan panjang sisi segitiga ini nantinya akan dimodifikasi berulang-ulang.



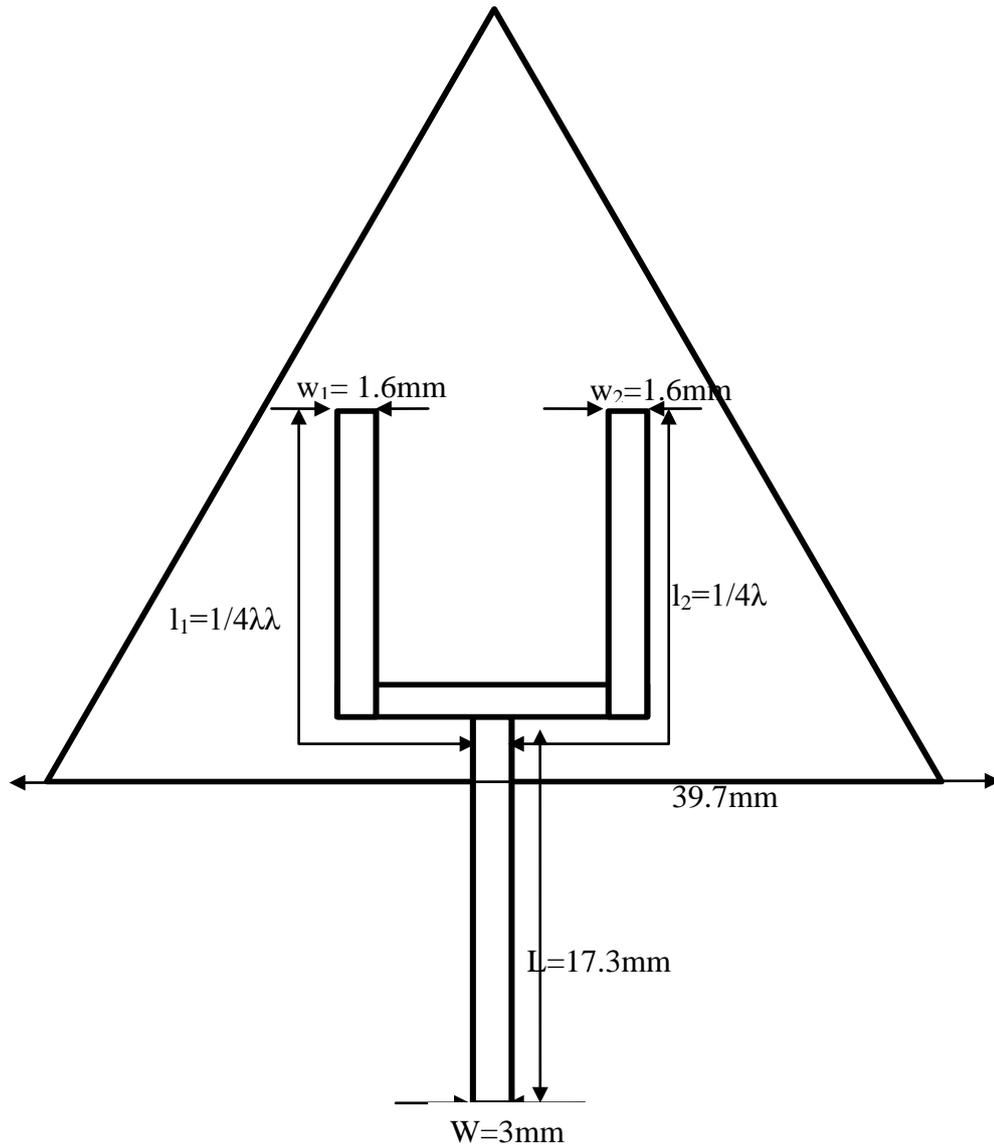
Gambar 3.5 Ukuran segitiga sama sisi

Gambar 3.5 merupakan gambar patch antenna mikrstrip segitiga, dimana ukuran segitiga tersebut didapat dengan menggunakan persamaan 2.3. Ukuran segitiga tersebut sudah dikurangi oleh efek tepi yang terjadi pada patch antenna segitiga.

Tabel 3.1 Ukuran komponen dari perhitungan

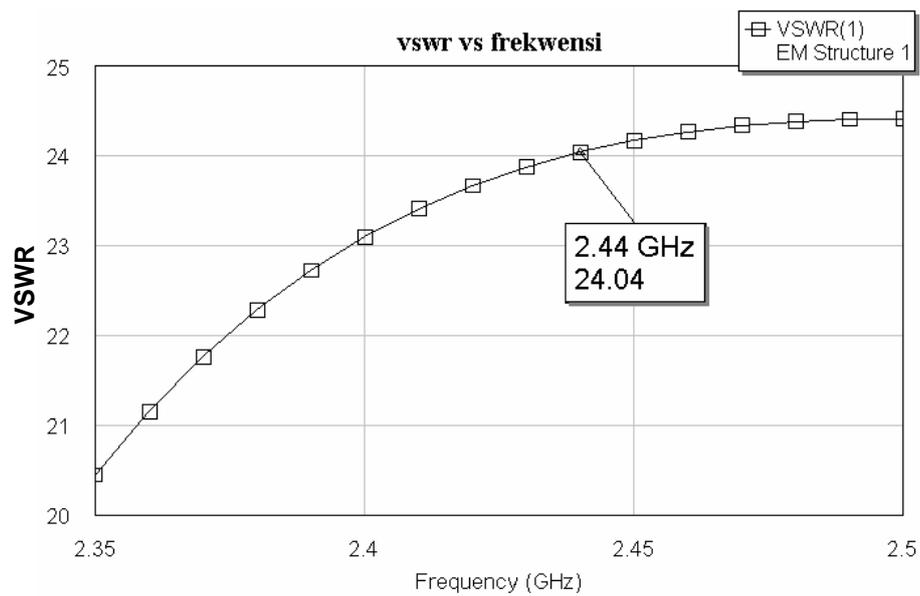
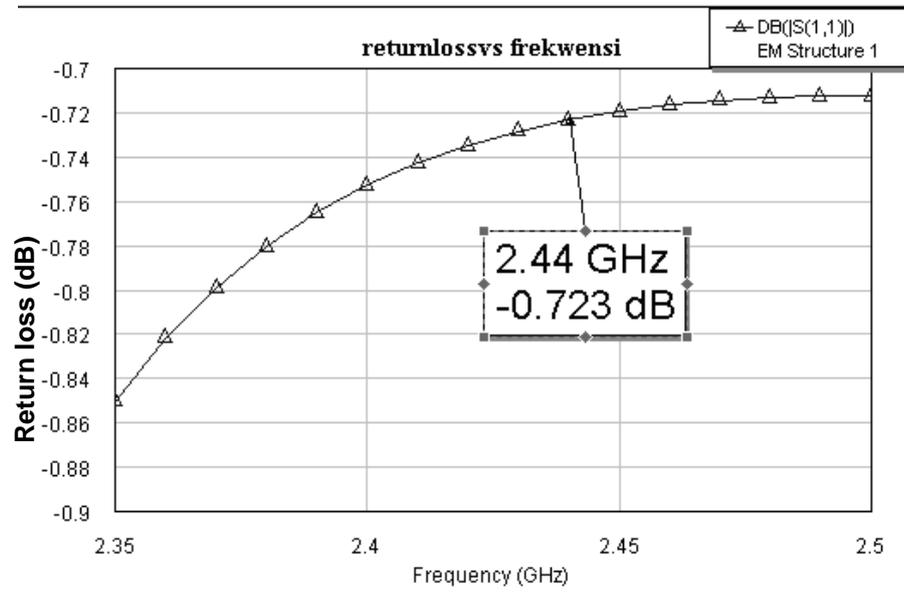
Karakteristik impedansi	Lebar(W)	Panjang (l)
$Z_0=50 \text{ Ohm}$	3 mm (W)	17 mm (L)
$Z_{01}=\sqrt{2} Z_0 = 70.71$	1.6 mm (w_1)	17,5 mm (l_1)
$Z_{02}=\sqrt{2} Z_0 = 70.71$	1.6 mm (w_2)	17.5mm (l_2)
Ukuran substrat	45mm	55mm

3.8 SKEMA AWAL BENTUK ANTENA MIKROSTRIP SEGITIGA



Gambar 3.6 Skema awal antenna segitiga berdasarkan hasil perhitungan

Dari skematik diatas jika kita simulasikan kedalam perangkat lunak AWR maka hasilnya akan seperti gambar 3.7. Dimana nilai return loss dan nilai VSWR nya masih belum sesuai dengan yang diharapkan maka ukuran antenna diatas itu harus kita modifikasi hingga mendapatkan nilai-nilai yang sesuai dengan spesifikasi WLAN. Dari hasil simulasi tersebut didapat nilai *return loss* sekitar -0.723dB dan nilai VSWR nya 24.04 pada frekuensi 2.44GHz



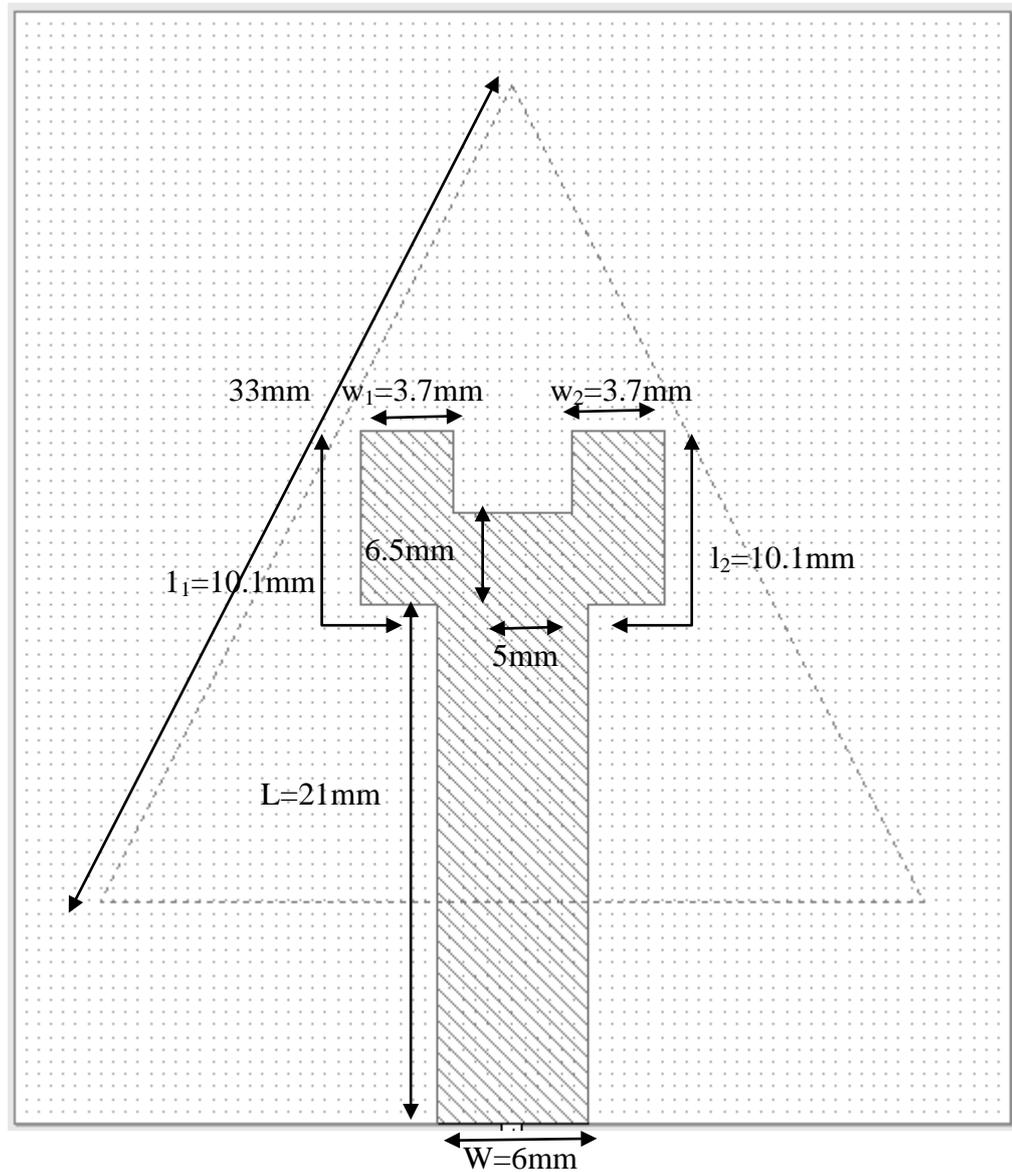
Gambar 3.7 Nilai return loss dan VSWR hasil simulasi dengan ukuran komponen sesuai perhitungan

3.9 HASIL AKHIR PERANCANGAN ANTENA SEGITIGA

Setelah menentukan karakteristik kerja yang diinginkan, jenis dan dimensi substrat, impedansi saluran pencatu mikrostrip, dan jarak antar elemen selanjutnya akan disempurnakan lagi dengan program AWR *Microwave Office* 2004. sehingga hasil simulasi seperti *return loss*, VSWR, impedansi karakteristik, dan pola radiasi yang diinginkan tercapai.

3.10 HASIL SIMULASI MENGGUNAKAN *MICROWAVE OFFICE 2004*

Gambar 3.8 merupakan gambar antena mikrostrip segitiga yang sudah mengalami perubahan di hampir semua komponennya.

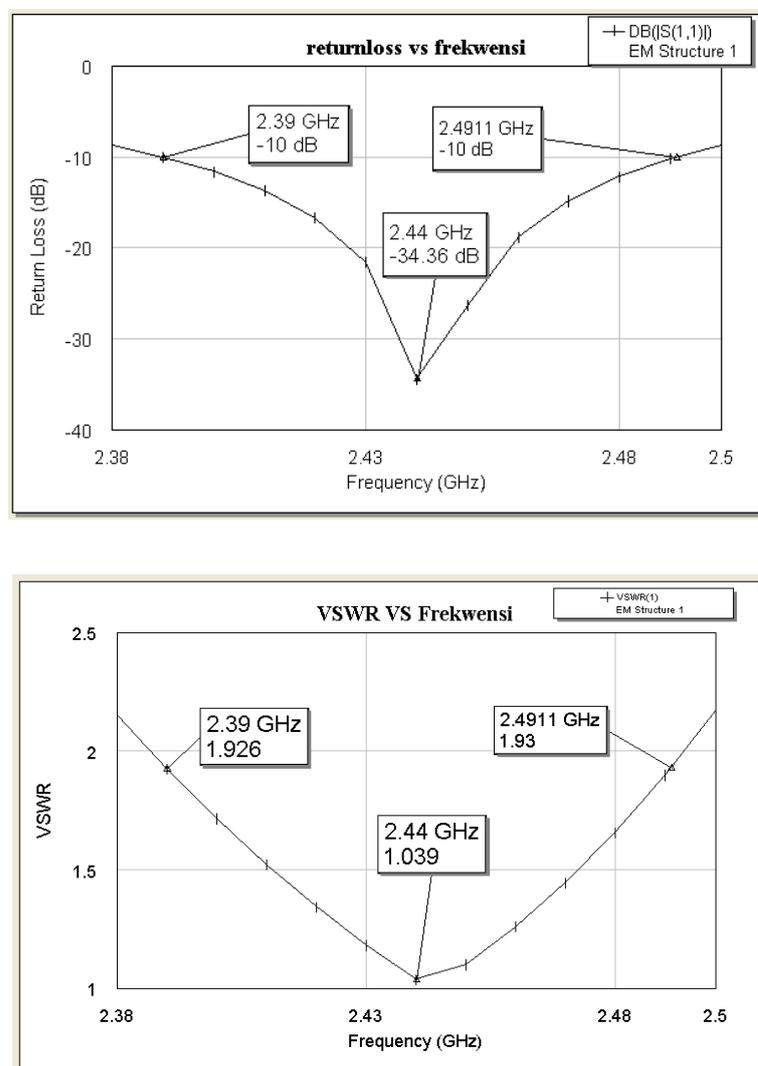


Gambar 3.8 Antena segitiga dari hasil simulasi menggunakan *Microwave Office 2004*

Tabel 3.2 Ukuran komponen dari hasil simulasi

Karakteristik impedansi	Lebar(W)	Panjang (l)
$Z_0=50 \text{ Ohm}$	6 mm (W)	21 mm (L)
$Z_{01}=\sqrt{2} Z_0 = 70.71$	3.7 mm (w)	10.1 mm (l)
$Z_{02}=\sqrt{2} Z_0 = 70.71$	3.7 mm (w)	10.1mm (l)
Ukuran subtrat	45mm	55mm

Dari hasil simulasi diatas didapat nilai return loss dan VSWR sebagai berikut :



Gambar 3.9 Grafik nilai *return loss* dan VSWR pada antenna mikrostrip segitiga hasil simulasi

Dari simulasi diatas didapat nilai return lossnya sekitar -34.36 dB untuk frekuensi 2.44 GHz dan nilai VSWR nya sekitar 1:1.93. Nilai-nilai ini sudah sesuai dengan spesifikasi antena WLAN, antena ini memiliki *bandwidth* sekitar 101.11MHz. Simulasi ini sudah memenuhi spesifikasi WLAN.

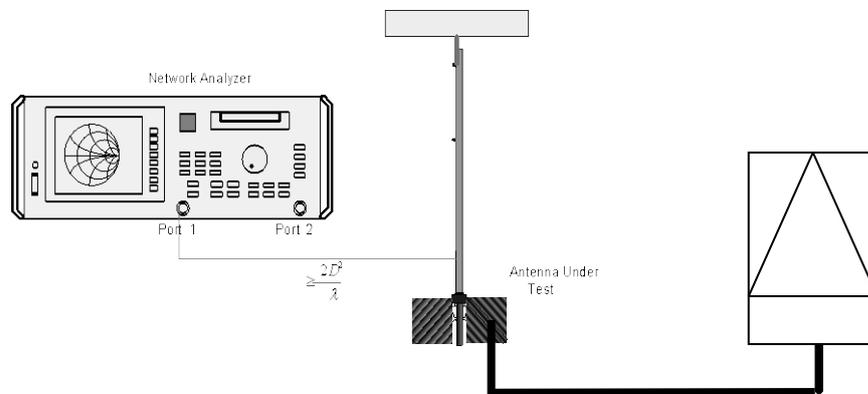
BAB 4 ANALISA PENGUKURAN ANTENA HASIL PERANCANGAN

4.1 HASIL PENGUKURAN ANTENA

Tujuan pengukuran adalah untuk mengetahui karakteristik antena yang telah dibuat, sehingga bisa diketahui parameter-parameter antena tersebut untuk kemudian dijadikan bahan perbandingan dengan hasil perhitungan secara teori dan hasil simulasi dari perangkat lunak AWR Microwave Office 2004. Pengukuran ini dilaksanakan di ruang anti gema yang berada di laboratorium telekomunikasi FT UI.

4.1.1 Pengukuran Port Tunggal

Sesuai dengan namanya pengukuran ini hanya menggunakan satu buah port saja pada *network analyzer* HP8753E . Sedangkan parameter-parameter antena yang dapat diukur dalam pengukuran port tunggal ini meliputi pengukuran *return loss*, VSWR, dan impedansi masukan. Pengukuran parameter-parameter tersebut menggunakan alat ukur *Network Analyzer* HP 8753E



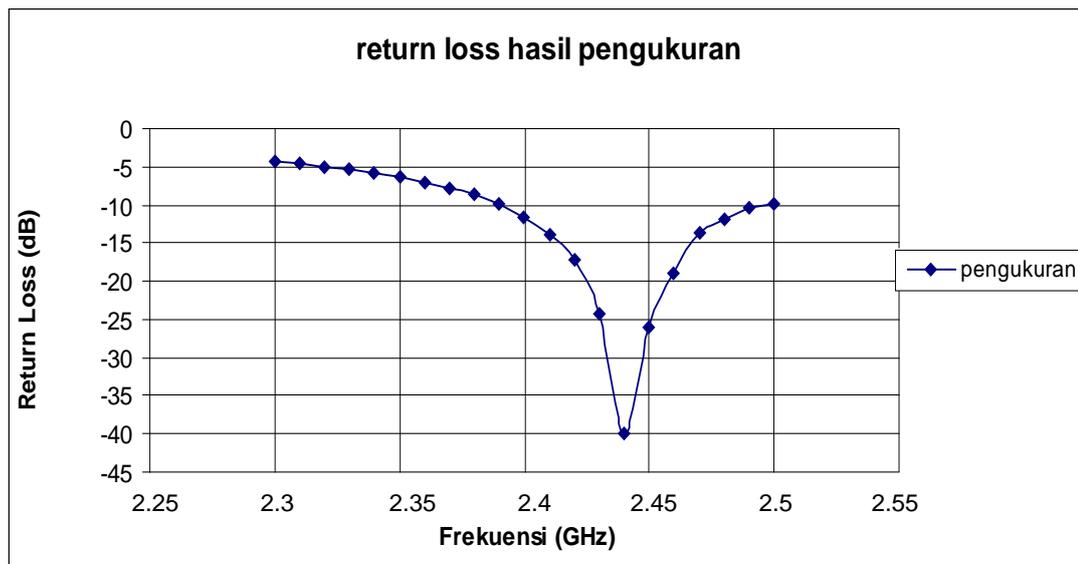
Gambar 4.1 Konfigurasi pengukuran port tunggal

4.1 Tabel hasil pengukuran perancangan antenna

Parameter	Nilai
Frekuensi Resonansi (Fr)	2.44 GHz
VSWR pada saat Fr	1.01
Bandwidth	100MHz
Impedansi pada saat Fr	50-J1.240 Ω
Return Loss minimum pada saat Fr	-39.906 dB

4.1.1.1 Return Loss

Dari pengukuran nilai return loss nya didapat dengan nilai -39.76 dB dan dengan frekuensi resonansi 2.44 GHz.(lampiran 4)



Gambar 4.2 Grafik Return Loss hasil pengukuran

Dari Gambar 4.2 pada *band* frekuensi 2,44 GHz didapatkan impedansi *bandwidth* pada 2,40 – 2,50 GHz (100 MHz) dengan frekuensi kerja (f_r) pada 2,44 GHz yang memiliki *return loss* minimum -39,906 dB. Dari data tersebut dapat dihitung besar persentase *impedance bandwidth* menggunakan persamaan 2.29, yang dituliskan kembali sebagai berikut :

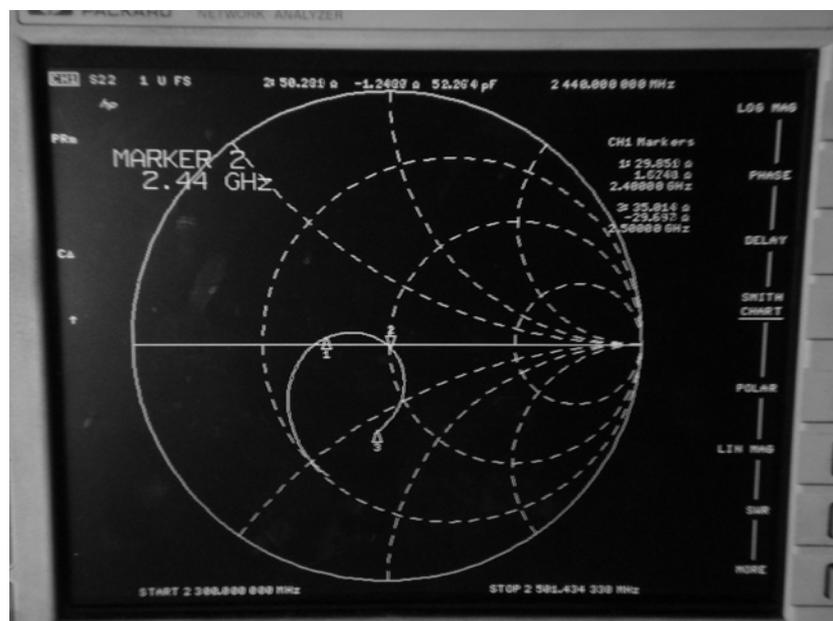
$$BW = \frac{f_h - f_l}{f_c} \times 100\%$$

$$BW = \frac{2.50 - 2.40}{2.44} \times 100\%$$

$$BW = 4.09\%$$

4.1.1.2 Impedansi Masukan.

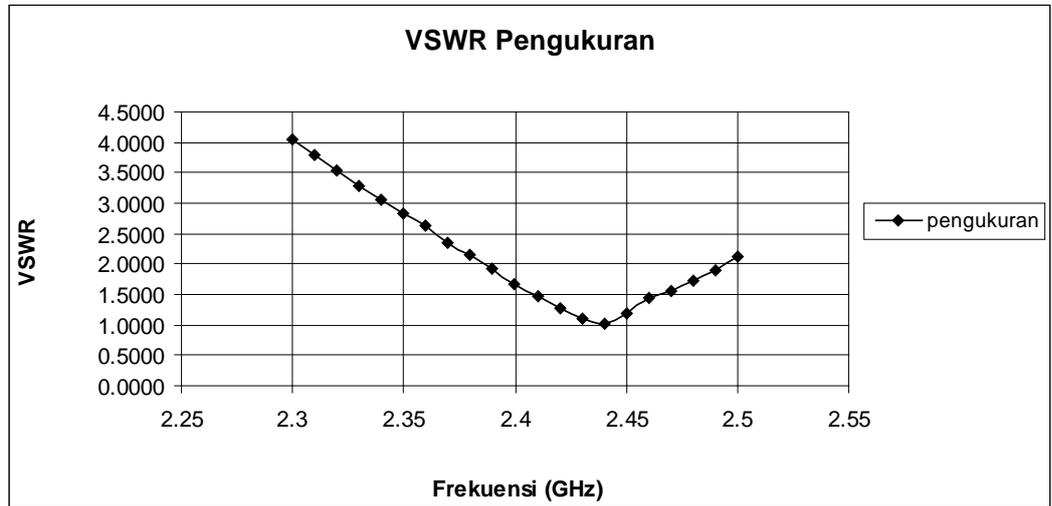
Dengan menggunakan substrat yang sesuai dengan hasil simulasi seperti pada data di depan maka dapat kita peroleh hasil pengukuran pada *spectrum analyzer* untuk antenna rancangan *patch* antenna dengan pencatu berbentuk garpu yang dikopel secara elektromagnetik $Z_{in} = 50 - j1.240 \Omega$ pada frekuensi 2.44GHz



Gambar 4.3 Grafik Z_{in} hasil pengukuran

4.1.1.3 VSWR

Dari pengukuran nilai VSWR nya didapat dengan nilai 1.01 pada frekuensi resonansi 2.44 GHz (lampiran 4)



Gambar 4.4 Grafik VSWR hasil pengukuran

Nilai VSWR yang digunakan dalam penelitian ini adalah lebih kecil atau sama dengan 2 ($VSWR \leq 2$). Dari gambar 4.4, nilai VSWR untuk rentang frekuensi 2.40 – 2.50GHz didapat nilai VSWRnya 1.01

4.1.2 Pengukuran pola radiasi

Pengukuran pola radiasi menggambarkan bentuk radiasi elektromagnetik dari antenna ke segala arah, dimana besar radiasi ini dapat berbeda-beda ke beberapa arah. Pola radiasi antenna dapat dikategorikan menjadi dua macam, yaitu medan jauh (*far field*) dan medan dekatn (*near field*). Karena pola radiasi pada antenna medan dekat berbeda dengan pola radiasi antenna pada medan jauh maka secara umum untuk menentukan pola radiasi digunakan pola radiasi medan jauh.

Jarak minimum antenna pemancar dan penerin ma agar dikategorikan antenna bekerja pada medan jauh dapat dijtunjukkan pada persamaan :

$$r_{m\ in} = \frac{2D^2}{\lambda} \dots\dots\dots(4.1)$$

Dimana

r_{\min} = jarak minimum antena pemancar dan antena penerima (cm)

D = dimensi terbesar antena (cm)

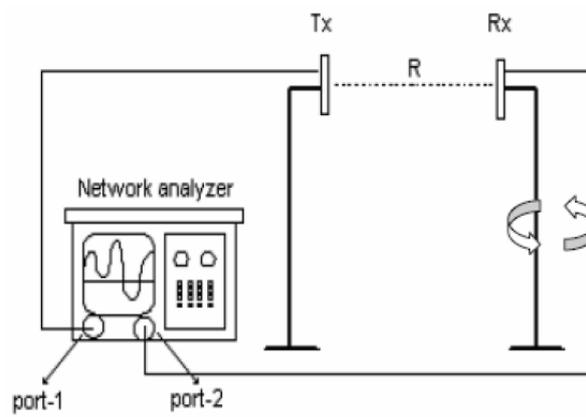
λ = panjang gelombang.

Dimensi terbesar dari antena yang ingin diukur adalah sebesar $D = 5.5$ cm. Pengukuran pola radiasi dilakukan di tiga frekuensi pada antena, pada frekuensi resonansi 2.44GHz diperoleh jarak minimum sebesar 50cm.

Setelah menentukan jarak antar antena dan antena telah dihubungkan ke port NA (format S21) menggunakan kabel koaksial, kemudian antena penerima diputar dari posisi sudut $0^{\circ} - 360^{\circ}$ dengan interval 10° . Agar mendapatkan hasil yang akurat, pengukuran dilakukan sebanyak 2 kali, kemudian akan diambil nilai rata-ratanya. Pola radiasi diukur pada dua bidang yang saling tegak lurus yaitu bidang E dan bidang H untuk mendapatkan gambaran bentuk radiasi dalam ruang. Data hasil pengukuran dapat dilihat pada lampiran2 yang diolah menggunakan *Microsoft Excel 2003* kemudian akan dibuat grafik pola radiasi untuk antena ini..

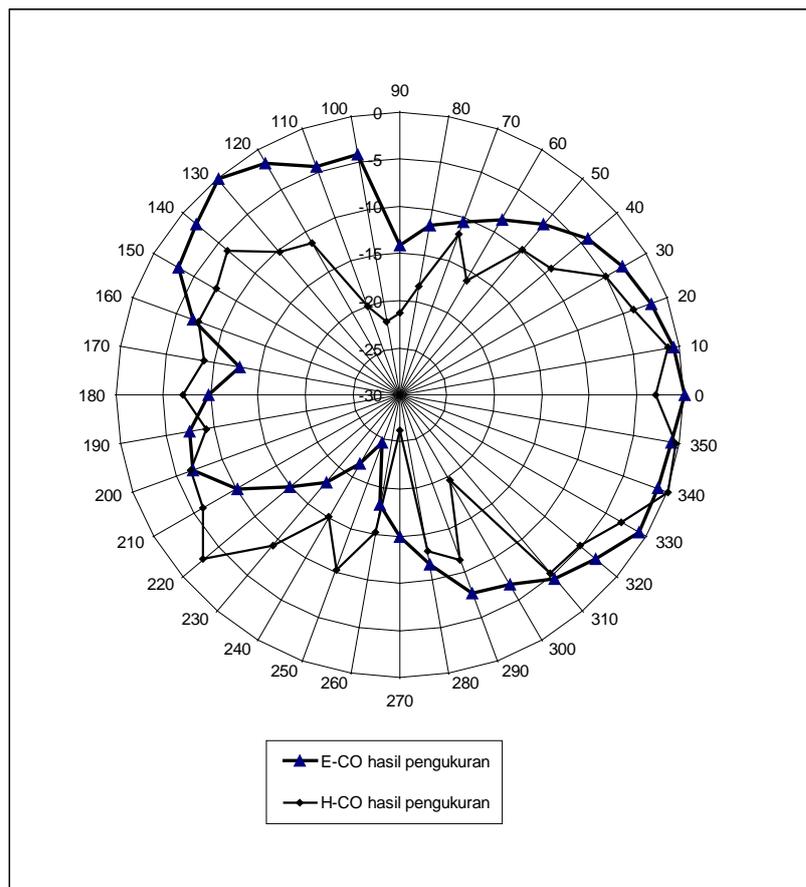
Dimensi terbesar dari antena yang ingin diukur adalah sebesar $D = 5.5$ cm. Pengukuran pola radiasi dilakukan dengan menggunakan tiga buah antena dengan frekuensi kerja yang sama. Dengan demikian ditentukan jarak pisah antar antena pengirim dan antena penerima untuk pengukuran pola radiasi dan gain adalah sejauh 48 cm.

Setelah menentukan jarak antar antena dan antena telah dihubungkan ke port NA (format S21) menggunakan kabel koaksial, kemudian antena penerima diputar dari posisi sudut $0^{\circ} - 360^{\circ}$ dengan interval 10° . Agar mendapatkan hasil yang akurat, pengukuran dilakukan sebanyak 2 kali, kemudian diambil nilai rata-ratanya. Pola radiasi diukur pada dua bidang yang saling tegak lurus yaitu bidang E dan bidang H untuk mendapatkan gambaran bentuk radiasi dalam ruang. Data hasil pengukuran dapat dilihat pada Lampiran 2.



Gambar 4.5 Konfigurasi pengukuran pola radiasi

Perbandingan medan E-Co dan medan H-Co



Gambar 4.6 Grafik perbandingan pola radiasi E-CO dan H-CO

Dari gambar grafik diatas dapat diketahui bahwa pola radiasi *omnidirectional* dengan *mainlobe* maksimum berada di 0 derajat.

4.1.3 Pengukuran gain.

Gain yang akan diukur pada pengukuran antenna ini adalah gain dengan nilai absolute. Pengukuran ini membutuhkan tiga buah antenna dengan frekuensi kerja yang sama atau yang hampir sama. Dengan tidak memperhatikan posisi antenna sebagai antenna pengirim atau antenna penerima, maka ada tiga kemungkinan pasangan antenna pengirim atau penerima yaitu:

1. Antena pengirim 1 dan antenna penerima 2
2. Antena pengirim 1 dan antenna pengirim 3
3. Antena pengirim 2 dan antenna pengirim 3

Pengukuran gain ini dilakukan dengan menggunakan network analyzer sebagai penghasil frekuensi dan *microwave counter* yang digunakan untuk melihat frekuensi yang dibangkitkan.

Perhitungan gain berdasarkan persamaan *friis*, yang secara umum dinyatakan sebagai berikut:

$$(G_o)_t + (G_o)_r = 20 \log \left(\frac{4\pi R}{\lambda^2} \right) + 10 \log \left(\frac{P_r}{P_t} \right) \dots \dots \dots (4.2)$$

- Dimana
- G_{ot} = gain absolute antenna pengirim (dB)
 - G_{or} = Gain antenna penerima (dB)
 - R = jarak antara antenna pengirim dan antenna penerima (m)
 - λ = panjang gelombang
 - P_r = daya diterima (W)
 - P_t = daya terkirim (W)

Dikarenakan ada tiga kemungkinan pasangan antenna pengirim dan antenna penerima, maka kemungkinan pengukuran gain sebagai berikut:

1. Antenna pengirim 1 dan penerima 2

$$(G_1) + (G_2) = 2 \cdot 10^{\left(\frac{4\pi R}{\lambda}\right)} + 1 \cdot 10^{\left(\frac{P_{r2}}{P_{t1}}\right)} \dots \dots \dots (4.3)$$

2. Antenna pengirim 1 dan penerima 3

$$(G_1) + (G_3) = 2 \cdot 10^{\left(\frac{4\pi R}{\lambda}\right)} + 1 \cdot 10^{\left(\frac{P_3}{P_{t1}}\right)} \dots \dots \dots (4.4)$$

3. Antenna pengirim 2 dan penerima 3

$$(G_2) + (G_3) = 2 \cdot 10^{\left(\frac{4\pi R}{\lambda}\right)} + 1 \cdot 10^{\left(\frac{P_{r3}}{P_2}\right)} \dots \dots \dots (4.5)$$

Persamaan diatas dapat ditulis dalam bentuk:

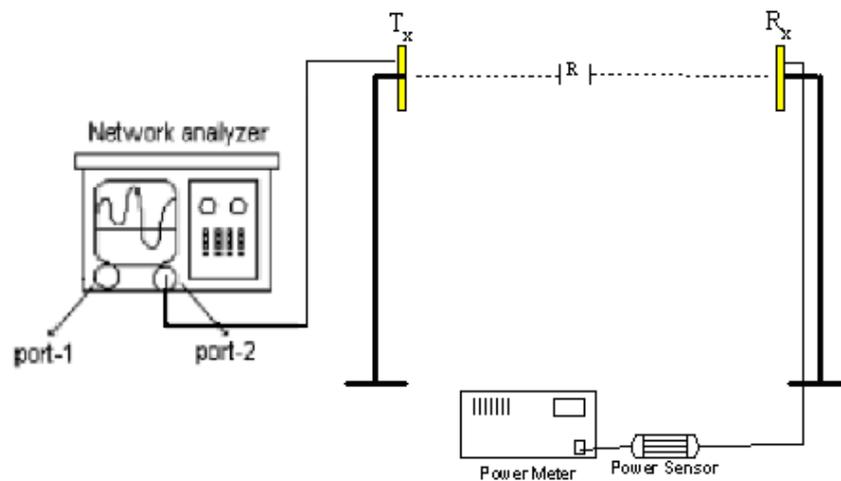
$$G_1 = \frac{1}{2}(A + B - C) \dots \dots \dots (4.6)$$

$$G_2 = \frac{1}{2}(A - B + C) \dots \dots \dots (4.7)$$

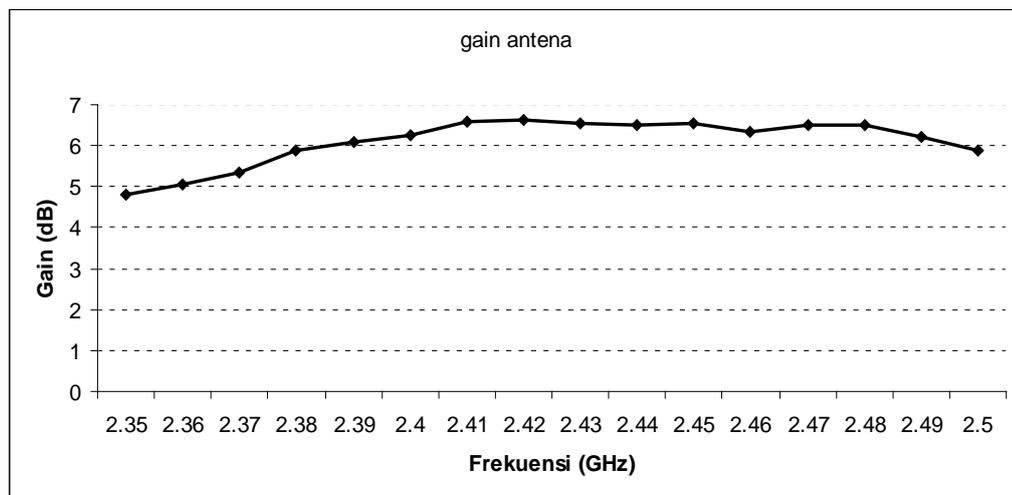
$$G_3 = \frac{1}{2}(-A + B + C) \dots \dots \dots (4.8)$$

Untuk mengurangi kesalahan dalam pengukuran gain antenna ada beberapa syarat yang harus dipenuhi yaitu :

1. Antenna pengirim dan penerima harus saling berhadapan pada berkas maksimum.
2. Letak jarak antenna harus diperhatikan.
3. Semua komponen dalam kondisi matching



Gambar 4.7 Konfigurasi pengukuran Gain antenna



Gambar 4.8 Grafik hasil pengukuran Gain

Penelitian ini menggunakan metode 3 antenna. Hasil perhitungan gain akan diberikan pada lampiran 3. *Gain* antenna diukur sepanjang frekuensi kerja yang diinginkan. Pada frekuensi 2,4 GHz diukur 2,4 – 2,5 GHz setiap 10 MHz. Grafik hasil pengukuran *gain* untuk antenna mikrostrip segitiga elemen dapat pada gambar

4. Dari gambar diatas, dapat dilihat pada frekuensi 2,4 GHz diperoleh *gain* sekitar 6 dB.

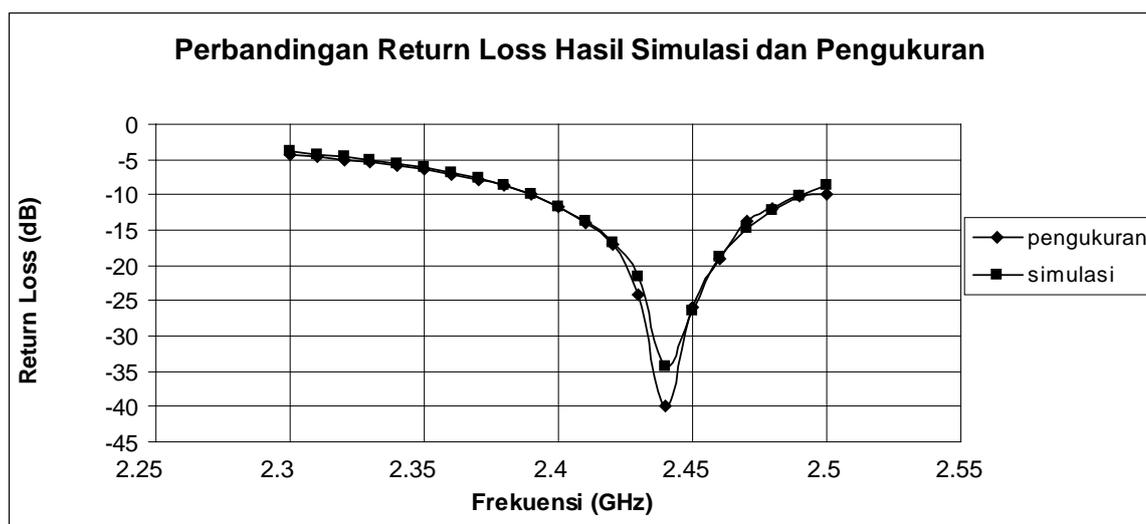
4.2 ANALISIS HASIL SIMULASI DAN PENGUKURAN ANTENA

Pada sub bab ini akan dibahas tentang perbandingan antara hasil simulasi dengan hasil pengukuran antenna. Perbandingan antara hasil simulasi dan hasil pengukuran ini akan membandingkan return loss, VSWR dan pola radiasi.

4.2.1 Analisa Hasil Simulasi dan Pengukuran Antena Port Tunggal

Analisa ini dilakukan untuk membandingkan antara hasil pengukuran yang dilakukan dengan hasil simulasi.

4.2.1.1 Return Loss

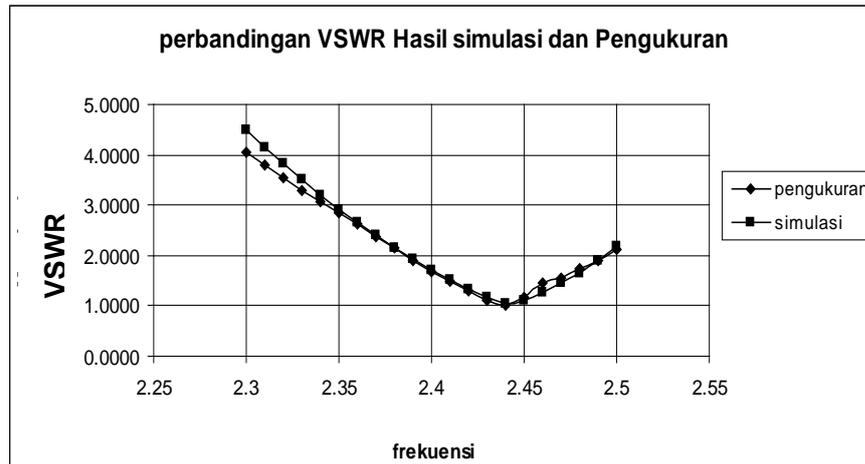


Gambar 4.9 Grafik perbandingan *return loss* simulasi dan pengukuran

Dari gambar diatas dapat dilihat bahwa terjadi pergeseran nilai *return loss*. *Return loss* pada saat simulasi sekitar -34.36dB. Sedangkan nilai *return loss* pada saat pengukuran nilainya sekitar -39.906dB pada frekuensi 2.44GHz. Hal ini menandakan bahwa nilai *return loss* nya mengalami penurunan, tapi nilai *return loss* ini masih masuk dalam spesifikasi antenna WLAN dimana nilai *return loss*nya sekitar ≤ -10 dB. Jika dilihat dari nilai *return loss*nya maka dapat kita perkiraan

besarnya bandwidth. Pada saat simulasi sekitar 100MHz dan pada saat pengukuran sekitar 100MHz.

4.2.1.2 VSWR



Gambar 4.10 Grafik perbandingan VSWR simulasi dan pengukuran

Dari tabel lampiran4 dapat dilihat bahwa nilai VSWR nya mengalami penurunan, jika dari hasil simulasi dapat dilihat nilai VSWR nya sekitar 1.039 tapi pada saat pengeukuran nilainya turun menjadi 1.01 pada frekuensi 2.44GHz..

Tabel 4.2 Hasil simulasi dan pengukuran

Parameter	Hasil Simulasi	Hasil pengukuran
Impedansi <i>bandwidth</i>	2.39-2.49 100MHz atau 0%	2.40-2.50 100MHz atau 0.4%
Frekuensi tengah	2.44	2.44
<i>Return loss</i> (di frekuensi resonan)	-34.36 dB	-39.906 dB
VSWR (di frekuensi resonan)	1.039	1.01

Jika dilihat dari tabel 4.2 diatas dapat dilihat bahwa nilai return loss nya mengalami penurunan sekitar 4.7, serta bandwidth dan VSWR nya juga

mengalami penurunan, tapi nilai-nilai ini semua masih sesuai dengan spesifikasi WLAN.

Dapat dilihat pada hasil simulasi dan hasil pengukuran terdapat perbedaan *Return loss* dan VSWR hasil pengukuran mengalami perbaikan.

Error (kesalahan) didapatkan dengan persamaan :

$$\text{Error} = \left| \frac{\text{Data hasil pengukuran} - \text{Data hasil simulasi}}{\text{Data hasil simulasi}} \right| \times 100\% \dots\dots\dots (4.9)$$

Berikut diberikan nilai *error* frekuensi kerja antenna berdasarkan Tabel

4.1 (a) :

Untuk frekuensi bawah :

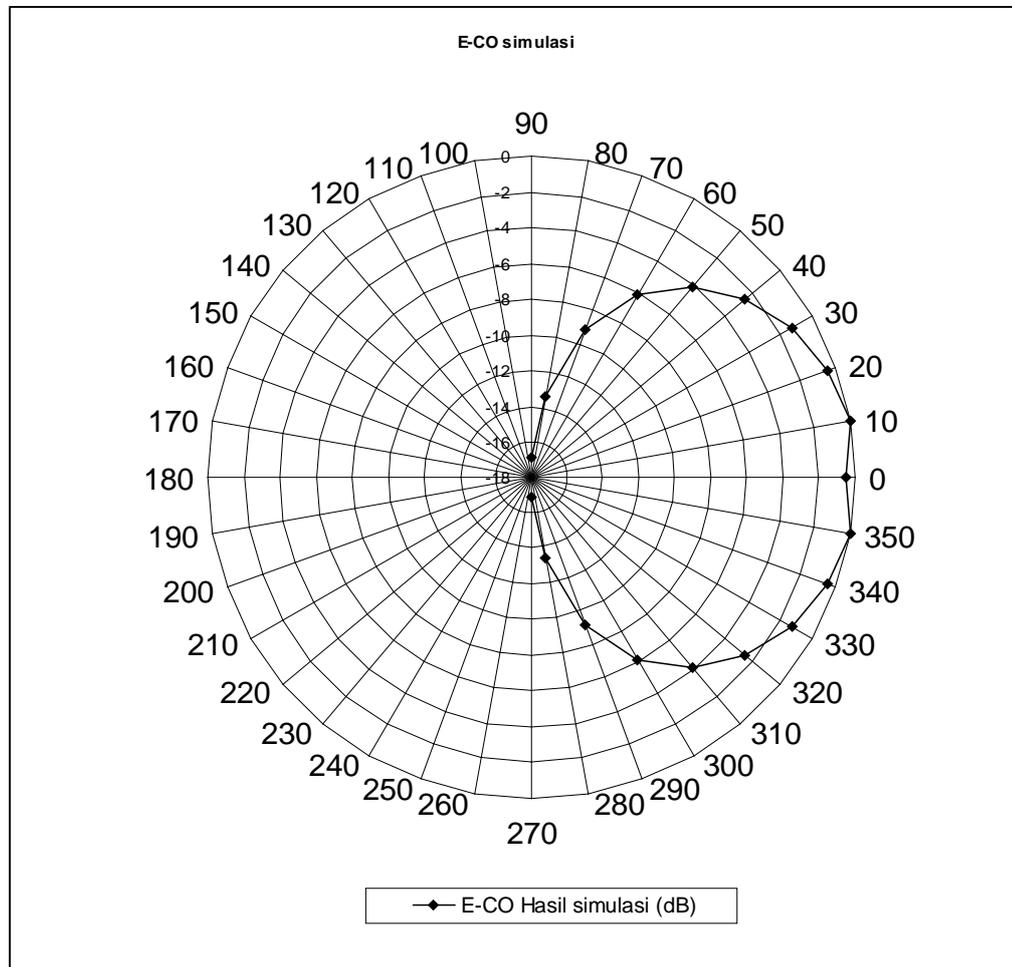
$$\text{Error} = \left| \frac{f_{\text{pengukuran}} - f_{\text{simulasi}}}{f_{\text{simulasi}}} \right| \times 100\% = \left| \frac{2.39 - 2.39}{2.39} \right| \times 100\% = 0\%$$

Untuk frekuensi atas :

$$\text{Error} = \left| \frac{f_{\text{pengukuran}} - f_{\text{simulasi}}}{f_{\text{simulasi}}} \right| \times 100\% = \left| \frac{2.50 - 2.49}{2.49} \right| \times 100\% = 0.4\%$$

4.2.1.3 Analisa Pola Radiasi

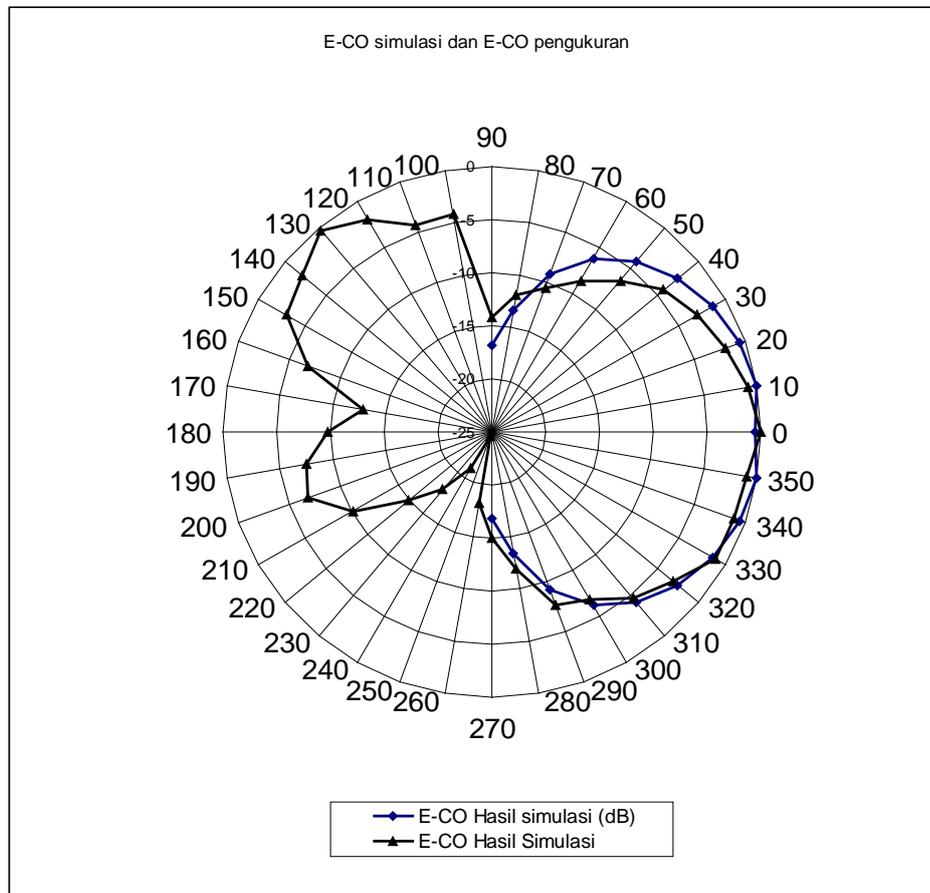
Pola radiasi medan E-Co hasil simulasi



Gambar 4.11 Grafik pola radiasi medan E-co hasil simulasi

Dari hasil simulasi dapat diketahui bahwa pola radiasi antenna tersebut *omnidirectional*, dengan *mainlobe* di 10 derajat

Perbandingan E-Co simulasi dan H-Co hasil pengukuran.



Gambar 4.12 Grafik perbandingan pola radiasi hasil pengukuran dan simulasi

Dari gambar grafik pola radiasi diatas dapat dilihat bahwa antara nilai hasil simulasi dan pengukuran agak sedikit berbeda tapi dari perbandingan diatas terdapat pola yang sama dan memiliki *mainlobe* di 0 derajat.

BAB V KESIMPULAN

Pada penelitian ini telah dirancang dan fabrikasi antena mikrostrip segitiga yang dikopling saluran pencatu berbentuk garpu untuk digunakan pada aplikasi WLAN kelas b dan g. Berdasarkan hasil simulasi, pengukuran, dan analisis yang dilakukan maka antena mikrostrip ini dibuat dengan berdasarkan hasil simulasi MWO dan dipabrikasi kemudian dilakukan pengukuran.

Antena memiliki *impedance bandwidth* yang dihasilkan dari pengukuran antena mikrostrip segitiga yang bekerja pada *range* frekuensi 2.4 - 2.50GHz sebesar 100 MHz (4.09 %), dengan nilai VSWR 1:1.9 dan gain yang diperoleh dari pengukuran antena mikrostrip segitiga pada frekuensi 2,4 GHz adalah ± 6 dB.

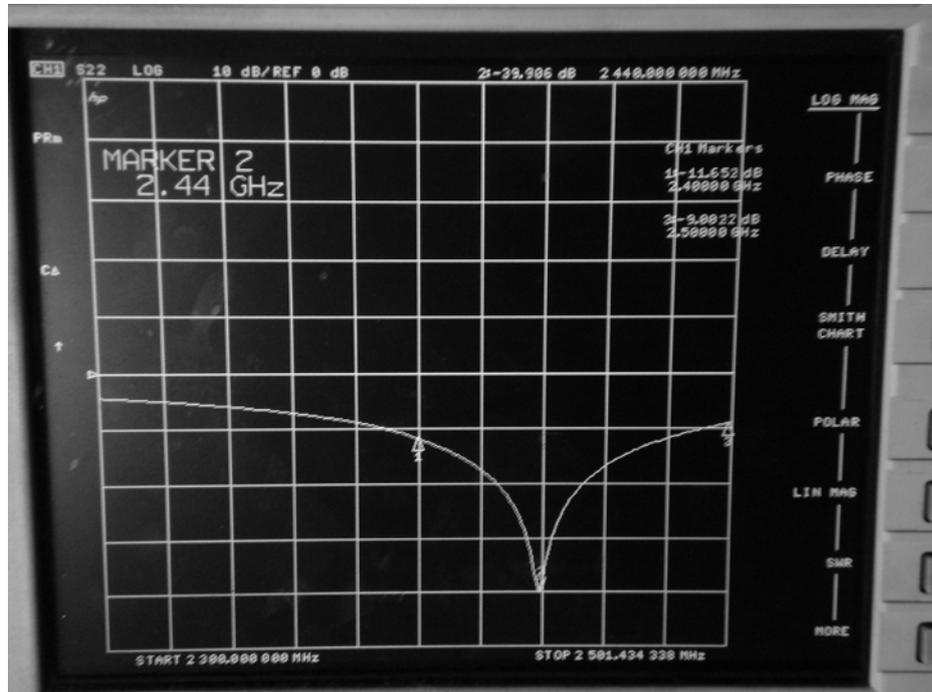
DAFTAR ACUAN

- [1] Ditjen postel, *white paper penataan spektrum frekuensi radio layanan akses pita lebar berbasis nirkabel*.(JAKARTA, DEPKOMINFO2006) hal 12.
- [2] Pasaribu, P *Publikasi Wireless LAN* (Jakarta, Ilmu Komputer, 2006) hal 4
- [3] Pozar, D. M., Kaufman, B. “Increasing the Bandwidth of a Microstrip Antenna by Proximity Coupling”. *Electronics Letters*, v. 23, Apr. 1987, pp. 368-369
- [4] G. Ramesh, B prakash, B. Ider, I Apisak *Microstrip Antenna Design Handbook* (Boston : Artech House, 2000) hal2, hal 28, hal 429
- [5] Pozar David M *Microwave Engineering 2nd edition* (New York : Jhon Willey & Sons, Inc, 1998) hal 363-367
- [6] Balanis A Constantine, *Antenna Theory Analysis and Design 2nd edition* (Canada : John Willey & Sons, Inc 1997) hal 28
- [7] James JR, Hall PS, Wood C *Microstrip Theory And Design* (London : petere peregnius Ltd 1981) hal 26
- [8] Ganz Aaura, Ganz Zvi and Wongthavarawat *Multimedia Wireless Networks:Tecnologies, standart, and Qos* (Prentice Hall, 2003) hal 80
- [9] Kuchar Alexander *Aperture-coupled microstrip patch antenna* (Technische Universitat Wien, 1996) hal 6
- [10] Zurcher Francois J, Gardiol Fred E, *Broadband Patch Antenna* (Boston: Artech House, 1995) hal 27-30

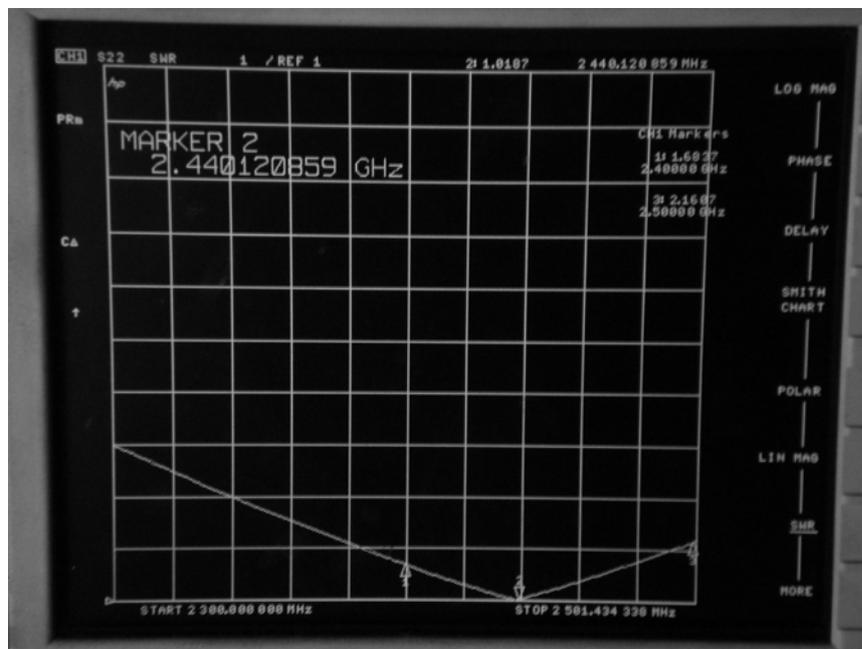
LAMPIRAN 1 Grafik Pengukuran Port Tunggal

1.1 Pengukuran *Return Loss* Antena Mikrostrip segitiga

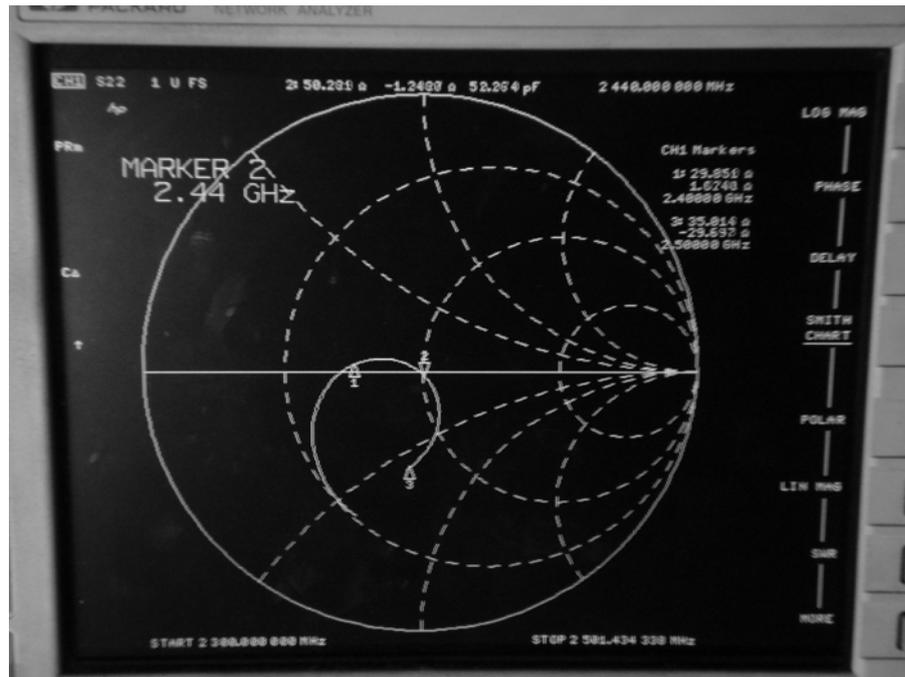
1.1.1 Nilai *return loss* antena mikrostrip segitiga



1.1.2 Nilai VSWR



1.1.3 Nilai Zin



LAMPIRAN 2 Data Hasil Pengukuran Pola Radiasi

2.1 Data Pengukuran Pola Radiasi untuk Antena Mikrostrip Segitiga

sudut	data 1	data 2	rata-rata	Normalisasi
0	-53.245	-51.492	-52.3685	0
10	-55.421	-53.387	-54.404	-2.0355
20	-57.478	-54.967	-56.2225	-3.854
30	-57.476	-58.896	-58.186	-5.8175
40	-61.437	-60.812	-61.1245	-8.756
50	-62.894	-60.702	-61.798	-9.4295
60	-64.905	-64.358	-64.6315	-12.263
70	-65.519	-64.867	-65.193	-12.8245
80	-65.852	-64.402	-65.127	-12.7585
90	-66.208	-63.909	-65.0585	-12.69
100	-58.732	-54.479	-56.6055	-4.237
110	-57.187	-56.284	-56.7355	-4.367
120	-54.856	-53.495	-54.1755	-1.807
130	-53.782	-51.537	-52.6595	-0.291
140	-54.902	-53.765	-54.3335	-1.965
150	-55.39	-55.421	-55.4055	-3.037
160	-59.301	-58.993	-59.147	-6.7785
170	-65.52	-64.882	-65.201	-12.8325
180	-61.398	-62.935	-62.1665	-9.798
190	-59.896	-59.776	-59.836	-7.4675
200	-59.467	-58.876	-59.1715	-6.803
210	-62.364	-62.724	-62.544	-10.1755
220	-67.693	-66.843	-67.268	-14.8995
230	-70.732	-69.752	-70.242	-17.8735
240	-73.978	-72.968	-73.473	-21.1045
250	-76.957	-76.886	-76.9215	-24.553
260	-70.764	-70	-70.5055	-18.137
270	-68.902	-65.925	-67.4135	-15.045
280	-64.649	-63.753	-64.201	-11.8325
290	-60.365	-59.763	-60.064	-7.6955
300	-59.653	-58.882	-59.2675	-6.899
310	-59.982	-57.992	-58.987	-6.6185
320	-57.965	-57.892	-57.9285	-5.56
330	-54.285	-53.44	-53.8625	-1.494
340	-53.459	-53.401	-53.43	-1.0615

sudut	data 1	data 2	rata-rata	Normalisasi
0	-77.867	-76.908	-77.3875	-36.4515
10	-74.357	-73.674	-74.0155	-33.0795
20	-70.672	-71.98	-71.326	-30.39
30	-67.907	-64.974	-66.4405	-25.5045
40	-65.479	-62.998	-64.2385	-23.3025
50	-61.79	-60.765	-61.2775	-20.3415
60	-60.241	-58.725	-59.483	-18.547
70	-62.579	-59.762	-61.1705	-20.2345
80	-65.742	-66.581	-66.1615	-25.2255
90	-66.759	-66.413	-66.586	-25.65
100	-61.563	-60.874	-61.2185	-20.2825
110	-56.982	-56.923	-56.9525	-16.0165
120	-55.732	-54.741	-55.2365	-14.3005
130	-54.341	-53.89	-54.1155	-13.1795
140	-51.784	-50.895	-51.3395	-10.4035
150	-52.375	-53.851	-53.113	-12.177
160	-55.774	-56.034	-55.904	-14.968
170	-54.364	-52.885	-53.6245	-12.6885
180	-53.761	-53.421	-53.591	-12.655
190	-54.886	-54.721	-54.8035	-13.8675
200	-51.852	-50.857	-51.3545	-10.4185
210	-50.751	-50.619	-50.685	-9.749
220	-49.741	-47.651	-48.696	-7.76
230	-46.723	-44.871	-45.797	-4.861
240	-45.891	-42.793	-44.342	-3.406
250	-42.341	-40.419	-41.38	-0.444
260	-41.981	-39.891	-40.936	0
270	-51.785	-50.914	-51.3495	-10.4135
280	-54.901	-55.134	-55.0175	-14.0815
290	-55.305	-55.19	-55.2475	-14.3115
300	-59.089	-58.981	-59.035	-18.099
310	-63.901	-61.903	-62.902	-21.966
320	-65.932	-64.812	-65.372	-24.436
330	-67.891	-66.82	-67.3555	-26.4195
340	-70.772	-68.991	-69.8815	-28.9455
350	-77.683	-75.992	-76.8375	-35.9015

LAMPIRAN 3 Data Hasil Pengukuran Gain

Metode yang digunakan dalam pengukuran gain pada penelitian ini menggunakan metode 3 antena. Dimana ketiga antena itu bekerja pada frekuensi yang sama.

KOMBINASI 1-2							
Frekuensi (GHz)	λ (cm)	R (cm)	Daya Pemancar (mW)	Daya penerima (μ W)			G1+G2 (dB)
				1	2	Rata-rata	
2.35	12.766	75	0.756	0.75	0.797	0.7735	7.464
2.36	12.712	75	0.756	0.795	0.854	0.8245	7.778
2.37	12.658	75	0.759	0.976	0.947	0.9615	8.465
2.38	12.605	75	0.739	1.19	1.087	1.1385	9.351
2.39	12.552	75	0.739	1.32	1.173	1.2465	9.781
2.4	12.500	75	0.749	1.47	1.34	1.405	10.279
2.41	12.448	75	0.758	1.6	1.59	1.595	10.814
2.42	12.397	75	0.746	1.68	1.67	1.675	11.132
2.43	12.346	75	0.726	1.61	1.65	1.63	11.168
2.44	12.295	75	0.719	1.62	1.67	1.645	11.285
2.45	12.245	75	0.734	1.68	1.7	1.69	11.348
2.46	12.195	75	0.756	1.75	1.71	1.73	11.357
2.47	12.146	75	0.759	1.78	1.81	1.795	11.535
2.48	12.097	75	0.741	1.85	1.86	1.855	11.817
2.49	12.048	75	0.739	1.82	1.83	1.825	11.793
2.5	12.000	75	0.743	1.79	1.73	1.76	11.647

KOMBINASI 2-3							
Frekuensi (GHz)	λ (cm)	R (cm)	Daya Pemancar (mW)	Daya penerima (μ W)			G2+G3 (dB)
				1	2	Rata-rata	
2.35	12.766	75	0.753	1.07	1.15	1.11	9.050
2.36	12.712	75	0.756	1.19	1.09	1.14	9.185
2.37	12.658	75	0.759	1.32	1.17	1.245	9.587
2.38	12.605	75	0.739	1.34	1.28	1.31	9.961
2.39	12.552	75	0.739	1.4	1.27	1.335	10.079
2.4	12.500	75	0.749	1.2	1.24	1.22	9.666
2.41	12.448	75	0.758	1.13	1.19	1.16	9.431
2.42	12.397	75	0.746	1.14	1.06	1.1	9.306
2.43	12.346	75	0.726	1.036	1.1	1.068	9.331
2.44	12.295	75	0.719	0.933	1.14	1.0365	9.279
2.45	12.245	75	0.734	0.92	1.01	0.965	8.915
2.46	12.195	75	0.756	0.78	0.934	0.857	8.306
2.47	12.146	75	0.759	0.912	0.891	0.9015	8.544
2.48	12.097	75	0.741	0.77	0.772	0.771	8.004
2.49	12.048	75	0.739	0.543	0.624	0.5835	6.841
2.5	12.000	75	0.745	0.446	0.541	0.4935	6.113

KOMBINASI 1-3							
Frekuensi (GHz)	λ (cm)	R (cm)	Daya Pemancar (mW)	Daya penerima (μ W)			G1+G3 (dB)
				1	2	Rata-rata	
2.35	12.766	75	0.751	0.708	0.653	0.6805	6.936
2.36	12.712	75	0.756	0.648	0.685	0.6665	6.854
2.37	12.658	75	0.759	0.768	0.721	0.7445	7.354
2.38	12.605	75	0.739	0.774	0.722	0.748	7.527
2.39	12.552	75	0.739	0.743	0.787	0.765	7.661
2.4	12.500	75	0.749	0.706	0.758	0.732	7.448
2.41	12.448	75	0.758	0.637	0.713	0.675	7.080
2.42	12.397	75	0.746	0.637	0.702	0.6695	7.149
2.43	12.346	75	0.726	0.687	0.697	0.692	7.447
2.44	12.295	75	0.719	0.687	0.709	0.698	7.562
2.45	12.245	75	0.734	0.615	0.675	0.645	7.165
2.46	12.195	75	0.756	0.594	0.678	0.636	7.011
2.47	12.146	75	0.759	0.617	0.658	0.6375	7.039
2.48	12.097	75	0.741	0.587	0.585	0.586	6.813
2.49	12.048	75	0.739	0.497	0.51	0.5035	6.201
2.5	12.000	75	0.745	0.481	0.478	0.4795	5.988

Frekuensi (GHz)	G1 (dB)	G2 (dB)	G3 (dB)
2.35	2.675	4.789	4.261
2.36	2.723	5.054	4.131
2.37	3.116	5.349	4.238
2.38	3.459	5.893	4.068
2.39	3.682	6.100	3.980
2.4	4.030	6.249	3.417
2.41	4.231	6.583	2.848
2.42	4.488	6.644	2.662
2.43	4.641	6.526	2.805
2.44	4.784	6.501	2.778
2.45	4.799	6.549	2.366
2.46	5.031	6.326	1.980
2.47	5.015	6.520	2.024
2.48	5.313	6.504	1.500
2.49	5.576	6.217	0.624
2.5	5.761	5.886	0.227

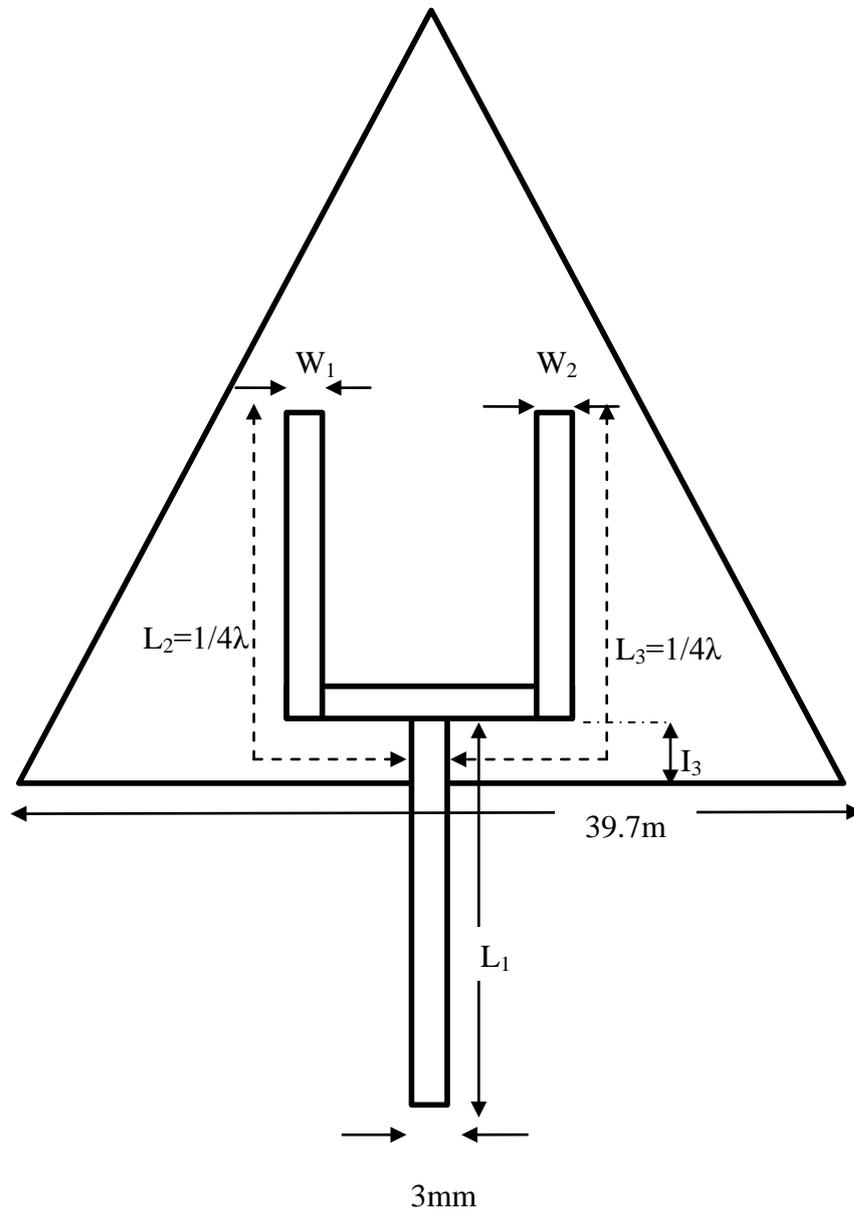
LAMPIRAN 4 Data Pengukuran Return loss da VSWR

Frekuensi	Return Loss		VSWR	
	Simulasi	Pengukuran	Simulasi	Pengukuran
2.3	-3.9345	-4.33	4.4905	4.0576
2.31	-4.2685	-4.63	4.1513	3.7924
2.32	-4.6501	-4.970	3.8246	3.5346
2.33	-5.0889	-5.38	3.5107	3.2876
2.34	-5.5973	-5.83	3.2103	3.0679
2.35	-6.1913	-6.38	2.9236	2.8329
2.36	-6.8921	-7.03	2.6514	2.6232
2.37	-7.7288	-7.85	2.3941	2.3579
2.38	-8.7425	-8.710	2.152	2.1431
2.39	-9.9945	-9.91	1.9258	1.9124
2.4	-11.583	-11.71	1.7157	1.6743
2.41	-13.683	-13.93	1.5219	1.4783
2.42	-16.657	-17.13	1.3445	1.2874
2.43	-21.514	-24.22	1.1834	1.1176
2.44	-34.364	-39.906	1.039	1.0247
2.45	-26.315	-22.14	1.1016	1.1867
2.46	-18.749	-18.96	1.2611	1.4550
2.47	-14.788	-13.72	1.4457	1.5504
2.48	-12.13	-11.85	1.6577	1.7320
2.49	-10.165	-10.26	1.8998	1.9034
2.5	-8.6383	-9.93	2.1741	2.1350

LAMPIRAN 5

Perubahan Komponen Antena Mikrostrip Segitiga yang Dikopling oleh Pencatu

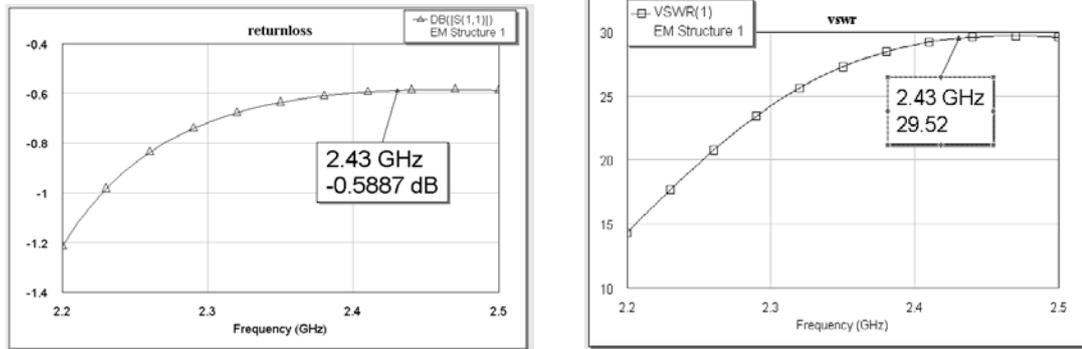
Berbentuk Garpu



Keterangan Gambar komponen antenna

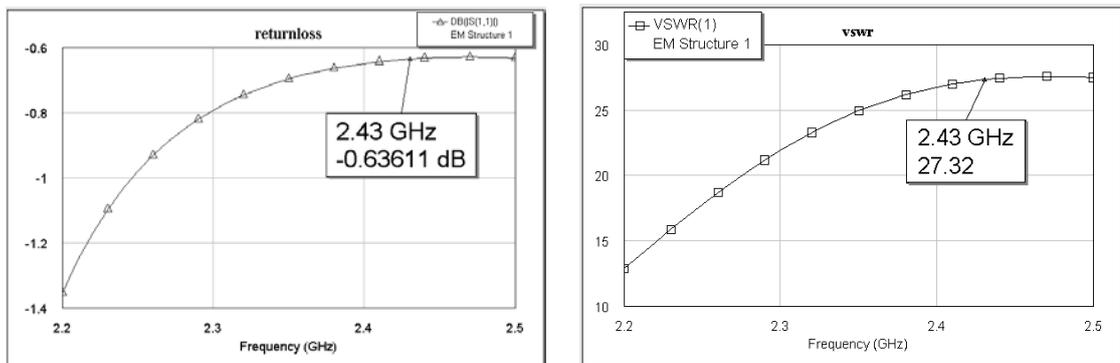
Lebar saluran catu

Mengubah lebar saluran catu sebesar 4mm sedangkan komponen lainnya dibiarkan tetap.



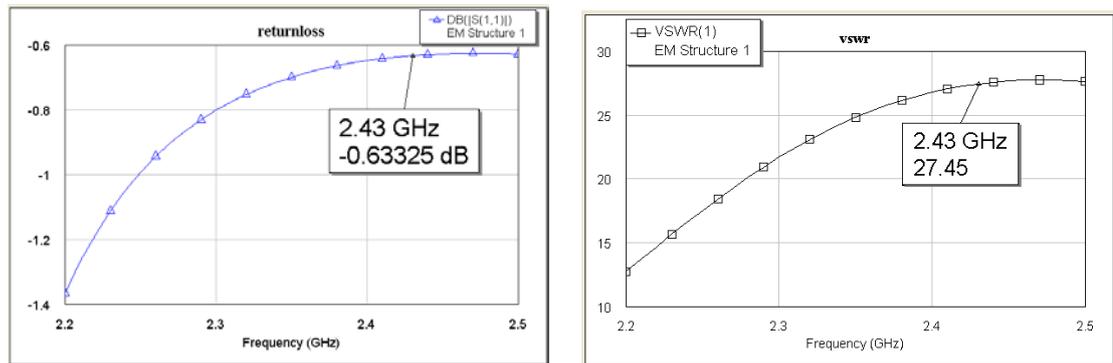
Gambar Grafik merubah lebar saluran catu sebesar 4mm terhadap Return loss dan VSWR

Mengubah lebar saluran catu sebesar 5mm sedangkan komponen lainnya dibiarkan tetap.



Gambar Grafik merubah lebar saluran catu sebesar 5mm terhadap Return loss dan VSWR

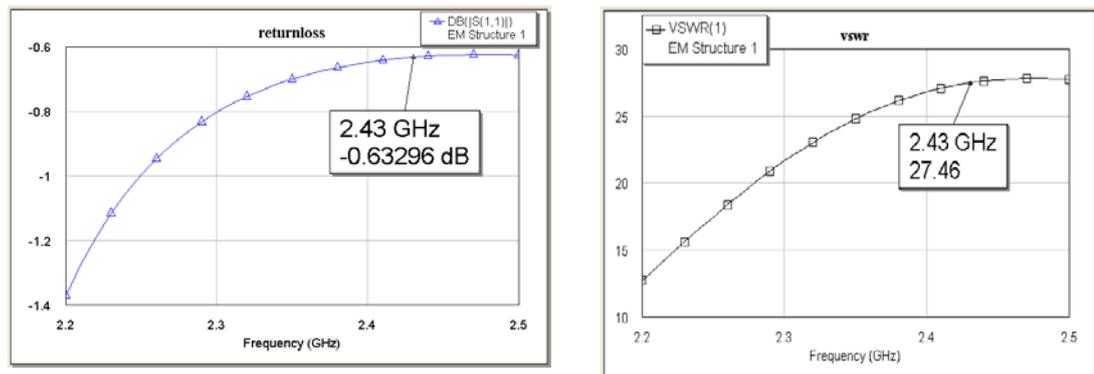
Mengubah lebar saluran catu sebesar 6mm sedangkan komponen lainnya dibiarkan tetap



Gambar Grafik merubah lebar saluran catu sebesar 5mm terhadap Return loss dan VSWR

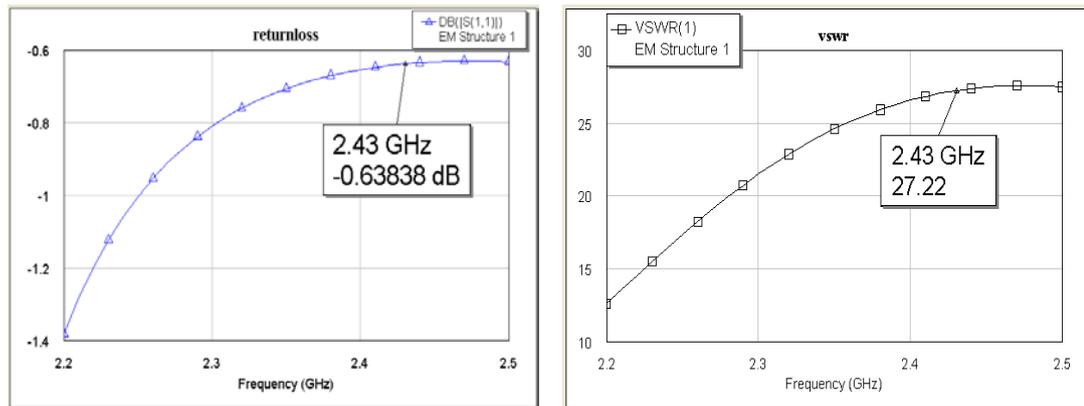
Mengubah panjang saluran catu (L_1)

Mengubah ukuran panjang saluran catu menjadi 19mm dengan lebar saluran catu sebesar 6mm dan komponen lainnya dibiarkan tetap sesuai dengan ukuran hasil perhitungan.



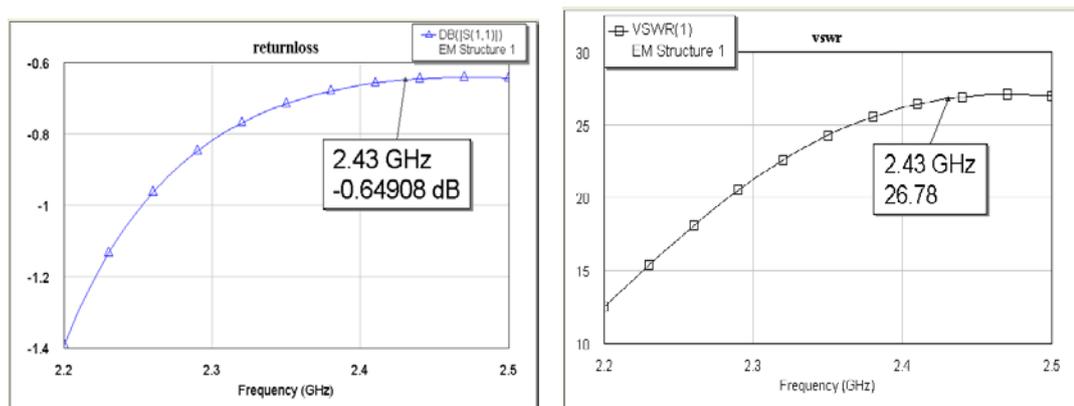
Gambar Grafik merubah panjang saluran catu sebesar 19mm terhadap Return loss dan VSWR

Mengubah ukuran panjang saluran catu sebesar 20mm dengan lebar saluran catu sebesar 4mm dan komponen lainnya dibiarkan tetap.



Gambar Grafik merubah panjang saluran catu sebesar 20mm terhadap Return loss dan VSWR

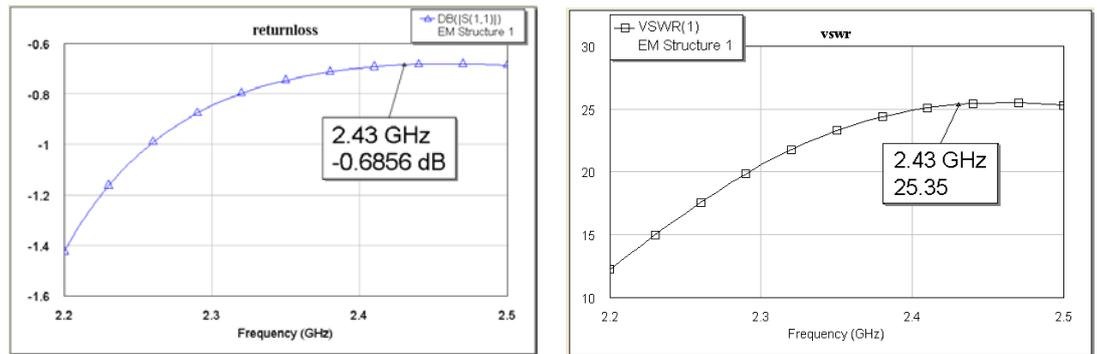
Mengubah ukuran panjang saluran catu sebesar 21 mm dengan lebar saluran catu sebesar 6 mm dan komponen lainnya dibiarkan tetap.



Gambar Grafik merubah panjang saluran catu sebesar 21mm terhadap Return loss dan VSWR

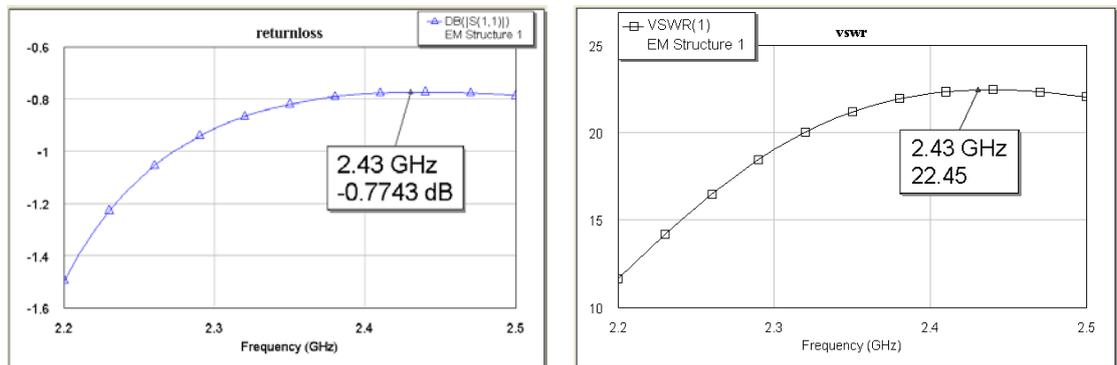
Mengubah Panjang L_2 dan L_3

Mengubah panjang L_2 dan L_3 sebesar 5mm dengan panjang saluran catu sebesar 21mm lebar saluran catu sebesar 6mm dan ukuran komponen lain dibiarkan tetap.



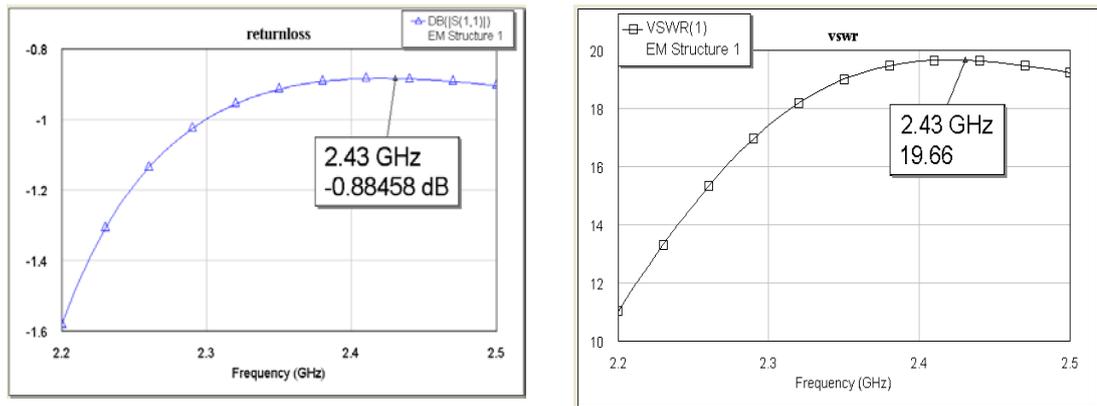
Gambar Grafik merubah panjang L_1 da L_2 sebesar 5mm terhadap Return loss dan VSWR

Mengubah panjang L_2 dan L_3 sebesar 6mm dengan panjang saluran catu 6.5mm lebar saluran catu sebesar 5 mm dan ukuran kompoen lain dibiarkan tetap.



Gambar Grafik merubah panjang L_2 da L_3 sebesar 6mm terhadap Return loss dan VSWR

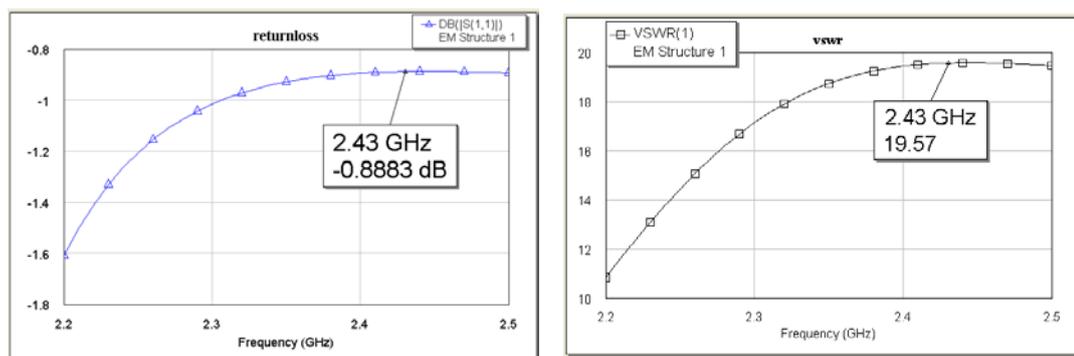
Mengubah panjang L_2 dan L_3 sebesar 7mm dengan panjang saluran catu 21mm lebar saluran catu sebesar 6mm dan ukuran kompoen lain dibiarkan tetap.



Gambar Grafik merubah panjang L_1 da L_2 sebesar 7mm terhadap Return loss dan VSWR

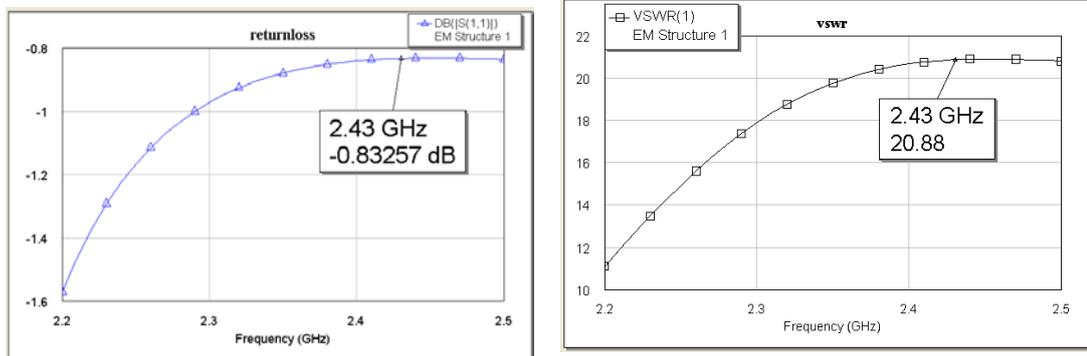
Perubahan lebar W_1 , W_2 terhadap *Return Loss*

Lebar W_1 dan W_2 sebesar 2.1 mm dengan panjang saluran pencatu 21mm, lebar saluran pencatu 6mm dan panjang L_2 dan L_3 sebesar 2.1 mm dan komponen lainnya dibiarkan tetap.



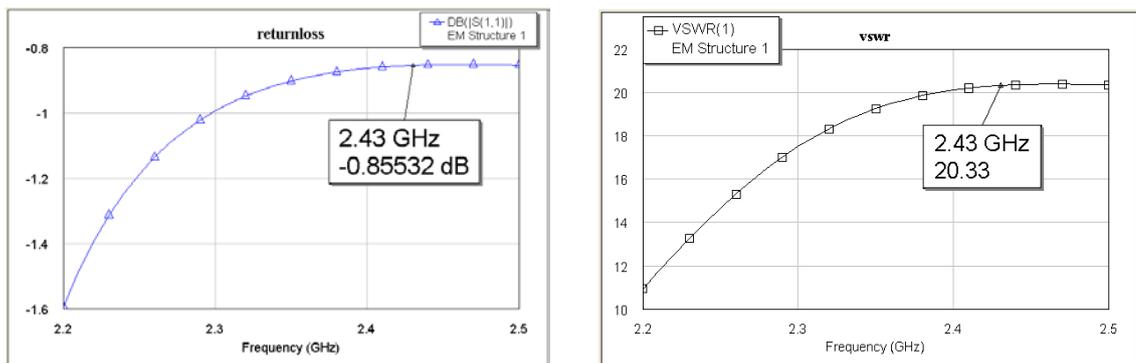
Gambar grafik merubah W_1 dan W_2 sebesar 2.1mm terhadap Return loss dan VSWR

Lebar W_1 dan W_2 sebesar 2.2 mm dengan panjang saluran pencatu 21mm, lebar saluran pencatu 6mm dan panjang L_2 dan L_3 sebesar 7 mm dan komponen lainnya dibiarkan tetap.



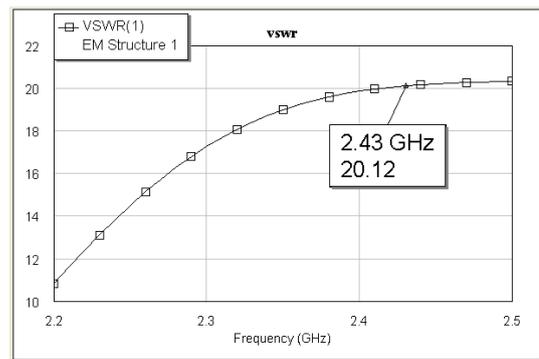
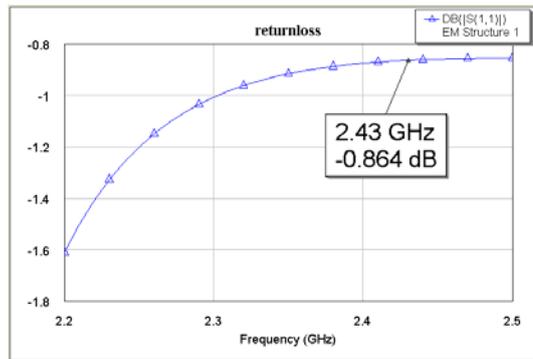
Gambar grafik merubah W_1 dan W_2 sebesar 2.2mm terhadap Return loss dan VSWR

Lebar W_1 dan W_2 sebesar 2.7 mm dengan panjang saluran pencatu 21mm, lebar saluran pencatu 6mm dan panjang L_2 dan L_3 sebesar 7 mm dan komponen lainnya dibiarkan tetap.



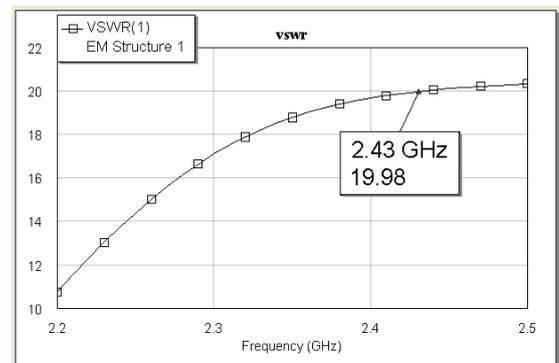
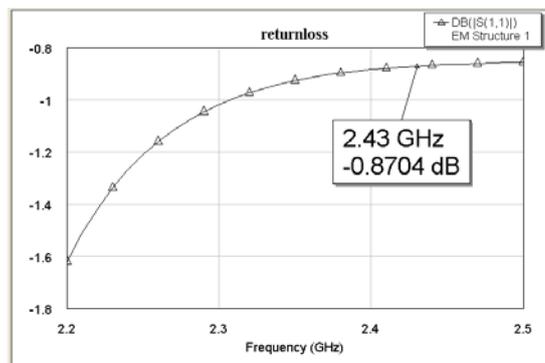
Gambar grafik merubah W_1 dan W_2 sebesar 2.7mm terhadap Return loss dan VSWR

Lebar W_1 dan W_2 sebesar 3.2 mm dengan panjang saluran pencatu 21mm, lebar saluran pencatu 6mm dan panjang L_2 dan L_3 sebesar 7 mm dan komponen lainnya dibiarkan tetap.



Gambar grafik merubah W_1 dan W_2 sebesar 3.2mm terhadap Return loss dan VSWR

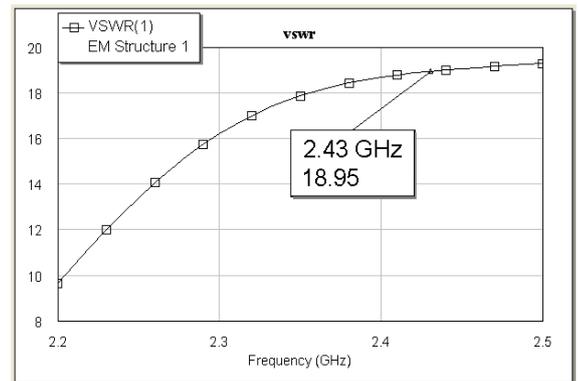
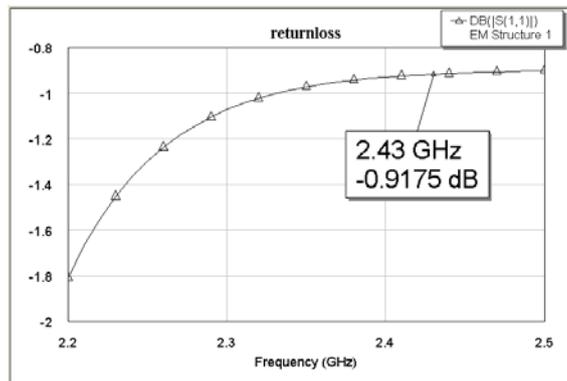
Lebar W_1 dan W_2 sebesar 3.7 mm dengan panjang saluran pencatu 21mm, lebar saluran pencatu 6mm dan panjang L_2 dan L_3 sebesar 26 mm dan komponen lainnya dibiarkan tetap.



Gambar grafik merubah W_1 dan W_2 sebesar 3.7 mm terhadap Return loss dan VSWR

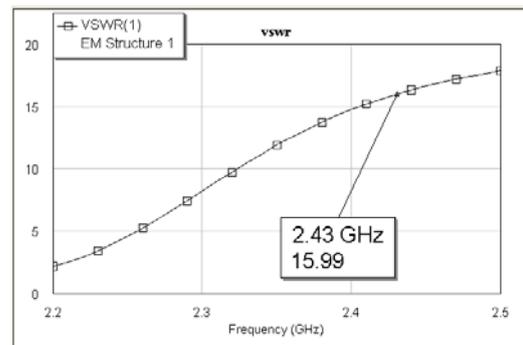
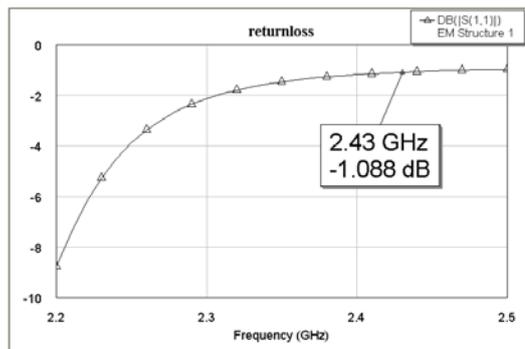
Mengubah ukuran segitiga

Mengubah ukuran segitiga sebesar 39mm, Lebar W_1 dan W_2 sebesar 3.7 mm dengan panjang saluran pencatu 21mm, lebar saluran pencatu 6mm dan panjang L_2 dan L_3 sebesar 26 mm dan komponen lainnya dibiarkan tetap.



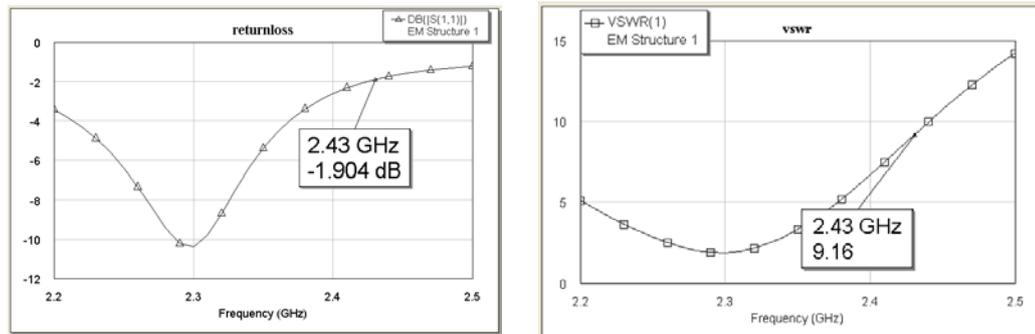
Gambar grafik merubah ukuran segitiga sebesar 39mm terhadap retrurn loss dan VSWR

Mengubah ukuran segitiga sebesar 37mm, Lebar W_1 dan W_2 sebesar 3.7 mm dengan panjang saluran pencatu 21mm, lebar saluran pencatu 6mm dan panjang L_2 dan L_3 sebesar 26 mm dan komponen lainnya dibiarkan tetap



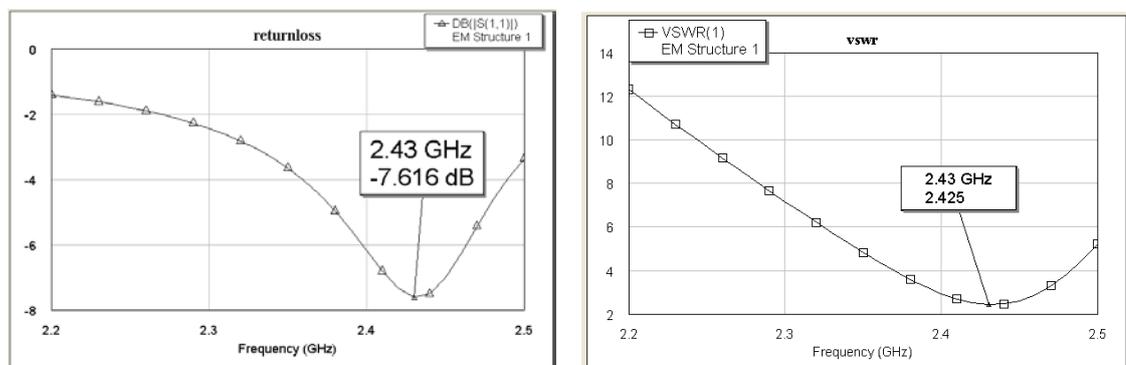
Gambar grafik merubah ukuran segitiga sebesar 37mm terhadap retrurn loss dan VSWR

Mengubah ukuran segitiga sebesar 35mm, Lebar W_1 dan W_2 sebesar 3.7 mm dengan panjang saluran pencatu 21mm, lebar saluran pencatu 6mm dan panjang L_2 dan L_3 sebesar 26 mm dan komponen lainnya dibiarkan tetap.



Gambar grafik merubah ukuran segitiga sebesar 35 mm terhadap retrurn loss dan VSWR

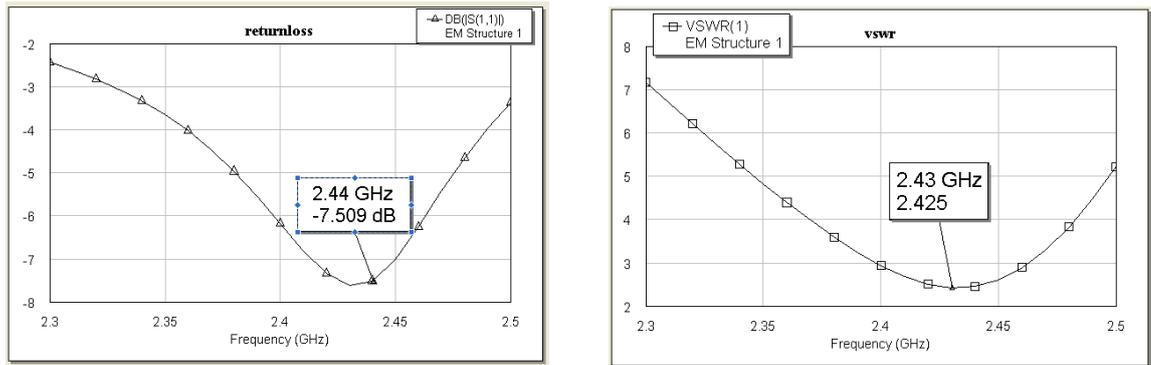
Mengubah ukuran segitiga sebesar 33mm, Lebar W_1 dan W_2 sebesar 3.7 mm dengan panjang saluran pencatu 21mm, lebar saluran pencatu 6mm dan panjang L_2 dan L_3 sebesar 26 mm dan komponen lainnya dibiarkan tetap.



Gambar grafik merubah ukuran segitiga sebesar 34mm terhadap retrurn loss dan VSWR

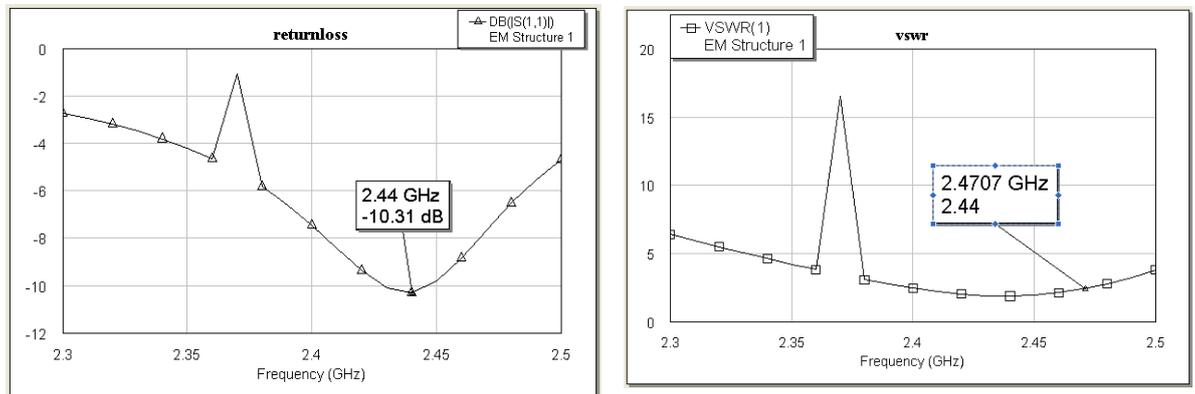
Mengubah ukuran I_3

Jika I_3 menjadi 1mm, ukuran segitiga sebesar 33mm, Lebar W_1 dan W_2 sebesar 3.7 mm dengan panjang saluran pencatu 21mm, lebar saluran pencatu 6mm dan panjang L_2 dan L_3 sebesar 26 mm dan komponen lainnya dibiarkan tetap.



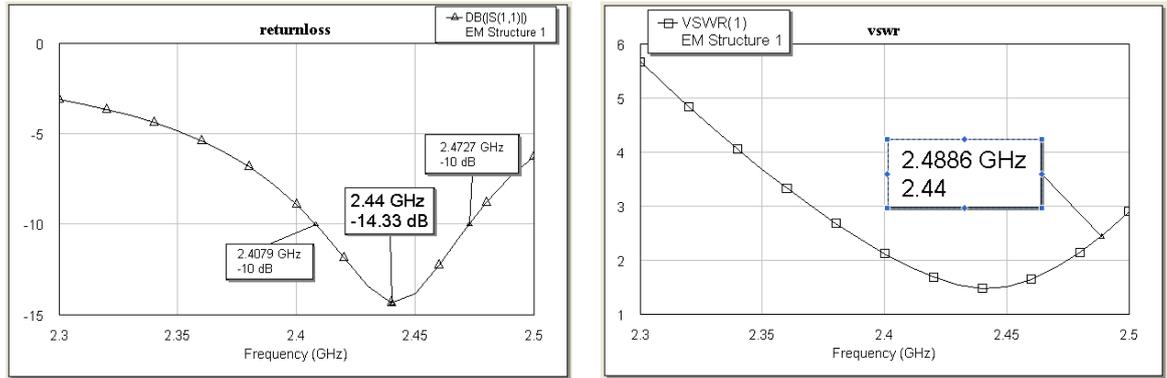
Gambar merubah ukuran I_3 sebesar 1mm terhadap retrurn loss dan VSWR

Jika I_3 menjadi 2mm, ukuran segitiga sebesar 33mm, Lebar W_1 dan W_2 sebesar 3.7 mm dengan panjang saluran pencatu 21mm, lebar saluran pencatu 6mm dan panjang L_2 dan L_3 sebesar 26 mm dan komponen lainnya dibiarkan tetap.



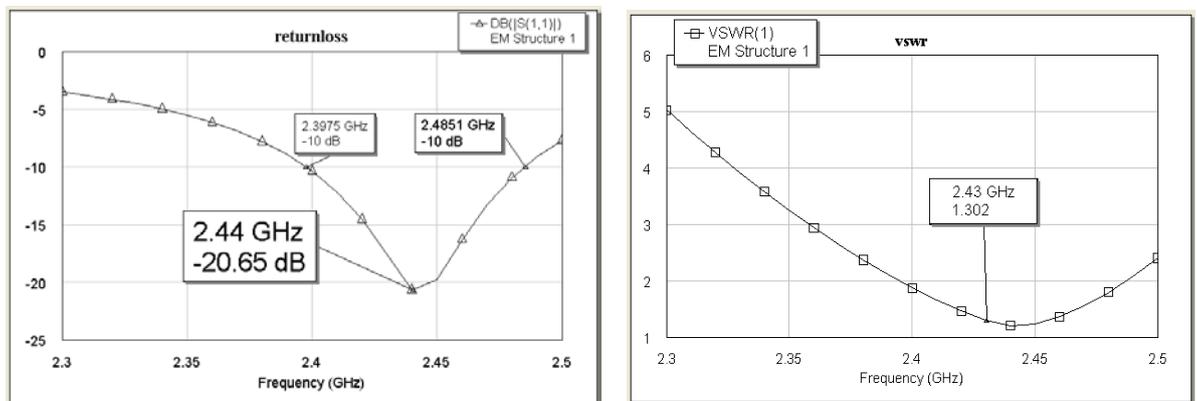
Gambar merubah ukuran I_3 sebesar 2mm terhadap retrurn loss dan VSWR

Jika I_3 menjadi 3mm, ukuran segitiga sebesar 33mm, Lebar W_1 dan W_2 sebesar 3.7 mm dengan panjang saluran pencatu 21mm, lebar saluran pencatu 6mm dan panjang L_2 dan L_3 sebesar 26 mm dan komponen lainnya dibiarkan tetap.



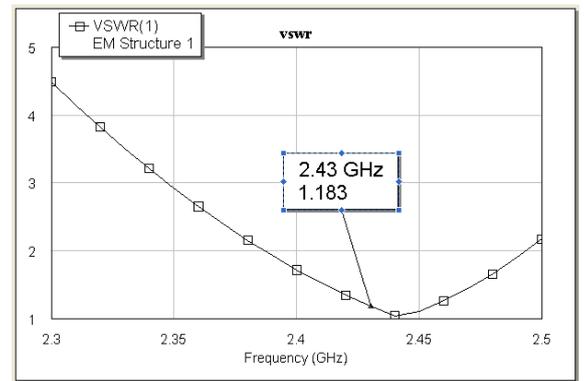
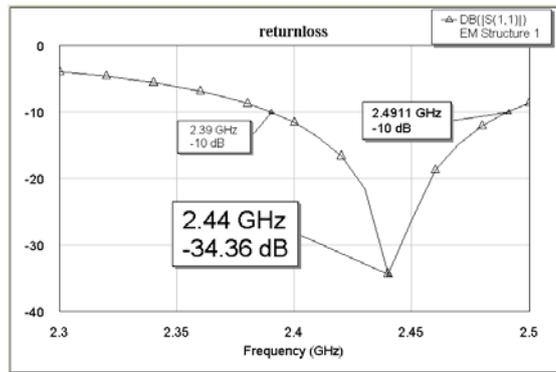
Gambar merubah ukuran I_3 sebesar 3mm terhadap retrurn loss dan VSWR

Jika I_3 menjadi 4mm, ukuran segitiga sebesar 33mm, Lebar W_1 dan W_2 sebesar 3.7 mm dengan panjang saluran pencatu 21mm, lebar saluran pencatu 6mm dan panjang L_2 dan L_3 sebesar 26 mm dan komponen lainnya dibiarkan tetap.



Gambar merubah ukuran I_3 sebesar 4mm terhadap retrurn loss dan VSWR

Jika I_3 menjadi 5mm, ukuran segitiga sebesar 33mm, Lebar W_1 dan W_2 sebesar 3.7 mm dengan panjang saluran pencatu 21mm, lebar saluran pencatu 6mm dan panjang L_2 dan L_3 sebesar 26 mm dan komponen lainnya dibiarkan tetap..



Gambar merubah ukuran I_3 sebesar 5mm terhadap return loss dan VSWR