



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**RANCANG BANGUN ANTENA MIKROSTRIP *DUAL-BAND*  
UNTUK APLIKASI PEMBACA RFID**

**SKRIPSI**

**OKKI WIBOWO SUPENDI  
04 05 03 063X**

**FAKULTAS TEKNIK  
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
DEPOK  
DESEMBER 2009**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**RANCANG BANGUN ANTENA MIKROSTRIP *DUAL-BAND*  
UNTUK APLIKASI PEMBACA RFID**

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik**

**OKKI WIBOWO SUPENDI  
04 05 03 063X**

**FAKULTAS TEKNIK  
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
DEPOK  
DESEMBER 2009**

**HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS**

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

Nama : Okki Wibowo Supendi

NPM : 040503063X

Tanda Tangan :

Tanggal : 28 Desember 2009

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :  
Nama : Okki Wibowo Supendi  
NPM : 040503063X  
Program Studi : Teknik Elektro  
Judul Seminar : Rancang Bangun Antena Mikrostrip *Dual-band*  
untuk Aplikasi Pembaca RFID

**Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk mata kuliah Skripsi pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.**

## DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. Fitri Yuli Zulkifli, S.T., M.Sc. ( )

Penguji : Prof. Dr. Ir. Eko Tjipto Rahardjo, M.Sc. ( )

Penguji : Dr. Ir. Muhammad Asvial, M.Eng. ( )

Ditetapkan di : Depok  
Tanggal : 28 Desember 2009

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis sampaikan kepada Allah Subhanahu Wa Ta'ala atas segala Karunia dan Rahmat-Nya sehingga skripsi ini dapat terselesaikan. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Departemen Teknik Elektro pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk memperoleh gelar sarjana. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

- (1) *Dr. Fitri Yuli Zulkifli, S.T., Msc*, selaku dosen pembimbing dan *Prof. Eko Tjipto Rahardjo*, selaku Ketua *Antenna Propagation and Microwave Research Group* yang telah menyediakan waktu, tenaga dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini.
- (2) Orang tua dan keluarga saya yang telah memberikan dukungan moril dan material.
- (3) Heri R, Indra K, Aditya Inzani, M.Tajudin, Dandy F, Mayang D, R.R Aditya, dan rekan-rekan mahasiswa/i Teknik Elektro Angkatan 2005 yang telah membantu dan memberi dukungan dalam penyusunan skripsi ini.
- (4) Pihak- pihak yang telah membantu saya dalam menyelesaikan skripsi ini.

Akhir kata, semoga Allah Subhanahu Wa Ta'ala membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu penyusunan skripsi ini dengan balasan yang lebih baik. Semoga skripsi ini membawa manfaat yang besar bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi.

Depok, 28 Desember 2009

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI  
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

---

---

Sebagai civitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Okki Wibowo Supendi  
NPM : 040503063X  
Program Studi : Teknik Elektro  
Departemen : Teknik Elektro  
Fakultas : Teknik  
Jenis Karya : Skripsi

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

**RANCANG BANGUN ANTENA MIKROSTRIP DUAL-BAND UNTUK  
APLIKASI PEMBACA RFID**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/format-kan, 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 : 28 Desember 2009  
Yang menyatakan

(Okki Wibowo Supendi)

## ABSTRAK

Nama : Okki Wibowo  
Program Studi : Teknik Elektro  
Judul : Rancang Bangun Antena Mikrostrip *Dual-band* Untuk Aplikasi Pembaca RFID  
Pembimbing : Dr. Fitri Yuli Zulkifli, S.T., Msc.

*Radio Frequency Identification (RFID)* merupakan teknologi identifikasi dan pendataan baru yang memiliki keunggulan dibanding teknologi sebelumnya yaitu barcode. Salah satu bagian dalam sistem RFID adalah antena pembaca. Pada skripsi ini dirancang suatu antena mikrostrip *patch* segi empat dengan slot U yang memiliki dua frekuensi kerja untuk aplikasi pembaca RFID. Penggunaan slot U dimaksudkan agar antena dapat bekerja pada dual-frekuensi. Antena dirancang dengan menggunakan teknik pencatutan *Electromagnetic Coupled*. Antena dapat bekerja pada dua frekuensi yang diinginkan yaitu pada rentang frekuensi 919-927 MHz dan 2,43-2,48 GHz dengan *return loss*  $\leq -13,98$  dB atau *VSWR*  $\leq 1,5$ . Antena ini memiliki polarisasi linear pada kedua frekuensi.

Kata kunci: Antena mikrostrip *slot U*, RFID, *electromagnetic coupled*, *return loss*.

## ABSTRACT

Name : Okki Wibowo  
Study Program : Teknik Elektro  
Title : Dual band Microstrip Antenna for RFID Reader  
Supervisor : Dr. Fitri Yuli Zulkifli, S.T., Msc.

Radio Frequency Identification (RFID) is a new identification and data mining technology that has many advantages than previous technology, namely barcode technology. One part of The RFID system is The Antenna Reader. In this research rectangular microstrip antenna with U-shaped slot that resonances at two frequencies is designed for RFID Antenna Reader application. The purpose of using the U-shaped slot is to get dual-frequencies. This antenna design uses electromagnetic couple feeding technique. Measurement results show that this antenna resonances at 919-927 MHz and 2.43-2.48 GHz with *return loss*  $\leq -13.98$  dB or *VSWR*  $\leq 1.5$ . Antenna has linear polarization at both frequencies.

Key words : Microstrip antenna, U-shaped slot, RFID, *electromagnetic coupled, return loss.*

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	<b>i</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS</b> .....	<b>ii</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	<b>iii</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>iv</b>
<b>HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH</b> .....	<b>v</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>vi</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>vii</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>viii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>x</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xi</b>
<b>DAFTAR SINGKATAN</b> .....	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR ISTILAH</b> .....	<b>xiv</b>
<b>BAB 1 PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Tujuan .....	3
1.3 Batasan Masalah .....	3
1.4 Sistematika Penulisan .....	4
<b>BAB 2 ANTENA MIKROSTRIP PATCH SEGI EMPAT DENGAN PENCATUAN ELEKTRO MAGNETIC</b> .....	<b>5</b>
2.1 Antena Mikrostrip .....	5
2.2 Cavity Model .....	7
2.3 Mekanisme Radiasi Antena Mikrostrip .....	8
2.4 Antena Mikrostrip <i>Patch</i> Segi Empat .....	10
2.5 Parameter Umum Antena Mikrostrip .....	11
2.5.1 Impedansi Masukan .....	11
2.5.2 VSWR (Voltage Standing Wave Ratio) .....	11
2.5.3 <i>Return loss</i> .....	12
2.5.4 Polarisasi .....	13
2.5.5 Bandwidth .....	15
2.5.6 Keterarahan .....	16
2.5.7 Penguatan ( <i>Gain</i> ) .....	17
2.6 Teknik Pencatuan <i>Electromagnetic Coupled</i> .....	17
2.7 Teknik Menghasilkan Multifrekuensi .....	18
2.7.1 Orthogonal Mode Multi Frequencies .....	19
2.7.2 Multi <i>Patch</i> Multi Frequencies .....	19
2.7.3 Reactively Loaded Multi Frequencies Antena .....	20
<b>BAB 3 PERANCANGAN ANTENA DAN SIMULASI</b> .....	<b>21</b>
3.1 Perlengkapan Yang Digunakan .....	21
3.1.1 Perangkat Keras .....	21
3.1.2 Perangkat Lunak .....	21
3.2. Perancangan Antena Multi-band <i>Patch</i> Segi Empat Dengan Slot U .....	22
3.2.1 Diagram Alir Perancangan Antena .....	22
3.2.2 Penentuan Frekuensi Kerja dan Jenis Substrat yang Digunakan .....	23
3.2.3 Penentuan Lebar Saluran Pencatu .....	24
3.2.4 Antena dengan Slot U .....	24

3.2.5 Penelitian Pengaruh Slot U .....	25
3.3 Perancangan Antena Dual-band untuk Aplikasi RFID .....	28
3.3.1 Perancangan Dimensi <i>Patch</i> Segi Empat Dengan Slot U .....	28
3.3.2 Karakterisasi Antena dan Simulasi .....	30
3.3.2.1 Karakterisasi Panjang <i>Patch</i> (PP) .....	30
3.3.2.2 Karakterisasi Lebar Slot U (LU) .....	31
3.3.2.3 Karakterisasi Panjang Pencatuan (PF) .....	36
3.3.3 Hasil Simulasi Perancangan Antena Dual Band .....	37
<b>BAB 4 HASIL PENGUKURAN DAN ANALISIS ANTENA .....</b>	<b>42</b>
4.1 Pengukuran Antena .....	42
4.1.1 Hasil Pengukuran <i>Return loss</i> dan VSWR .....	43
4.1.2 Pengukuran Impedansi Masukan Antena .....	45
4.2 Analisis Hasil Pengukuran Antena Awal .....	46
4.3 Desain Antena Perbaikan .....	47
4.4 Pengukuran Antena Perbaikan .....	52
4.4.1 Pengukuran Port Tunggal .....	52
4.4.2 Pengukuran Pola Radiasi .....	55
4.4.3 Pengukuran <i>Gain</i> .....	61
4.4.3 Pengukuran Axial Ratio .....	62
4.5 Analisis Antena Perbaikan .....	63
4.4.1 Karakterisasi Bandwidth .....	63
4.4.2 Analisis Pola Radiasi .....	64
4.4.3 Analisis <i>Gain</i> .....	67
<b>BAB 5 KESIMPULAN .....</b>	<b>68</b>
<b>DAFTAR ACUAN .....</b>	<b>69</b>
<b>LAMPIRAN A .....</b>	<b>71</b>
<b>LAMPIRAN B .....</b>	<b>73</b>
<b>LAMPIRAN C .....</b>	<b>79</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Spesifikasi Substrat yang Digunakan .....	23
Tabel 3.2	Perbandingan Antena <i>Patch</i> Segi Empat Dengan dan Tanpa slot U .....	27
Tabel 3.3	Dimensi Awal Antena .....	28
Tabel 3.4	Perbandingan Frekuensi Antar Desain Yang Memiliki Lebar Slot U yang Berbeda.....	34
Tabel 3.5	Hasil Simulasi Karakterisasi Lebar Slot U.....	34
Tabel 3.6	Hasil Simulasi Karakterisasi Lebar Slot U Optimal .....	36
Tabel 3.7	Dimensi Hasil Akhir Desain Antena.....	37
Tabel 3.8	Frekuensi Kerja Antena Dual-Band Hasil Simulasi.....	39
Tabel 4.1	Perbandingan Hasil Pengukuran dengan Simulasi (a) Frekuensi 923MHz dan (b) 2,45GHz.....	45
Tabel 4.2	Dimensi Desain Perbaikan Antena.....	48
Tabel 4.3	Perbandingan Hasil Simulasi dan Pengukuran Antena.....	54

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Struktur Dasar Antena Mikrostrip.....	5
Gambar 2.2	Beberapa Bentuk <i>Patch</i> .....	6
Gambar 2.3	Distribusi Muatan dan Kerapatan Arus pada Antena Mikrostrip.....	9
Gambar 2.4	Polarisasi Linier.....	13
Gambar 2.5	Polarisasi Melingkar .....	14
Gambar 2.6	Polarisasi Elips.....	15
Gambar 2.7	Rentang Frekuensi yang Menjadi <i>Bandwidth</i> .....	15
Gambar 2.8	Teknik Orthogonal mode multi-frekuensi.....	19
Gambar 2.9	Teknik multi- <i>patch</i> multi-frekuensi .....	19
Gambar 2.10	Teknik Reactively-loaded multi frekuensi .....	20
Gambar 3.1	Diagram Alir Perancangan Antena Multi-band .....	22
Gambar 3.2	Tampilan Program PCAAD untuk Mencari Lebar Saluran Pencatu Agar Mempunyai Impedansi 50 $\Omega$ .....	24
Gambar 3.3	Antena <i>Patch</i> Segi Empat Tanpa Slot U.....	26
Gambar 3.4	Antena <i>Patch</i> Segiempat Dengan Slot U .....	27
Gambar 3.5	Desain Awal Antena (a) Tampak Atas dan (b) Gambar Dengan Pemisahan Substrat .....	29
Gambar 3.6	Nilai <i>return loss</i> Hasil Simulasi Desain Awal Antena.....	30
Gambar 3.7	Nilai <i>Return loss</i> Hasil Simulasi Karakterisasi Panjang <i>Patch</i> (PP)..	31
Gambar 3.8	Desain antena dengan (a) nilai LU diperbesar dan (b) saat nilai LU diperkecil .....	32
Gambar 3.9	Desain Setelah Slot U Diperlebar (panjang LU diperbesar) .....	33
Gambar 3.10	Desain Setelah Slot U Dipersempit (panjang LU diperkecil) .....	33
Gambar 3.11	Hasil Simulasi Karakterisasi Lebar Slot U optimal .....	36
Gambar 3.12	Desain Akhir Antena Dual-band Frekuensi 924MHz dan 2,45 GHz	37
Gambar 3.13	Hasil Simulasi Desain Akhir Antena Dual-Band.....	39
Gambar 3.14	Pola Radiasi Antena (2 Dimensi).....	40
Gambar 3.15	Pola Radiasi Antena (3 Dimensi).....	41
Gambar 4.1	Hasil Fabrikasi Antena.....	42
Gambar 4.2	Hasil Pengukuran <i>Return loss</i> .....	43
Gambar 4.3	Hasil Pengukuran VSWR.....	44
Gambar 4.4	Impedansi Masukan Antena.....	45
Gambar 4.5	Hasil Simulasi Perancangan dengan Penambahan Celah Udara antar Substrat.....	47
Gambar 4.6	Desain Perbaikan Antena .....	48
Gambar 4.7	Hasil Simulasi Perbaikan Antena.....	49
Gambar 4.8	Pola Radiasi Tiga Dimensi (a) Frekuensi 924 MHz dan (b) Frekuensi 2,45 GHz.....	50
Gambar 4.9	Pola Radiasi Tiga Dimensi (a) Frekuensi 924 MHz dan (b) Frekuensi 2,45 GHz.....	51
Gambar 4.10	<i>Return loss</i> Perbaikan Antena Dual Band.....	52
Gambar 4.11	<i>Return loss</i> Perbaikan Antena Frekuensi 923-925MHz.....	52
Gambar 4.12	<i>Return loss</i> Perbaikan Antena Frekuensi 2,44-2,48 GHz. ....	53
Gambar 4.13	VSWR Antena Frekuensi 923-925MHz .....	54

Gambar 4.14	VSWR Antena Frekuensi 2,44-2,48GHz.....	54
Gambar 4.15	Impedansi Masukan Antena.....	55
Gambar 4.16	Pola Radiasi Frekuensi 924MHz.....	57
Gambar 4.17	Pola Radiasi Frekuensi 2,45 GHz. ....	58
Gambar 4.18	Pola Radiasi Pada Medan H dan Medan E Pada Frekuensi 924MHz dan 2,45GHz. ....	59
Gambar 4.19	Axial Ratio Antena (a) Frekuensi 923-923MHz dan (b) Frekuensi 2,44-2,48 GHz.....	63
Gambar 4.20	Perbandingan Pola Radiasi (a) Hasil Simulasi dan (b) Pengukuran Frekuensi 924MHz.....	65
Gambar 4.21	Perbandingan Pola Radiasi (a) Hasil Simulasi dan (b) Pengukuran Frekuensi 2,45GHz. ....	66

## DAFTAR SINGKATAN

RFID	<i>Radio Frequency Identification</i>
ISM	<i>Industrial – Scientific – Medical</i>
ISO	<i>International Standart Organization</i>
MICs	<i>Microwave Integrated Circuit</i>
VSWR	<i>Voltage Standing Wave Ratio</i>
EMC	<i>Electromagnetic Coupled</i>
HFSS	<i>High Frequency Structure Simulator</i>
PC	<i>Personal Computer</i>
PCAAD	<i>Personal Computer Aided Antenna Design</i>
dB	<i>Decibel</i>
BW	<i>Bandwidth</i>
f	<i>Frekuensi</i>
mm	<i>millimeter</i>
cm	<i>centimeter</i>

## DAFTAR ISTILAH

$Z_{in}$	<i>Input Impedance</i>
$Z_o$	Impedansi Saluran
$Z_l$	Impedansi Beban
$V$	<i>Voltage</i>
$I$	<i>Current</i>
$f$	Frekuensi
$f_h$	Frekuensi Tertinggi
$f_l$	Frekuensi Terendah
$f_c$	Frekuensi Tengah
$P_{in}$	<i>Input Daya</i>
$P_r$	Daya yang Diterima
$P_t$	Daya yang dikirimkan
$U$	Intensitas Radiasi
$D$	<i>Directivity</i>
$r$	Jari-jari
$\lambda$	Panjang Gelombang
$\lambda_o$	Panjang Gelombang Ruang Hampa
$\epsilon_r$	<i>Permittivitas</i>
$\tan \delta$	Dielektrik <i>Loss Tangent</i>
$h$	Ketebalan Substrat

## **BAB 1 PENDAHULUAN**

### 1.1 Latar Belakang

Perkembangan populasi manusia yang juga diikuti oleh perkembangan aktivitasnya di berbagai bidang, seperti industri, perdagangan, dan pendidikan. Salah satu faktor penting yang harus diperhatikan dalam pengembangan kinerja suatu proses kerja adalah perbaikan sistem pendataan. Dengan sistem pendataan yang baik, maka efisiensi kerja akan meningkat yang akhirnya menjadi nilai tambah dari suatu proses kerja. Secara umum pendataan meliputi identifikasi, pengumpulan dan pengolahan data. Salah satu contoh dari aktivitas ini adalah proses pembayaran di loket pembayaran suatu supermarket. Barang-barang yang ingin dibeli diidentifikasi baik jenis, jumlah, dan harganya. Setelah dilakukan pengolahan, maka akan diketahui jumlah yang harus dibayarkan pembeli. Data berupa jenis dan jumlah barang pun dapat diketahui sehingga dapat diperlihatkan maupun disimpan.

Salah satu teknologi yang digunakan dalam proses pendataan adalah teknologi *barcode*. Teknologi *barcode* menjadi pilihan yang cukup menarik untuk dapat melakukan identifikasi dan pendataan. Di berbagai tempat aktivitas bisnis, seperti supermarket, teknologi *barcode* digunakan dalam mengidentifikasi dan mencatat barang-barang yang terjual. Namun belakangan ini, sistem identifikasi dan pendataan mulai beralih ke teknologi Radio Frequency Identification (RFID). Walaupun murah, teknologi *barcode* memiliki beberapa kelemahan seperti kurangnya kemampuan penyimpanan data dan ketidakmampuan untuk diprogram kembali [1]. Selain itu, teknologi *barcode* juga memiliki kelemahan dalam melakukan identifikasi jarak jauh. Berbagai kelemahan tersebut tidak ditemui dalam teknologi RFID.

RFID adalah suatu istilah umum yang digunakan untuk suatu metode yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi suatu informasi tanpa terjadi kontak langsung. Secara umum sistem RFID terdiri dari beberapa komponen seperti *tag* RFID (transponder), pembaca RFID (*reader*), dan aplikasi komputer. Data-data yang berada di dalam *tag* RFID disimpan di dalam chip yang terbuat dari silikon atau bahan lainnya. Data tersebut akan dibaca oleh RFID *reader* dan kemudian

diproses dengan suatu aplikasi komputer. Aplikasi komputer selain dapat memproses data, juga dapat menyimpan data-data yang diperoleh. Pengolahan data yang dilakukan oleh aplikasi komputer dapat pula dihubungkan dengan jaringan internet sehingga aplikasi penggunaannya dapat menjadi semakin luas.

RFID memiliki beberapa keunggulan, di antaranya: tidak memerlukan hubungan *line-of-sight*, informasi dapat dibaca dan ditulis (*dynamic information carrier*), memori yang lebih besar, *anti-collision* (beberapa *tag* dapat dibaca bersamaan), andal dan tahan gangguan, masih dapat beroperasi dalam lingkungan yang tidak kondusif, lebih murah untuk jangka panjang, tidak memerlukan intervensi manusia dan *reader* relatif bebas biaya perawatan [2].

Teknologi RFID dapat digunakan pada beberapa aplikasi seperti sistem pembayaran loket di supermarket, peminjaman buku di perpustakaan, pencatatan kehadiran civitas akademika di universitas, dan berbagai aplikasi lainnya. Beragam aktivitas tersebut tentu sangat dimudahkan dengan adanya teknologi RFID yang memiliki banyak keunggulan seperti yang telah disebutkan sebelumnya.

Regulasi frekuensi kerja RFID tidaklah sama di setiap negara. Standar frekuensi kerja RFID di Indonesia yang dikeluarkan oleh Direktur Jendral Pos dan Telekomunikasi Departemen Komunikasi dan Informatika adalah 923-925 MHz. Badan standar *International Standard Organization* (ISO) pun mengeluarkan beberapa standar frekuensi kerja RFID. Frekuensi kerja tersebut antara lain : 135 KHz (ISO/IEC 18000-2), 13.56 MHz (ISO/IEC 18000-3), 433 MHz (ISO/IEC 18000-7), 2.45 GHz (ISO/IEC 18000-4), dan 5.8 GHz (ISO 18000-5).

Dengan beragamnya standar atau aturan mengenai frekuensi kerja RFID, maka timbul kebutuhan adanya suatu sistem RFID yang dapat bekerja pada beberapa frekuensi kerja. Dengan demikian sistem RFID tidak perlu mengalami perubahan walaupun sistem digunakan di wilayah lain yang memiliki standar yang berbeda dari wilayah sebelumnya. Kondisi ini jelas menunjukkan bahwa sistem dapat berjalan secara efisien.

Salah satu piranti yang sangat penting dalam *tag* RFID maupun *reader* RFID adalah antena. Antena berfungsi mengirim dan menerima sinyal yang membawa informasi atau data. Salah satu alternatif antena yang dapat digunakan

adalah antenna mikrostrip. Hal ini karena salah satu sifat antenna mikrostrip yang *low profile* sehingga memungkinkan fabrikasi antenna dalam ukuran yang kecil.

Beberapa penelitian terkait antenna *reader* RFID sudah dilakukan. Penelitian-penelitian tersebut menghasilkan antenna *reader* RFID yang bekerja pada satu frekuensi kerja. Penelitian [3] menggunakan metode pencatutan probe untuk mendapatkan frekuensi kerja 820-980 MHz. Teknik yang dilakukan dalam perancangan antenna tersebut adalah dengan menumpuk 3 buah substrat tambahan selain substrat utama dengan jarak tertentu antar substrat. Sedangkan pada [4] juga menggunakan teknik pencatutan probe dengan frekuensi kerja 2,45 GHz. Antenna pada [4] merupakan antenna *patch* segiempat dengan memberikan slot segi tiga pada dua ujung *patch* segi empat. Sedangkan pada penelitian [5] sudah dihasilkan suatu sistem *reader* RFID yang memiliki frekuensi kerja pada 900 MHz dan 2,45 GHz. Teknik yang dilakukan dalam merancang antenna tersebut adalah dengan cara *patch* melingkar dalam jumlah banyak. Pada penelitian lainnya [6] dihasilkan rancangan antenna *reader* RFID yang bekerja pada tiga frekuensi, yaitu pada 0.92 GHz, 2.45 GHz, dan 5.8 GHz. Ketiga frekuensi tersebut memiliki  $VSWR < 2.6$  dengan *gain* bervariasi antara 1,5-3,1 dB pada saat simulasi atau pengukuran. Antenna yang memiliki beberapa frekuensi kerja seperti ini tentu akan mendukung terwujudnya sistem RFID yang bekerja pada beberapa frekuensi kerja. Namun nilai  $VSWR < 2,6$  belumlah cukup baik. Diperlukan antenna dengan spesifikasi, dalam hal ini salah satunya adalah nilai  $VSWR$ , yang lebih baik untuk mendukung sistem RFID yang lebih baik.

## 1.2 Tujuan

Tujuan dari skripsi ini adalah melakukan rancang bangun antenna mikrostrip yang bekerja pada dua frekuensi (dual-band) untuk standar RFID yaitu pada frekuensi 923 MHz dan 2,44 GHz.

## 1.3 Batasan Masalah

Dalam skripsi ini, masalah dibatasi pada proses karakterisasi dan rancang bangun antenna mikrostrip *patch* segiempat dengan slot U dengan teknik pencatutan *electromagnetic coupled*. Antenna tersebut diharapkan memiliki dua frekuensi

kerja 923 MHz (923-925 MHz) dan 2,44 GHz (2,44-2,46 GHz). Pada rentang frekuensi tersebut diharapkan antenna memiliki nilai  $VSWR \leq 2$ , atau dengan kata lain memiliki nilai *return loss*  $\leq -9,54$  dB. Pada skripsi ini juga dilakukan pengukuran pola radiasi, gain, dan *axial ratio*.

#### 1.4 Sistematika Penulisan

Skripsi ini terdiri dari 5 (lima) bab. Bab pertama merupakan pendahuluan sebagai landasan pembuatan skripsi. Bab kedua menjelaskan konsep dan teori dasar mengenai antenna. Bab ketiga menjelaskan proses perancangan antenna. Bab keempat menjelaskan pengukuran dan analisis hasil pengukuran. Dan bab terakhir, Bab kelima, merupakan kesimpulan skripsi.

## BAB 2

### ANTENA MIKROSTRIP *PATCH* SEGIEMPAT DENGAN PENCATUAN ELECTROMAGNETIC COUPLED

#### 2.1. Antena Mikrostrip

Antena mikrostrip merupakan salah satu jenis antena yang sering digunakan untuk beberapa aplikasi. Untuk kebutuhan yang memerhatikan ukuran, berat, harga, dan kemudahan pemasangan, antena mikrostrip bisa menjadi sebuah jawaban. Antena jenis mikrostrip mulai mendapat perhatian sejak tahun 1970-an walaupun sudah mulai ditemukan sejak tahun 1953 dan dipatenkan tahun 1955 [7].

Antena jenis ini pada umumnya tersusun dari 3 elemen yaitu: elemen peradiasi (*radiator*), elemen substrat (*substrate*), dan elemen pentanahan (*ground*), seperti ditunjukkan pada Gambar 2.1.

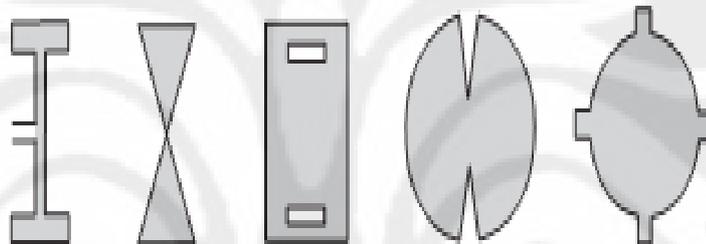


Gambar 2.1. Struktur Dasar Antena Mikrostrip

Elemen peradiasi (*patch*) terbuat dari metal dan memiliki ketebalan yang sangat tipis. Elemen ini berfungsi untuk meradiasikan gelombang listrik dan magnet. Jenis logam yang biasanya digunakan adalah tembaga yang memiliki konduktifitas  $5,8 \times 10^7$  S/m. Besar elemen *patch*, baik itu panjang, lebar, radius dan lainnya, dapat memengaruhi frekuensi kerja antena. Berdasarkan bentuknya, *patch* memiliki jenis yang bermacam-macam diantaranya bujur sangkar (*square*), persegi panjang (*rectangular*), garis tipis (*dipole*), lingkaran, elips, segitiga, dll. Terdapat pula jenis-jenis *patch* yang merupakan pengembangan dari jenis *patch* umum seperti yang terlihat pada Gambar 2.2.

Substrat merupakan bagian dielektrik yang membatasi elemen peradiasi dengan elemen pentanahan. Bagian ini memiliki nilai konstanta dielektrik ( $\epsilon_r$ ), faktor disipasi, dan ketebalan ( $h$ ) tertentu. Ketiga nilai tersebut mempengaruhi frekuensi kerja, bandwidth, dan juga efisiensi dari antenna yang akan dibuat. Ketebalan substrat jauh lebih besar daripada ketebalan konduktor metal peradiasi. Semakin tebal substrat maka *bandwidth* akan semakin meningkat, tetapi berpengaruh terhadap timbulnya gelombang permukaan (*surface wave*) [7].

Sedangkan elemen pentanahan (*ground*) berfungsi sebagai pembumian bagi sistem antenna mikrostrip. Elemen pentanahan ini umumnya memiliki jenis bahan yang sama dengan elemen peradiasi yaitu berupa logam tembaga.



Gambar 2.2. Beberapa Bentuk *Patch* Yang Telah Dikembangkan [9]

Antena mikrostrip memiliki banyak keuntungan dibandingkan dengan antenna *microwave* konvensional lainnya, oleh karena itu antenna ini banyak digunakan untuk aplikasi pada frekuensi tinggi dari 100 MHz – 100 GHz. Di bawah ini adalah beberapa keunggulan antenna mikrostrip dibanding antenna lain antara lain [8] :

- a. Ukuran yang kecil dan berat yang ringan.
- b. Fabrikasi dapat dilakukan dengan teknologi *etching* yang modern dengan biaya yang tidak mahal.
- c. Polarisasi linier dan sirkular mudah di dapat hanya dengan *feeding* yang sederhana.
- d. Dapat digunakan untuk membentuk dual dan multifrekuensi antenna.
- e. Pencatuan dapat difabrikasi langsung dengan struktur antenna.

Tetapi, antenna mikrostrip juga memiliki beberapa kelemahan dibandingkan dengan antenna mikrostrip konvensional antara lain [8] :

- a. Lebar *Bandwidth* yang sempit.
- b. Memiliki *gain* yang agak rendah (~6 dB).
- c. Rugi - rugi *ohmic* yang besar pada *feeding* untuk struktur *array*.
- d. Timbulnya *surface wave* (gelombang permukaan).
- e. Meningkatnya *mutual coupling* pada saat *array*

Ada beberapa cara untuk meminimalisasi kelemahan-kelemahan tersebut. Lebar *bandwidth* dapat ditingkatkan dengan cara pemilihan substrat yang lebih tebal atau dengan pencatuan khusus seperti Electromagnetic Coupled. Sedangkan besar *gain* yang rendah dapat diatasi dengan menggunakan struktur *patch array*.

Karena memiliki bentuk dan ukuran yang ringkas, antena mikrostrip sangat berpotensi untuk digunakan pada berbagai macam aplikasi yang membutuhkan spesifikasi antena yang berdimensi kecil, dapat mudah dibawa dan dapat diintegrasikan dengan rangkaian elektronik lainnya (seperti IC, rangkaian aktif, dan rangkaian pasif). Penelitian dan pengembangan antena mikrostrip terus berkembang sehingga antena jenis ini diaplikasikan pada berbagai kebutuhan khusus seperti identifikasi unit, kesehatan, radar, maupun aktivitas militer.

## 2.2 Cavity Model

Model *cavity* atau rongga telah banyak digunakan dalam menganalisis antena mikrostrip. Metode ini mengasumsikan bidang antara *ground plane* dan *patch* peradiasi antena sebagai sebuah resonator rongga. Pada metode ini bidang peradiasi dan *ground plane* diasumsikan sebagai dinding elektrik dan empat buah dinding vertikal diasumsikan sebagai dinding magnetik. Model *cavity* ini dapat digunakan untuk substrat yang tipis, dimana tebal substrat jauh lebih kecil dari pada panjang gelombang ( $h \ll \lambda_0$ ). Model ini merupakan model pendekatan yang berprinsip pada impedansi masukan reaktif dan tidak meradiasikan daya [8]. Ketika antena mikrostrip diberikan energi, distribusi muatan dibentuk pada bagian atas dan bawah permukaan dari *patch* tersebut, dan juga pada bagian pentanahan (*ground*). Distribusi muatan dikendalikan oleh 2 (dua) mekanisme, yaitu: mekanisme atraktif dan mekanisme repulsif [7].

Mekanisme atraktif terjadi di antara muatan-muatan yang berlawanan pada bagian bawah *patch* dan bagian *ground* yang cenderung untuk mempertahankan

konsentrasi muatan pada bagian bawah *patch*. Mekanisme repulsif terjadi di antara muatan-muatan pada bagian bawah permukaan *patch* yang memiliki kecenderungan untuk mendorong beberapa muatan dari bagian bawah *patch* ke bagian atasnya melalui ujung-ujung *patch* tersebut. Karena kebanyakan antena mikrostrip memiliki nilai rasio *height-to-width* yang kecil, mekanisme atraktif menjadi dominan dan kebanyakan konsentrasi muatan berada pada bagian bawah *patch*. Arus dalam jumlah yang kecil mengalir melalui ujung *patch* ke bagian atas permukaan *patch*. Aliran arus semakin kecil seiring dengan semakin mengecilnya nilai rasio *height-to-width*. Kedua jenis mekanisme ini diperlihatkan pada Gambar 2.3 beserta kerapatan arusnya ( $J$ ). Dapat diasumsikan bahwa besarnya arus yang mengalir ke atas permukaan *patch* adalah nol, sehingga tidak menyebabkan adanya medan magnet tangensial ke ujung *patch*. Hal ini menyebabkan keempat dinding samping menyerupai permukaan magnet konduksi yang sempurna sehingga tidak mengganggu medan magnetik sehingga menyebabkan distribusi medan elektrik tetap berada di bawah permukaan *patch*.

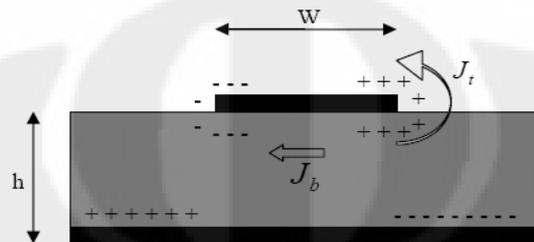
Berdasarkan dari asumsi model *cavity* ini adalah berdasarkan observasi dari substrat tipis ( $h \ll \lambda_0$ ) [8] :

- a. Medan elektrik  $E$  hanya terdiri atas komponen  $z$ , dan medan magnetik  $H$  terdiri atas komponen *tranverse* (komponen  $x$  dan  $y$ ) di dalam daerah yang dibatasi oleh *patch* dan bidang pentanahan.
- b. Medan-medan dalam daerah ini tidak berubah-ubah (bebas) terhadap koordinat  $z$  untuk semua frekuensi yang digunakan.
- c. Komponen tangensial  $H$  sepanjang tepi diabaikan.
- d. Timbulnya medan ke arah *patch* utama yang berasal dari pentanahan. Hal ini biasa dikenal dengan istilah *fringing field* atau *fringing effect*. Oleh karena itu, disarankan untuk memperlebar jarak antara *patch* dengan tepi substrat.

### 2.3. Mekanisme Radiasi Antena Mikrostrip

Radiasi dari sebuah saluran mikrostrip, sebuah struktur yang sama dengan antena mikrostrip dapat tereduksi jika menggunakan substrat yang tipis dan konstanta dielektrik yang tinggi. Di lain pihak, radiasi dari antena mikrostrip

mendorong efisiensi radiasi yang lebih baik. Oleh karena itu, substrat yang tebal dengan permitivitas yang rendah umumnya digunakan dalam pembuatan antena mikrostrip. Radiasi dari sebuah antena mikrostrip dapat ditentukan dari distribusi medan antara *patch* peradiasi dan *ground plane* [8]. Dengan kata lain, radiasi pada antena mikrostrip dapat digambarkan sebagai bentuk distribusi arus permukaan (*surface current*) pada metal *patch*.



Gambar 2.3. Distribusi Muatan dan Kerapatan Arus pada Antena Mikrostrip [8]

Dari Gambar 2.3 dapat kita asumsikan sebuah *patch* antena mikrostrip yang telah dihubungkan dengan sebuah sumber *microwave*. Pemberian daya pada *patch* akan menghasilkan sebuah distribusi muatan listrik pada permukaan atas dan bawah dari *patch*, muatan listrik tersebut sama baik kualitasnya dengan muatan pada *ground plane*. Distribusi muatan ini diatur dengan dua mekanisme yaitu mekanisme tarik menarik dan mekanisme tolak menolak. Gaya tolak menolak antara muatan di bawah *patch* peradiasi cenderung mendorong sebagian muatan di bawah *patch* mengelilingi tepi dari *patch* menuju permukaan *patch*. Pergerakan muatan ini menghasilkan hubungan kerapatan arus  $J_b$  dan  $J_t$  di bawah dan atas permukaan *patch* seperti ditunjukkan pada gambar di atas. Pada pembuatan antena mikrostrip umumnya rasio  $h/w$  sangat kecil, oleh karena itu gaya tarik menarik diantara muatan mendominasi dan hampir sebagian konsentrasi muatan dan aliran arus terdapat di bawah *patch* peradiasi. Sejumlah kecil arus terdapat di bagian tepi dari *patch* mengalir menuju permukaan dari *patch* dan menghasilkan medan magnet yang lemah, tangensial terhadap tepi dari *patch*. Karena itu, dapat diambil pendekatan sederhana bahwa medan magnet tangensial adalah nol dan terdapat empat buah dinding magnet yang mengelilingi *patch* dari antena mikrostrip. Asumsi ini memiliki validitas yang cukup baik untuk substrat yang tipis dengan konstanta dielektrik yang besar. Begitu juga, ketika

substrat yang digunakan sangat tipis dibandingkan dengan panjang gelombang ( $h \ll \lambda$ ) di dalam dielektrik, variasi medan sepanjang  $h$  (*height*) dapat dianggap konstan dan medan listrik mendekati normal pada permukaan *patch* [7][8].

#### 2.4. Antena Mikrostrip *Patch* Segiempat

Sejauh ini, *Patch* berbentuk persegi panjang adalah bentuk yang paling banyak dipakai. Bentuk ini adalah bentuk yang paling mudah untuk dianalisa. Berikut adalah perhitungan yang digunakan untuk merancang antena mikrostrip berbentuk persegi panjang [7] [13]:

Frekuensi resonansi dirumuskan dengan:

$$f_{mn} = \frac{c}{2\sqrt{\epsilon_e}} \left[ \left( \frac{m}{L_{eff}} \right)^2 + \left( \frac{n}{W} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2.1)$$

Efek medan tepi pada elemen peradiasi:

$$\Delta L = 0.412h \frac{(\epsilon_e + 0.3) \left( \frac{W}{h} + 0.264 \right)}{(\epsilon_e - 0.258) \left( \frac{W}{h} + 0.8 \right)} \quad (2.2)$$

Panjang elemen peradiasi efektif:

$$L = L_{eff} - 2\Delta L \quad (2.3)$$

$$L_{eff} = \frac{c}{f_o \sqrt{\epsilon_e}} 2 \quad (2.4)$$

Lebar elemen Peradiasi:

$$W = \frac{c}{2f_o \sqrt{\frac{(\epsilon_r + 1)}{2}}} \quad (2.5)$$

Nilai konstanta dielektrik efektif :

$$\epsilon_e = \frac{\epsilon_{r+1}}{2} + \frac{\epsilon_{r-1}}{2} \left[ \frac{1}{\sqrt{1 + 12h/W}} \right] \quad (2.6)$$

## 2.5. Parameter Umum Antena Mikrostrip

### 2.5.1. Impedansi Masukan

Impedansi masukan adalah perbandingan (rasio) antara tegangan dengan arus [10]. Impedansi masukan ini bervariasi untuk nilai posisi tertentu.

$$Z_{in}(z) = \frac{V(z)}{I(z)} = \frac{V_0^+ [e^{-j\beta z} + \Gamma e^{j\beta z}]}{V_0^+ [e^{-j\beta z} - \Gamma e^{j\beta z}]} Z_0 = Z_0 \left[ \frac{1 + \Gamma e^{j2\beta z}}{1 - \Gamma e^{j2\beta z}} \right] \quad (2.7)$$

Di mana  $Z_{in}(z)$  merupakan perbandingan antara jumlah tegangan (tegangan masuk dan tegangan refleksi ( $V$ )) terhadap jumlah arus ( $I$ ) pada setiap titik  $z$  pada saluran, berbeda dengan karakteristik impedansi saluran ( $Z_0$ ) yang berhubungan dengan tegangan dan arus pada setiap gelombang.

Pada saluran transmisi, nilai  $z$  diganti dengan nilai  $-l$  ( $z = -l$ ), sehingga persamaan di atas menjadi [10]:

$$Z_{in}(-l) = \frac{V(l)}{I(l)} = \frac{V_0^+ [e^{-j\beta l} + \Gamma e^{-j\beta l}]}{V_0^+ [e^{-j\beta l} - \Gamma e^{-j\beta l}]} Z_0 = Z_0 \left[ \frac{1 + \Gamma e^{-j2\beta l}}{1 - \Gamma e^{-j2\beta l}} \right] = Z_0 \left( \frac{Z_L \cos \beta l + j Z_0 \sin \beta l}{Z_0 \cos \beta l + j Z_L \sin \beta l} \right) \quad (2.8)$$

### 2.5.2. VSWR (Voltage Standing Wave Ratio)

VSWR adalah perbandingan antara amplitudo gelombang berdiri (*standing wave*) maksimum ( $|V|_{max}$ ) dengan minimum ( $|V|_{min}$ ). Pada saluran transmisi ada dua komponen gelombang tegangan, yaitu tegangan yang dikirimkan ( $V_0^+$ ) dan tegangan yang direfleksikan ( $V_0^-$ ). Perbandingan antara tegangan yang direfleksikan dengan tegangan yang dikirimkan disebut sebagai koefisien refleksi tegangan ( $\Gamma$ ) [8]:

$$\Gamma = \frac{V_0^-}{V_0^+} = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} \quad (2.9)$$

Di mana  $Z_L$  adalah impedansi beban (*load*) dan  $Z_0$  adalah impedansi saluran *lossless*.

Koefisien refleksi tegangan ( $\Gamma$ ) memiliki nilai kompleks, yang merepresentasikan besarnya magnitudo dan fasa dari refleksi. Untuk beberapa kasus yang sederhana, ketika bagian imajiner dari  $\Gamma$  adalah nol, maka:

$\Gamma = 0$  : tidak ada refleksi, ketika saluran dalam keadaan *matched* sempurna,

$\Gamma = -1$  : refleksi negatif maksimum, ketika saluran terhubung singkat,  
 $\Gamma = +1$  : refleksi positif maksimum, ketika saluran dalam rangkaian terbuka.

Persamaan untuk mencari nilai VSWR adalah [8]:

$$S = \frac{|V^-|}{|V^+|} = \frac{1+|\Gamma|}{1-|\Gamma|} \quad (2.10)$$

Kondisi yang paling baik adalah ketika VSWR bernilai 1 ( $S=1$ ) yang berarti tidak ada refleksi,  $|\Gamma| = 0$ . Kondisi ini yang dikatakan sebagai *matching* sempurna. Namun kondisi ini pada praktiknya sulit untuk didapatkan. Oleh karena itu nilai standar VSWR yang ditetapkan untuk fabrikasi antena dalam dunia pendidikan atau penelitian adalah  $VSWR \leq 2$ . Namun untuk aplikasi, sering kali standar nilai yang ditetapkan oleh industri adalah  $VSWR \leq 1,5$ .

### 2.5.3. *Return loss*

*Return loss* merupakan koefisien refleksi dalam bentuk logaritmik yang menunjukkan daya yang hilang karena antena dan saluran transmisi tidak *matching*. Sehingga tidak semua daya diradiasikan melainkan ada yang dipantulkan balik. *Return loss* digambarkan sebagai peningkatan amplitudo dari gelombang yang direfleksikan ( $V_0^-$ ) dibanding dengan gelombang yang dikirim ( $V_0^+$ ). *Return loss* dapat terjadi akibat adanya diskontinuitas diantara saluran transmisi dengan impedansi masukan beban (antena). Persamaan *return loss* sebagai berikut [8]:

$$Return Loss = 20 \text{ Log } |\Gamma| \quad (2.11)$$

Nilai *return loss* yang baik adalah di bawah -9,54 dB, sehingga dapat dikatakan nilai gelombang yang direfleksikan tidak terlalu besar dibandingkan dengan gelombang yang dikirimkan atau dengan kata lain, saluran transmisi sudah *matching*. Nilai parameter ini menjadi salah satu acuan untuk melihat apakah antena sudah dapat bekerja pada frekuensi yang diharapkan atau tidak.

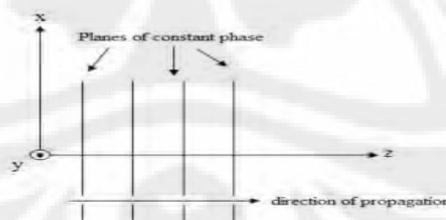
#### 2.5.4. Polarisasi

Polarisasi antenna adalah polarisasi dari gelombang yang ditransmisikan oleh antenna [7]. Jika arah tidak ditentukan maka polarisasi merupakan polarisasi pada arah *gain* maksimum. Pada praktiknya, polarisasi dari energi yang teradiasi bervariasi dengan arah dari tengah antenna, sehingga bagian lain dari pola radiasi mempunyai polarisasi yang berbeda.

Polarisasi dari gelombang yang teradiasi didefinisikan sebagai suatu keadaan gelombang elektromagnet yang menggambarkan arah dan magnitudo vektor medan elektrik yang bervariasi menurut waktu. Selain itu, polarisasi juga dapat didefinisikan sebagai gelombang yang diradiasikan dan diterima oleh antenna pada suatu arah tertentu.

Polarisasi dapat diklasifikasikan sebagai *linear* (linier), *circular* (melingkar), atau *elliptical* (elips). Polarisasi linier (Gambar 2.4) terjadi jika suatu gelombang yang berubah menurut waktu pada suatu titik di ruang memiliki vektor medan elektrik (atau magnet) pada titik tersebut selalu berorientasi pada garis lurus yang sama pada setiap waktu. Hal ini dapat terjadi jika vektor (elektrik maupun magnet) memenuhi :

- a. hanya ada satu komponen, atau
- b. 2 komponen yang saling tegak lurus secara linier yang berada pada perbedaan fasa waktu atau  $180^\circ$  atau kelipatannya



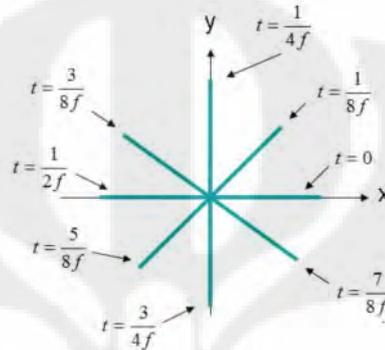
Gambar 2.4. Polarisasi Linier [11]

Polarisasi melingkar (Gambar 2.5) terjadi jika suatu gelombang yang berubah menurut waktu pada suatu titik memiliki vektor medan elektrik (atau magnet) pada titik tersebut berada pada jalur lingkaran sebagai fungsi waktu. Kondisi yang harus dipenuhi untuk mencapai jenis polarisasi ini adalah :

- a. Medan harus mempunyai 2 komponen yang saling tegak lurus linier

- b. Kedua komponen tersebut harus mempunyai magnitudo yang sama
- c. Kedua komponen tersebut harus memiliki perbedaan fasa waktu pada kelipatan ganjil  $90^0$ .

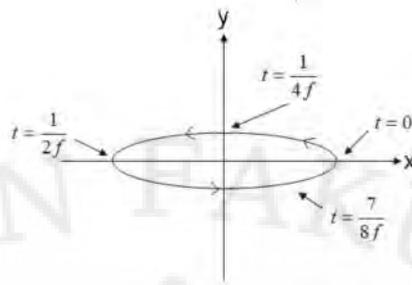
Polarisasi melingkar dibagi menjadi dua, yaitu *Left Hand Circular Polarization (LHCP)* dan *Right Hand Circular Polarization (RHCP)*. *LHCP* terjadi ketika  $\delta = +\pi / 2$ , sebaliknya *RHCP* terjadi ketika  $\delta = -\pi / 2$



Gambar 2.5. Polarisasi Melingkar [11]

Polarisasi elips (Gambar 2.6) terjadi ketika gelombang yang berubah menurut waktu memiliki vektor medan (elektrik atau magnet) berada pada jalur kedudukan elips pada ruang. Kondisi yang harus dipenuhi untuk mendapatkan polarisasi ini adalah :

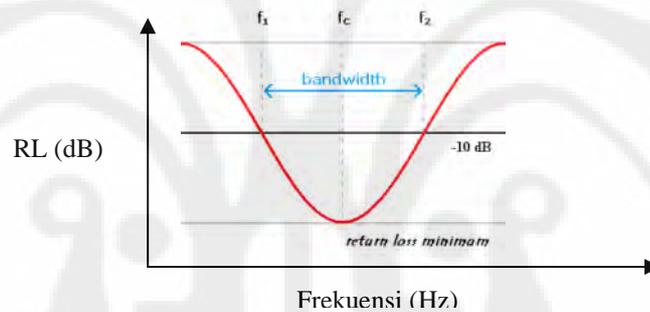
- a. medan harus mempunyai dua komponen linier ortogonal
- b. Kedua komponen tersebut harus berada pada magnitudo yang sama atau berbeda
- c. Jika kedua komponen tersebut tidak berada pada magnitudo yang sama, perbedaan fasa waktu antara kedua komponen tersebut harus tidak bernilai  $0^0$  atau kelipatan  $180^0$  (karena akan menjadi linier). Jika kedua komponen berada pada magnitudo yang sama maka perbedaan fasa di antara kedua komponen tersebut harus tidak merupakan kelipatan ganjil dari  $90^0$  (karena akan menjadi lingkaran).



Gambar 2.6. Polarisasi Elips [11]

### 2.5.5. Bandwidth

*Bandwidth* (Gambar 2.7) suatu antenna didefinisikan sebagai rentang frekuensi di mana kinerja antenna yang berhubungan dengan beberapa karakteristik (seperti impedansi masukan, pola, *beamwidth*, polarisasi, *gain*, efisiensi, VSWR, *return loss*, *axial ratio*) memenuhi spesifikasi standar [7].

Gambar 2.7. Rentang Frekuensi yang Menjadi *Bandwidth* [11]

*Bandwidth* dapat dicari dengan menggunakan rumus berikut ini :

$$\text{Bandwidth} = \frac{f_2 - f_1}{f_c} \times 100\% \quad (2.12)$$

di mana :  $f_2$  = frekuensi tertinggi

$f_1$  = frekuensi terendah

$f_c$  = frekuensi tengah

Ada beberapa jenis *bandwidth* di antaranya [12] :

- a. *Impedance bandwidth*, yaitu rentang frekuensi di mana *patch* antenna berada pada keadaan *matching* dengan saluran pencatu. Hal ini terjadi karena impedansi dari elemen antenna bervariasi nilainya tergantung dari nilai frekuensi. Nilai *matching* ini dapat dilihat dari *return loss* dan

VSWR. Nilai *return loss* dan VSWR yang masih dianggap baik adalah kurang dari -9,54 dB dan 2, secara berurutan

- b. *Pattern bandwidth*, yaitu rentang frekuensi di mana *beamwidth*, *sidelobe*, atau *gain*, yang bervariasi menurut frekuensi memenuhi nilai tertentu. Nilai tersebut harus ditentukan pada awal perancangan antenna agar nilai *bandwidth* dapat dicari
- c. *Polarization* atau *axial ratio bandwidth* adalah rentang frekuensi di mana polarisasi (linier atau melingkar) masih terjadi. Nilai *axial ratio* untuk polarisasi melingkar adalah kurang dari 3 dB.

#### 2.5.6. Keterarahan (*Directivity*)

Keterarahan dari sebuah antenna didefinisikan sebagai perbandingan (rasio) intensitas radiasi sebuah antenna pada arah tertentu dengan intensitas radiasi rata-rata pada semua arah [7]. Intensitas radiasi rata-rata sama dengan jumlah daya yang diradiasikan oleh antenna dibagi dengan  $4\pi$ . Jika arah tidak ditentukan, arah intensitas radiasi maksimum merupakan arah yang dimaksud. Keterarahan ini dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut ini [7] :

$$D = \frac{U}{U_0} = \frac{4\pi U}{P_{\text{rad}}} \quad (2.13)$$

Dan jika arah tidak ditentukan, keterarahan terjadi pada intensitas radiasi maksimum yang didapat dengan rumus [7] :

$$D_{\text{max}} = D_0 = \frac{U_{\text{max}}}{U_0} = \frac{4\pi U_{\text{max}}}{P_{\text{rad}}} \quad (2.14)$$

Di mana :

D = keterarahan

$D_0$  = keterarahan maksimum

U = intensitas radiasi

$U_{\text{max}}$  = intensitas radiasi maksimum

$U_0$  = intensitas radiasi pada sumber isotropik

$P_{\text{rad}}$  = daya total radiasi

### 2.5.7. Penguatan (*Gain*)

*Gain* mempunyai kaitan erat dengan directivity dimana pada *gain*, efisiensi antenna ikut diperhitungkan. Pada praktisnya besaran *gain* antenna merupakan besaran relatif terhadap acuan *gain* antenna yang mudah dihitung (standard) misalnya : antenna dipole, antenna horn dan lain-lain. Ada dua jenis parameter penguatan (*Gain*) yaitu *absolute gain* dan *relative gain* [7]. *Absolute gain* pada sebuah antenna didefinisikan sebagai perbandingan antara intensitas pada arah tertentu dengan intensitas radiasi yang diperoleh jika daya yang diterima oleh antenna teradiasi secara isotropik. Intensitas radiasi yang berhubungan dengan daya yang diradiasikan secara isotropik sama dengan daya yang diterima oleh antenna ( $P_{in}$ ) dibagi dengan  $4\pi$ . *Absolute gain* ini dapat dihitung dengan rumus [7]:

$$Gain = 4\pi \frac{U(\theta, \phi)}{P_{in}} \quad (2.15)$$

Selain *absolute gain* juga ada *relative gain*. *Relative gain* didefinisikan sebagai perbandingan antara perolehan daya pada sebuah arah dengan perolehan daya pada antenna referensi pada arah yang direferensikan juga. Daya masukan harus sama di antara kedua antenna itu. Akan tetapi, antenna referensi merupakan sumber isotropik yang *lossless* ( $P_{in(lossless)}$ ). Jika arah tidak ditentukan, maka perolehan daya biasanya diperoleh dari arah radiasi maksimum.

### 2.6. Teknik Pencatuan *Electromagnetic Coupled*

Teknik pencatuan pada antenna mikrostrip merupakan teknik untuk mentransmisikan energi elektromagnetik ke antenna mikrostrip. Terdapat beberapa macam teknik pencatuan seperti pada Tabel 2.1, antara lain *coaxial feed*, *microstrip (coplanar) feed*, *proximity coupled microstrip feed*, *aperture-coupled microstrip feed* dan *coplanar waveguide feed*. Masing-masing memiliki kelebihan dan kekurangan. Salah satu teknik yang populer, sederhana dan mudah difabrikasi adalah teknik *line feed*, tetapi teknik ini menghasilkan *bandwidth* yang tidak lebar (biasanya 2-5%). Pemilihan *feeding* untuk antenna mikrostrip didasarkan pada beberapa faktor. Pertimbangan yang paling utama dalam pemilihan *feeding* ini

adalah transfer daya yang efisien antara struktur peradiasi dengan struktur *feeding*, yaitu tercapainya *matching impedance* yang baik diantara keduanya.

Teknik *proximity coupling* atau yang lebih dikenal dengan *electromagnetically coupled* adalah salah satu teknik yang dapat menghasilkan bandwidth yang cukup lebar (dapat sampai 13%)[7]. Konfigurasi dari teknik pencatuan jenis ini adalah dengan menggunakan dua lapisan substrat. Pada substrat lapisan atas terdapat *patch* peradiasi dari antenna, dan pada substrat lapisan ini tidak terdapat ground. Sedangkan pada substrat lapisan bawah terdapat line pencatu. Pada lapisan substrat bawah ini terdapat ground. Dengan menggunakan teknik pencatuan jenis ini maka elemen pencatu dan *patch* peradiasi akan terkopling secara elektromagnetik.

Parameter-parameter dari kedua lapisan substrat dapat dipilih untuk meningkatkan bandwidth dari antenna, dan untuk mengurangi radiasi elemen pencatu (*spurious radiation*). Untuk keperluan ini tebal substrat lapisan bawah harus tipis. Dengan meletakkan *patch* peradiasi diatas dua lapisan substrat maka akan menyebabkan dihasilkannya bandwidth yang lebar [8]. Hal ini dikarenakan dengan menggunakan dua lapisan maka ketebalan substrat yang digunakan menjadi lebih tebal. Teknik *matching* dari pencatuan jenis ini juga relatif mudah. Untuk *me-matching*-kan antenna, hal yang perlu dilakukan cukup dengan mengubah-ubah panjang dari elemen pencatu atau dengan memberikan stub dan mengubah-ubah posisinya.

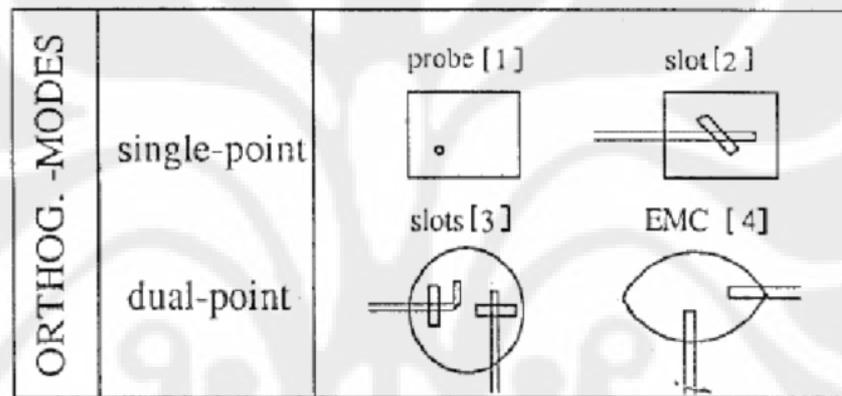
## 2.7. Teknik Menghasilkan Multifrekuensi

Untuk mendapatkan antenna yang beresonansi pada lebih dari satu frekuensi dapat dilakukan dengan berbagai macam cara. Mulai dari menyusun lebih dari satu *patch* antenna yang beresonansi pada frekuensi yang berbeda sampai dengan cara menyusun secara bertingkat antenna yang mempunyai frekuensi resonansi yang berbeda-beda. Secara umum ada tiga cara untuk menghasilkan antenna multi frekuensi. Cara-cara tersebut adalah [14]:

1. Orthogonal-mode multi-frequency antenna
2. Multi-*patch* multi-frequency antenna
3. Reactively-loaded multi-frequency antenna

### 2.7.1 Orthogonal-mode Multi-frequency Antena

Pada teknik ini akan dihasilkan dua buah frekuensi yang mempunyai polarisasi orthogonal. Salah satu cara untuk menghasilkan lebih dari satu frekuensi resonansi menggunakan teknik ini adalah dengan menempatkan pencatu pada satu buah *patch* sedemikian sehingga pada posisi tersebut mematchingkan dua buah frekuensi. Hal ini dapat dilakukan dengan menggunakan teknik pencatuan probe dan dengan cara pencatuan line akan tetapi diberikan slot yang arahnya condong ke arah pencatu. Cara lain untuk menghasilkan lebih dari satu frekuensi resonansi menggunakan teknik ini adalah dengan menggunakan pencatuan ganda.

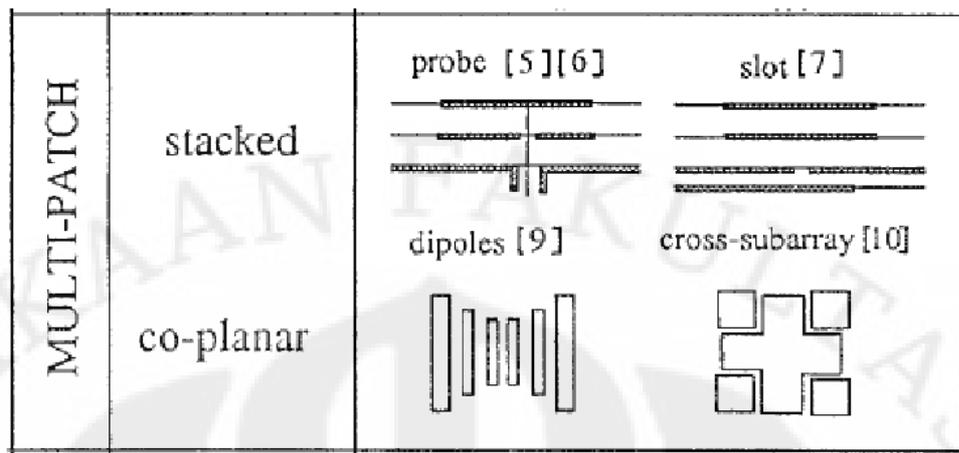


Gambar 2.8 Teknik Orthogonal Mode Multi-Frekuensi [14]

### 2.7.2 Multi-patch Multi-frequency Antena

Pada teknik ini untuk menghasilkan lebih dari satu buah frekuensi dilakukan menggunakan lebih dari satu buah *patch*. Cara yang dilakukan dapat dengan menyusun secara menumpuk setiap *patch* yang menghasilkan frekuensi resonansi yang berbeda-beda. Cara ini dinamakan cara multi-stacked multi-patch antena. Cara lainnya adalah dengan cara menyusun *patch* antena pada satu lapisan substrat. masing-masing substrat tersebut dipisahkan dengan slot. Cara ini sudah digunakan oleh Croq dan Pozar [10].

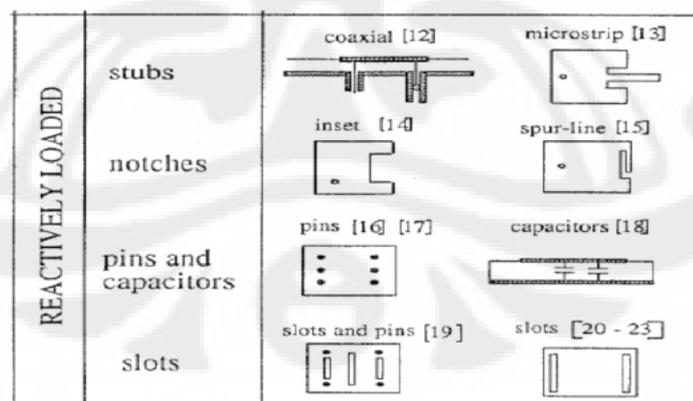
Gambaran mengenai teknik ini dapat dilihat pada gambar



Gambar 2.9 Teknik Multi-Patch Multi-Frekuensi [14]

### 2.7.3 Reactively-loaded Multi-frequency Antena

Cara reactively-loaded ini adalah cara untuk menghasilkan multi frekuensi dengan menambahkan beban pada antena. Beban yang dimaksud disini bisa berupa stub, slot, pin, slot dan pin, ataupun kapasitor. Teknik ini adalah teknik yang paling populer digunakan untuk menghasilkan antena yang dapat bekerja lebih dari satu frekuensi. Beban reaktif tersebut ditambahkan secara khusus pada tepi peradiasi (radiating edge) untuk menghasilkan panjang resonansi yang lebih jauh, dimana panjang resonansi ini berakaitan dengan pembangkitan frekuensi yang lainnya. Berikut adalah gambarannya:



Gambar 2.10 Teknik Reactively-Loaded Multi Frekuensi [14]

Pada skripsi ini teknik yang digunakan ialah teknik reactively-loaded multi-frekuensi, lebih khususnya dengan menggunakan slot.

## BAB 3

### PERANCANGAN ANTENA DAN SIMULASI

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai proses perancangan dan simulasi sebuah antena mikrostrip yang bekerja pada frekuensi 924 MHz dan 2,45 GHz. Jenis antena yang dirancang adalah antena dengan *patch* segi empat yang diberi slot berbentuk U. Pemberian slot pada antena merupakan salah satu teknik membangkitkan frekuensi lain agar bekerja pada beberapa frekuensi (multi-band)[14]. Sedangkan bentuk slot U juga dipakai pada beberapa penelitian yang memiliki tujuan menghasilkan antena dengan lebih dari satu frekuensi kerja [15][16].

#### 3.1. Perlengkapan Yang Digunakan

##### 3.1.1 Perangkat Keras

Perangkat keras yang digunakan dalam perancangan antara lain :

1. Personal Computer (PC)
2. *Network analyzer Hewlett Packard 8753E*
3. Kabel Coaxial 50 ohm dan connector SMA 50
4. Substrat FR4, solder, dan timah.

##### 3.1.2 Perangkat Lunak

Sedangkan perangkat lunak yang digunakan dalam perancangan antara lain

1. *PCAAD 5.0*

*PCAAD 5.0* digunakan untuk menentukan impedansi karakteristik dan lebar saluran dari saluran mikrostrip.

2. Perangkat lunak *HFSS v 11.1.1*

Untuk proses simulasi antena yang sudah dirancang

3. *Microsoft Excel 2007*

Perangkat lunak ini digunakan untuk mengolah data.

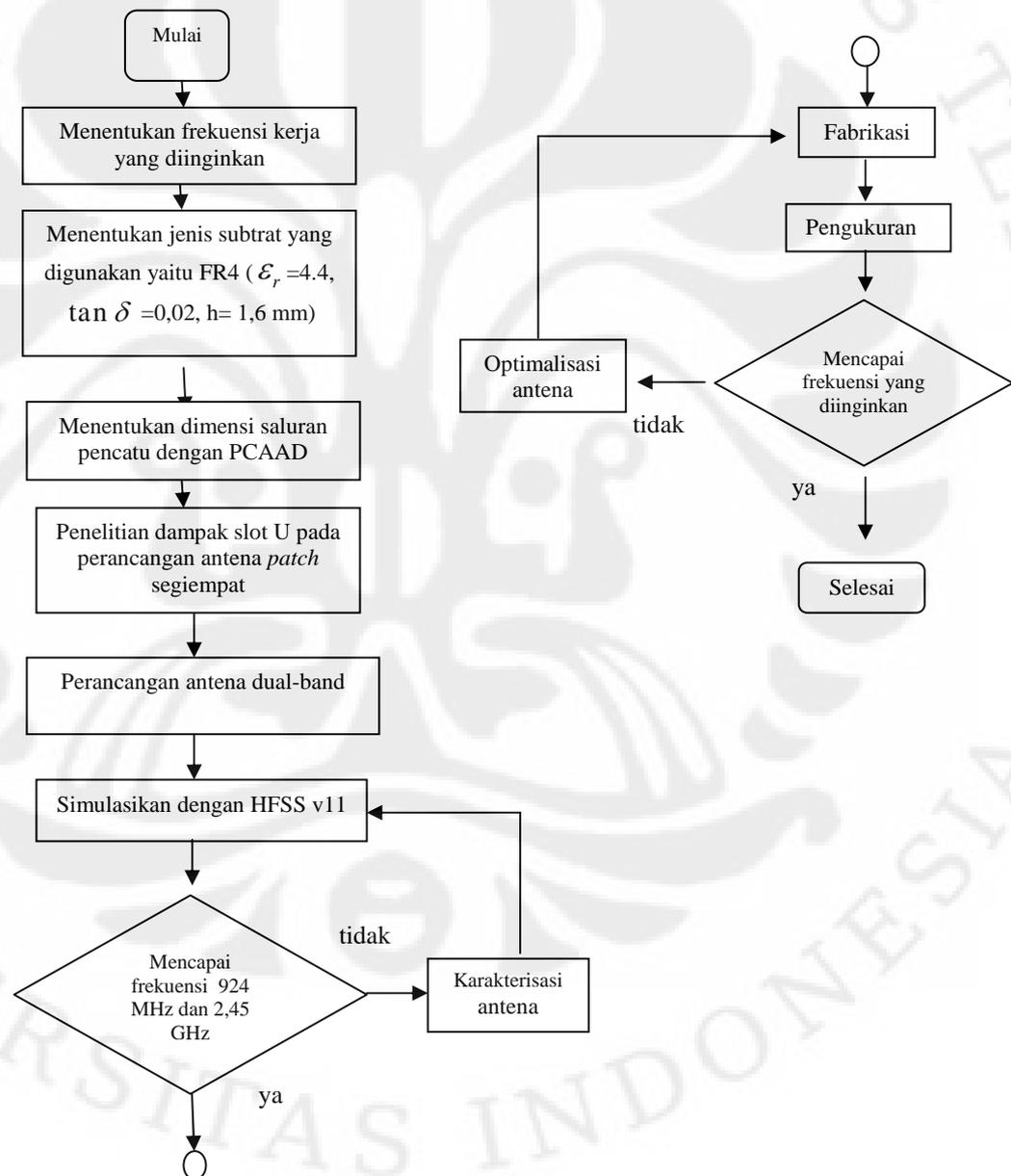
4. *Microsoft Visio 2003*

Program ini digunakan untuk melakukan visualisasi desain perancangan dan juga berbagai macam visualisasi yang digunakan dalam skripsi ini.

### 3.2. Perancangan Antena multi-band *patch* segi empat dengan slot U

#### 3.2.1 Diagram Alir Perancangan Antena

Proses perancangan antena yang dilakukan melalui beberapa tahapan mulai dari penentuan frekuensi kerja hingga pengukuran. Selain tahap karakterisasi antena, tahap penelitian dan eksperimen terhadap karakteristik dan pengaruh slot U pada antena *patch* segi empat juga merupakan bagian yang penting. Gambar diagram alir perancangan antena multi-band *patch* segi empat dengan slot U dilihat pada Gambar 3.1 berikut.



Gambar 3.1 Diagram Alir Perancangan Antena Multi-band

Setelah menentukan frekuensi kerja dilakukan pemilihan substrat yang akan digunakan. Penentuan jenis substrat ini selain harus memerhatikan kesesuaian karakteristik substrak terhadap spesifikasi antenna yang diinginkan, juga harus memerhatikan ketersediaan bahan agar memungkinkan untuk dilakukan fabrikasi.

Selain itu juga dilakukan penelitian pengaruh slot U pada *patch* antenna segi empat. Penelitian yang dilakukan berupa eksperimen, yaitu dengan cara perancangan, simulasi, dan perbandingan antara antenna *patch* segi empat dengan dan tanpa slot U. Penelitian berguna untuk mengetahui karakteristik dasar antenna *patch* segi empat dengan slot U.

Pada saat melakukan simulasi, dilakukan karakterisasi agar antenna dapat bekerja sesuai spesifikasi yang diinginkan. Karakterisasi antenna dapat dilakukan terhadap beberapa elemen seperti *patch*, dimensi slot U, maupun pencatuan. Karakterisasi terhadap dimensi, panjang dan lebar, *patch* dan slot U dilakukan untuk mengatur resonansi frekuensi menjadi lebih rendah atau lebih tinggi. Sedangkan karakterisasi panjang pencatuan untuk menghasilkan VSWR antenna yang lebih baik.

### 3.2.2 Penentuan Frekuensi Kerja dan Jenis Substrat yang Digunakan

Antenna munti-band ini dirancang untuk dapat bekerja pada dua frekuensi kerja untuk aplikasi RFID. Frekuensi kerja yang dipilih adalah 924 MHz, dan 2,45 GHz.

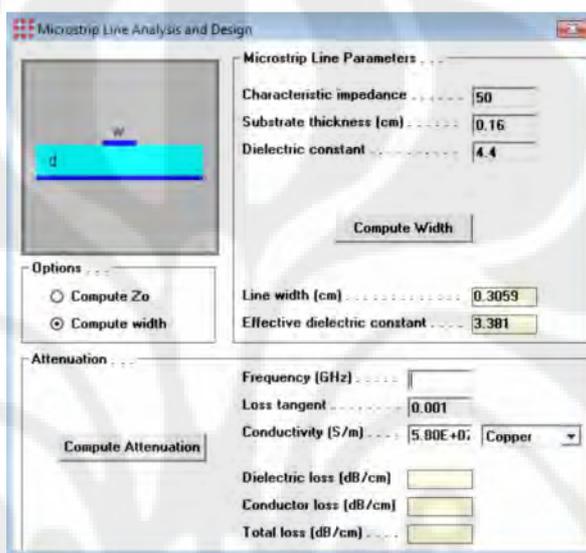
Sedangkan pemilihan jenis substrat perlu dilakukan di awal karena jenis substrat yang memiliki nilai-nilai tetap yang tidak dapat diubah-ubah. Pemilihan jenis substrat perlu memerhatikan beberapa hal antara lain kualitas dan ketersediaan substrat. Pada skripsi ini, jenis substrat yang digunakan adalah FR4 (evoksi). Spesifikasi FR4 dapat dilihat dari Tabel 3.1.

Tabel 3.1. Spesifikasi Substrat yang Digunakan

Jenis Substrat	FR4 (evoksi)
Konstanta Dielektrik Relatif ( $\epsilon_r$ )	4.4
Dielectric Loss Tangent ( $\tan \delta$ )	0.02
Ketebalan Substrat (h)	1,6 mm

### 3.2.3 Penentuan Lebar Saluran Pencatu

Saluran pencatu yang digunakan pada perancangan diharapkan mempunyai atau paling tidak mendekati impedansi masukan sebesar  $50 \Omega$ . Untuk mendapatkan nilai impedansi tersebut dilakukan pengaturan lebar dari saluran pencatu dengan menggunakan program PCAAD. Tampilan dari program PCAAD untuk mencari lebar catuan agar mempunyai impedansi  $50 \Omega$  dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2. Tampilan Program PCAAD untuk Mencari Lebar Saluran Pencatu Agar Mempunyai Impedansi  $50 \Omega$ .

### 3.2.4 Antena dengan Slot U

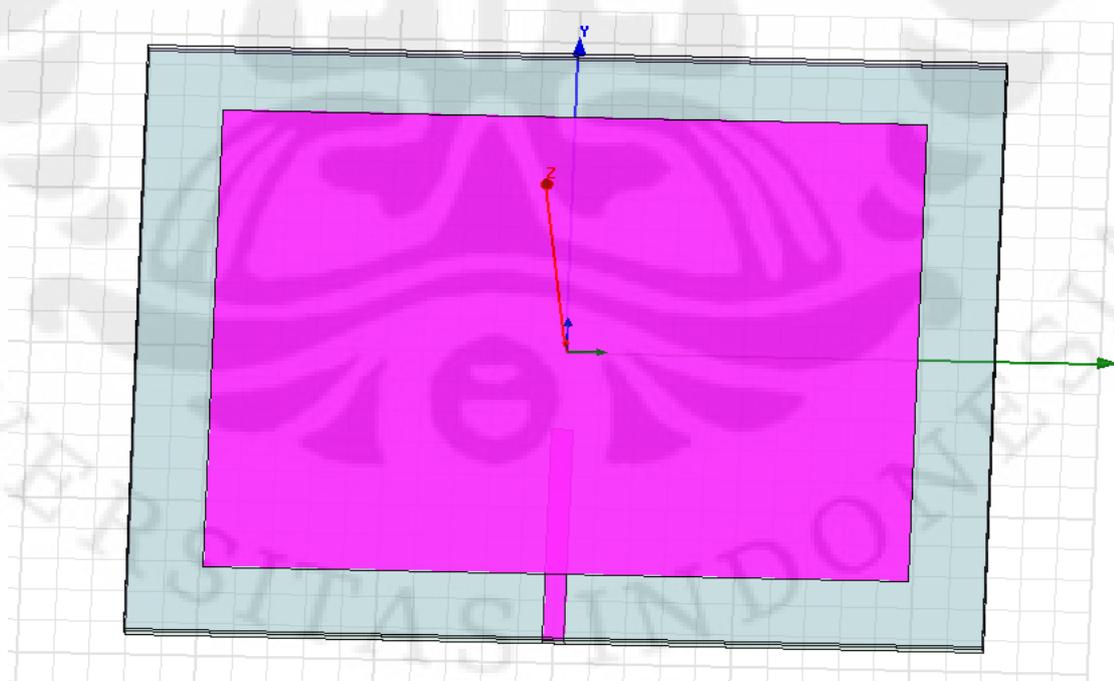
Untuk menghasilkan antena multiband, salah satu cara yang digunakan adalah dengan memberikan beban pada antena [14]. Antena yang menggunakan teknik ini biasa disebut Reactively-loaded Multi-frequency Antena. Salah satu bentuk beban adalah slot pada *patch* antena. Selain penambahan slot pada *patch*, penambahan beban juga dapat dilakukan dengan cara stub, pin, dan slot dan pin.

Salah satu bentuk slot yang dapat digunakan adalah slot berbentuk U. Terdapat beberapa penelitian yang menggunakan slot berbentuk U untuk membangkitkan frekuensi sehingga antena bekerja pada lebih dari satu frekuensi kerja [15-18]. Pada [15] antena bekerja pada empat frekuensi, yaitu pada frekuensi 900 MHz, 1,8 MHz, 1,9 MHz, dan 2,4-2,5 GHz. Antena yang dirancang menggunakan empat slot berbentuk U dengan pencatuan probe. Sedangkan pada

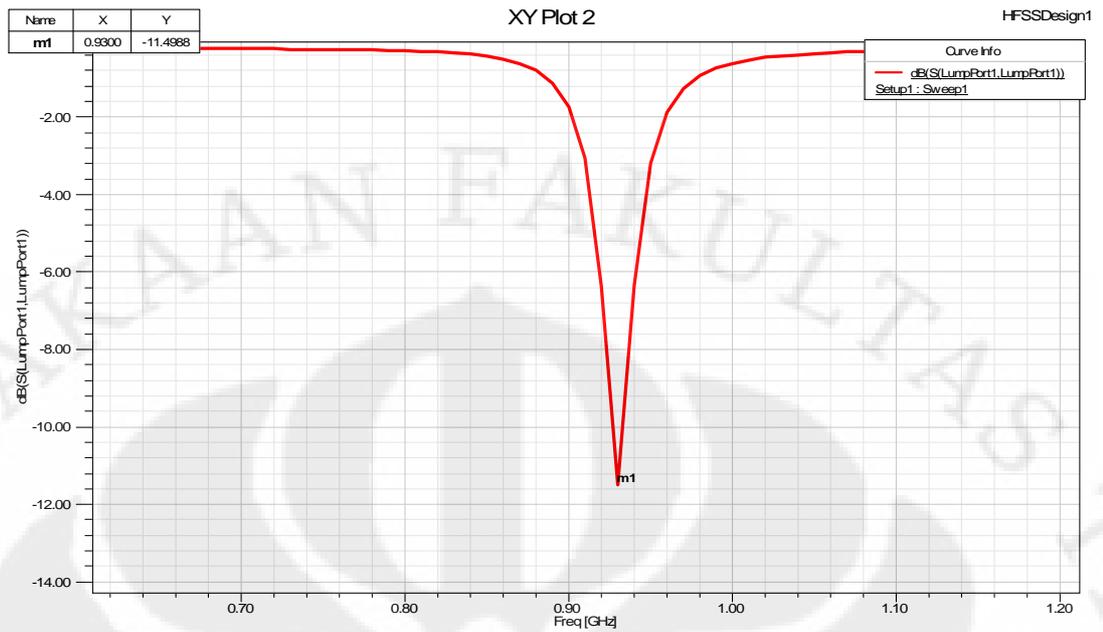
[16] antenna bekerja pada dua frekuensi kerja yaitu pada frekuensi 924 MHz dan 2,45 GHz untuk aplikasi RFID. Desain [16] juga menggunakan pencatutan probe, namun jumlah slot U yang digunakan hanya berjumlah satu buah.

### 3.2.5 Penelitian Pengaruh Slot U

Penambahan slot U pada *patch* antenna tentu memberikan dampak bagi antenna tersebut. Untuk mengetahui hal tersebut dilakukan eksperimen terhadap pengaruh penambahan slot U pada *patch* antenna. Penelitian pengaruh slot U dilakukan dengan melihat perubahan frekuensi kerja antenna akibat diberikan slot U pada *patch* antenna segi empat. Gambar 3.3.a merupakan gambar desain antenna *patch* segiempat tanpa slot U, sedangkan Gambar 3.4.a merupakan gambar antenna *patch* segiempat setelah ditambah slot U. *Patch* segi empat memiliki dimensi panjang 7,2 cm dan lebar 9,88 cm. Antenna didesain untuk bekerja pada frekuensi 924 MHz. Sedangkan lebar pencatu dihitung dengan menggunakan perangkat lunak PCCAD 5.0 yaitu sebesar 0,3 cm. Slot U pada Gambar 3.4.a memiliki dimensi panjang 2,65 cm dan lebar 3,7 cm untuk U kecil. Sedangkan U besar, memiliki dimensi panjang 3,15 cm dan lebar 3,8 cm.

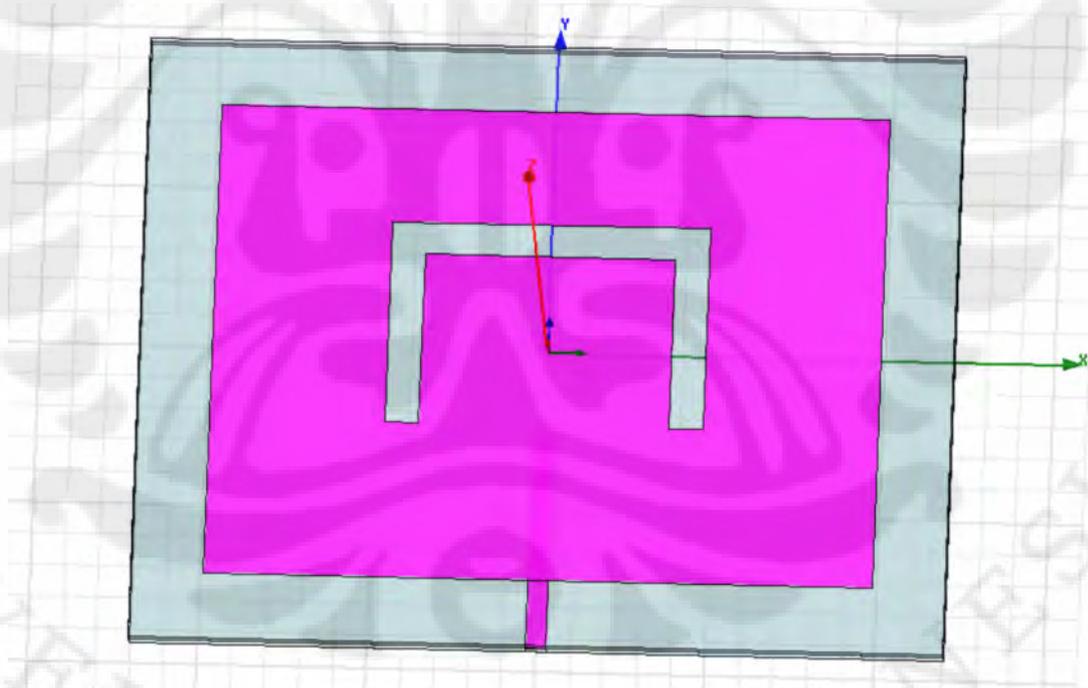


(a) Desain Antena

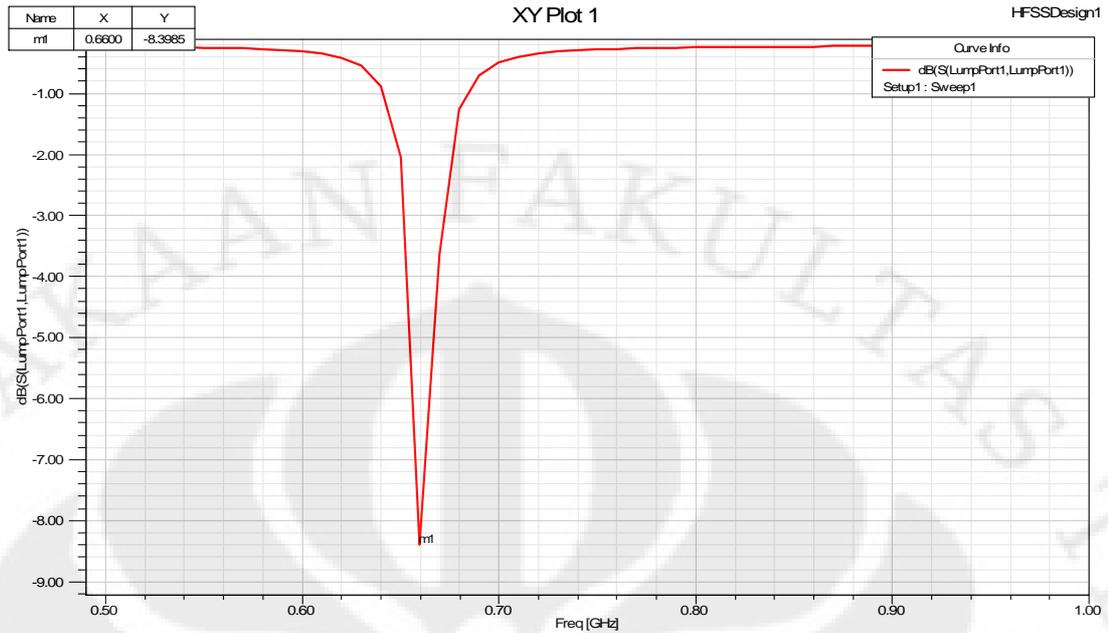


(b) Return loss Antena

Gambar 3.3 Antena Patch Segi Empat Tanpa Slot U



(a) Desain Antena



(b) Return loss Antena

Gambar 3.4 Antena Patch Segiempat Dengan Slot U

Gambar 3.3.b merupakan hasil simulasi untuk desain antena tanpa slot. Titik m1 pada gambar tersebut menunjukkan nilai frekuensi sebesar 930 MHz. Sedangkan Gambar 3.4.b merupakan hasil simulasi untuk desain antena dengan slot berbentuk U. Titik m1 pada gambar tersebut menunjukkan nilai frekuensi sebesar 660 MHz. Dengan penambahan slot U dengan dimensi yang telah disebutkan sebelumnya, frekuensi antena bergeser 270 MHz, pada titik m1, dari 930 MHz menjadi 660 MHz. Secara umum dapat diketahui bahwa penambahan slot U pada *patch* segi empat membuat frekuensi kerja menjadi lebih rendah. Perbandingan antena *patch* segi empat dengan dan tanpa slot U dapat dilihat dalam Tabel 3.2.

Tabel 3.2. Perbandingan Antena Patch Segi Empat Dengan dan Tanpa slot U

Tanpa Slot		Dengan Slot U	
Frekuensi (GHz)	Return loss (dB)	Frekuensi (GHz)	Return loss (dB)
0,93	-11,49	0,66	-8,39

### 3.3. Perancangan Antena Dual-band Untuk Aplikasi RFID

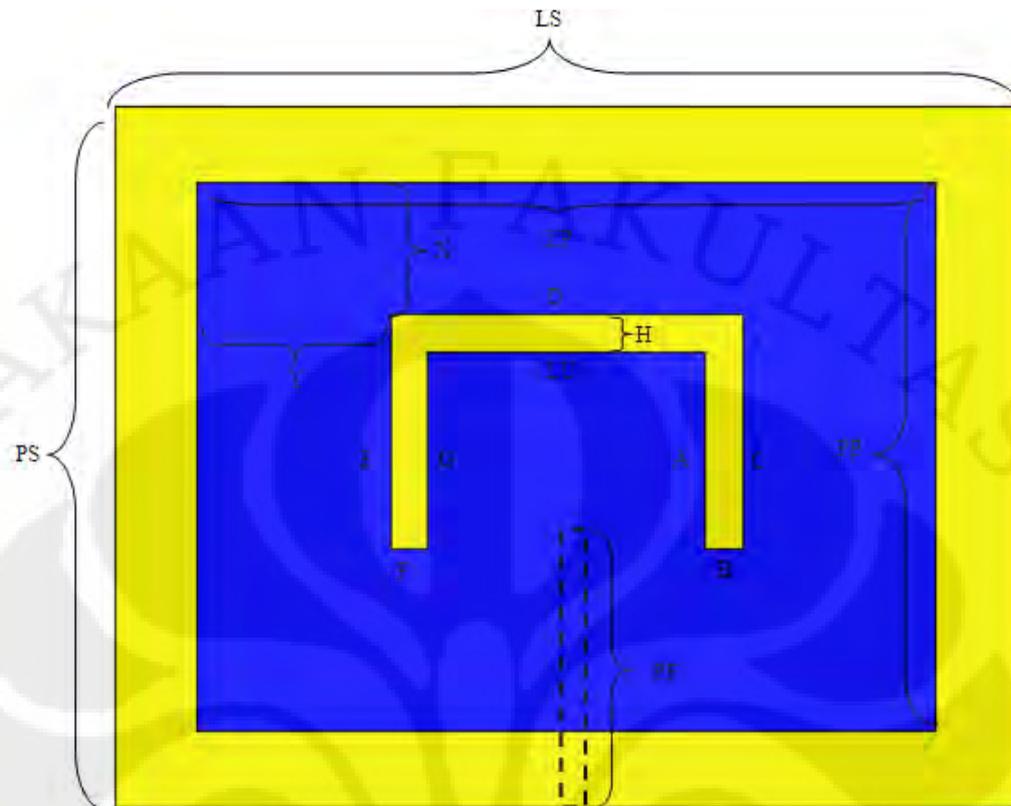
#### 3.3.1 Perancangan Dimensi *Patch* Segi Empat Dengan Slot U

Setelah mengetahui karakter dasar antena *patch* segi empat dengan slot U, maka selanjutnya dilakukan perancangan antena dual-band untuk aplikasi RFID. Frekuensi yang dipilih yaitu frekuensi 923-925 MHz (standar di Indonesia) dan frekuensi 2,45 GHz (ISO/IEC 18000-4). Hasil penelitian dampak slot U pada *patch* antena segi empat yang telah dilakukan sebelumnya akan digunakan untuk melakukan perancangan antena dual-band ini.

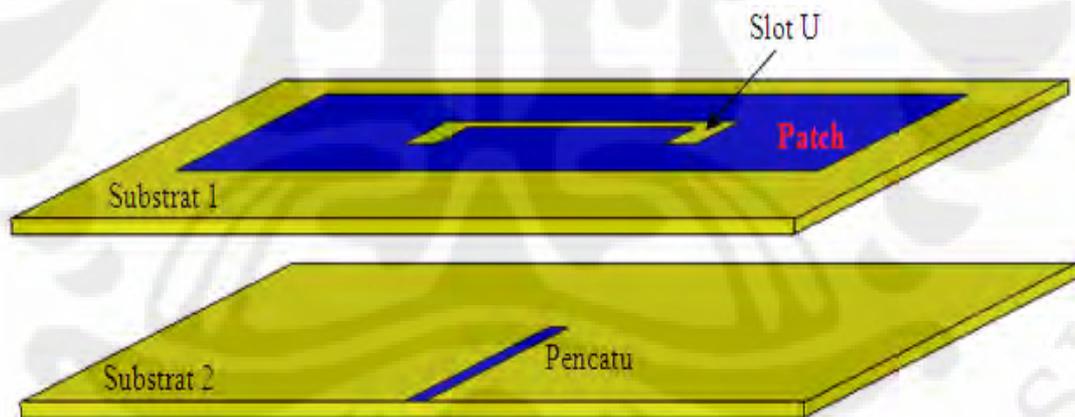
Hasil penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penambahan slot U pada dimensi tertentu mengakibatkan frekuensi antena bergeser menjadi lebih rendah sebesar 270 MHz. Angka ini tentu bukanlah angka yang mutlak sehingga hanya digunakan sebagai perkiraan pergeseran frekuensi. Karena frekuensi kerja yang dipilih untuk antena dual-band adalah pada frekuensi 924 MHz dan 2,45 GHz, maka yang dijadikan acuan untuk penghitungan adalah frekuensi yang lebih rendah yaitu frekuensi 924 MHz. Berdasarkan penelitian dan eksperimen yang dilakukan, penambahan slot U menyebabkan penurunan frekuensi kerja. Pada perancangan awal, untuk mendapatkan desain dasar, dilakukan karakterisasi terhadap elemen substrat dan *patch*. Dimensi desain antena dasar tersebut dapat dilihat dalam Tabel 3.3 dan Gambar 3.5 berikut.

Tabel 3.3 Dimensi Awal Antena

No	Dimensi	Nilai (cm)	No	Dimensi	Nilai (cm)
1	Lebar Substrat (LS)	12,04	9	D	3
2	Panjang Substrat (PS)	9,4	10	E	1,52
3	Lebar Pach (LP)	9,88	11	F	0,5
4	Panjang <i>Patch</i> (PP)	7,45	12	G	1,02
5	Lebar Slot U inti (LU)	2	13	H	0,5
6	A	1,02	14	X	1,78
7	B	0,5	15	Y	3,44
8	C	1,52	16	Panjang Feed (PF)	4,7

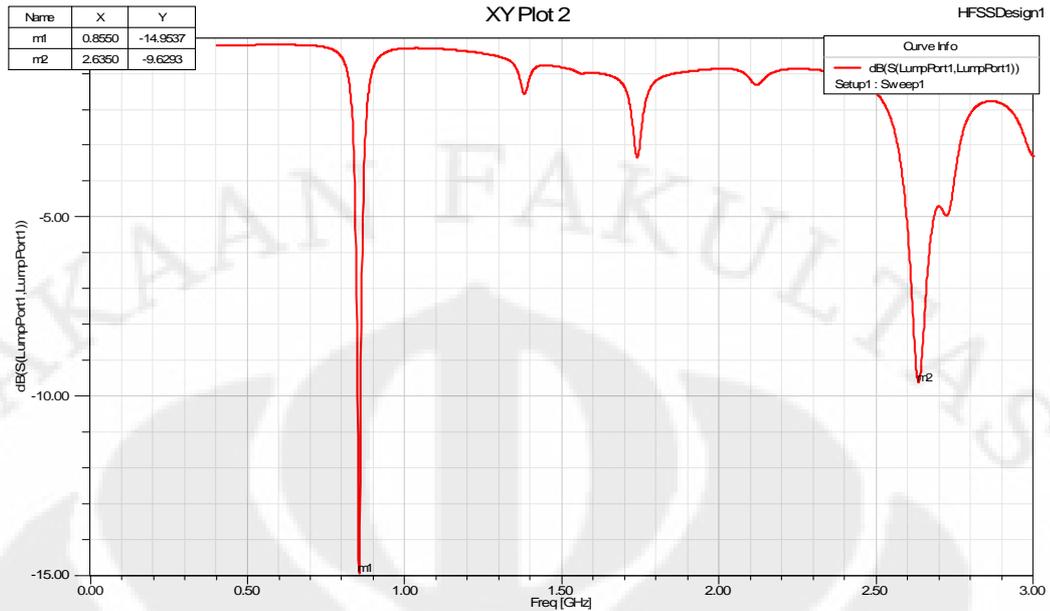


(a)



(b)

Gambar 3.5 Desain Awal Antena (a) Tampak Atas dan (b) Gambar Dengan Pemisahan Substrat



Gambar 3.6 Nilai *return loss* Hasil Simulasi Desain Awal Antena

Hasil simulasi untuk dimensi antena tersebut diperlihatkan dalam Gambar 3.6. Gambar tersebut menunjukkan bahwa antena belum bekerja pada frekuensi 924 MHz dan 2,45 GHz.

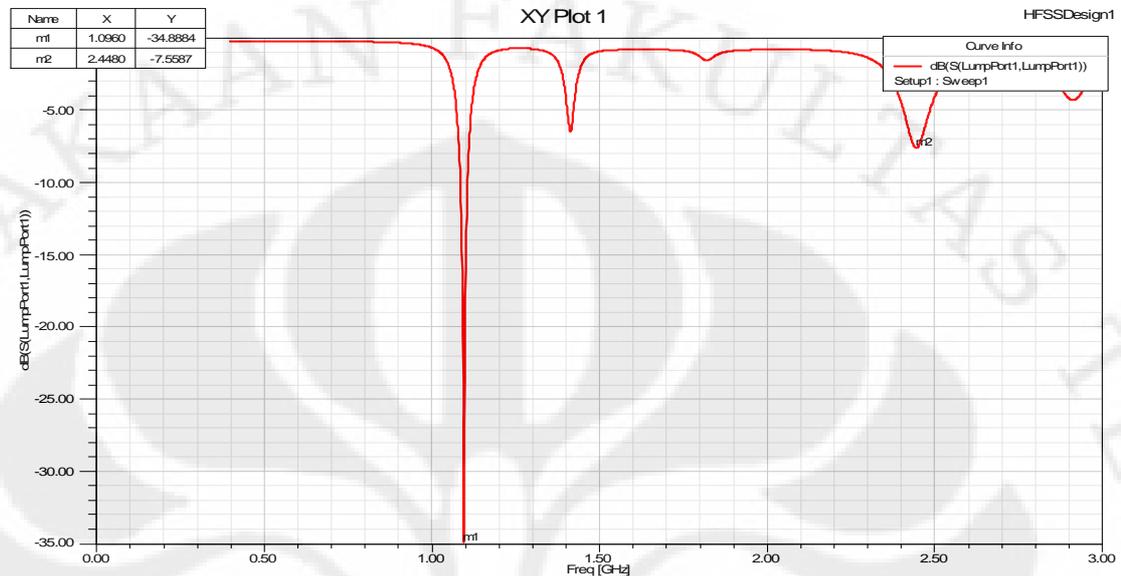
### 3.3.2 Karakterisasi Antena dan Simulasi

Dari Gambar 3.6 diketahui bahwa antena belum bekerja pada frekuensi 924 MHz dan 2,45 GHz. Karena antena belum bekerja pada frekuensi yang diinginkan maka dilakukan karakterisasi. Karakterisasi dapat dilakukan pada beberapa elemen seperti elemen *patch*, elemen U, dan panjang feeding, dan lainnya. Namun pada skripsi ini, dimensi yang akan dikarakterisasi adalah dimensi Panjang *Patch* (PP), lebar slot U (LU) dan panjang pencatuan (PF).

#### 3.3.2.1 Karakterisasi Panjang *Patch* (PP)

Karakterisasi di awal difokuskan pada dimensi *patch* karena besar *patch* berpengaruh signifikan terhadap frekuensi kerja antena. Hasil karakterisasi panjang *patch* (PP) menunjukkan bahwa panjang *patch* antena berpengaruh signifikan terhadap frekuensi yang besar yaitu pada frekuensi yang diharapkan bekerja pada frekuensi 2,45 GHz. Oleh karena itu, panjang *patch* (PP) antena yang dipilih adalah panjang 5,06 cm karena pada panjang tersebut, antena bekerja pada

frekuensi 2,45 GHz. Hasil simulasi karakterisasi panjang *patch* (PP) pada panjang 5,06 cm diperlihatkan pada Gambar 3.7.

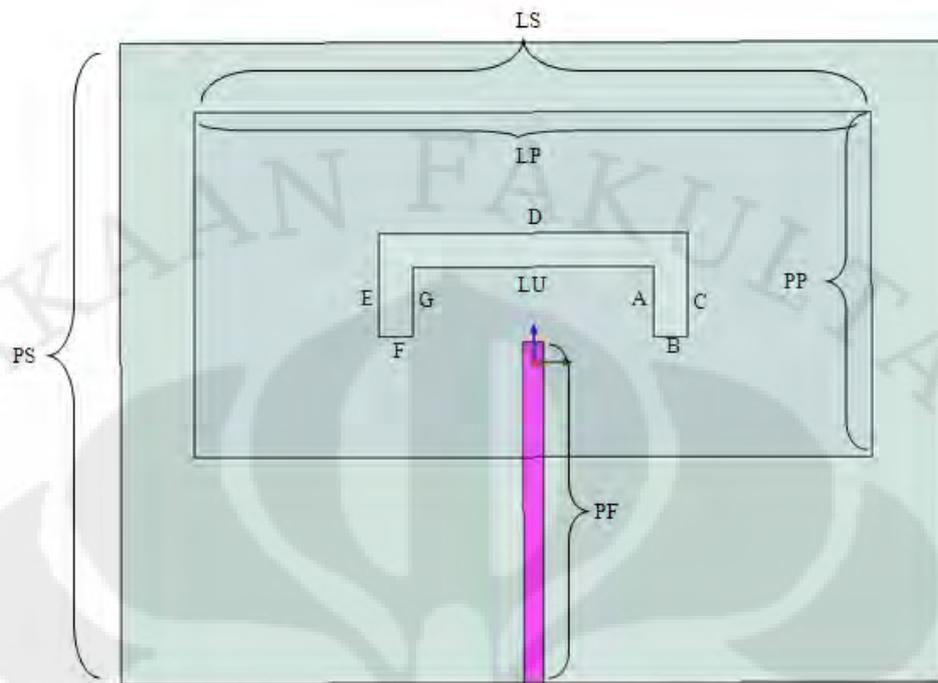


Gambar 3.7 Nilai *Return loss* Hasil Simulasi Karakterisasi Panjang *Patch* (PP)

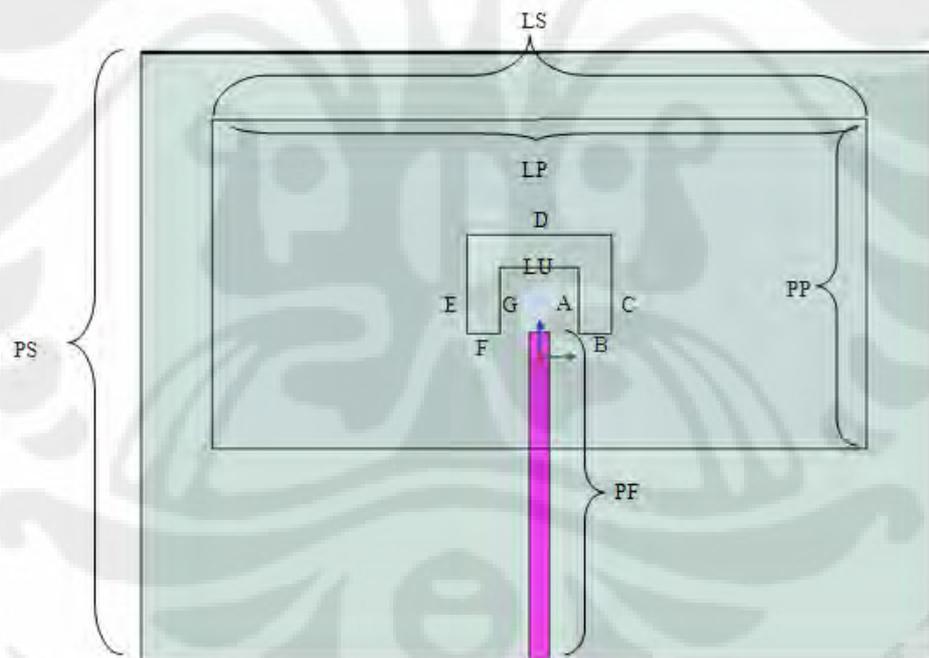
Setelah mendapatkan frekuensi 2,45 Hz, yang selanjutnya dilakukan adalah mengkarakterisasi antenna agar antenna juga bekerja pada frekuensi 924 MHz. Hal penting yang perlu diperhatikan dalam proses karakterisasi adalah tidak terganggunya secara signifikan frekuensi 2,45 GHz. Karakterisasi selanjutnya dilakukan terhadap lebar slot U (LU).

### 3.3.2.2 Karakterisasi Lebar Slot U (LU)

Karakterisasi selanjutnya dilakukan terhadap lebar slot U. Frekuensi 1,096 GHz pada Gambar 3.7 diharapkan akan bergeser menjadi 924 MHz dengan proses karakterisasi lebar LU. Proses karakterisasi dapat dilakukan dengan melebarkan atau mengecilkan lebar slot U (LU). Untuk dapat menentukan arah karakterisasi, maka dilakukan terlebih dahulu simulasi dengan dua kondisi lebar slot U (LU), yaitu diperlebar dan diperkecil. Pada dua kondisi ini dimensi yang tetap adalah dimensi substrat dan *patch* (PS, LS, PP, dan LP). Dimensi lain yang tetap adalah dimensi A, B, C, E, F, G, dan panjang pencatu (PF).



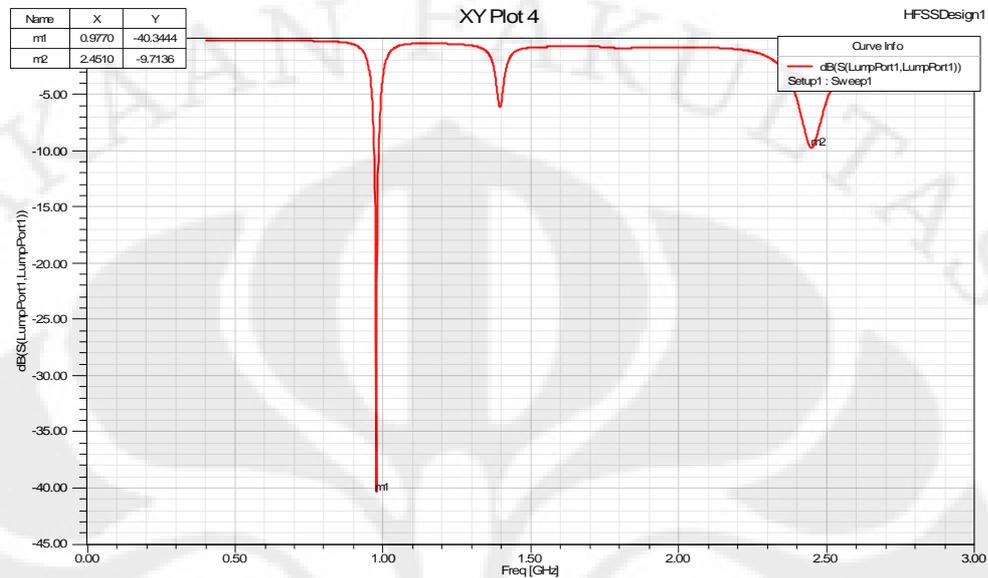
(a)



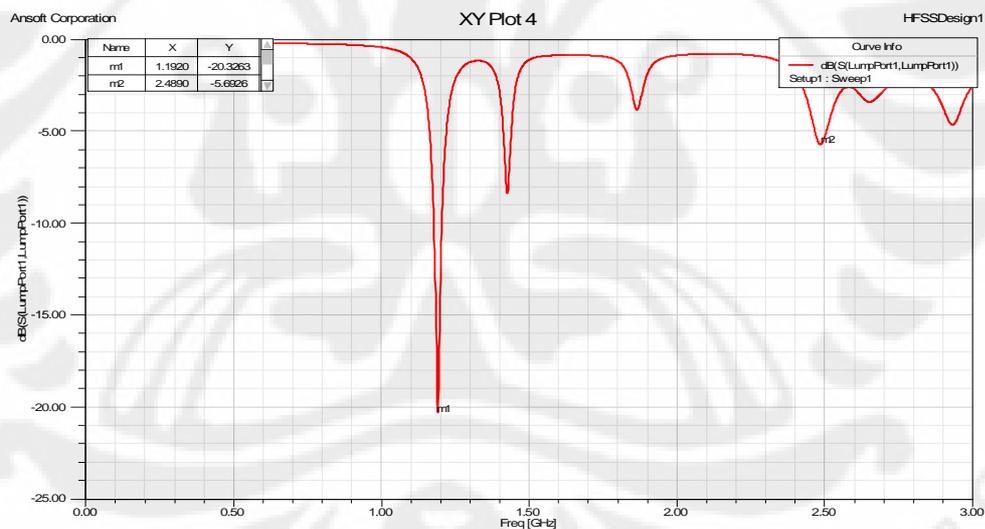
(b)

Gambar 3.8 Desain Antena dengan (a) nilai LU Diperbesar dan (b) Saat Nilai LU Diperkecil

Gambar 3.8 (a) menunjukkan kondisi ketika slot U diperlebar sedangkan Gambar 3.8 (b) kondisi ketika slot U diperkecil. Hasil simulasi untuk slot U yang diperlebar dan diperkecil dapat dilihat pada Gambar 3.9 dan Gambar 3.10



Gambar 3.9 Desain Setelah Slot U Diperlebar (panjang LU diperbesar)



Gambar 3.10 Desain Setelah Slot U Dipersempit (Panjang LU Diperkecil)

Dari kedua gambar di atas, fokus analisis dilakukan pada frekuensi mendekati 924 MHz dan 2,45 GHz. Jadi frekuensi lain yang timbul pada kedua gambar selain frekuensi yang disebutkan sebelumnya tidak difokuskan. Perbandingan hasil simulasi pelebaran dan penyempitan slot U dapat dilihat pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Perbandingan Frekuensi Antar Desain Yang Memiliki Lebar Slot U (LU) yang Berbeda

Lebar slot U (LU) (cm)	Frekuensi (GHz)	Return loss (-dB)
2	1,09	-34,8
	2,44	-7,8
3	0,97	-40,3
	2,45	-9,7
1,2	1,19	-20,3
	2,48	-5,6

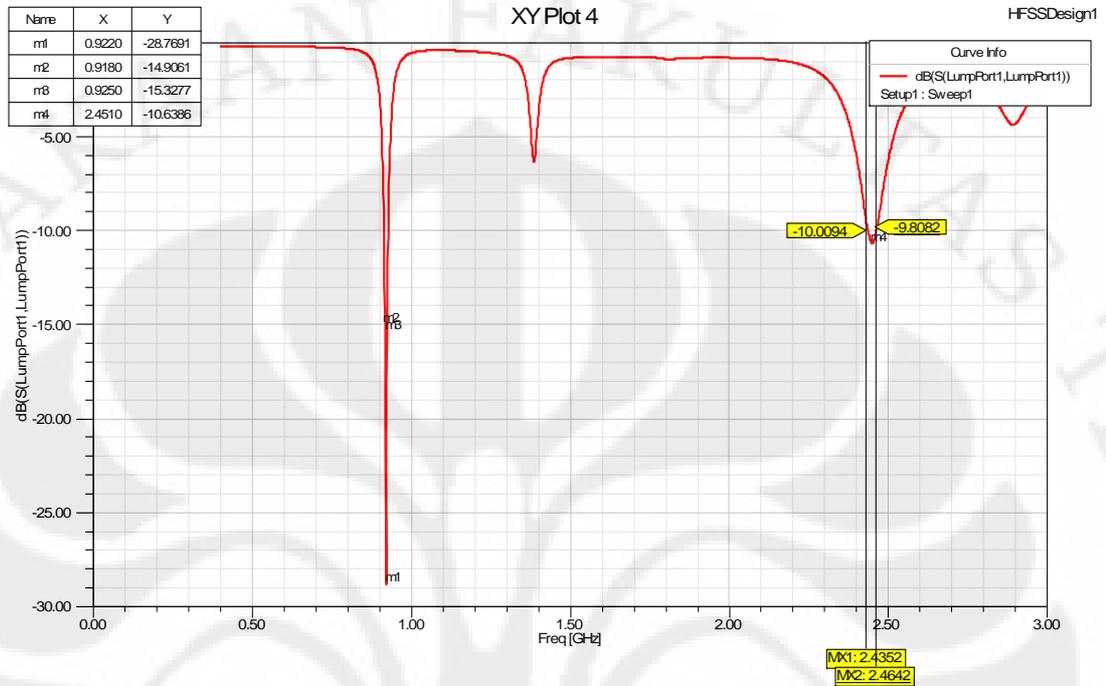
Dari Tabel 3.4 dan Gambar 3.9-3.10 diketahui bahwa penambahan lebar slot U (LU) mengakibatkan frekuensi kerja di sekitar 924 MHz menjadi lebih rendah. Dan sebaliknya pengurangan lebar slot U (LU) mengakibatkan frekuensi di sekitar 924 MHz menjadi lebih besar. Karena desain awal memiliki frekuensi kerja 1,09 GHz, maka untuk mencapai frekuensi 924 MHz, lebar slot U perlu diperlebar. Hasil karakterisasi lebar slot U (LU) dapat dilihat dari Tabel 3.5.

Tabel 3.5 Hasil Simulasi Karakterisasi Lebar Slot U

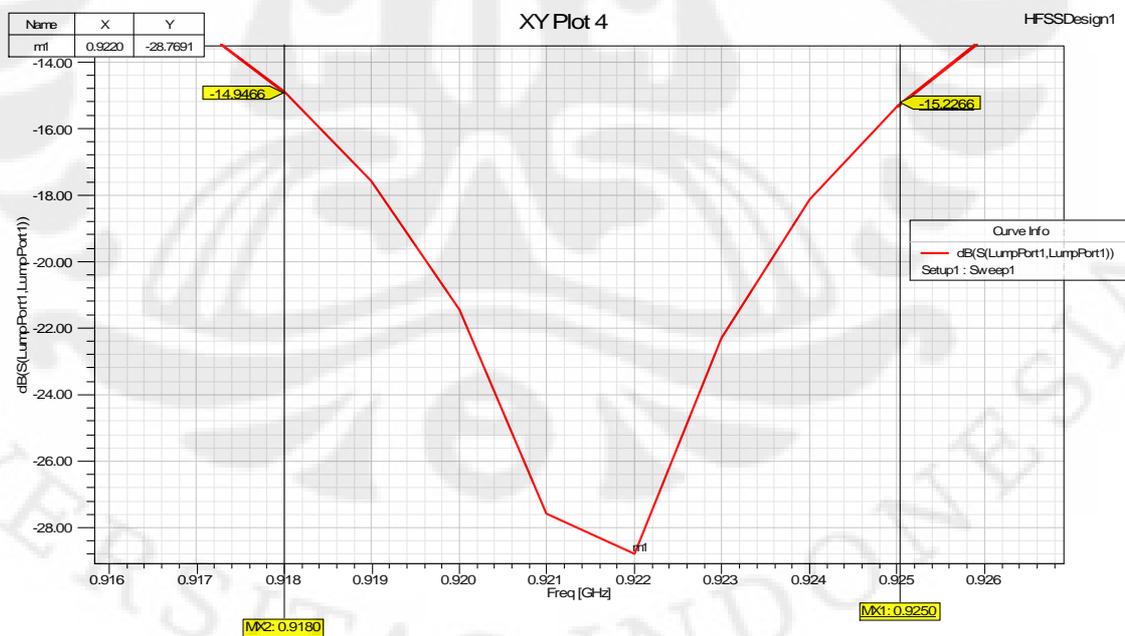
Lebar slot U (LU) (cm)	Frekuensi (GHz)	Return loss (-dB)
1,2	1,19	-20,3
2	1,09	-34,8
3	0,97	-40,3
<b>3,5</b>	<b>0,92</b>	<b>-28,7</b>
4	0,8	-24,1

Dari Tabel 3.5 diketahui bahwa ketika lebar slot sebesar 3,5 cm, frekuensi kerja mendekati frekuensi 924 MHz. Sedangkan untuk nilai lebar slot U yang lebih besar (4 cm) dan lebih kecil (3 cm), frekuensi kerjanya masih jauh dari frekuensi 924 MHz, yaitu pada 800 MHz dan 970 MHz. Oleh karena itu lebar optimal slot U (LU optimal) sebesar 3,5 cm. Namun seperti yang disebutkan sebelumnya bahwa karakterisasi lebar slot U untuk mencapai frekuensi kerja 924 MHz juga harus memerhatikan frekuensi kerja 2,45 GHz. Oleh karena itu perlu dilihat hasil simulasi keseluruhan untuk mengetahui dampak perubahan lebar slot

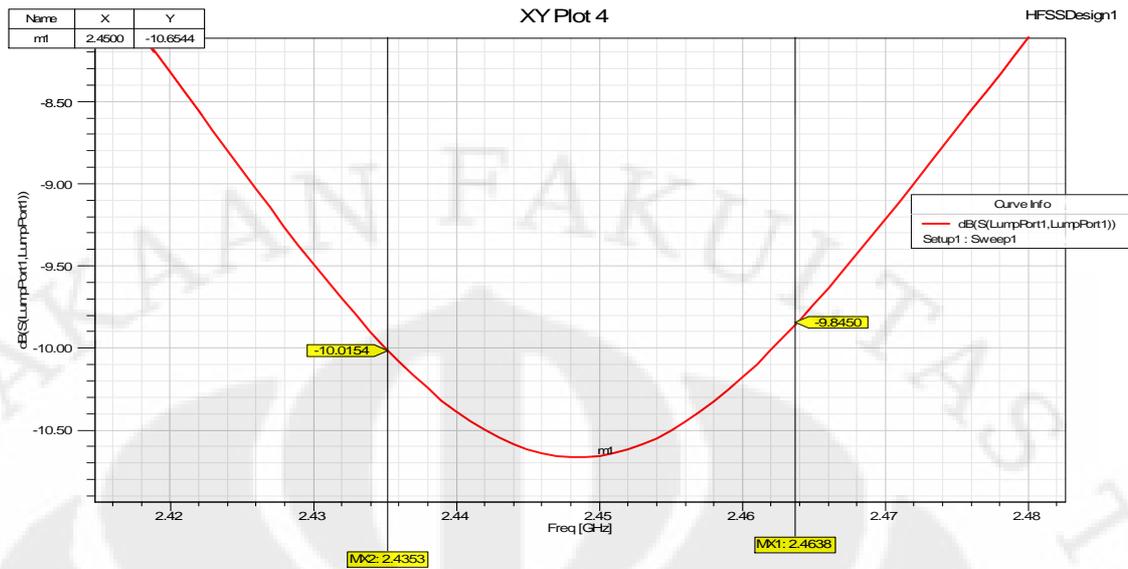
baik untuk frekuensi 924 MHz maupun untuk frekuensi 2,45 GHz. Gambar 3.11 dan Tabel 3.6 menunjukkan hasil simulasi saat lebar slot U sebesar 3,5 cm.



(a) Range Frekuensi 0.3-3 GHz



(b) Frekuensi Kerja 924 MHz



(c) Frekuensi Kerja 2,45 GHz

Gambar 3.11 Hasil Simulasi Karakterisasi Lebar Slot U optimal

Tabel 3.6 Hasil Simulasi Karakterisasi Lebar Slot U Optimal

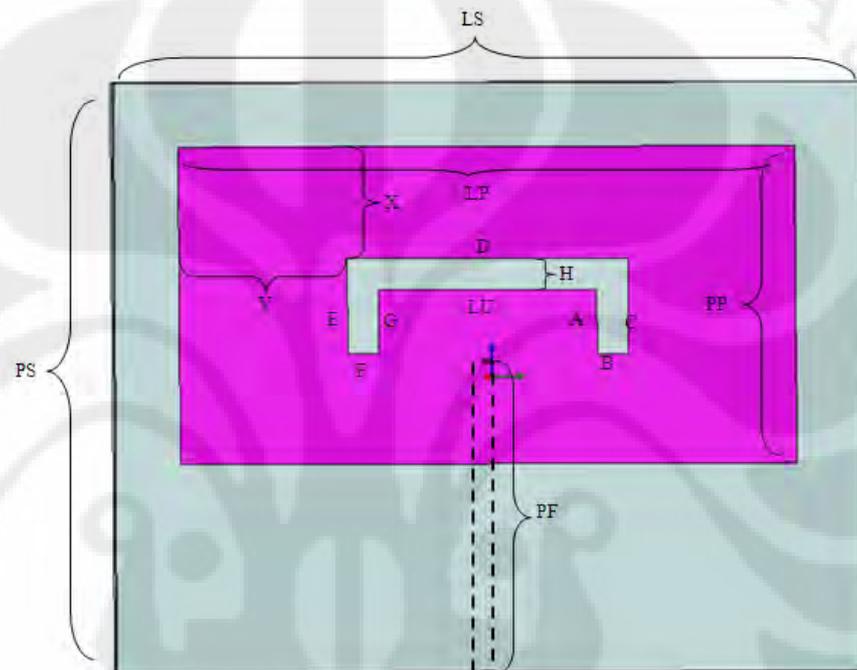
Frekuensi kerja	Bandwidth
Frekuensi 924 MHz RL $\leq$ -14,9 dB	918-925 MHz (8 MHz)
Frekuensi 2,45 GHz RL $\leq$ -10 dB	2,43 - 2,46 GHz (23 MHz)

### 3.3.2.3 Karakterisasi Panjang Pencatuan (PF)

Dari Tabel 3.6 diketahui bahwa antenna telah bekerja di frekuensi yang diinginkan, yaitu pada rentang frekuensi 923-925 MHz dan 2,44-2,46 GHz. Setelah antenna yang didesain bekerja pada dua frekuensi yang diinginkan, selanjutnya dilakukan karakterisasi panjang pencatuan untuk memperbaiki nilai *return loss* dan VSWR antenna. Untuk memperbaiki nilai *return loss* dan VSWR dilakukan karakterisasi panjang pencatuan (PF). Desain terakhir memiliki panjang pencatuan (PF) sebesar 4,7 cm. Selanjutnya panjang pencatuan dikarakterisasi dari 4,7 cm hingga 5,6 cm. Nilai panjang terbaik dari karakterisasi panjang pencatuan (PF) adalah 5 cm.

### 3.3.3 . Hasil Simulasi Perancangan Antena Dual-band

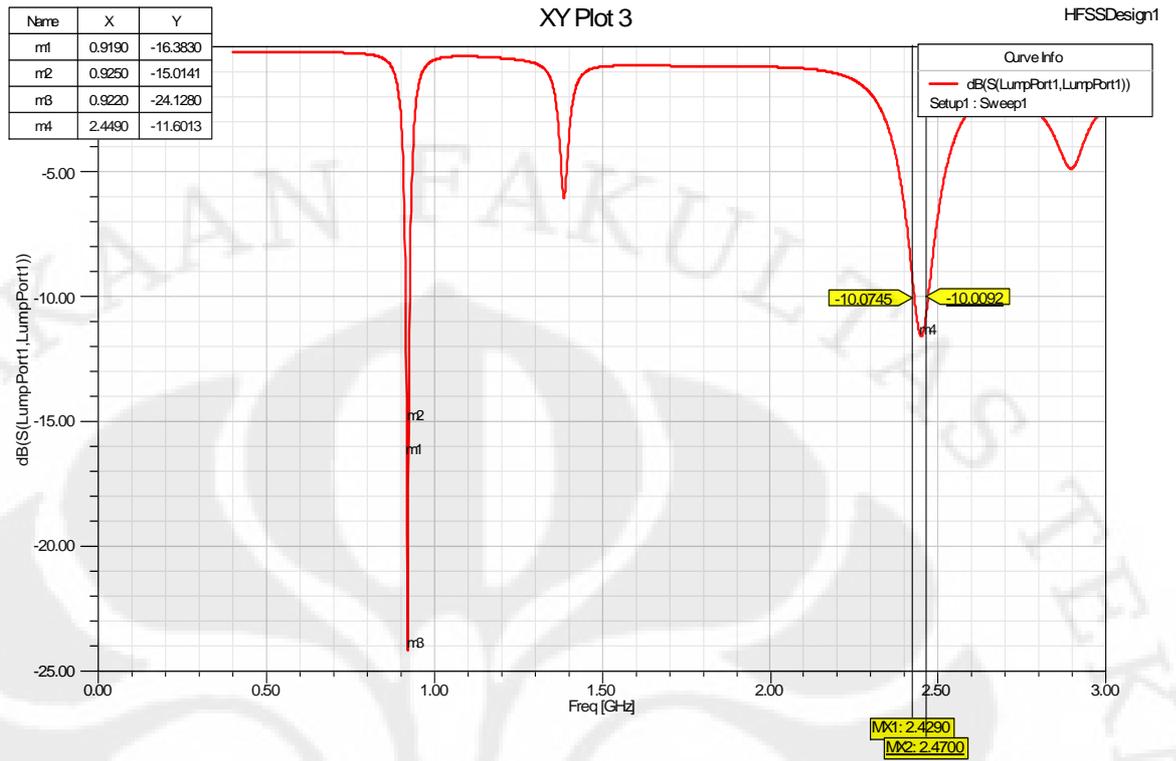
Setelah dilakukan karakterisasi untuk dimensi *patch*, lebar slot U, dan panjang pencatuan, didapatkan hasil akhir perancangan antenna dual-band untuk aplikasi RFID pada frekuensi 924 MHz dan 2,45 GHz. Desain akhir antenna tersebut dapat dilihat dari Gambar 3.10. Sedangkan nilai *return loss* dan frekuensi kerja hasil simulasi untuk desain tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.11 dan Tabel 3.6



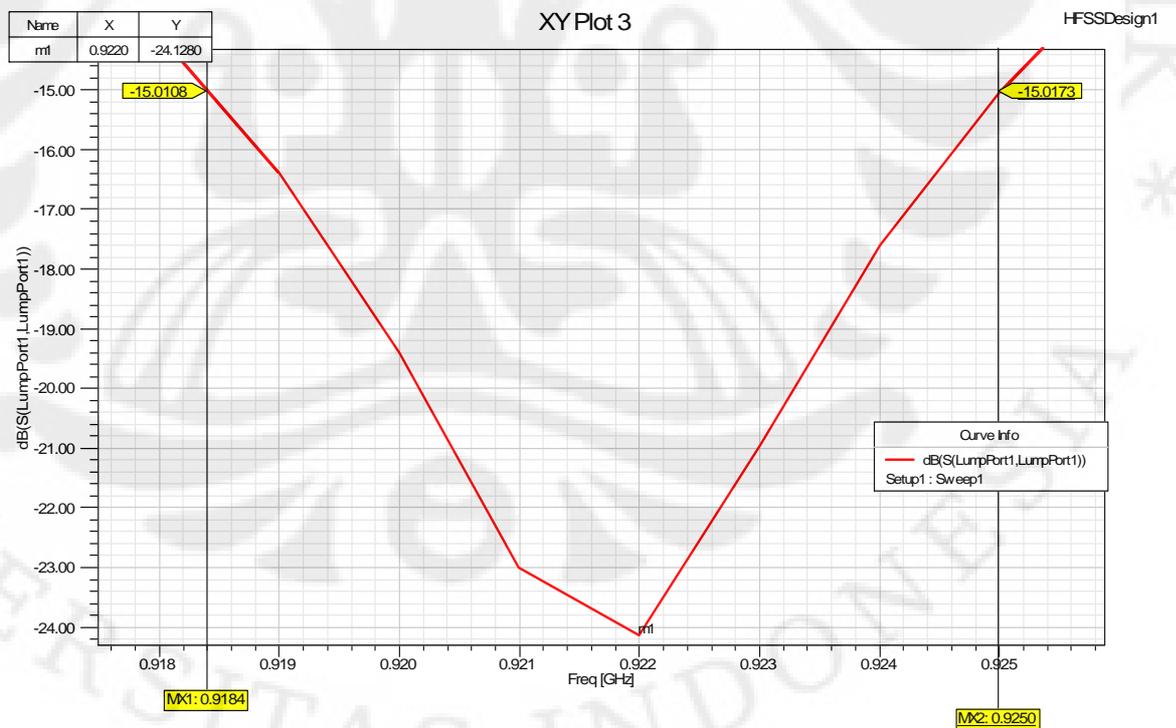
Gambar 3.12. Desain Akhir Antena Dual-band Frekuensi 924 MHz dan 2,45 GHz.

Tabel 3.7. Dimensi Hasil Akhir Desain Antena

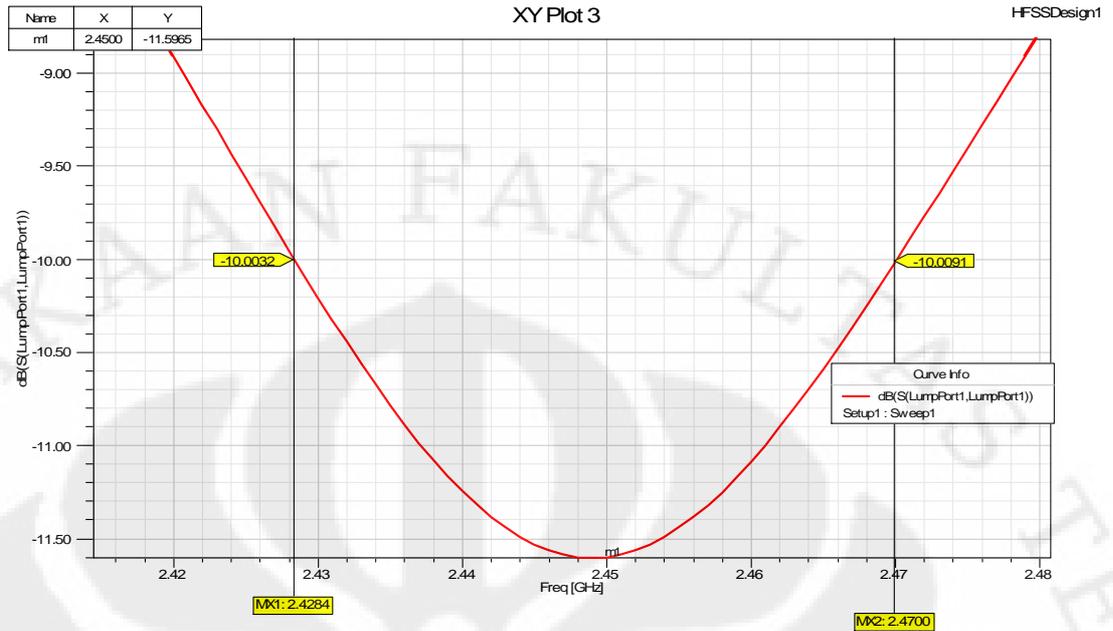
No	Dimensi	Nilai (cm)	No	Dimensi	Nilai (cm)
1	Lebar Substrat (LS)	12,04	9	D	3
2	Panjang Substrat (PS)	9,4	10	E	1,52
3	Lebar Pach (LP)	9,88	11	F	0,5
4	Panjang <i>Patch</i> (PP)	5,06	12	G	1,02
5	Lebar Slot U inti (LU)	3,5	13	H	0,5
6	A	1,02	14	X	1,78
7	B	0,5	15	Y	2,69
8	C	1,52	16	Panjang Feed (PF)	5



(a) Hasil simulasi range frekuensi 0.3-3 GHz



(b) Frekuensi Kerja 924 MHz



(c) Frekuensi Kerja 2,45 GHz

Gambar 3.13 Hasil Simulasi Desain Akhir Antena Dual-Band.

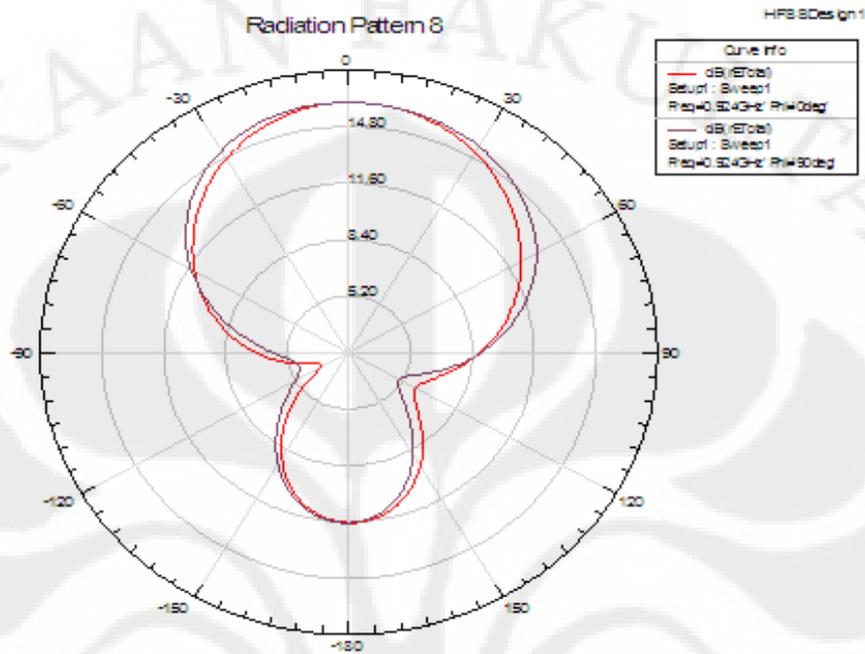
Setelah dilakukan karakterisasi pencatuan, nilai bandwidth frekuensi kerja 2,45 GHz menjadi lebih lebar yaitu menjadi 40 MHz atau 17 MHz lebih besar dari sebelum dilakukan karakterisasi panjang pencatuan. Sedangkan untuk frekuensi 924 MHz mengalami perbaikan *return loss* menjadi dibawah -15 dB. Namun bandwidth untuk frekuensi kerja tersebut berkurang 1 MHz. Hal ini tidak terlalu berpengaruh bandwidth pada frekuensi kerja 924 MHz masih melingkupi frekuensi kerja yang diatur di Indonesia yaitu pada rentang kerja 923-925 MHz. Frekuensi kerja, bandwidth, dan *return loss* juga dapat dilihat dari Tabel 3.8.

Tabel 3.8 Frekuensi Kerja Antena Dual-Band Hasil Simulasi

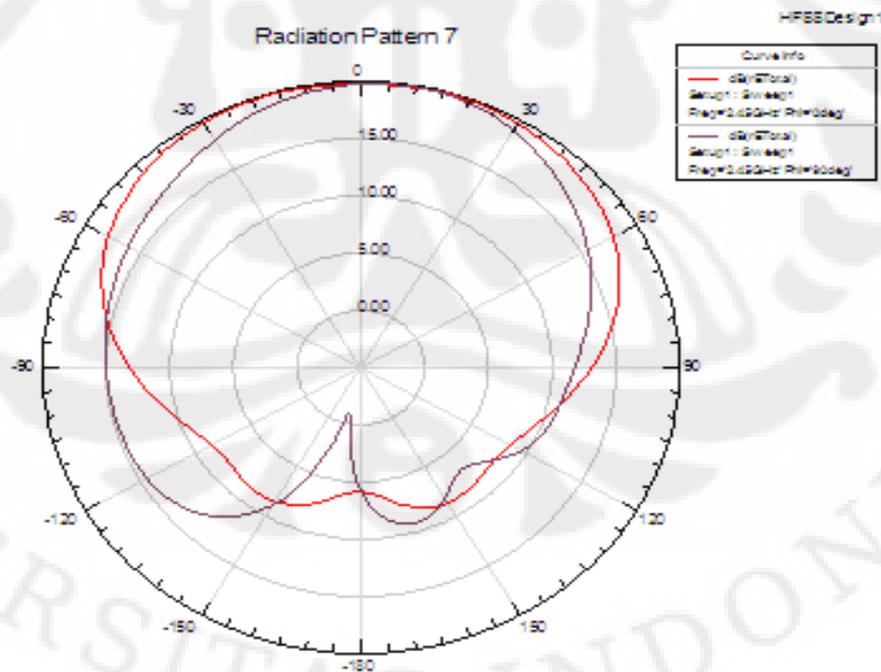
Frekuensi kerja	Bandwidth
Frekuensi 924 MHz RL $\leq$ -15 dB	919-925 MHz (7 MHz)
Frekuensi 2,45 GHz RL $\leq$ -10 dB	2,43 - 2,47 GHz (40 MHz)

Pola radiasi antena hasil simulasi dapat dilihat dari Gambar 3.14. Dua buah lobe yang lebih besar merupakan pola radiasi untuk frekuensi 2,45 GHz.

Sedangkan dua lobe lain yang lebih kecil merupakan poal radiasi untuk frekuensi 924 MHz. Sedangkan tampilan pola radiasi tiga dimensi dapat dilihat dari Gambar 3.15.

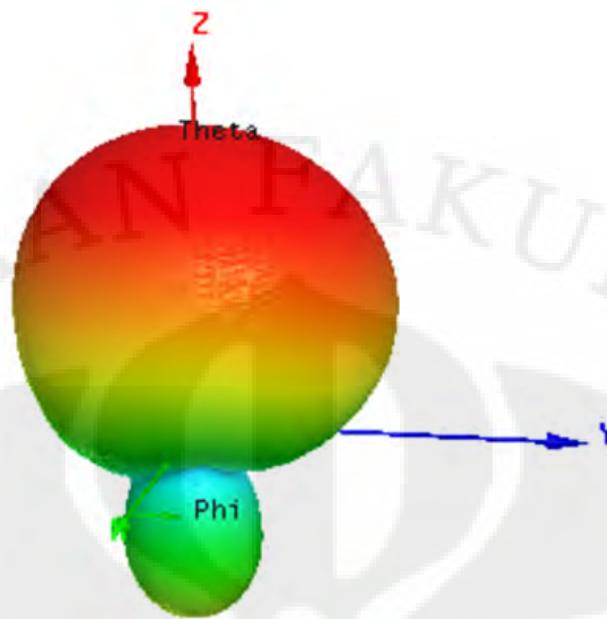


(a) Frekuensi 924 MHz

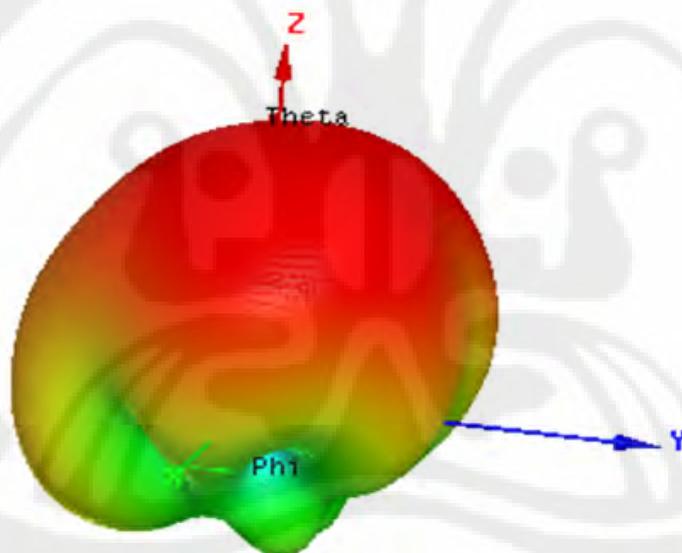


(b) Frekuensi 2,45 GHz

Gambar 3.14 Pola Radiasi Antena (2 Dimensi)



(a) Frekuensi 924 MHz



(b) Frekuensi 2,45 GHz

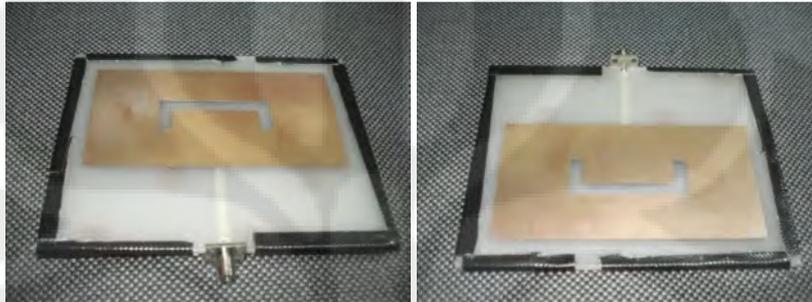
Gambar 3.15. Pola Radiasi Antena (3 Dimensi)

## BAB 4

### HASIL PENGUKURAN DAN ANALISIS ANTENA

#### 4.1. Pengukuran Antena

Setelah dilakukan perancangan antena dan mensimulasikannya dengan piranti lunak yang telah disebutkan sebelumnya pada Bab 3, maka selanjutnya dilakukan fabrikasi dari rancangan yang telah dibuat. Hasil fabrikasi antena dapat dilihat dari gambar berikut.



Gambar 4.1. Hasil Fabrikasi Antena

Dari Gambar 4.1 dapat dilihat bahwa terdapat selotip hitam pada tepi-tepi antena. Selotip hitam ini berfungsi merekatkan dua buah substrat. Hal ini dilakukan karena teknik pencatuan yang dipakai merupakan teknik pencatuan *electromagnetic coupled* sehingga antena terdiri dari dua buah substrat. Konektor yang digunakan merupakan jenis konektor SMA yang memiliki tahanan 50 ohm.

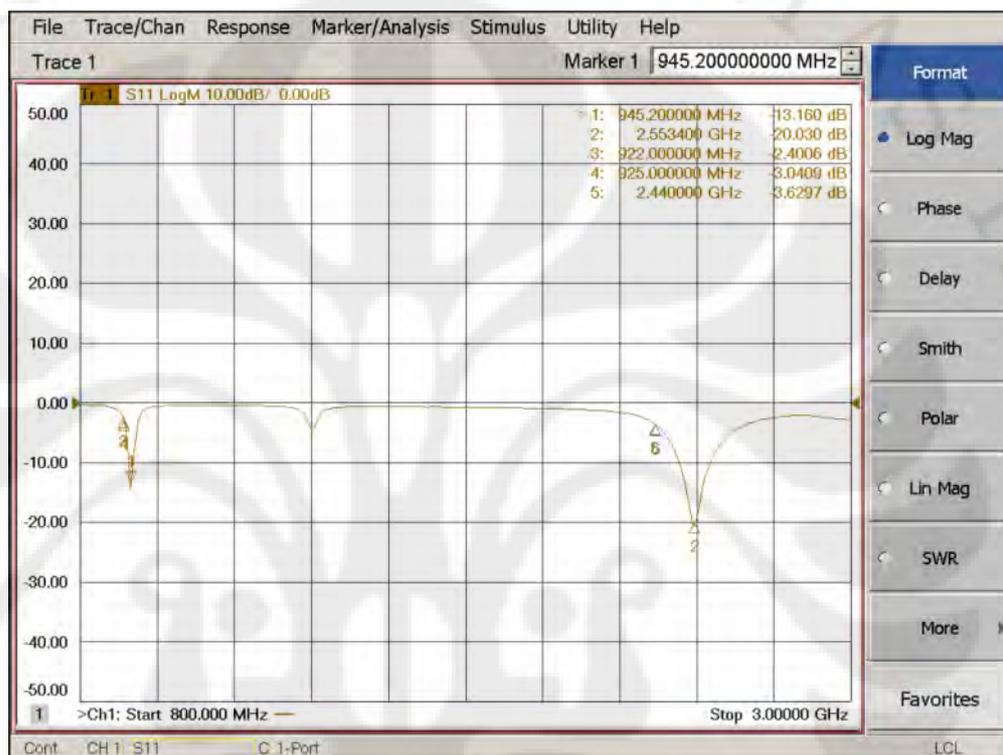
Setelah dilakukan fabrikasi, selanjutnya dilakukan pengukuran antena. Pengukuran antena dilakukan di ruang *Anechoic Chamber* yang berada di Departemen Teknik Elektro FTUI. Pengukuran dilakukan di ruangan ini karena ruangan ini memiliki kemampuan untuk menyerap gelombang elektromagnetik dan untuk menghindari terjadinya interferensi. Dengan demikian hasil pengukuran diharapkan menjadi lebih presisi. Pengukuran antena dilakukan terhadap beberapa parameter yaitu pengukuran *Return loss*, VSWR, dan impedansi masukan dari antena. Parameter lain yang diukur adalah pola radiasi, *gain*, dan axial ratio.

Pengukuran awal dilakukan menggunakan *network analyzer* dengan format S11. Konektor antena dihubungkan dengan port S11 pada *network analyzer* dengan menggunakan kabel koaksial. Penambahan kabel koaksial untuk menghubungkan antena dengan *network analyzer* tidak perlu dikhawatirkan

mengganggu tahanan port pada *network analyzer*. Hal ini karena telah dilakukan kalibrasi sebelumnya.

#### 4.1.1. Hasil Pengukuran *Return loss* dan VSWR

Pengukuran yang pertama kali dilakukan adalah pengukuran *return loss* antenna. Hasil pengukuran *return loss* antenna dapat dilihat dari Gambar 4.2.



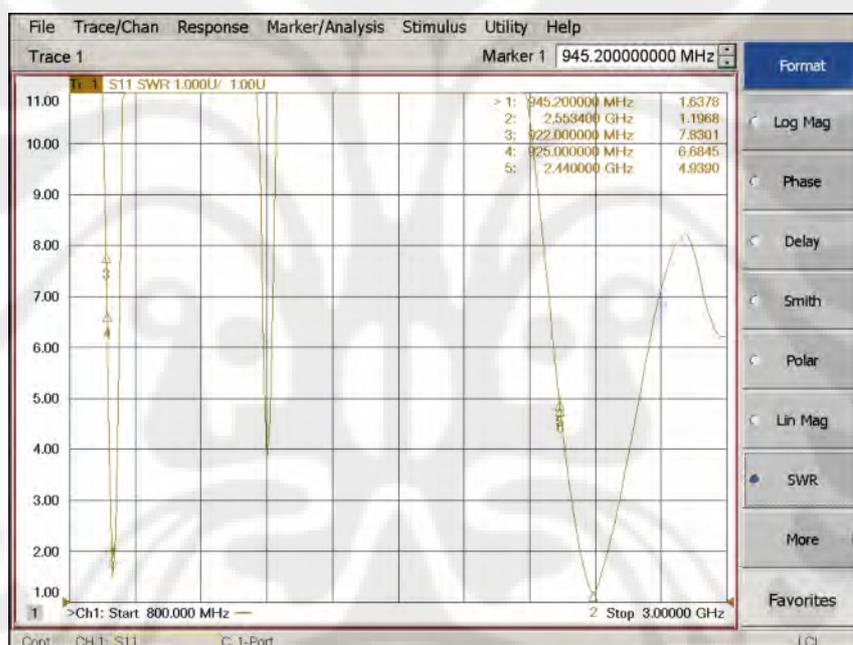
Gambar 4.2. Hasil Pengukuran *Return loss*.

Dari Gambar 4.2 dapat kita lihat bahwa antenna bekerja pada dua frekuensi (dual-band). Di antara dua frekuensi utama juga terdapat satu frekuensi lagi namun tidak menonjol. Hal ini sama seperti yang ditemui pada hasil simulasi. Namun hasil pengukuran tersebut berbeda dari hasil simulasi yang telah dilakukan sebelumnya. Hasil pengukuran, Gambar 4.2, menunjukkan frekuensi utama pertama bekerja pada frekuensi (*slope* terdalam) 0,945 GHz dengan nilai *return loss* -13,160 dB. Sedangkan pada simulasi, Gambar 3.10 (b), frekuensi utama pertama memiliki *slope* terdalam 0,922 GHz dengan nilai *return loss* -24,12 dB. Dengan demikian frekuensi kerja hasil pengukuran bergeser 23 MHz dari hasil simulasi.

Hal serupa juga terjadi pada frekuensi utama kedua. Gambar 4.2 menunjukkan bahwa *slope* terdalam grafik memiliki nilai frekuensi 2,55 GHz dengan *return loss* -20,03 dB. Sedangkan hasil simulasi, Gambar 3.10 (c), menunjukkan bahwa *slope* terdalam memiliki nilai frekuensi 2,45 GHz dengan nilai *return loss* -11,6 dB. Berarti frekuensi kerja hasil pengukuran lebih besar 100 MHz dari hasil simulasi.

Perbedaan hasil simulasi dengan pengukuran bukan hanya pada perbedaan frekuensi saja namun juga pada nilai *return loss*. Perbandingan umum hasil simulasi dan pengukuran dapat dilihat dari tabel Tabel 4.1.

Hasil pengukuran tersebut juga dapat dilihat dari grafik VSWR. Hasil pengukuran VSWR dapat dilihat dari Gambar 4.3.



Gambar 4.3. Hasil Pengukuran VSWR

Dengan menggunakan persamaan *return loss* dan VSWR pada Bab 2, maka diketahui bahwa nilai *return loss* tidak bertentangan dengan nilai VSWR. Maksudnya, semakin negatif nilai *return loss* maka nilai VSWR akan semakin mendekati 1. Perbandingan frekuensi kerja antara hasil simulasi dan hasil pengukuran diperlihatkan dari Tabel 4.1.

Tabel 4.1. Perbandingan Hasil Pengukuran dengan Simulasi (a) Frekuensi 923 MHz dan (b) 2,45 GHz.

Parameter	Hasil Pengukuran	Hasil Simulasi
Frekuensi tengah	945 MHz	925 MHz
<i>Return loss</i>	-13,16 dB	-15,014 dB

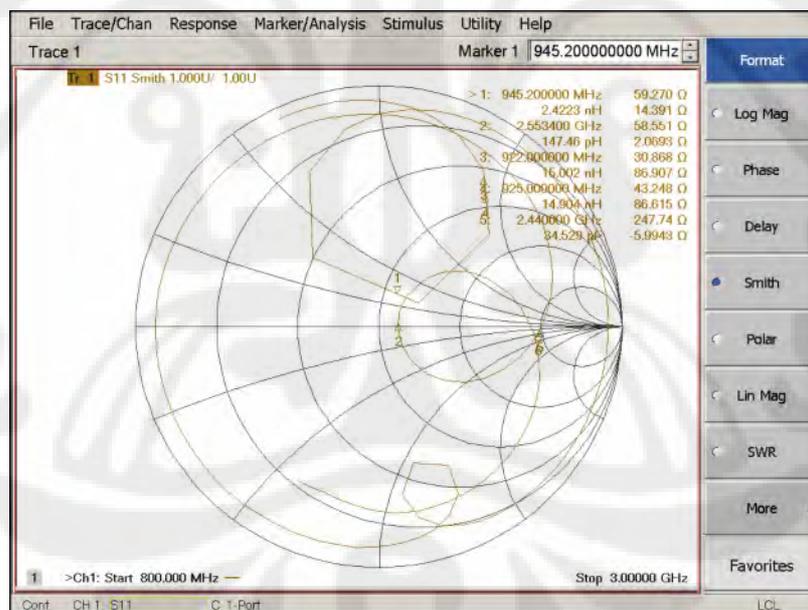
(a)

Parameter	Hasil Pengukuran	Hasil Simulasi
Frekuensi tengah	2,55 GHz	2,45 GHz
<i>Return loss</i>	-20,03 dB	-11,6 dB

(b)

#### 4.1.2. Pengukuran Impedansi Masukan Antena

Pengukuran selanjutnya adalah pengukuran impedansi masukan antena. Hasil pengukuran untuk nilai impedansi masukan antena dapat dilihat dari Gambar 4.4.



Gambar 4.4. Impedansi Masukan Antena

Gambar 4.4 memperlihatkan impedansi masukan antena. Untuk frekuensi 922 MHz memiliki impedansi  $30,86 + j86,9 \Omega$ . Sedangkan frekuensi 925 MHz memiliki impedansi  $43,2428 + j 86,61 \Omega$ . Frekuensi 0,945GHz dan 2,55GHz masing-masing memiliki impedansi  $59,27 + j14,39 \Omega$  dan  $58,551 + j2,06 \Omega$

#### 4.2 Analisis Hasil Pengukuran Awal Antena

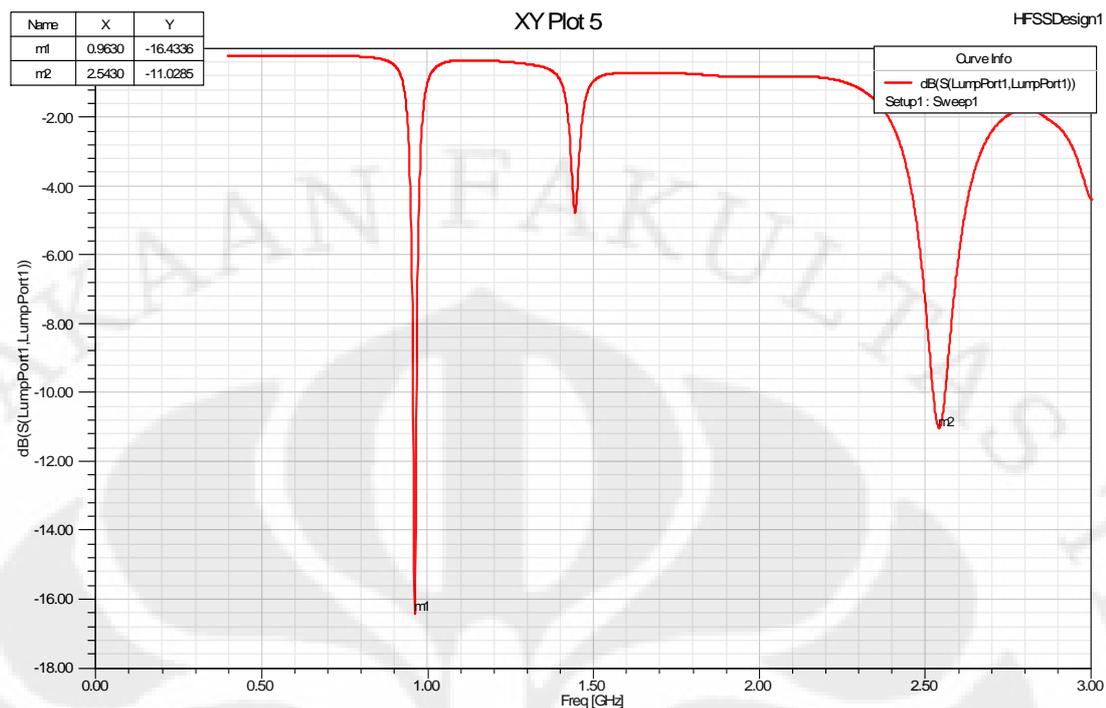
Hasil yang didapatkan dari hasil perancangan dan simulasi maupun hasil pengukuran menunjukkan bahwa antena memiliki dua frekuensi kerja (dual-band). Didapatkannya lebih dari satu frekuensi kerja karena antena *patch* segi empat memiliki slot U. Slot U ini mengakibatkan suatu frekuensi meresonan frekuensi lainnya sehingga terdapat dua frekuensi kerja.

Berdasarkan pengukuran yang dilakukan, antena hasil fabrikasi belum memenuhi frekuensi yang diinginkan. Frekuensi yang diharapkan bekerja pada frekuensi 923-925 MHz bergeser kurang lebih sebesar 25 MHz dengan *slope* terdalam pada frekuensi 945 MHz. Sedangkan frekuensi kedua, yaitu pada frekuensi 2,45 GHz bergeser menjadi 2,55 GHz.

Bergesernya frekuensi kerja ini dapat diakibatkan oleh celah udara antar substrat pada antena yang telah difabrikasi. Pada simulasi, diantara dua substrat tidak terdapat celah udara, atau dengan kata lain, kedua substrat menempel. Namun pada fabrikasi, dimungkinkan adanya celah udara antar substrat. Selotip hitam yang digunakan untuk merekatkan dua buah substrat sangat mungkin tidak membuat kondisi kedua substrat menempel sempurna.

Untuk mengetahui adanya celah di antara substrat, dilakukan simulasi dengan menggunakan peranti lunak HFSSv11. Desain yang dijadikan acuan untuk melakukan fabrikasi dirancang kembali namun dengan penambahan celah antar substrat. Nilai celah udara yang diberikan sebesar 0,1 mm. Hasil simulasi desain yang telah dirancang kembali dapat dilihat dari Gambar 4.5.

Gambar 4.5 menunjukkan bahwa frekuensi utama, *slope* terdalam pertama, memiliki frekuensi kerja 963 MHz dan frekuensi utama kedua memiliki frekuensi kerja 2,54 GHz. Sedangkan hasil simulasi desain tanpa celah udara dapat dilihat pada Gambar 3.11(a). Frekuensi pertama dan kedua pada gambar tersebut bernilai 922 MHz dan 2,45 GHz. Dari simulasi ini diketahui bahwa adanya celah antar substrat mengakibatkan frekuensi kerja menjadi lebih tinggi.

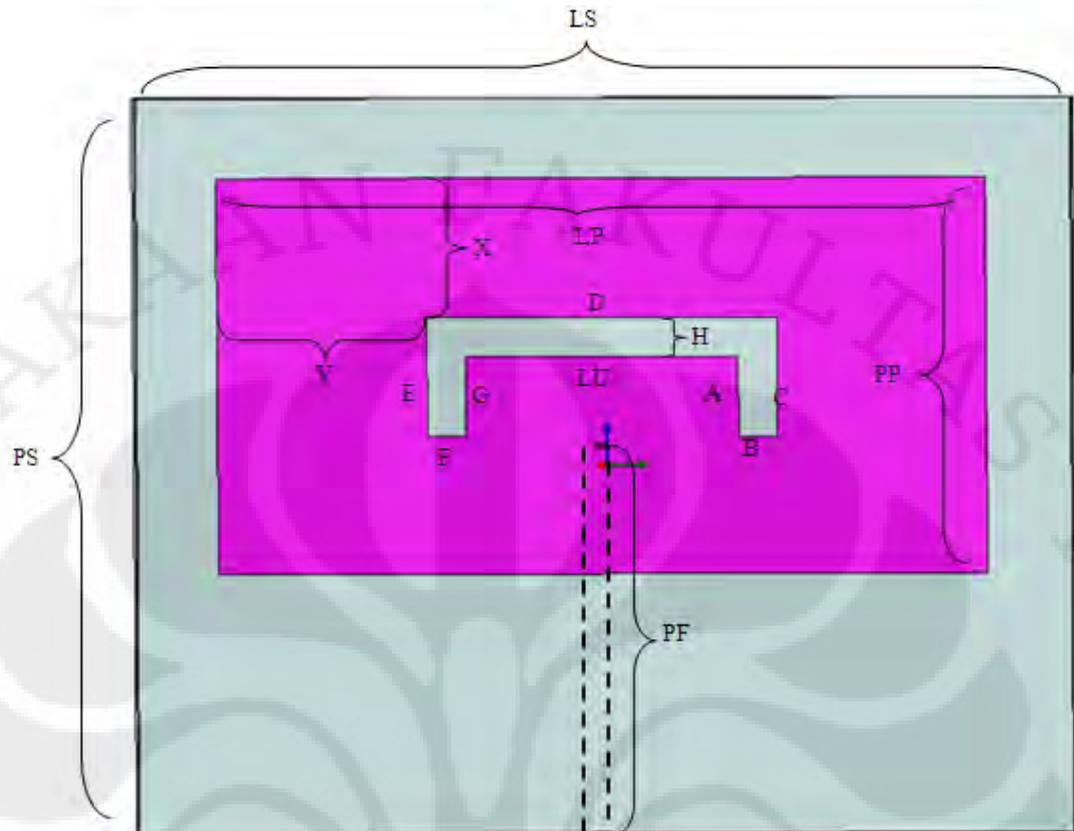


Gambar 4.5 Hasil Simulasi Perancangan dengan Penambahan Celah Udara antar Substrat

#### 4.3. Desain Antena Perbaikan

Dari hasil pengukuran awal, antena hasil fabrikasi belum memenuhi frekuensi kerja yang diinginkan. Untuk mendapatkan frekuensi kerja yang diinginkan, dilakukan proses perbaikan antena. Secara teoritis, perbaikan antena dapat dilakukan dengan cara menghilangkan celah antar substrat. Namun dengan peralatan yang ada akan sulit untuk menghilangkan sama sekali celah antar substrat akibat adanya udara. Selain udara, celah substrat juga disebabkan ketebalan pencatu. Ketebalan pencatu ini tidak mungkin dihilangkan.

Oleh karena itu, perbaikan antena dilakukan dengan cara mengubah desain agar frekuensi kerja antena menjadi lebih rendah. Frekuensi kerja didesain agar lebih rendah karena celah antar substrat akan mengakibatkan frekuensi kerja menjadi lebih besar. Gambar 4.6 dan Tabel 4.2 merupakan desain perbaikan antena.

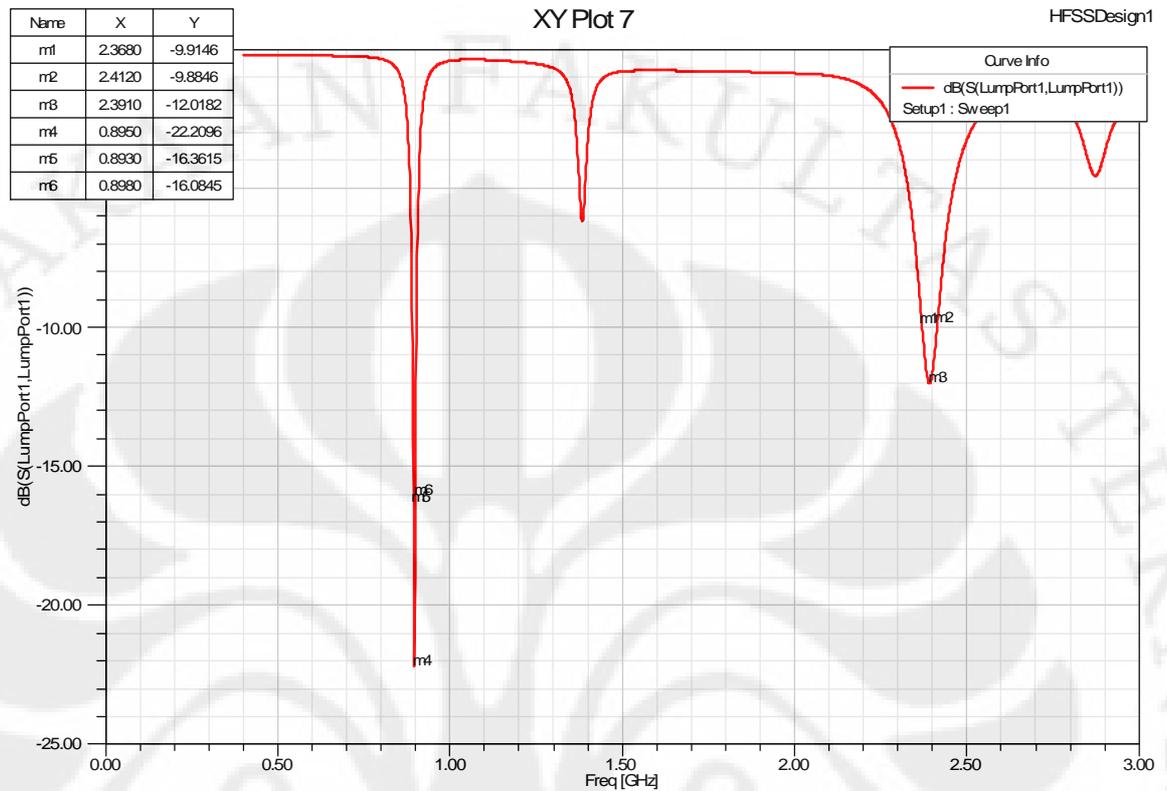


Gambar 4.6 Desain Perbaikan Antena

Tabel 4.2 Dimensi Desain Perbaikan Antena

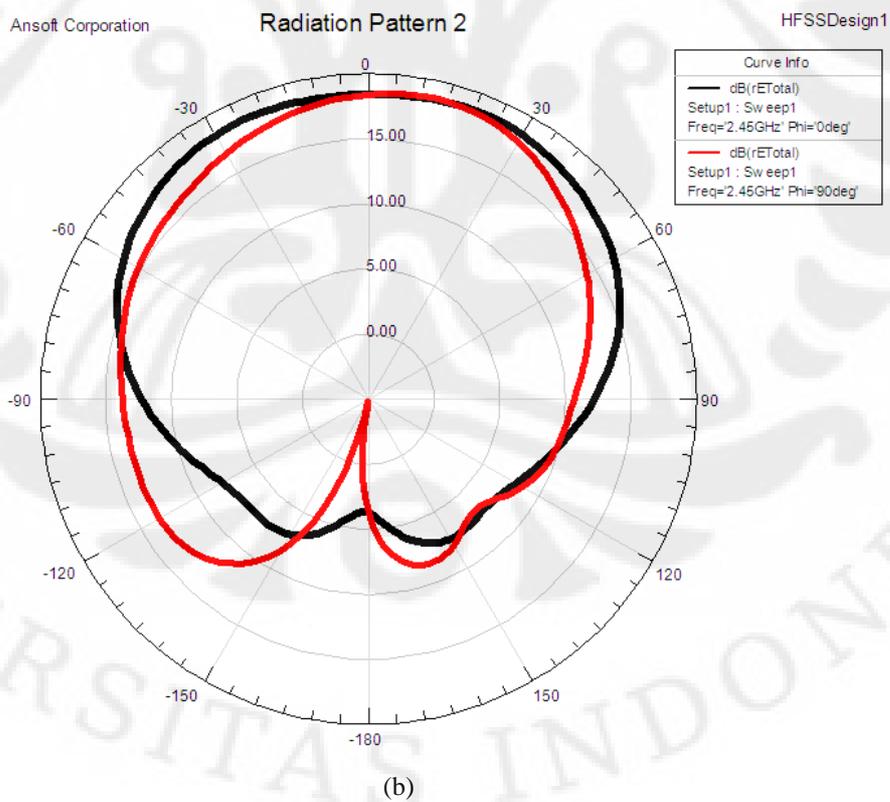
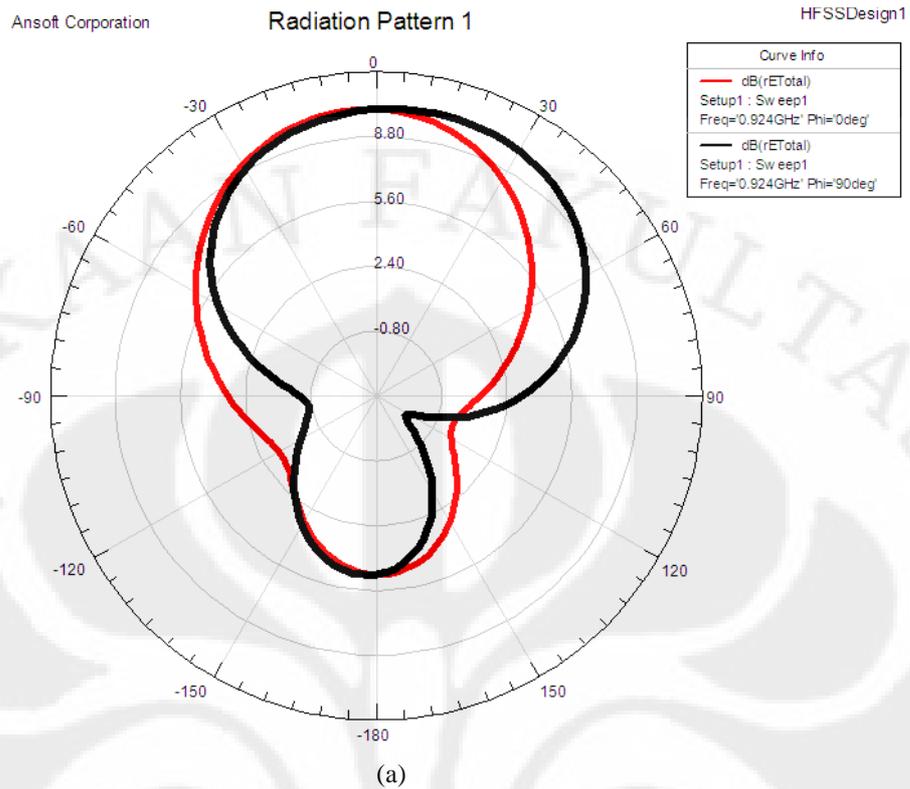
No	Dimensi	Nilai (cm)	No	Dimensi	Nilai (cm)
1	Lebar Sustrat (LS)	12,04	9	D	3
2	Panjang Sustrat (PS)	9,4	10	E	1,52
3	Lebar Pach (LP)	9,88	11	F	0,5
4	Panjang Patch (PP)	5,16	12	G	1,02
5	Lebar Slot U inti (LU)	3,7	13	H	0,5
6	A	1,02	14	X	1,78
7	B	0,5	15	Y	2,59
8	C	1,52	16	Panjang Feed (PF)	5

Hasil simulasi perbaikan antenna diperlihatkan dalam Gambar 4.7 berikut.

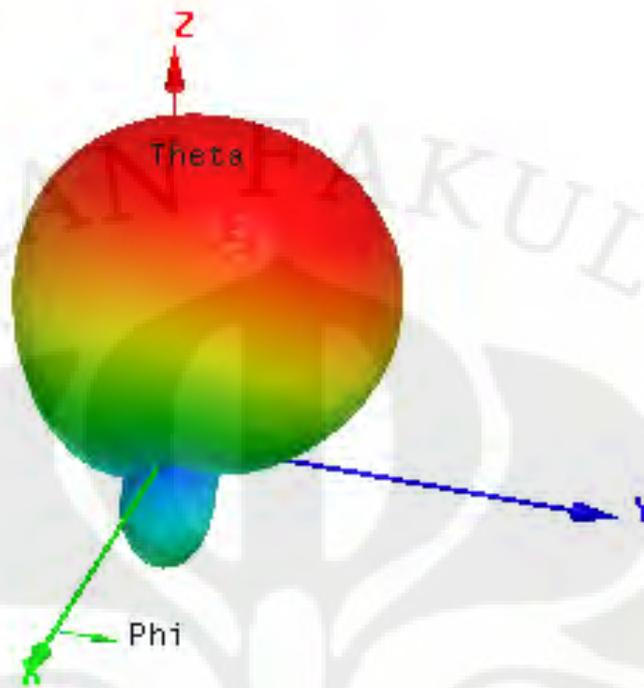


Gambar 4.7 Hasil Simulasi Perbaikan Antena

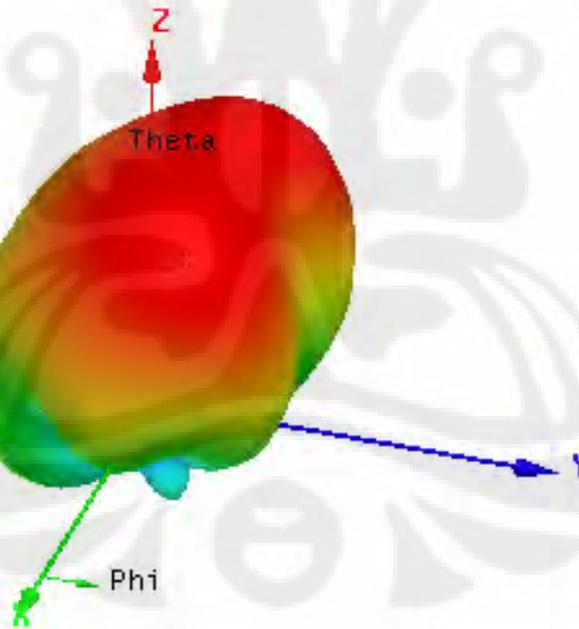
Hasil simulasi perbaikan antenna untuk nilai *return loss* menunjukkan bahwa antenna bekerja pada dua frekuensi utama yaitu pada frekuensi 895 MHz dan 2,39 GHz. Dengan desain ini diharapkan antenna dapat bekerja pada frekuensi 924 MHz dan 2,45 GHz setelah difabrikasi. Sedangkan hasil simulasi untuk pola radiasi secara dua dimensi diperlihatkan dari Gambar 4.8 dan untuk tiga dimensi dari Gambar 4.9.



Gambar 4.8 Pola Radiasi Dua Dimensi (a) Frekuensi 924 MHz dan (b) Frekuensi 2,45 GHz.



(a)



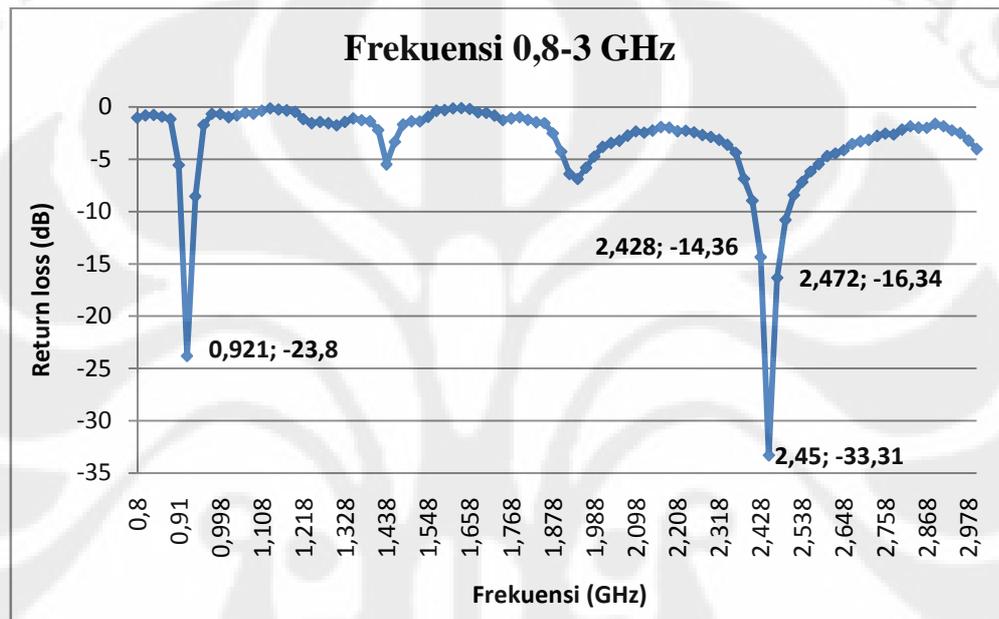
(b)

Gambar 4.9 Pola Radiasi Tiga Dimensi (a) Frekuensi 924 MHz dan (b) Frekuensi 2,45 GHz.

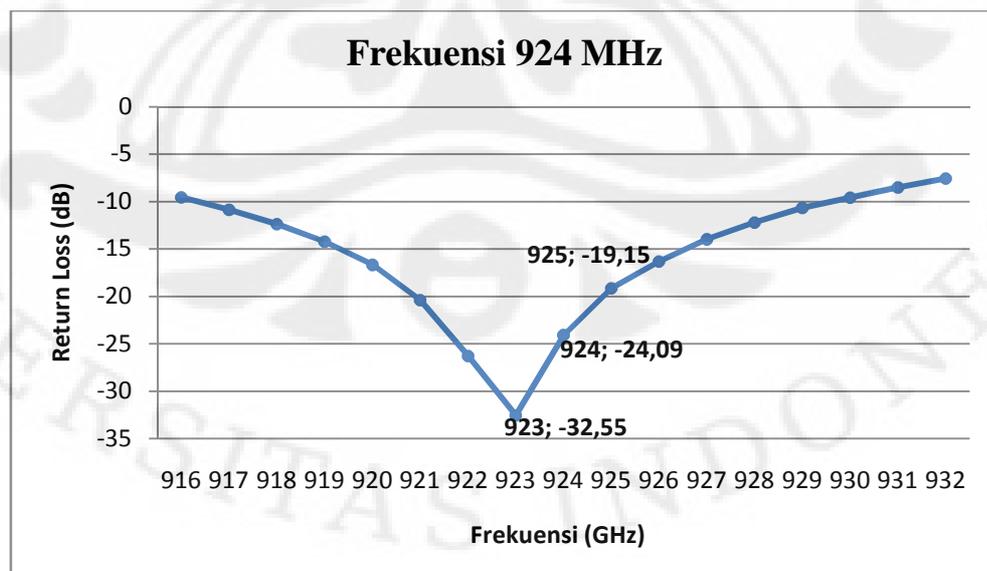
#### 4.4. Pengukuran Antena Perbaikan

##### 4.4.1 Pengukuran Port Tunggal

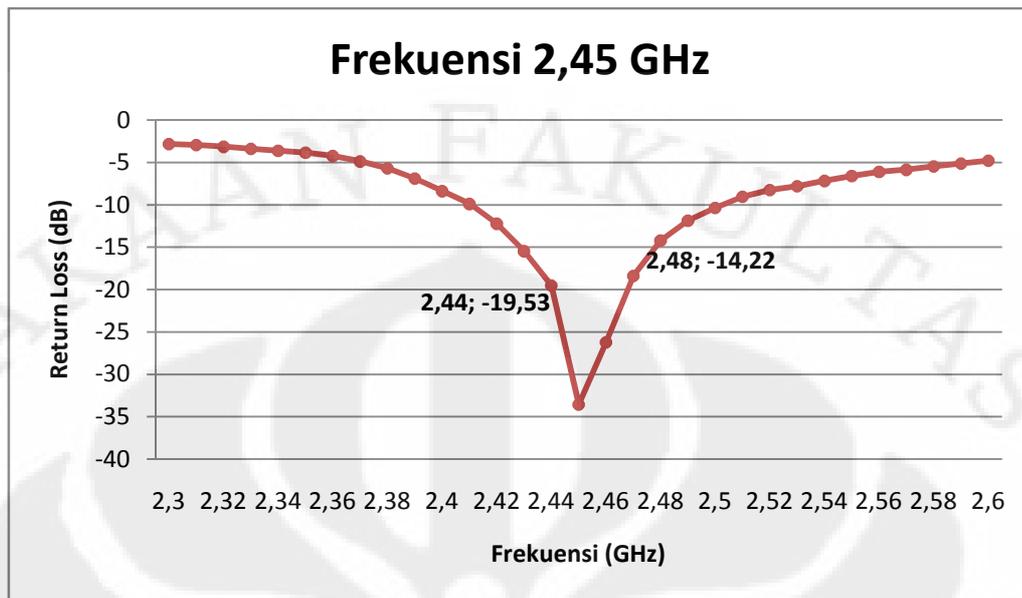
Pada pengukuran port tunggal ini, parameter-parameter adalah *return loss*, VSWR dan impedansi masukan antenna. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan *network analyzer*. Format pengukuran port tunggal adalah  $S_{11}$ . Hasil pengukuran *return loss* diperlihatkan dalam Gambar 4.10-4.12.



Gambar 4.10 *Return loss* Hasil Pengukuran Antena Dual Band

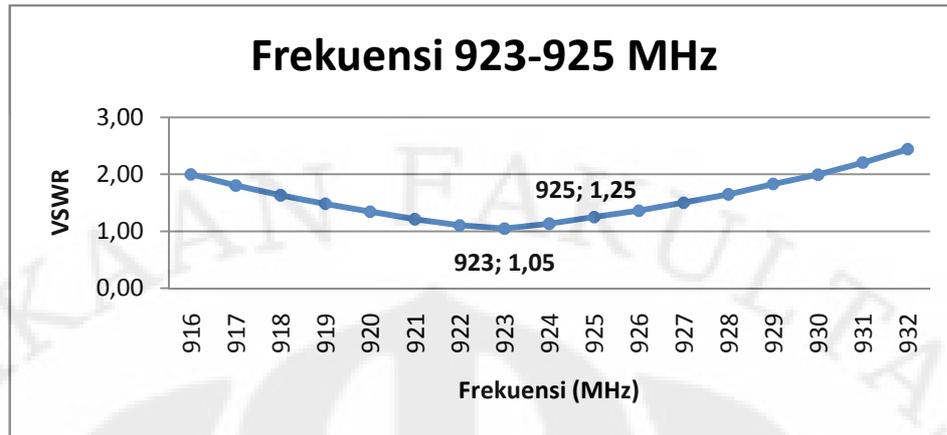


Gambar 4.11. *Return loss* Hasil Pengukuran Antena Pada Frekuensi 923-925 MHz

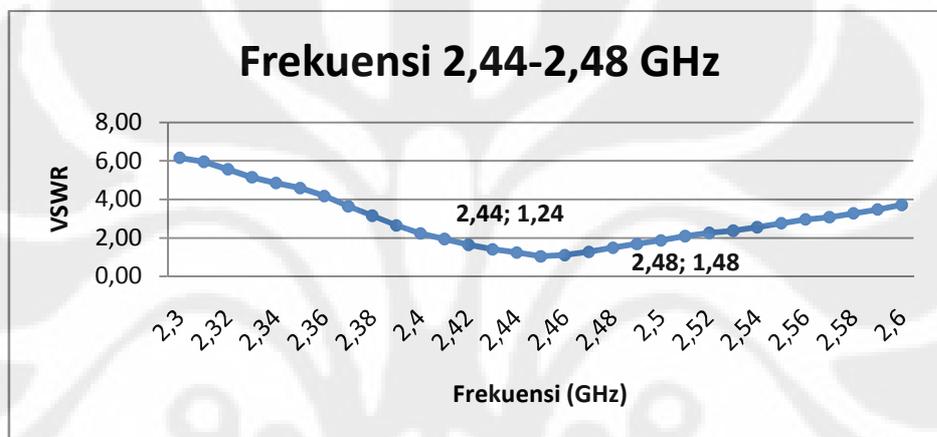


Gambar 4.12 *Return loss* Hasil Pengukuran Antena Pada Frekuensi 2,44-2,48 GHz

Gambar 4.10 - 4.12 menunjukkan bahwa rancang bangun antenna berhasil mendapatkan antenna yang memiliki dua frekuensi pada frekuensi yang diinginkan. Hal ini terlihat dari Gambar 4.10 bahwa kedua frekuensi kerja memiliki *return loss* dibawah -13,98 dB atau VSWR di bawah 1,5. Pada frekuensi kerja pertama, antenna memiliki rentang frekuensi 919-927MHz dengan VSWR  $\leq 1,5$  atau *return loss*  $\leq -13,98$  dB. Sedangkan untuk frekuensi kerja RFID dengan menggunakan standard Depkominfo yaitu pada *range* frekuensi 923-925 MHz, antenna memiliki *return loss*  $\leq -19,15$  dB atau VSWR  $\leq 1,25$ . Sedangkan pada frekuensi kedua, standard (ISO/IEC 18000-4), yaitu pada rentang frekuensi 2,44-2,48 GHz, antenna memiliki *return loss*  $\leq -14,22$  dB atau VSWR  $\leq 1,48$ . Sedangkan foto hasil pengukuran *return loss* diperlihatkan pada Gambar Lampiran A. Hasil pengukuran VSWR antenna dapat dilihat dari Gambar 4.13 dan 4.14.



Gambar 4.13 VSWR Antena Pada Frekuensi 923-925 MHz

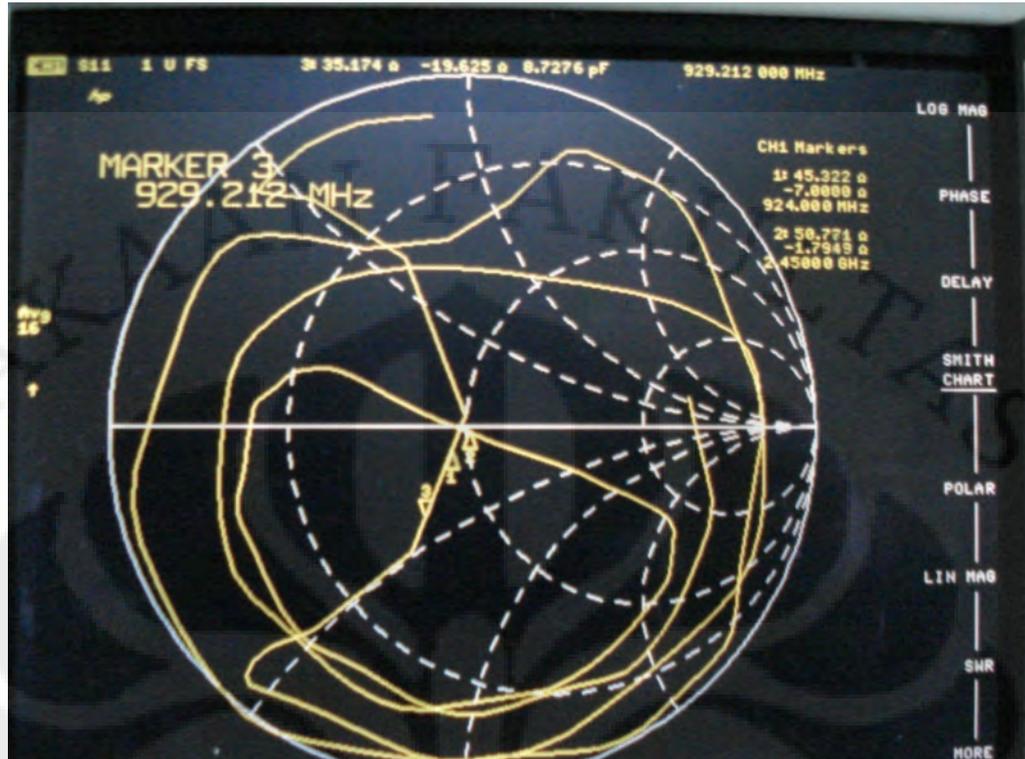


Gambar 4.14 VSWR Antena Pada Frekuensi 2,44-2,48 GHz

Tabel 4.3 merupakan tabel perbandingan antara frekuensi kerja hasil simulasi dengan hasil pengukuran antena dual-band.

Tabel 4.3 Perbandingan Hasil Simulasi dan Pengukuran Antena

<i>Return loss</i> ( $\leq -9,54$ dB)	Frekuensi	
	Hasil Simulasi	Hasil Pengukuran
Frekuensi 1	890-901 MHz (1,23%)	916-930 MHz (1,73%)
Frekuensi 2	2,366-2,414 GHz (2%)	2,41-2,50 GHz (1,83%)
<i>Return loss</i> ( $\leq -13,98$ dB)	Frekuensi	
	Hasil Simulasi	Hasil Pengukuran
Frekuensi 1	893-898MHz (0,67%)	919-927 MHz (0,98%)
Frekuensi 2	-	2,43-2,48 GHz (2,04%)



Gambar 4.15 Impedansi Masukan Antena

Impedansi masukan antena dapat dilihat dari Gambar 4.15. Dari gambar tersebut diketahui bahwa frekuensi 924 MHz memiliki impedansi  $45,322-j7 \Omega$ . Sedangkan frekuensi 2,45 GHz memiliki impedansi masukan  $50,771-j1,79 \Omega$ .

#### 4.4.2 Pengukuran Pola Radiasi

Pengukuran pola radiasi ini dilakukan dengan menggunakan dua buah antena yang memiliki jarak antara antena lebih besar dari wilayah far fieldnya. Hal ini dilakukan karena pada jarak tersebut distribusi medan angular tidak tergantung pada besarnya jarak antar antena. Jarak tersebut dapat dicari dengan persamaan :

$$r_{min} = \frac{D^2}{\lambda} \quad (4.1)$$

Dengan :  $r_{min}$  = jarak minimum pemancar dan penerima(cm)

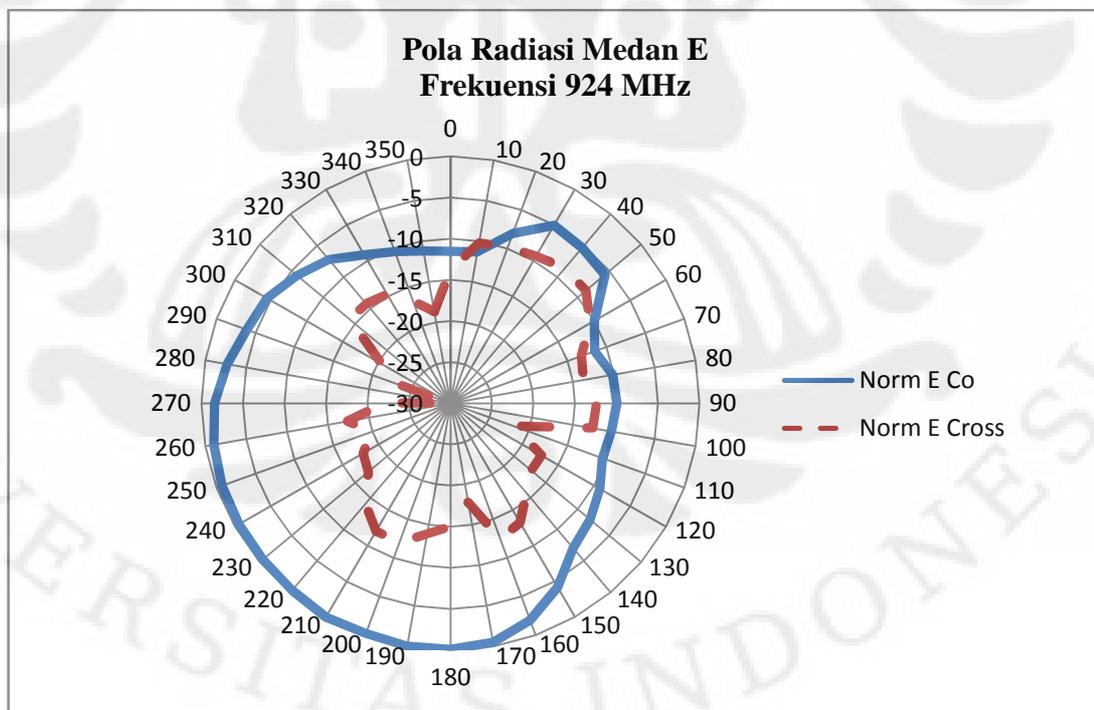
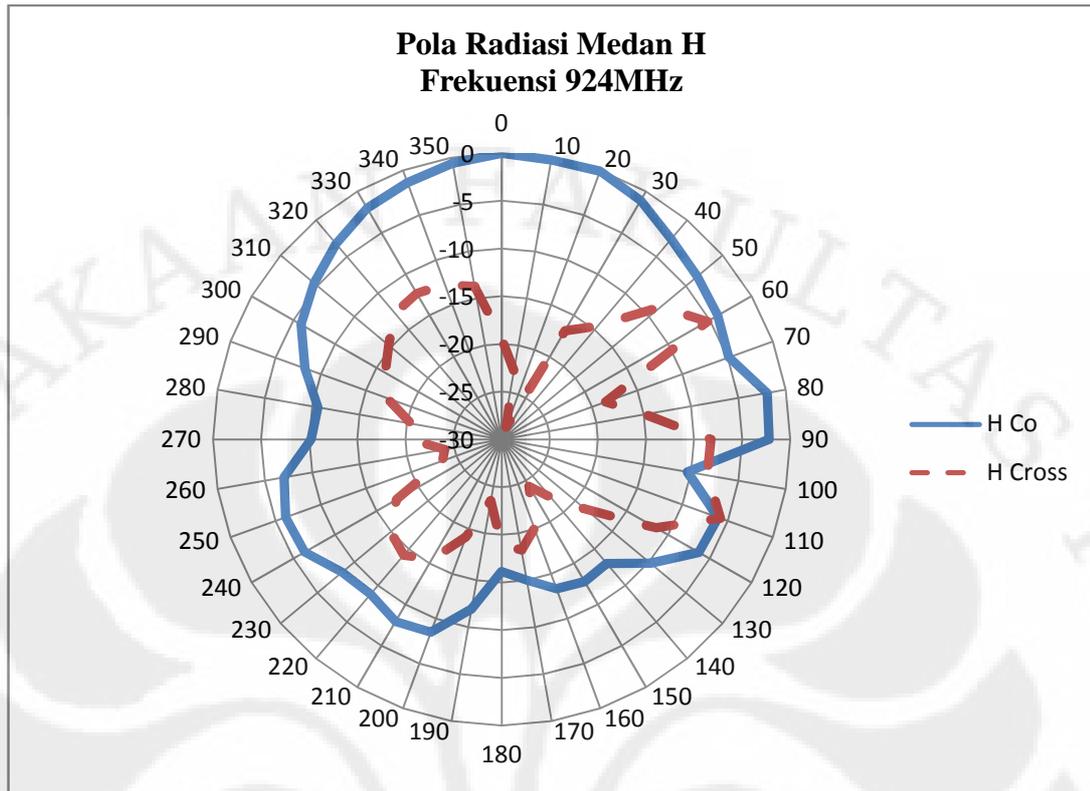
$D^2$  = dimensi terbesar dari antena (cm)

$\lambda$  = panjang gelombang (cm)

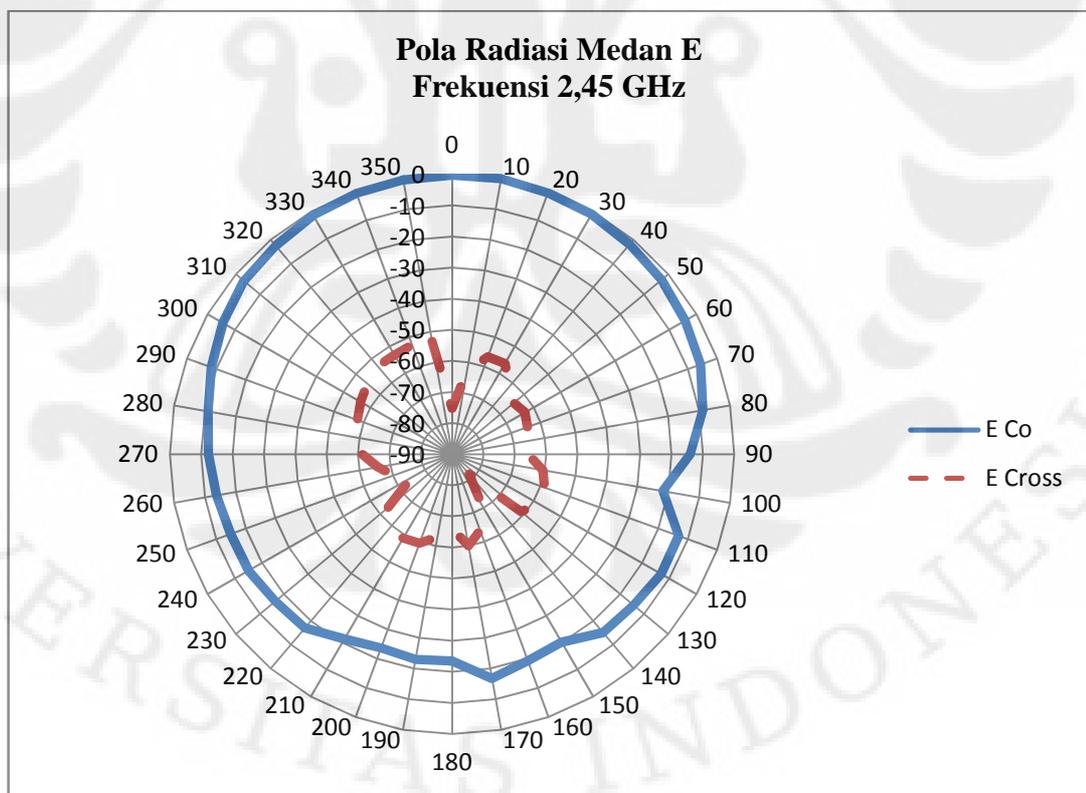
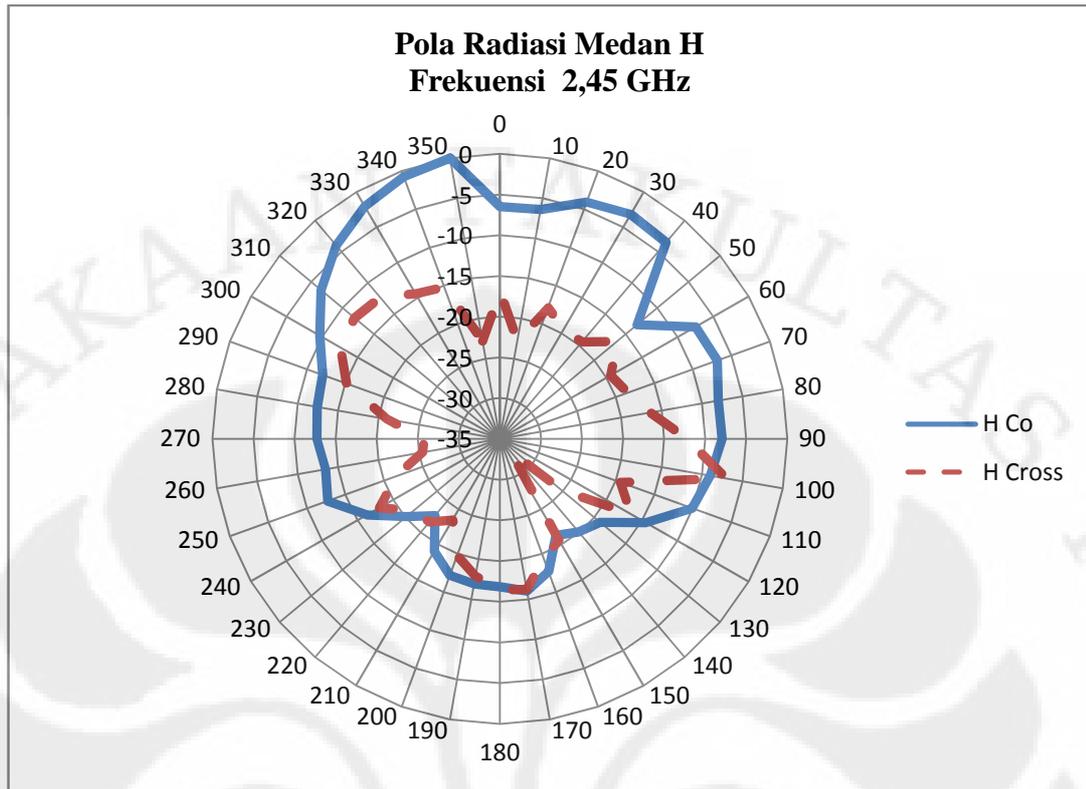
Pengukuran pola radiasi dilakukan pada frekuensi 924 MHz dan 2,45 GHz dengan D kurang lebih 12 cm. Maka jarak minimum pengukuran adalah 8,87 cm dan 23,53 cm. Namun karena kendala mekanika, maka pengukuran dilakukan dengan jarak antar antena sebesar 60 cm. Jarak ini melebihi jarak minimum yang dibutuhkan.

Pola radiasi dilakukan dengan menggunakan alat ukur *network analyzer*. Format pengukuran yang digunakan adalah jenis  $S_{12}$ . Pada format ini antena penerima berada pada port 1 sedangkan antena pengirim berada pada port 2. Antena pengirim dan penerima merupakan antena identik yang memiliki desain dan frekuensi kerja yang sama. Untuk memperoleh sudut pola radiasi, antena penerima diputar sebesar 360 derajat. Pola radiasi diukur pada dua bidang yang saling tegak lurus yaitu bidang E dan bidang H untuk mendapatkan bentuk radiasi dalam ruang.

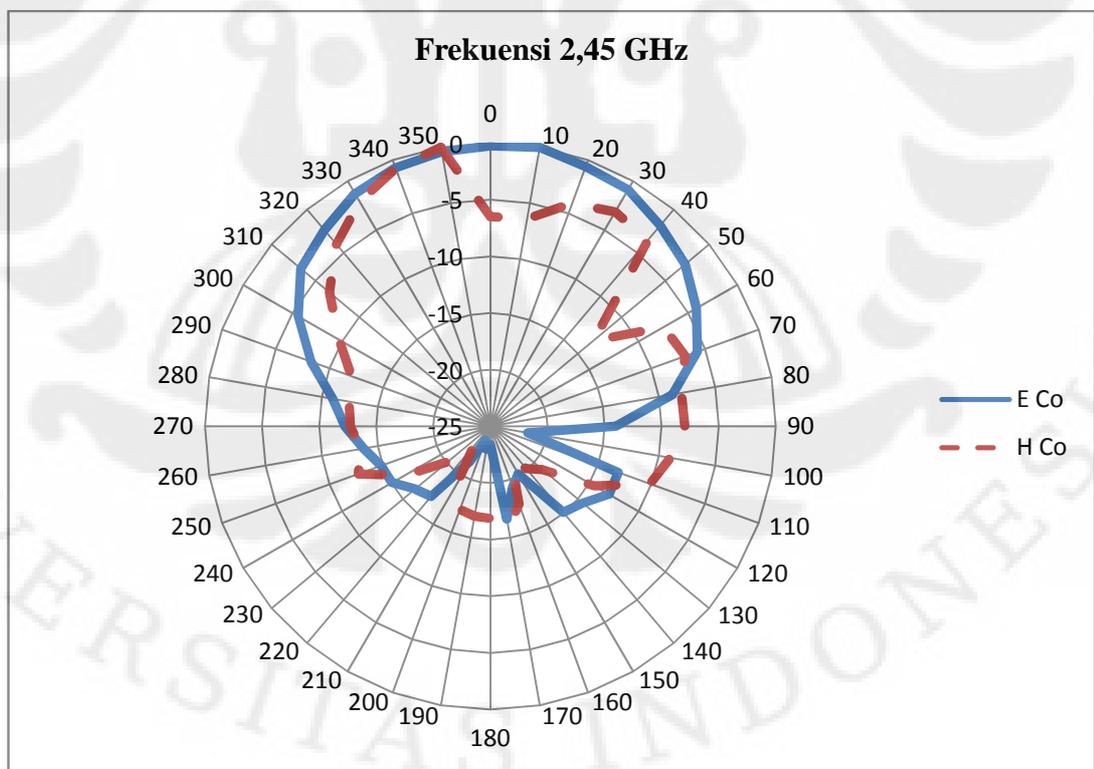
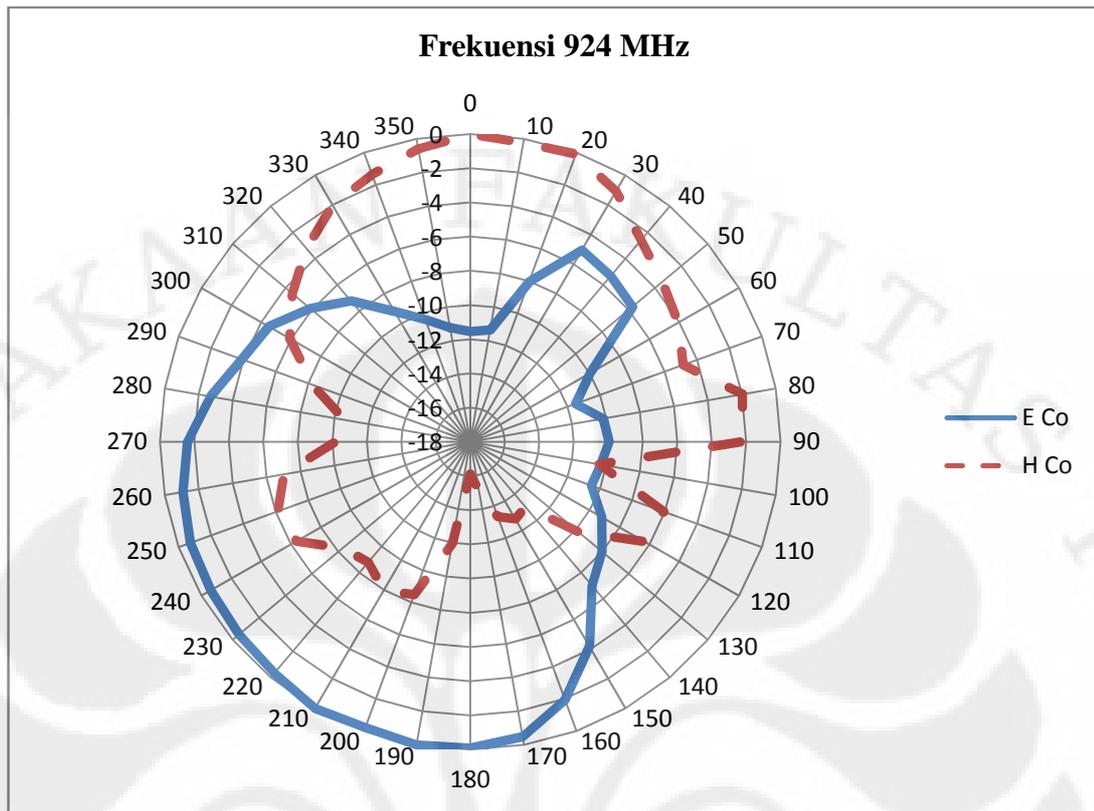
Data hasil pengukuran pola radiasi merupakan data perbandingan daya yang diterima dan daya yang dikirim ( $P_r/P_t$ ) dalam satuan dB. Data yang diperoleh kemudian diolah dan dinormalisasi. Hasil pengolahan data tersebut diperoleh pola radiasi pada dua bidang yang tegak lurus (bidang E dan bidang H) seperti yang diperlihatkan pada Gambar 4.16-4.18 a dan b.



Gambar 4.16 Pola Radiasi Frekuensi 924MHz



Gambar 4.17 Pola Radiasi Frekuensi 2,45 GHz



Gambar 4.18 Pola Radiasi Pada Medan H dan Medan E Pada Frekuensi 924MHz dan 2,45GHz

Gambar 4.16-4.18 merupakan grafik hasil pengukuran pola radiasi pada daerah far field. Pengukuran pola radiasi dilakukan pada medan H dan medan E pada kondisi kedua antena tegak lurus pada sudut  $0^\circ$  (Co) dan  $90^\circ$  (Cross). Pada kedua gambar tersebut, grafik garis terhubung merupakan hasil pengukuran antena tegak lurus pada posisi  $0^\circ$ , sedangkan grafik garis terputus merupakan hasil pengukuran sudut  $90^\circ$ . Data hasil pengukuran pola radiasi selengkapnya disertakan dalam Lampiran B.

Pada frekuensi 924 MHz, pola radiasi antena cenderung berbentuk unidirectional baik untuk medan E maupun medan H-nya. Untuk medan H, *main lobe* maksimum mengarah pada sudut  $0^\circ$  sedangkan medan *main lobe* medan E mengarah pada sudut  $210^\circ$ . Sedangkan untuk frekuensi 2,45 GHz pola radiasi antena yang didapatkan juga berbentuk unidirectional. *Main lobe* maksimum medan H mengarah pada sudut  $350^\circ$ . Sedangkan pola radiasi medan E cenderung omnidirectional dan mengarah pada sudut  $330^\circ$ .

Sedangkan untuk hasil pengukuran tegak lurus pada sudut  $90^\circ$  (Cross), pola radiasi yang terbentuk kurang beraturan. *Main lobe* dan *back lobe* antena lebih seimbang jika dibandingkan pada pengukuran Co yang memiliki perbedaan *main lobe* dan *back lobe* yang jelas. Untuk frekuensi 924 MHz *main lobe* maksimum medan H mengarah pada sudut  $110^\circ$ . Sedangkan *main lobe* maksimum medan E mengarah pada sudut  $40^\circ$ . Sedangkan pada frekuensi 2,45 GHz, *main lobe* maksimum medan H berada pada sudut  $110^\circ$  dan pada medan E mengarah pada sudut  $210^\circ$  dan  $310^\circ$ .

Dari Gambar 4.16-4.17 dapat diketahui nilai *Cross Polarization Discrimination* (XPD). Nilai XPD merupakan perbandingan antara radiasi maksimum co-polar dengan nilai minimum cross-polar. Untuk frekuensi 924 MHz, nilai XPD medan E sebesar 29,25 dB dan medan H sebesar 28,66 dB. Sedangkan untuk frekuensi 2,45 GHz, nilai XPD medan E sebesar 37,28 dB dan medan H sebesar 32,98 dB.

#### 4.4.3 Pengukuran *Gain*

Dalam skripsi ini, metode yang digunakan dalam pengukuran *gain* adalah metode tiga antena. Hal ini dikarenakan tidak tersedianya antena dengan frekuensi kerja yang sesuai dengan antena yang dirancang dan telah diketahui *gain*-nya. Antena penerima diletakkan pada arah berkas utama pola radiasi. Karena menggunakan metode tiga antena, maka terdapat 3 kemungkinan pasangan antena pengirim dan penerima, yaitu pasangan antena 1 dan 2, 1 dan 3 serta 2 dan 3. Metode tiga antena tidak memperhitungkan apakah antena tersebut sebagai pengirim atau penerima.

Persamaan penghitungan *gain* untuk ketiga kombinasi tersebut adalah sebagai berikut:

1. Kombinasi antena 1 dan antena 2

$$A = (G_1)dB + (G_2)dB = 20\text{Log}_{10}\left(\frac{4\pi R}{\lambda}\right) + 10\text{Log}_{10}\left(\frac{P_{r2}}{P_{t1}}\right) \quad (4.2)$$

2. Kombinasi antena 1 dan antena 3

$$B = (G_1)dB + (G_3)dB = 20\text{Log}_{10}\left(\frac{4\pi R}{\lambda}\right) + 10\text{Log}_{10}\left(\frac{P_{r3}}{P_{t1}}\right) \quad (4.3)$$

3. Kombinasi antena 2 dan antena 3

$$C = (G_2)dB + (G_3)dB = 20\text{Log}_{10}\left(\frac{4\pi R}{\lambda}\right) + 10\text{Log}_{10}\left(\frac{P_{r3}}{P_{t2}}\right) \quad (4.4)$$

dengan,

$G$  = *gain* absolut (dB)

$R$  = jarak antara antena pengirim dan penerima (m)

$\lambda$  = panjang gelombang pada frekuensi yang diinginkan (m)

$P_t$  = daya pengirim

$P_r$  = daya penerima

Maka *gain* untuk masing-masing antena diselesaikan dengan persamaan :

$$(G_1)dB = \frac{1}{2}(A + B - C) \quad (4.5)$$

$$(G_2)dB = \frac{1}{2}(A - B + C) \quad (4.6)$$

$$(G_3)dB = \frac{1}{2}(-A + B + C) \quad (4.7)$$

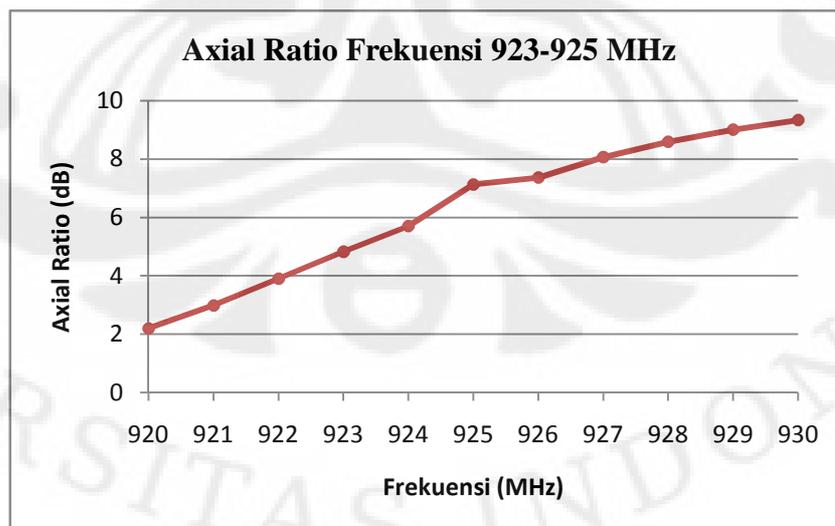
Tiga antena yang digunakan terdiri dari dua antena yang identik (desain sama) dan satu antena yang memiliki desain yang berbeda. Ketiga antena yang

digunakan bekerja pada frekuensi 924 MHz dan 2,45 GHz. Data hasil pengukuran disertakan dalam Lampiran C.

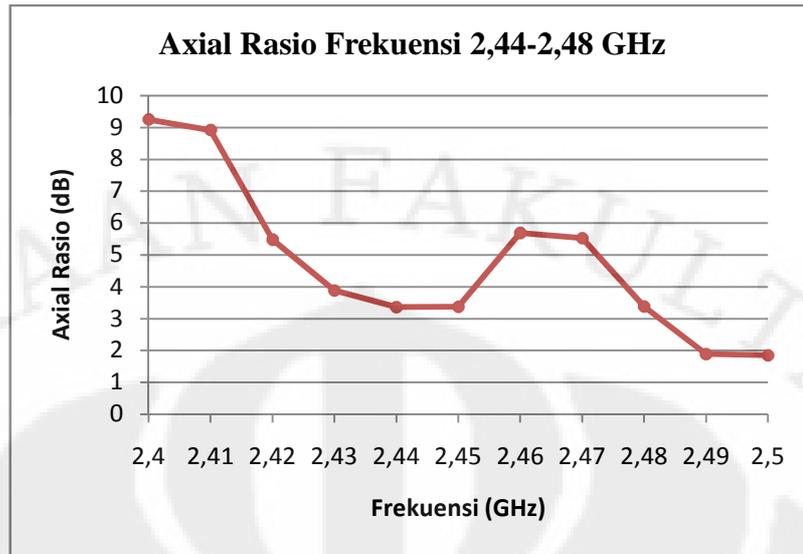
Dengan mengolah data hasil pengukuran menggunakan persamaan-persamaan di atas maka didapatkan *gain* antenna. Dari tiga antenna yang digunakan, antenna yang ingin diketahui *gain*nya adalah antenna pertama. *Gain* diukur pada frekuensi kerja yang diinginkan. Untuk frekuensi 924 MHz antenna memiliki *gain* -9,89 dB. Sedangkan *gain* pada frekuensi 2,45 GHz sebesar 0,627 dB.

#### 4.4.4 Pengukuran Axial Ratio

Nilai axial ratio perlu diketahui untuk menentukan polarisasi suatu antenna. Pengukuran axial ratio tidak dilakukan dengan cara memvariasikan frekuensi. Nilai axial ratio dapat diketahui dari selisih amplitude antara medan E dengan medan H. Nilai axial ratio antenna yang kurang dari 3 dB pada rentang frekuensi tertentu menunjukkan bahwa antenna memiliki polarisasi melingkar pada rentang frekuensi tersebut. Jika nilai axial ratio lebih dari 3 dB, maka antenna memiliki polarisasi linear. Nilai axial ratio antenna pada skripsi ini diperlihatkan dari Gambar 4.19. Dari gambar tersebut diketahui bahwa antenna memiliki axial ratio  $\geq 3$ dB baik pada rentang frekuensi 923-925 MHz atau pada rentang frekuensi 2,44-2,48 GHz. Artinya antenna memiliki polarisasi linear pada kedua frekuensi kerja tersebut.



(a)



(b)

Gambar 4.19 Axial Ratio Antena (a) Frekuensi 923-923MHz dan (b) Frekuensi 2,44-2,48 GHz

#### 4.5. Analisis Antena Perbaikan

##### 4.5.1 Karakterisasi Bandwidth

Hasil simulasi dan pengukuran menunjukkan bahwa antena memiliki dua frekuensi kerja. Dua frekuensi yang didapatkan pada hasil fabrikasi berbeda dari dua frekuensi yang didapatkan dari hasil simulasi. Desain yang dirancang pada simulasi tidak disintesis pada frekuensi yang diinginkan. Hal ini karena pada perancangan sebelumnya tidak menghasilkan frekuensi yang diinginkan pada saat pengukuran antena hasil fabrikasi.

Perbaikan antena yang dilakukan merupakan upaya agar antena dapat bekerja pada frekuensi yang diinginkan. Seperti yang telah disebutkan sebelumnya, upaya perbaikan dengan secara mekanika yaitu menghilangkan celah antar substrat cukup sulit. Oleh karena itu upaya yang dilakukan adalah dengan cara mendesain antena pada frekuensi yang lebih rendah dari frekuensi yang diinginkan. Upaya perbaikan antena dengan ini berhasil mendapatkan frekuensi yang diinginkan. Hal ini dapat dilihat dari hasil pengukuran perbaikan antena. Perbandingan hasil simulasi dan pengukuran dapat dilihat dari Tabel 4.3. Dari tabel tersebut diketahui bahwa hasil fabrikasi memiliki rentang frekuensi kerja yang lebih besar dari hasil simulasi. Sedangkan presentase error hasil fabrikasi adalah sebagai berikut.

Untuk frekuensi kerja bawah 924 MHz:

$$Error = \left| \frac{fpabrikasi - fsimulasi}{fsimulasi} \right| \times 100\% = \left| \frac{890 - 911}{890} \right| \times 100\% = 2,36\%$$

Frekuensi kerja atas 924MHz:

$$Error = \left| \frac{901 - 930}{901} \right| \times 100\% = 3,21\%$$

Frekuensi kerja bawah 2,45GHz:

$$Error = \left| \frac{2,366 - 2,424}{2,424} \right| \times 100\% = 2,39\%$$

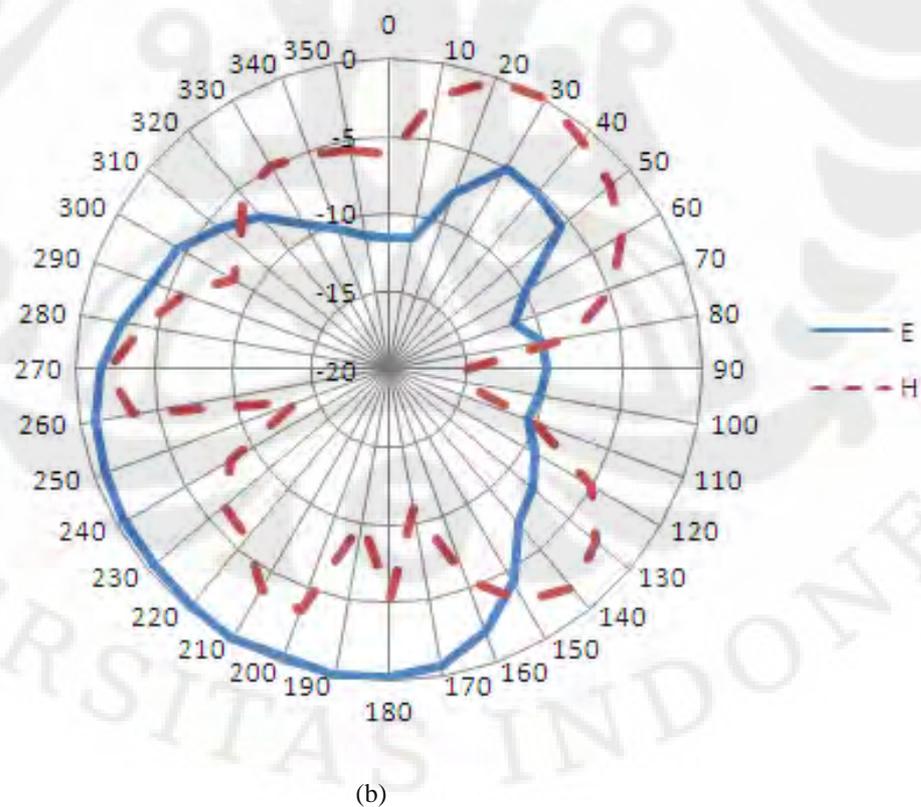
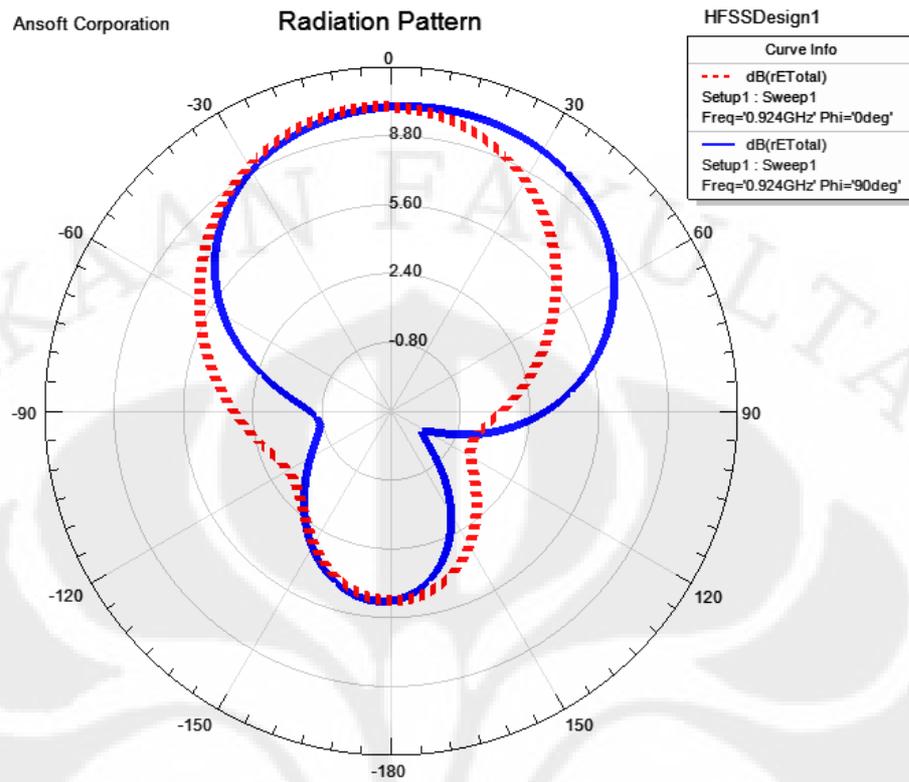
Frekuensi kerja atas 2,45GHz:

$$Error = \left| \frac{2,414 - 2,494}{2,414} \right| \times 100\% = 3,31\%$$

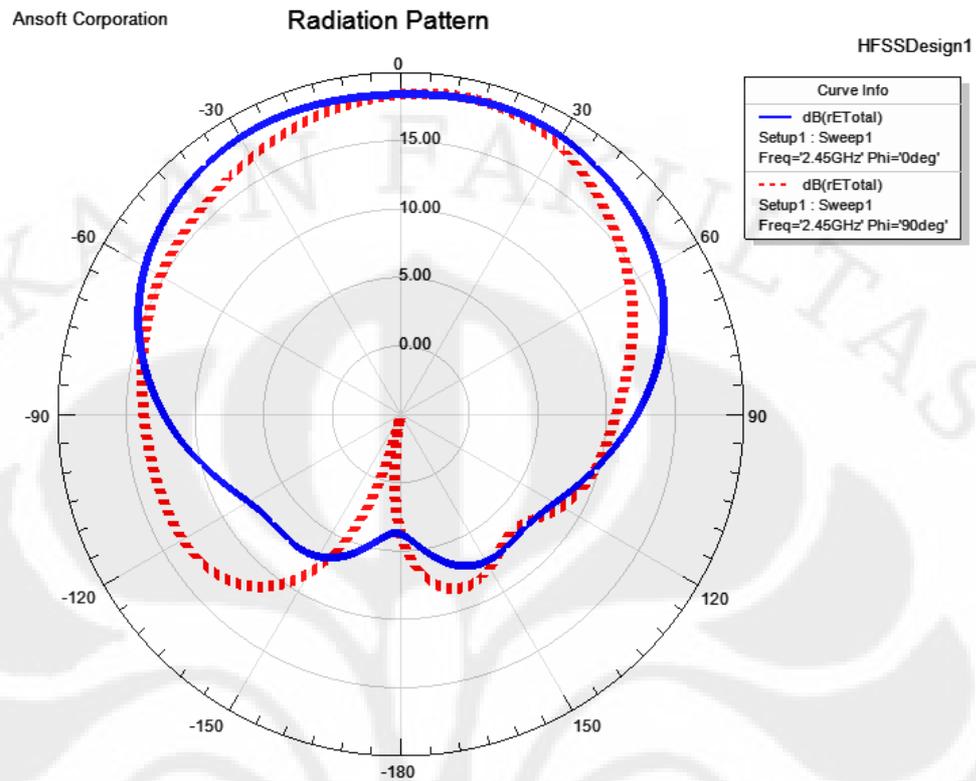
#### 4.5.2. Analisis Pola Radiasi

Dari hasil pengukuran pada saat antena tegak lurus pada sudut  $0^\circ$  (Co) secara umum memiliki nilai intensitas yang lebih besar dari saat antena tegak lurus pada sudut  $90^\circ$  (Cross). Hal ini karena pada saat pengukuran, pada posisi kedua antena saling tegak lurus pada sudut  $0^\circ$  (Co), kedua antena saling berhadapan sempurna. Sedangkan pada posisi kedua antena saling tegak lurus pada sudut  $90^\circ$  (Cross), kedua antena tidak berhadapan secara sempurna.

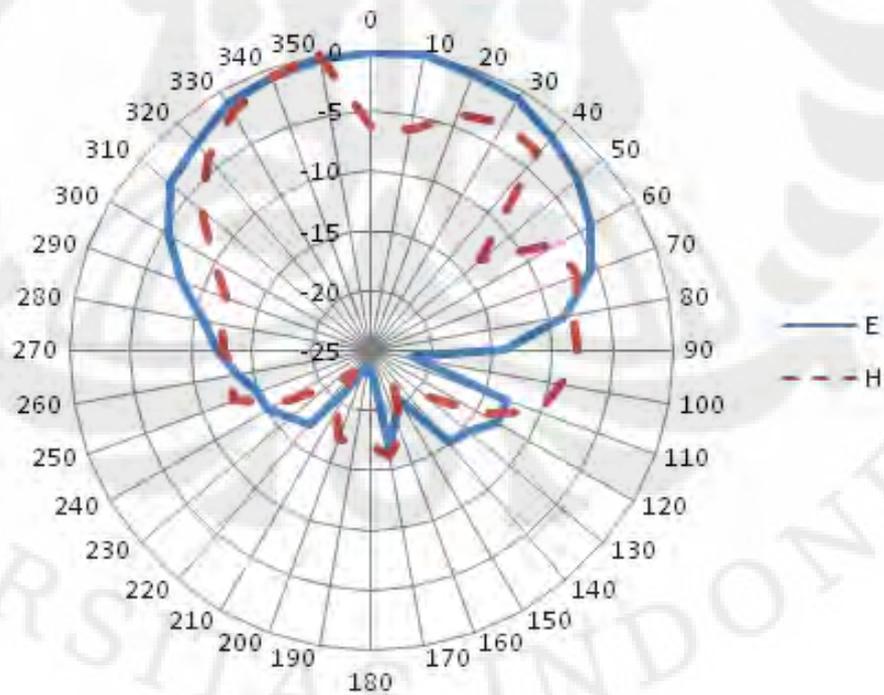
Gambar 4.20-4.21 menunjukkan perbandingan pola radiasi antara hasil simulasi dan pengukuran. Perbandingan ini hanya pada arah dan bentuk pola radiasinya saja. Hasil pengukuran medan E menunjukkan bentuk pola radiasi yang relatif sama dengan bentuk pola radiasi hasil simulasi. Namun hasil pengukuran medan H relatif berbeda dari hasil simulasi. Pada saat pengukuran, kondisi ideal sulit tercapai karena terkendala masalah mekanika. Dengan perlengkapan yang ada sulit untuk mengatur kedua antena agar tegak lurus satu sama lain. Kondisi tersebut dapat menyebabkan hasil pengukuran tidak akurat sehingga memberikan hasil yang berbeda dari hasil simulasi.



Gambar 4.20 Perbandingan Pola Radiasi (a) Hasil Simulasi dan (b) Pengukuran Frekuensi 924 MHz



(a)



(b)

Gambar 4.21 Perbandingan Pola Radiasi (a) Hasil Simulasi dan (b) Pengukuran Frekuensi 2,45 GHz

#### 4.5.3. Analisis *Gain*

*Gain* antena yang didapat pada skripsi ini berdasarkan hasil pengukuran adalah -9,89 dB pada frekuensi 924 MHz dan 0,627 dB pada frekuensi 2,45 GHz. *Gain* yang bernilai negatif dapat juga dikatakan sebagai rugi-rugi. *Gain* yang bernilai negatif dapat menunjukkan bahwa antena tidak meradiasi secara efektif. *Gain* negatif dapat dikarenakan beberapa hal antara lain rugi-rugi bahan dan desain antena yang kurang efektif.

Untuk menunjang antena pembaca RFID yang memiliki gain negatif diperlukan antena *tag* RFID aktif atau semi aktif. Namun biaya yang diperlukan untuk penggunaan *tag* RFID aktif atau semi aktif lebih mahal dibanding *tag* RFID pasif. *Tag* aktif dapat digunakan pada barang yang memiliki harga tinggi atau harga yang jauh lebih mahal dibanding harga *tag* itu sendiri.

## BAB 5

### KESIMPULAN

Pada skripsi ini telah dirancang antenna mikrostrip dual-band untuk aplikasi RFID. Hasil simulasi dan fabrikasi antenna telah memenuhi syarat *bandwidth* aplikasi RFID yang diinginkan. Berdasarkan data pengukuran dan analisis yang telah dilakukan, didapat beberapa kesimpulan yaitu:

1. Metode slot U pada antenna *patch* segi empat dapat membentuk dual frekuensi.
2. Antena bekerja pada dua frekuensi (dual-band) yaitu pada frekuensi 919-927 MHz (frekuensi ini mencakup frekuensi 924 MHz RFID) dan 2,43-2,48 GHz (rentang frekuensi ini mencakup frekuensi 2,45 GHz RFID). Kedua rentang frekuensi tersebut memiliki *return loss*  $\leq -13,98$  dB atau  $VSWR \leq 1,5$ .
3. Nilai impedansi yang didapatkan untuk frekuensi 924 MHz sebesar  $45,322 - j7 \Omega$ . Sedangkan frekuensi 2,45 GHz memiliki impedansi masukan  $50,771 - j1,79 \Omega$ .
4. *Gain* antena yang didapat pada skripsi ini berdasarkan hasil pengukuran adalah -9,89 dB pada frekuensi 924 MHz dan 0,627 dB pada frekuensi 2,45 GHz.
5. Antena memiliki polarisasi linier pada kedua frekuensi kerja.
6. Dimensi panjang *patch* dan lebar slot U memengaruhi pembentukan frekuensi kerja RFID. Sedangkan panjang pencatuan memengaruhi nilai *return loss* dan VSWR.

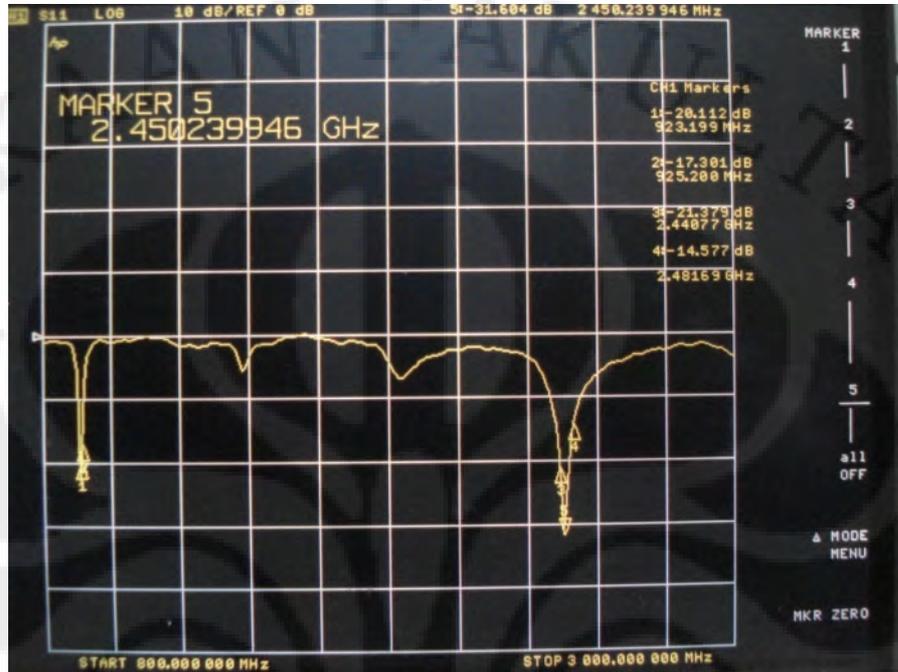
## DAFTAR ACUAN

- [1] K. Finkenzeller, "RFID Handbook" 2<sup>nd</sup> Edition, John Wiley & Son, Engln, 2002
- [2] Abu Zairi, Tomy, "Perancangan Sistem Parkir Otomatis Menggunakan Teknologi RFID", Skripsi, Program Sarjana Departemen Teknik Elektro Universitas Indonesia.2009
- [3] C.H. Leong, Q. Xianming, C.Z. Ning, "A Broadband Circularly Polarized Stacked Probe-Fed *Patch* Antena for UHF RFID Application", International Journal of Antena and Propagation, Vol.2007, ID 76793.
- [4] F. Bing Yang, "A *Patch* Antenna for RFID Reader", International Conference on Microwave and Millimeter Wave Technology, Vol.3, pp. 1044-1046, 2008.
- [5] Jin-Sup Kim, Kyu-Bok Lee, "Dual-band RFID system for 900 MHz and 2.45 GHz Applications", International Symposium on Antennas and Propagation, pp. 739-742, 2009.
- [6] Maisarah Abu, Mohamad Kamal A. Rahim, "Triple-band Printed Dipole Tag Antenna for RFID Application", International Symposium on Antennas and Propagation, pp. 461-464, 2009.
- [7] Constantine A. Balanis, *Antenna Theory : Analysis and Design*, (USA: John Willey and Sons,1997).
- [8] Garg, R., Bhartia, P, Bahl, I., dan Ittipiboon, A., "Microstrip Design Handbook", Artech House Inc., Norwood, MA, 2001.
- [9] Huang Yi, Boyle Kevin, *Antennas From Theory and Practice*, Wiley and Sons.2008.
- [10] Fawwaz T. Ulaby, *Fundamentals of applied Electromagnetics*, (USA : Prentice Hall, 2001).
- [11] <http://antena-theory.com/basics/polarization.php> Diakses 30 Desember 2009
- [12] David M. Pozar, *A Review of Bandwidth Enhancement Techniques for Microstrip Antenna*, (New York : IEEE Press, 1995).

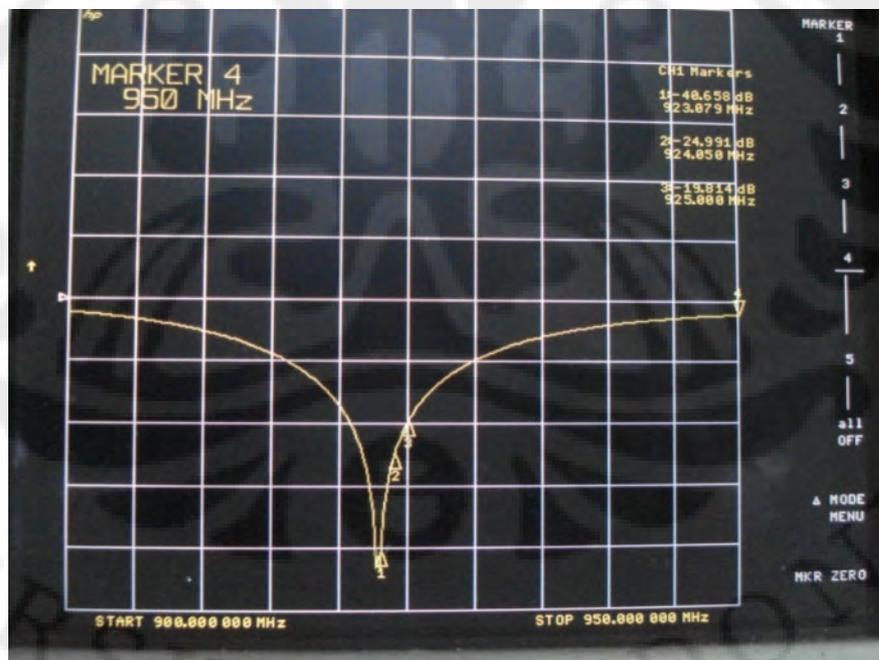
- [13] John, M., M. J. Ammann dan R. Farrell, "Printed Triband Terminal Antenna", *Wideband and Multi-band Antennas and Arrays*, IEE (Ref. No. 2005/11059), pp.19-23, 2005.
- [14] Maci, S. dan G. Biffi Gentili, "Dual-Frequency *Patch* Antennas", *IEEE Antenas and Propagation Magazine*, Vol. 39, No. 6, Desember 1997.
- [15] Eduardo Helas Palmero, Zbynek Raida, Roberto Lamadrid Ruiz, "Quad-Band U-Slot Antenna for Mobile Application", *Radioengineering Journal*, Sister Societies' Publication of the IEEE Communications Society, Vol.12, pp. 22-29, 2006.
- [16] Fitri Yuli Zulkifli, Okki Wibowo, Eko Tjipto Rahardjo, Muhammad Asvial, "Dual Frequency Microstrip Antenna With U-Slot for RFID Application", *The 5<sup>th</sup> International on Telematics, System, Services, and Applications 2009*
- [17] R.Bhalla, L.Shafai, "Resonance behavior of single U-slot and dual U-slot antena", *Antennas and Propagation Society International Symposium*, Vol.2, pp.700-703, 2001.
- [18] J.Rosa, R.Nunes, A.Moleiro, C.Peixeiro, "Dual-band Microstrip Antenna Element with Double U Slots for GSM", *Antenas and Propagation Society International Symposium*, Vol.3, pp.1596-1599, 2000.

LAMPIRAN A

Gambar Hasil Pengukuran Return Loss

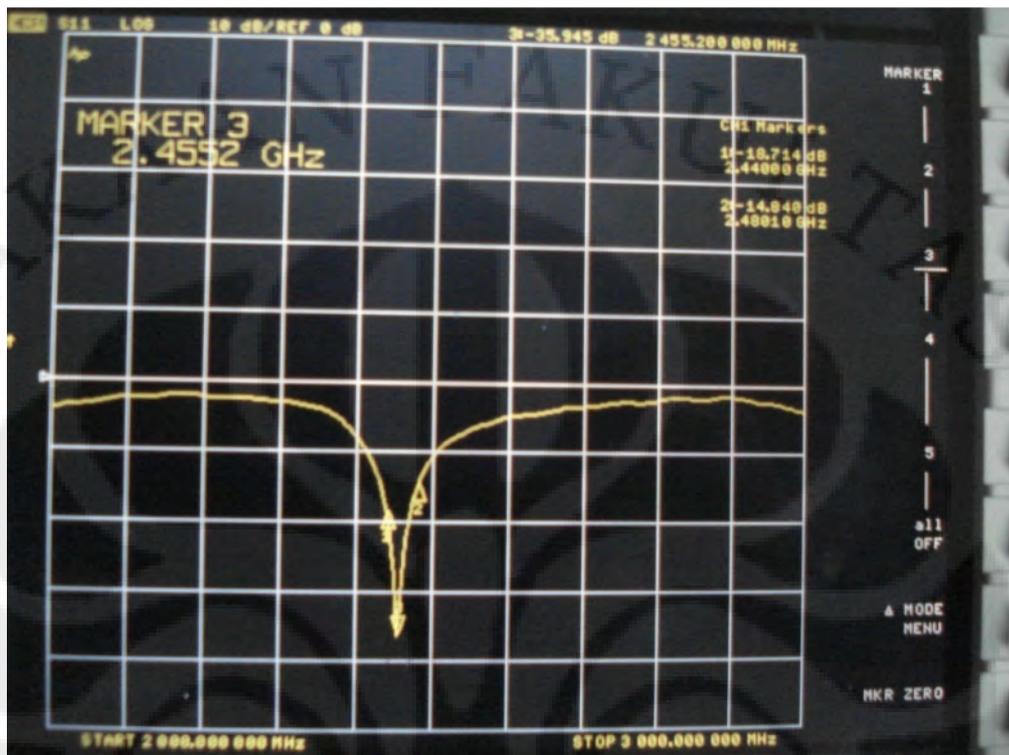


Gambar Lampiran A.1 Return loss Antena Dual Band



Gambar Lampiran A.2 Return loss Antena Frekuensi 923-925 MHz

(lanjutan)



Gambar Lampiran A.3 *Return loss* Antena Frekuensi 2,44-2,48 GHz

**LAMPIRAN B**  
**Data Hasil Pengukuran Pola Radiasi**

Tabel Lampiran B.1 Intensitas Daya Relatif untuk Bidang E Frekuensi 924MHz  
(Normalisasi Terhadap E Co)

<b>Sudut (°)</b>	<b>Data Rata-rata E Co (dB)</b>	<b>Data Rata-rata E Cross (dB)</b>	<b>Normalisasi E Co</b>	<b>Normalisasi E Cross</b>
0	-54,058	-56,3255	-21,5975	-8,786
10	-53,855	-52,7635	-16,637	-5,224
20	-50,5465	-52,3775	-15,8385	-4,838
30	-47,5595	-51,9105	-13,696	-4,371
40	-47,8495	-51,132	-10,9925	-3,5925
50	-48,2255	-51,216	-9,504	-3,6765
60	-52,4885	-53,077	-5,926	-5,5375
70	-54,0185	-55,703	-4,2715	-8,1635
80	-52,671	-56,2535	-3,394	-8,714
90	-52,459	-54,9075	-0,3875	-7,368
100	-52,8215	-55,126	-0,864	-7,5865
110	-53,0415	-64,431	-3,4335	-16,8915
120	-51,7175	-59,834	-4,214	-12,2945
130	-50,5445	-59,8315	-3,376	-12,292
140	-49,538	-58,2965	-8,735	-10,757
150	-46,701	-55,771	-2,7135	-8,2315
160	-44,4455	-54,9795	-0,416	-7,44
170	-42,9985	-60,29	-0,489	-12,7505
180	-42,598	-57,532	-1,409	-9,9925
190	-42,5155	-56,402	-1,503	-8,8625
200	-42,728	-54,5075	-0,647	-6,968
210	-42,5065	-54,524	-0,387	-6,9845
220	-42,8285	-56,5465	0	-9,007
230	-42,974	-59,5605	-1,289	-12,021
240	-43,1125	-60,3505	-2,1765	-12,811
250	-43,2175	-62,316	-3,8225	-14,7765
260	-43,569	-59,879	-3,9445	-12,3395
270	-44,088	-64,4285	-4,3595	-16,889
280	-45,2015	-72,077	-4,489	-24,5375
290	-46,3855	-64,3285	-5,19	-16,789
300	-46,9935	-62,846	-6,638	-15,3065
310	-48,365	-56,636	-6,932	-9,0965
320	-49,7335	-56,716	-6,3255	-9,1765
330	-51,6965	-57,2345	-6,3265	-9,695
340	-52,903	-59,3075	-11,74	-11,768
350	-53,728	-61,238	-17,8455	-13,6985
<b>Cross Polarization Discrimination : 29,2485 dB</b>				

(lanjutan)

Tabel Lampiran B.2 Intensitas Daya Relatif untuk Bidang H Frekuensi 924MHz  
(Normalisasi Terhadap H Co)

Sudut (°)	Data rata-rata H Co (dB)	Data rata-rata H Cross (dB)	Normalisasi H Co	Normalisasi H Cross
0	-49,2825	-68,6995	0	-19,417
10	-49,526	-71,9805	-0,2435	-22,698
20	-49,369	-77,9385	-0,0865	-28,656
30	-50,364	-66,1275	-1,0815	-16,845
40	-51,867	-63,7835	-2,5845	-14,501
50	-52,7375	-57,6785	-3,455	-8,396
60	-53,337	-54,5735	-4,0545	-5,291
70	-54,1395	-67,8085	-4,857	-18,526
80	-51,252	-64,1295	-1,9695	-14,847
90	-51,475	-57,5405	-2,1925	-8,258
100	-59,687	-57,5885	-10,4045	-8,306
110	-55,329	-55,0895	-6,0465	-5,807
120	-55,6075	-60,784	-6,325	-11,5015
130	-59,1025	-67,879	-9,82	-18,5965
140	-62,3065	-71,391	-13,024	-22,1085
150	-62,0645	-73,5985	-12,782	-24,316
160	-62,629	-69,344	-13,3465	-20,0615
170	-64,3045	-67,484	-15,022	-18,2015
180	-65,411	-68,287	-16,1285	-19,0045
190	-61,238	-72,757	-11,9555	-23,4745
200	-57,768	-68,3915	-8,4855	-19,109
210	-57,224	-64,7615	-7,9415	-15,479
220	-58,0805	-63,433	-8,798	-14,1505
230	-57,6045	-64,214	-8,322	-14,9315
240	-55,6265	-66,642	-6,344	-17,3595
250	-55,396	-72,714	-6,1135	-23,4315
260	-56,304	-73,2505	-7,0215	-23,968
270	-59,448	-69,6255	-10,1655	-20,343
280	-59,866	-69,7435	-10,5835	-20,461
290	-57,5195	-66,5795	-8,237	-17,297
300	-55,192	-65,29	-5,9095	-16,0075
310	-53,7955	-63,9565	-4,513	-14,674
320	-52,4925	-62,0035	-3,21	-12,721
330	-51,287	-61,6005	-2,0045	-12,318
340	-50,6415	-62,0055	-1,359	-12,723
350	-49,884	-63,011	-0,6015	-13,7285
<b>Cross Polarization Discrimination : 28,656 dB</b>				

(lanjutan)

Tabel Lampiran B.3 Intensitas Daya Relatif untuk Bidang E Frekuensi 2,45 GHz  
(Normalisasi Terhadap E Co)

Sudut (°)	Data rata-rata E Co (dB)	Data rata-rata E Cross (dB)	Normalisasi E Co	Normalisasi E Coss
0	-44,5015	-75,194	-0,229	-30,9215
10	-44,2725	-62,971	0	-18,6985
20	-44,8605	-56,624	-0,588	-12,3515
30	-45,1445	-56,363	-0,872	-12,0905
40	-46,124	-61,375	-1,8515	-17,1025
50	-47,0015	-64,337	-2,729	-20,0645
60	-48,427	-63,17	-4,1545	-18,8975
70	-49,9805	-64,3845	-5,708	-20,112
80	-53,0715	-63,929	-8,799	-19,6565
90	-58,271	-65,838	-13,9985	-21,5655
100	-65,9465	-60,548	-21,674	-16,2755
110	-57,3545	-58,632	-13,082	-14,3595
120	-57,2515	-57,9045	-12,979	-13,632
130	-58,71	-61,278	-14,4375	-17,0055
140	-59,344	-81,553	-15,0715	-37,2805
150	-64,3935	-70,18	-20,121	-25,9075
160	-63,543	-63,733	-19,2705	-19,4605
170	-60,949	-60,088	-16,6765	-15,8155
180	-67,688	-66,076	-23,4155	-21,8035
190	-67,2125	-63,043	-22,94	-18,7705
200	-67,975	-59,5745	-23,7025	-15,302
210	-65,631	-58,853	-21,3585	-14,5805
220	-61,193	-59,306	-16,9205	-15,0335
230	-60,647	-63,129	-16,3745	-18,8565
240	-59,315	-75,0655	-15,0425	-30,793
250	-59,092	-70,3555	-14,8195	-26,083
260	-57,987	-65,9845	-13,7145	-21,712
270	-56,532	-61,2105	-12,2595	-16,938
280	-55,2455	-59,0235	-10,973	-14,751
290	-52,5785	-57,873	-8,306	-13,6005
300	-49,8405	-56,2615	-5,568	-11,989
310	-47,611	-54,6835	-3,3385	-10,411
320	-46,666	-53,087	-2,3935	-8,8145
330	-45,5415	-53,2915	-1,269	-9,019
340	-44,986	-52,587	-0,7135	-8,3145
350	-44,665	-53,1875	-0,3925	-8,915
<b>Cross Polarization Discrimination : 37,2805 dB</b>				

(lanjutan)

Tabel Lampiran B.4 Intensitas Daya Relatif untuk Bidang H Frekuensi 2,45GHz  
(Normalisasi Terhadap H Co)

Sudut (°)	Data rata-rata H Co (dB)	Data rata-rata H Cross (dB)	Normalisasi H Co	Normalisasi H Coss
0	-53,585	-64,0045	-6,4935	-16,913
10	-53,483	-69,884	-6,3915	-22,7925
20	-51,1495	-64,951	-4,058	-17,8595
30	-50,233	-66,652	-3,1415	-19,5605
40	-50,616	-66,5675	-3,5245	-19,476
50	-60,294	-63,429	-13,2025	-16,3375
60	-54,5905	-66,5445	-7,499	-19,453
70	-53,943	-65,537	-6,8515	-18,4455
80	-55,1295	-63,505	-8,038	-16,4135
90	-55,054	-59,316	-7,9625	-12,2245
100	-56,105	-54,1525	-9,0135	-7,061
110	-57,2115	-66,4945	-10,12	-19,403
120	-61,574	-63,716	-14,4825	-16,6245
130	-66,1635	-72,2375	-19,072	-25,146
140	-67,205	-80,0715	-20,1135	-32,98
150	-68,4035	-67,7305	-21,312	-20,639
160	-64,767	-66,4165	-17,6755	-19,325
170	-63,151	-63,3345	-16,0595	-16,243
180	-63,9635	-63,531	-16,872	-16,4395
190	-64,0245	-64,9635	-16,933	-17,872
200	-64,285	-66,83	-17,1935	-19,7385
210	-66,149	-70,5675	-19,0575	-23,476
220	-69,7905	-68,746	-22,699	-21,6545
230	-67,2525	-68,388	-20,161	-21,2965
240	-63,465	-65,1525	-16,3735	-18,061
250	-59,791	-68,538	-12,6995	-21,4465
260	-60,555	-72,519	-13,4635	-25,4275
270	-59,818	-72,894	-12,7265	-25,8025
280	-59,5015	-68,071	-12,41	-20,9795
290	-59,127	-62,1915	-12,0355	-15,1
300	-56,775	-59,6445	-9,6835	-12,553
310	-53,674	-58,986	-6,5825	-11,8945
320	-51,112	-59,4135	-4,0205	-12,322
330	-49,174	-61,5275	-2,0825	-14,436
340	-47,8455	-62,2545	-0,754	-15,163
350	-47,0915	-69,9065	0	-22,815
<b>Cross Polarization Discrimination : 32,98 dB</b>				

(lanjutan)

Tabel Lampiran B.5 Intensitas Daya Relatif untuk Frekuensi 924 MHz

Sudut (°)	Data rata-rata E Co (dB)	Data rata-rata H Co (dB)	Normalisasi E Co	Normalisasi H Co
0	-54,058	-49,2825	-11,5515	0
10	-53,855	-49,526	-11,3485	-0,2435
20	-50,5465	-49,369	-8,04	-0,0865
30	-47,5595	-50,364	-5,053	-1,0815
40	-47,8495	-51,867	-5,343	-2,5845
50	-48,2255	-52,7375	-5,719	-3,455
60	-52,4885	-53,337	-9,982	-4,0545
70	-54,0185	-54,1395	-11,512	-4,857
80	-52,671	-51,252	-10,1645	-1,9695
90	-52,459	-51,475	-9,9525	-2,1925
100	-52,8215	-59,687	-10,315	-10,4045
110	-53,0415	-55,329	-10,535	-6,0465
120	-51,7175	-55,6075	-9,211	-6,325
130	-50,5445	-59,1025	-8,038	-9,82
140	-49,538	-62,3065	-7,0315	-13,024
150	-46,701	-62,0645	-4,1945	-12,782
160	-44,4455	-62,629	-1,939	-13,3465
170	-42,9985	-64,3045	-0,492	-15,022
180	-42,598	-65,411	-0,0915	-16,1285
190	-42,5155	-61,238	-0,009	-11,9555
200	-42,728	-57,768	-0,2215	-8,4855
210	-42,5065	-57,224	0	-7,9415
220	-42,8285	-58,0805	-0,322	-8,798
230	-42,974	-57,6045	-0,4675	-8,322
240	-43,1125	-55,6265	-0,606	-6,344
250	-43,2175	-55,396	-0,711	-6,1135
260	-43,569	-56,304	-1,0625	-7,0215
270	-44,088	-59,448	-1,5815	-10,1655
280	-45,2015	-59,866	-2,695	-10,5835
290	-46,3855	-57,5195	-3,879	-8,237
300	-46,9935	-55,192	-4,487	-5,9095
310	-48,365	-53,7955	-5,8585	-4,513
320	-49,7335	-52,4925	-7,227	-3,21
330	-51,6965	-51,287	-9,19	-2,0045
340	-52,903	-50,6415	-10,3965	-1,359
350	-53,728	-49,884	-11,2215	-0,6015

(lanjutan)

Tabel Lampiran B.6 Intensitas Daya Relatif untuk Frekuensi 2,4 GHz

Sudut (°)	Data rata-rata E Co (dB)	Data rata-rata H Co (dB)	Normalisasi E Co	Normalisasi H Co
0	-44,5015	-53,585	-0,229	-6,4935
10	-44,2725	-53,483	0	-6,3915
20	-44,8605	-51,1495	-0,588	-4,058
30	-45,1445	-50,233	-0,872	-3,1415
40	-46,124	-50,616	-1,8515	-3,5245
50	-47,0015	-60,294	-2,729	-13,2025
60	-48,427	-54,5905	-4,1545	-7,499
70	-49,9805	-53,943	-5,708	-6,8515
80	-53,0715	-55,1295	-8,799	-8,038
90	-58,271	-55,054	-13,9985	-7,9625
100	-65,9465	-56,105	-21,674	-9,0135
110	-57,3545	-57,2115	-13,082	-10,12
120	-57,2515	-61,574	-12,979	-14,4825
130	-58,71	-66,1635	-14,4375	-19,072
140	-59,344	-67,205	-15,0715	-20,1135
150	-64,3935	-68,4035	-20,121	-21,312
160	-63,543	-64,767	-19,2705	-17,6755
170	-60,949	-63,151	-16,6765	-16,0595
180	-67,688	-63,9635	-23,4155	-16,872
190	-67,2125	-64,0245	-22,94	-16,933
200	-67,975	-64,285	-23,7025	-17,1935
210	-65,631	-66,149	-21,3585	-19,0575
220	-61,193	-69,7905	-16,9205	-22,699
230	-60,647	-67,2525	-16,3745	-20,161
240	-59,315	-63,465	-15,0425	-16,3735
250	-59,092	-59,791	-14,8195	-12,6995
260	-57,987	-60,555	-13,7145	-13,4635
270	-56,532	-59,818	-12,2595	-12,7265
280	-55,2455	-59,5015	-10,973	-12,41
290	-52,5785	-59,127	-8,306	-12,0355
300	-49,8405	-56,775	-5,568	-9,6835
310	-47,611	-53,674	-3,3385	-6,5825
320	-46,666	-51,112	-2,3935	-4,0205
330	-45,5415	-49,174	-1,269	-2,0825
340	-44,986	-47,8455	-0,7135	-0,754
350	-44,665	-47,0915	-0,3925	0

LAMPIRAN C  
Data Hasil Pengukuran Gain

Pada lampiran ini akan diberikan data-data hasil pengukuran *gain* dengan pengolahan menggunakan persamaan Friss [7]:

Tabel Lampiran C.1 Data Pengukuran *Gain* Antena 1 dan Antena 2

KOMBINASI 1-2							
Frekuensi (GHz)	$\lambda$ (cm)	R (cm)	Daya Pemancar (mW)	Daya penerima ( $\mu$ W)			G1+G2 (dB)
				1	2	Rata-rata	
0,924	32,46	12	0,739	0,805	0,806	0,8055	-16,287
2,45	12,24	25	0,739	0,385	0,384	0,3845	-4,654

Tabel Lampiran C.2 Data Pengukuran *Gain* Antena 2 dan Antena 3

KOMBINASI 2-3							
Frekuensi (GHz)	$\lambda$ (cm)	R (cm)	Daya Pemancar (mW)	Daya penerima ( $\mu$ W)			G1+G2 (dB)
				1	2	Rata-rata	
0,924	32,46	12	0,739	1,29	1,28	1,285	-14,259
2,45	12,24	25	0,739	0,238	0,24	0,239	-6,719

Tabel Lampiran C.3 Data Pengukuran *Gain* Antena 1 dan Antena 3

KOMBINASI 1-3							
Frekuensi (GHz)	$\lambda$ (cm)	R (cm)	Daya Pemancar (mW)	Daya penerima ( $\mu$ W)			G1+G2 (dB)
				1	2	Rata-rata	
0,924	32,46	12	0,739	1,02	1,019	1,0195	-17,763
2,45	12,24	25	0,739	1,011	1,01	1,0105	-0,812

Tabel Lampiran C.4 *Gain* Ketiga Antena

Frekuensi (GHz)	G1 (dB)	G2 (dB)	G3 (dB)
0,924	-9,895	-6,392	-7,867
2,45	0,627	-5,280	-1,438