



UNIVERSITAS INDONESIA

RANCANG BANGUN ANTENA MIKROSTRIP *MULTIBAND*
UNTUK *READER* RFID

SKRIPSI

DANDY FARHAN NUGRAHA
04 05 03 023Y

FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
DEPOK
DESEMBER 2009



UNIVERSITAS INDONESIA

RANCANG BANGUN ANTENA MIKROSTRIP *MULTIBAND*
UNTUK *READER* RFID

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana teknik

DANDY FARHAN NUGRAHA
04 05 03 023Y

FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI 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 : Dandy Farhan Nugraha

NPM : 040503023Y

Tanda Tangan :

Tanggal : 15 Desember 2009

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Dandy Farhan Nugraha
NPM : 040503023Y
Program Studi : Teknik Elektro
Judul Skripsi : Rancang Bangun Antena Mikrostrip *Multiband*
Untuk *Reader* RFID

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

Dewan Penguji

Pembimbing I : Ir. Arifin Djauhari MT ()
Pembimbing II : Dr. Fitri Yuli Zulkifli ST. M.Sc ()
Penguji : Prof. Dr. Ir. Eko Tjipto Rahardjo, M.Sc ()

Ditetapkan di :

Tanggal :

UCAPAN TERIMA KASIH

Bismillahirrahmannirrhohim

Alhamdulillah, puji serta syukur senantiasa penulis sampaikan kepada Pemilik Alam Semesta ini Allah SWT yang telah memberi kesempatan kepada penulis untuk menyelesaikan skripsi ini dengan baik dan tepat pada waktunya. Saya menyadari bahwa tanpa bantuan dari semua pihak yang terkait, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu saya mengucapkan terima kasih kepada :

1. Ir. Arifin Djauhari MT dan Dr. Fitri Yuli Zulkifli ST. M.Sc, yang dengan sabar dan tak henti-hentinya memberi petunjuk, arahan, bimbingan, saran, serta dukungannya terhadap terselesaikannya skripsi ini.
2. Kedua orang tua serta keluarga yang sangat penulis cinta dan sayang, yang telah sabar dan senantiasa mencurahkan perhatian, cinta, kasih, serta sayangnya kepada penulis selama ini.
3. Rekan-rekan mahasiswa Teknik Elektro Universitas Indonesia angkatan 2005.
4. Rekan-rekan asisten Laboratorium Telekomunikasi yang telah memfasilitasi penulis dalam menyediakan alat-alat simulasi dan pengukuran untuk skripsi ini.
5. Teman-teman yang secara langsung maupun tidak langsung terlibat dalam penyusunan skripsi ini, yang telah membantu dan memberikan semangat kepada penulis.

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

Depok, 15 Desember 2009

Penulis

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

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

Nama : Dandy Farhan Nugraha
NPM : 040503023Y
Program Studi : Elektro
Departemen : Teknik Elektro
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

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

**RANCANG BANGUN ANTENA MIKROSTRIP *MULTIBAND* UNTUK
READER RFID**

beserta perangkat yang ada Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan 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 : 15 Desember 2009
Yang Menyatakan

(Dandy Farhan Nugraha)

ABSTRAK

Nama : Dandy Farhan Nugraha
Program Studi : Teknik Elektro
Judul : Rancang Bangun Antena Mikrostrip *Multiband*
Untuk *Reader* RFID

Perbedaan regulasi atas frekuensi kerja dari sistem RFID (*Radio Frequency Identification*) di setiap negara di dunia dapat diatasi dengan penggunaan sistem RFID yang memiliki frekuensi kerja beragam. Skripsi ini membahas perancangan sebuah antena mikrostrip yang mampu bekerja pada lebih dari dua frekuensi atau biasa disebut *multiband* antena dengan teknik *Reactively-loaded Patch Antenna* dengan pemberian *Slot Rectangular* tipis pada antena yang digunakan dalam *Reader* pada sistem *Radio Frequency Identification*.

Hasil pengukuran membuktikan bahwa antena mampu menghasilkan tiga buah frekuensi resonansi pada frekuensi kerja 840 MHz – 844 MHz, 950 MHz - 955 MHz, dan 2,446 GHz – 2,454 GHz dengan nilai *return loss* < -9,54 db dan *VSWR* < 2. Hasil pengukuran lainnya menunjukkan bahwa antena meradiasi secara *unidirectional*, dengan polarisasi linier pada frekuensi 842 MHz dan 953 MHz tetapi memiliki polarisasi melingkar pada frekuensi 2,45 GHz. *Gain* yang didapatkan dari antena adalah bernilai -6,966 dB pada 842 MHz, -2,54 dB pada 953 MHz, serta -3,041 dB pada frekuensi 2,45 GHz.

Kata kunci:

Antena mikrostrip, *Radio Frequency Identification*, *Reactively-loaded patch antenna*, *Slot*

ABSTRACT

Name : Dandy Farhan Nugraha
Study Program: Electrical Engineering
Title : Multiband Microstrip Antenna For RFID reader

Different regulation of Radio Frequency Identification's frequencies all over the world can be solved with a RFID system that can operate for multiple frequencies. The objective of this final project is to design a microstrip antenna that has multiband characteristic with a thin rectangular slot for RFID reader application.

The result of the measurements show that the antenna operates at three resonant frequencies with bandwidth at 840 MHz – 844 MHz, 950 MHz - 955 MHz, and 2,446 GHz – 2,454 GHz, with return loss $< -9,54$ db and VSWR < 2 . From the measurement of radiation pattern, in addition, the antenna has a unidirectional pattern for all frequencies, with a linier polarization at 842 MHz and 953 MHz, but with a circular polarization at 2,45 GHz. The antenna has -6,966 dB gain for 842 MHz, -2,54 dB for 953 MHz, and -3,041 dB for 2,45 GHz

Key Word:

Microstrip antenna , Radio Frequency Identification, Reactively-loaded patch antenna, Slot

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN SAMPUL DALAM	ii
PERNYATAAN ORISINALITAS.....	iii
PENGESAHAN	iv
UCAPAN TERIMA KASIH	v
HALAMAN PERNYATAAN PERSTUJUAN PUBLIKASI	vi
ABSTRAK	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
DAFTAR SINGKATAN	xviii
DAFTAR SIMBOL	xix
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penulisan	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Sistematika Penulisan	3
BAB 2 DASAR TEORI RFID DAN ANTENA MIKROSTRIP	4
2.1 RFID	4
2.1.1 Bagian-bagian dari RFID	4
2.1.2 Sistem Kerja RFID	7
2.1.3 Frekuensi Kerja dan Standarisasi	9
2.1.4 Penggunaan RFID	11
2.2 Antena Mikrostrip	13
2.2.1 Karakteristik Antena Mikrostrip	14
2.2.2 Teknik <i>Feeding</i>	16
2.2.3 Metode Analisa pada Antena mikrostrip	19
2.2.4 Impedansi <i>Matching</i>	20
2.2.5 Parameter-parameter Antena Mikrostrip	20

2.2.5.1 Impedansi Masukan	20
2.2.5.2 VSWR (<i>Voltage Standing Wave Ratio</i>)	21
2.2.5.3 <i>Return loss</i>	22
2.2.5.4 <i>Bandwidth</i>	22
2.2.5.5 Penguatan (<i>Gain</i>)	23
2.2.5.6 Efisiensi	23
2.2.5.7 Polarisasi	24
2.2.5.8 Keterarahan (<i>Directivity</i>)	26
2.2.5.9 Pola Radiasi	27
2.2.6 Antena <i>Multiband</i>	28
2.2.6.1 <i>Orthogonal-Mode MultiFrequency Antenna</i>	29
2.2.6.2 <i>Multi-Patch Multi-Frequency Antenna</i>	29
2.2.6.3 <i>Reactively-Loaded Multi-Frequency Antenna</i>	30
BAB 3 PERANCANGAN ANTENA DAN SIMULASI.....	31
3.1 Perlengkapan yang Digunakan	31
3.2 Diagram Alir Perancangan Antena	32
3.3 Jenis Substrat yang Digunakan	33
3.4 Frekuensi Kerja	33
3.5 Teknik Pencatuan	33
3.6 Perancangan Antena <i>Singleband</i>	34
3.6.1 Perancangan Dimensi Antena <i>Singleband</i>	34
3.6.2 Simulasi Antena	34
3.6.3. Karakterisasi Antena <i>Singleband</i>	35
3.6.4. Hasil Simulasi Antena <i>Singleband</i>	37
3.7 Perancangan Antena <i>Dualband</i>	40
3.7.1 Perancangan Dimensi Antena <i>Dualband</i>	40
3.7.2 Simulasi Antena	40
3.7.3. Karakterisasi Antena <i>Dualband</i>	41
3.7.4. Hasil Simulasi Antena <i>Dualband</i>	44
3.8 Perancangan Antena <i>Multiband</i>	46
3.8.1 Perancangan Dimensi Antena <i>Multiband</i>	46
3.8.2 Simulasi Antena	47

3.8.3. Karakterisasi Antena <i>Multiband</i>	47
3.8.4. Hasil Simulasi Antena <i>Multiband</i>	52
BAB 4 PENGUKURAN DAN ANALISA	55
4.1 Pengukuran <i>Port</i> Tunggal	56
4.2. Pengukuran Pola Radiasi	67
4.3 Pengukuran <i>Gain</i>	72
4.4 Pengukuran <i>Axial ratio</i>	75
4.5 Analisis Hasil Secara Keseluruhan	79
4.5.1 Karakteristik Frekuensi Resonansi	79
4.5.2 Error Data Single <i>Port</i> Pengukuran dan Simulasi	81
BAB 5 KESIMPULAN	83
DAFTAR ACUAN	84
DAFTAR PUSTAKA	86
LAMPIRAN	88

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1	Gambar Ilustrasi RFID 5
Gambar 2.2	Bagian dari <i>Transponder</i> 5
Gambar 2.3	Kiri, Salah Satu Bentuk <i>Reader</i> . Kanan, antena <i>reader</i> Sederhana dan Antena Berdasar Logo <i>Taiwan</i> <i>Lamination Industry</i> 7
Gambar 2.4	Diagram Kerja RFID 8
Gambar 2.5	Cara Kerja RFID Melalui Sinyal Frekuensi Radio 8
Gambar 2.6	Aplikasi RFID oleh Phillip Electronic N.V 11
Gambar 2.7	Penggunaan RFID pada <i>Transportasi Publik</i> di Seoul, Korea Selatan 12
Gambar 2.8	Bagian-bagian Antena Mikrostrip 13
Gambar 2.9	Dimensi Antena Mikrostrip 14
Gambar 2.10	Medan yang Diradiasikan oleh Antena <i>Patch</i> 15
Gambar 2.11	Bentuk Dasar Antena Mikrostrip 15
Gambar 2.12	Beberapa Modifikasi Antena Mikrostrip 16
Gambar 2.13	<i>Line Feed</i> 16
Gambar 2.14	<i>Coaxial Probe</i> 17
Gambar 2.15	<i>Aperture Coupling</i> 17
Gambar 2.16	<i>Proximity Coupling</i> 18
Gambar 2.17	Distribusi dan Kerapatan Arus pada Antena Mikrostrip 20
Gambar 2.18	Bandwidth 22
Gambar 2.19	Diagram Efisiensi 25
Gambar 2.20	Polarisasi Linier 25

Gambar 2.21	Polarisasi Melingkar	25
Gambar 2.22	Polarisasi Elips	26
Gambar 2.23	Pola Radiasi <i>Isotropic</i>	27
Gambar 2.24	Pola Radiasi <i>Direccional</i>	27
Gambar 2.25	Pola Radiasi <i>Lobe</i>	28
Gambar 2.26	Tiga buah Frekuensi Resonansi (<i>Multiband</i>)	28
Gambar 2.27	Teknik <i>Orthogonal-mode Multi-frequency Antenna</i>	29
Gambar 2.28	Teknik <i>Multi-patch Multi-frequency Antenna</i>	30
Gambar 2.29	Teknik <i>Reactively-loaded Multi-frequency Antenna</i>	30
Gambar 3.1	Diagram Alir Perancangan Antena	32
Gambar 3.2	Hasil Simulasi Awal Antena <i>Singleband</i>	34
Gambar 3.3	Dimensi <i>Patch</i> Karakterisasi	35
Gambar 3.4	Grafik <i>Return Loss</i> pada Karakterisasi Panjang <i>Patch</i> <i>Antena Singleband</i>	36
Gambar 3.5	Grafik <i>Return Loss</i> pada Karakterisasi Lebar <i>Patch</i> <i>Antena Singleband</i>	37
Gambar 3.6	Geometri Hasil Perancangan Antena <i>Singleband</i>	38
Gambar 3.7	Hasil Simulasi Akhir <i>Return loss</i> Antena <i>Singleband</i>	39
Gambar 3.8	Hasil Akhir Simulasi VSWR Antena <i>Singleband</i>	39
Gambar 3.9	Hasil Akhir Simulasi Pola Radiasi Antena <i>Singleband</i>	39
Gambar 3.10	Hasil Simulasi Awal Antena <i>dualband</i>	41
Gambar 3.11	Dimensi <i>Patch</i> Karakterisasi	42
Gambar 3.12	Grafik <i>Return Loss</i> pada Karakterisasi Panjang <i>Patch</i> <i>Antena dualband</i>	43
Gambar 3.13	Grafik <i>Return Loss</i> pada Karakterisasi Lebar <i>Patch</i> <i>Antena dualband</i>	43

Gambar 3.14	Geometri Hasil Perancangan Antena <i>Dualband</i>	44
Gambar 3.15	Hasil Simulasi <i>Return Loss</i> Antena <i>Dualband</i>	45
Gambar 3.16	Hasil Simulasi <i>Return Loss</i> Antena <i>Dualband</i>	46
Gambar 3.17	Hasil Simulasi pola radiasi Antena <i>Dualband</i>	46
Gambar 3.18	Hasil simulasi awal Antena <i>Multiband</i>	47
Gambar 3.19	Dimensi <i>Patch</i> Karakterisasi	48
Gambar 3.20	Grafik <i>Return Loss</i> pada Karakterisasi Panjang <i>Patch</i> Antena <i>Multiband</i>	48
Gambar 3.21	Grafik <i>Return Loss</i> pada Karakterisasi Lebar <i>Patch</i> Antena <i>Multiband</i>	49
Gambar 3.22	Grafik <i>Return Loss</i> pada Karakterisasi Panjang <i>Slot</i> Antena <i>Multiband</i>	50
Gambar 3.23	Grafik <i>Return Loss</i> pada Karakterisasi Lebar <i>Slot</i> Antena <i>Multiband</i>	51
Gambar 3.24	Geometri Hasil Perancangan Antena <i>Multiband</i>	52
Gambar 3.25	Hasil Simulasi <i>Return Loss</i> Antena <i>Multiband</i>	53
Gambar 3.26	Hasil Simulasi <i>Return Loss</i> Antena <i>Multiband</i>	53
Gambar 3.27	Hasil Simulasi Pola Radiasi Antena <i>Multiband</i>	54
Gambar 4.1	Antena Hasil Fabrikasi	55
Gambar 4.2	Kondigurasi Pengukuran <i>Port</i> Tunggal	56
Gambar 4.3	Grafik <i>Return Loss</i> Antena Hasil Pengukuran <i>Port</i> Tunggal	56
Gambar 4.4	<i>Return Loss</i> Pada Frekuensi 842 MHz	57
Gambar 4.5	<i>Return Loss</i> Pada Frekuensi 953 MHz	58
Gambar 4.6	<i>Return Loss</i> Pada Frekuensi 2.45 GHz	58

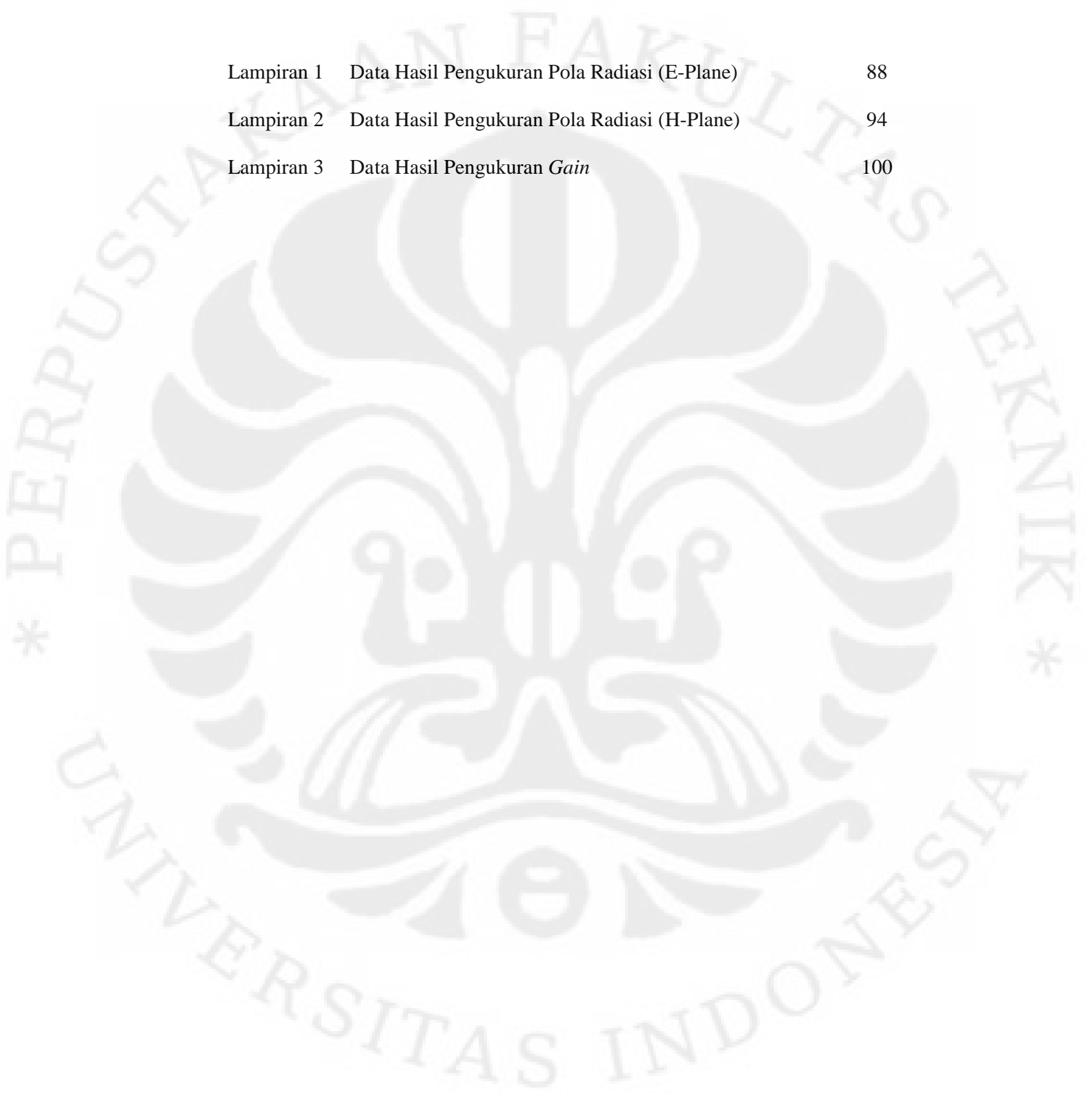
Gambar 4.7	<i>Return Loss</i> Hasil Pengukuran (a) 842 MHz (b) 953 MHz (c) 2,45 GHz	62
Gambar 4.8	VSWR Hasil Pengukuran (a) keseluruhan (b) 842 MHz (c) 953 GHz (d) 2,45 GHz	64
Gambar 4.9	Smith Chart Pengukuran Antena	67
Gambar 4.10	Rangkaian Peralatan Pada Pengukuran Pola Radiasi ...	68
Gambar 4.11	Pola Radiasi pada Frekuensi 842 MHz (a) bidang E (b) bidang H	69
Gambar 4.12	Pola Radiasi pada Frekuensi 953 MHz (a) bidang E (b) bidang H	70
Gambar 4.13	Pola Radiasi pada Frekuensi 2.45 GHz (a) bidang E (b) bidang H	71
Gambar 4.14	Rangkaian Peralatan pada Pengukuran <i>Gain</i>	74
Gambar 4.15	Nilai <i>Axial Ratio</i> pada Frekuensi 842 MHz (a) Samping (b) Atas	76
Gambar 4.16	Nilai <i>Axial Ratio</i> pada Frekuensi 953 MHz (a) Samping (b) Atas.....	77
Gambar 4.17	Nilai <i>Axial Ratio</i> pada Frekuensi 2,45 GHz (a) Samping (b) Atas.....	78
Gambar 4.18	Grafik <i>Return Loss</i> vs Frekuensi pada Hasil Pengukuran dan Simulasi (a) 842 MHz (b) 953 MHz (c) 2,45 GHz	80

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Tabel Perbandingan <i>Tag</i> RFID	6
Tabel 2.2 Rentang Frekuensi Sistem RFID, dan Kegunaannya	9
Tabel 2.3 Perbandingan Beberapa Teknik Pencatuan	18
Tabel 3.1 Spesifikasi Substrat yang Digunakan	33
Tabel 3.2 Pengaruh Perubahan Panjang <i>Patch</i> Antenna <i>Singleband</i> ...	36
Tabel 3.3 Pengaruh Perubahan Lebar <i>Patch</i> Antenna <i>Singleband</i>	37
Tabel 3.4 Pengaruh Perubahan Panjang <i>Patch</i> Antena <i>Dualband</i>	43
Tabel 3.5 Pengaruh Perubahan Lebar <i>Patch</i> Antena <i>Dualband</i>	44
Tabel 3.6 Pengaruh Perubahan Panjang <i>Patch</i> antena <i>multiband</i>	49
Tabel 3.7 Pengaruh Perubahan Lebar <i>Patch</i> antena <i>multiband</i>	50
Tabel 3.8 Pengaruh Perubahan Panjang <i>Slot</i> antena <i>multiband</i>	51
Tabel 3.9 Pengaruh Perubahan Lebar <i>Slot</i> antena <i>multiband</i>	51
Tabel 4.1 <i>Return Loss</i> dan VSWR pada Frekuensi 842 MHz	59
Tabel 4.2 <i>Return Loss</i> dan VSWR pada Frekuensi 953 MHz	59
Tabel 4.3 <i>Return Loss</i> dan VSWR pada Frekuensi 2,45 GHz	60
Tabel 4.4 Tabel Perbandingan Antena Hasil Simulasi dengan Hasil Pengukuran, (a) Frekuensi 842 MHz (b) Frekuensi 953 MHz (c) Frekuensi 2,45 GHz.....	65
Tabel 4.5 Tabel Hasil Pengukuran <i>Gain</i>	74

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Data Hasil Pengukuran Pola Radiasi (E-Plane)	88
Lampiran 2	Data Hasil Pengukuran Pola Radiasi (H-Plane)	94
Lampiran 3	Data Hasil Pengukuran <i>Gain</i>	100



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 SIMBOL

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
λ	Panjang Gelombang
λ_o	Panjang Gelombang Ruang Hampa
ϵ_r	<i>Permittivitas</i>
$\tan \delta$	Dielektrik <i>Loss Tangent</i>
h	Ketebalan Substrat

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Perkembangan teknologi dewasa ini telah membawa perubahan pada manusia dalam berbagai aspek kehidupan, mulai dari konsumsi sehari-hari, sampai pada pemanfaatan teknologi untuk *commercial*. Namun hal penting yang menjadi pandangan utama dalam pemanfaatan teknologi ini adalah bahwa kemudahan akan didapatkan dalam aktivitas hidup manusia. Sebagai contoh, perkembangan teknologi telekomunikasi membuat manusia tidak perlu berpergian jauh untuk menyampaikan pesan, perkembangan teknologi dalam bidang wireless memungkinkan penghantaran signal dalam jarak jauh, perkembangan teknologi elektronika memungkinkan dibuatnya ATM yang merupakan fasilitas untuk mengambil uang tanpa harus khawatir hilang ketika uang itu selalu dibawa. Satelit, antena, dan lain sebagainya.

Radio Frequency Identification, atau yang lebih dikenal dengan singkatan RFID, merupakan salah satu buah perkembangan teknologi yang terjadi. RFID (*Radio Frequency Identification*) adalah sebuah metode identifikasi dengan menggunakan sarana yang disebut *transponder* untuk menyimpan dan mengambil data jarak jauh dengan menggunakan gelombang radio. Penggunaan RFID ini telah banyak dipergunakan manusia untuk kebutuhannya, seperti kartu bus elektronik, identifikasi hewan, absensi, identifikasi buku perpustakaan, dan lain sebagainya. RFID merupakan sebuah bisnis dan peralatan yang sangat berguna[1].

RFID memiliki dua bagian penting, yakni *transponder* dan *reader*. *Transponder* merupakan sebuah object yang akan diidentifikasi, atau biasa disebut label RFID. Sedang *reader* adalah *integrator* yang memiliki antena yang bekerja pada frekuensi kerja tertentu.

Penggunaan *reader* disesuaikan dengan regulasi frekuensi yang diizinkan oleh negara setempat, dapat berupa *low frequency* (antara 125 ke 134,5 KHz), *high frequency* (13,56 MHz), UHF atau *Ultra High Frequency* (840 sampai 956 MHz), atau Microwave (2,45 GHz)[1]

Berbagai perbedaan frekuensi yang dipergunakan ini dapat di atasi dengan perancangan antena *reader* yang memiliki banyak frekuensi, atau biasa disebut *multiband antenna*. Dan salah satu jenis antena yang mudah dibuat, dan memiliki *cost* yang relatif kecil untuk perancangannya adalah dengan menggunakan antena mikrostrip.

Konsep dari antena mikrostrip pertama kali dikemukakan oleh Deschamps pada tahun 1953[2]. Pembuatan antena pertama kali dikembangkan oleh Howell dan Munson[2]. Semenjak saat itu, penelitian yang lebih maju tentang antena mikrostrip dilakukan guna mendapatkan keuntungan yang sangat besar, seperti bahan yang ringan, ukurannya kecil dan tipis, biaya yang lebih terjangkau, bentuk yang dapat disesuaikan, dan lain sebagainya yang memungkinkan digunakannya antena ini untuk berbagai macam aplikasi di seluruh dunia[2][3], khususnya yang berhubungan dengan proses identifikasi, *mobile* dan *wireless communication*[4].

Untuk membuat suatu antena mikrostrip dapat bekerja pada bermacam aplikasi adalah dengan membuatnya menghasilkan lebih dari satu frekuensi resonansi, atau yang biasa disebut antena *multiband*. Menurut [5] ada 3 teknik yang umumnya digunakan untuk mendapatkan antena *multiband*, yakni dengan teknik *Orthogonal-mode Dual-frequency Patch Antenna*, *Multi-patch Dual Frequency Antenna*, dan *Reactively-loaded Patch Antenna*. Salah satu cara dalam teknik *Reactively-loaded Patch Antenna* adalah dengan penggunaan *slot* untuk menghasilkan antena *multiband*[6] dan [7]. Pada [6] didapatkan *bandwidth* pada 3,9 GHz dan 5,9 GHz, sedangkan pada [7] digunakan dalam aplikasi WI-FI dan WIMAX. Dengan *feed* yang berupa *microstrip line*, *matching* dapat dihasilkan dengan menambahkan *inset feed* ke dalam desain antena mikrostrip yang dibuat [8].

Pada skripsi ini akan dirancang sebuah antena mikrostrip menggunakan teknik *feeding direct microstrip line* dengan *inset feed* serta *slot* untuk menghasilkan antena *multiband* untuk *reader* RFID dalam mengatasi perbedaan regulasi dari frekuensi kerja sistem RFID

1.2. Tujuan Penulisan

Tujuan dari skripsi ini adalah untuk merancang sebuah antena mikrostrip dengan teknik *Reactively-loaded patch antenna* dengan penambahan *slot* yang mampu menghasilkan lebih dari dua frekuensi atau disebut *Multiband Frequencies* yang dipergunakan pada *reader* dalam sistem RFID.

1.3. Batasan Masalah

Pada skripsi ini, masalah yang ada dibatasi dengan :

1. Menunjukkan grafik rentang frekuensi kerja 840 MHz – 844 MHz, 950 MHz - 955 MHz, dan 2,446 GHz – 2,454 GHz untuk *reader* dalam sistem RFID pada nilai VSWR ≤ 2 dan *return loss* dibawah -9,54 dB
2. Menunjukkan nilai impedansi dari antena yang mampu mendekati kondisi *matching* antena pada nilai 50 Ohm,
3. Menunjukkan pola radiasi dan polarisasi yang terbentuk dari antena
4. Menunjukkan nilai *gain* yang diperoleh dari antena.

1.4. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan pada skripsi ini disusun sebagai berikut :

A. BAB 1 PENDAHULUAN

Menjelaskan latar belakang, tujuan, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

B. BAB 2 DASAR TEORI DASAR RFID DAN ANTENA MIKROSTRIP

Menjelaskan dasar teori dan pandangan umum terhadap teknologi RFID (*Radio Frequency Identification*) dan perancangan antena mikrostrip.

C. BAB 3 SIMULASI

Memberikan penjelasan mengenai alur dari proses simulasi dengan menggunakan HFSS beserta parameter-parameter yang digunakan.

D. BAB 4 HASIL SIMULASI DAN ANALISA

Memaparkan data hasil simulasi dan menjelaskannya dalam analisa.

E. BAB 5 KESIMPULAN

Merupakan penutup dan kesimpulan dari hasil analisa yang telah dibuat.

BAB 2

RFID DAN ANTENA MIKROSTRIP

2.1 RFID

Akhir-akhir ini RFID banyak dipergunakan sebagai alat identifikasi suatu objek, seperti buku, hewan, ataupun manusia[4]. RFID, atau *Radio Frequency Identification* adalah sebuah metode identifikasi dengan menggunakan sarana yang disebut label RFID atau *transponder* untuk menyimpan dan mengambil data jarak jauh dengan menggunakan gelombang radio. Peranti ini terdiri dari dua bagian. Peranti pertama adalah RFID *reader* yang berfungsi untuk membaca kode-kode dari RFID *tag* (label) dan membandingkan dengan yang ada di memori *reader*. Sedangkan bagian kedua adalah RFID *tag* atau *transponder* yang berfungsi menyimpan kode-kode sebagai pengganti identitas diri untuk kemudian dibaca oleh *reader*.

Ada empat macam frekuensi kerja RFID yang sering digunakan bila dikategorikan berdasarkan frekuensi radio, yaitu *low frequency* (antara 125 ke 134 kHz), *high frequency* (13,56 MHz), UHF (868 sampai 956 MHz), *Microwave* (2,45 GHz). Dan penggunaan setiap frekuensi ini diatur oleh beberapa badan regulasi dunia, diantaranya adalah ETSI untuk di eropa, dan ISM untuk aplikasi pada bidang industri, medis, dan keilmuan.

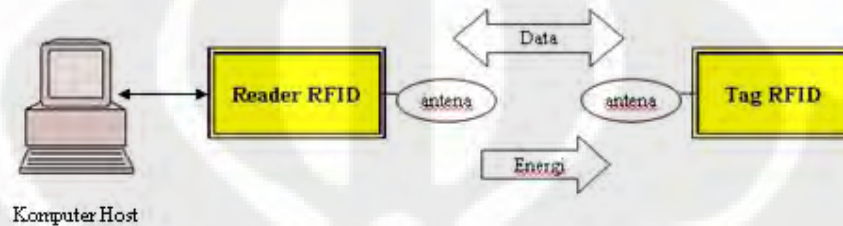
Karena adanya beberapa badan yang mengatur regulasi frekuensi RFID di dunia, maka penggunaan frekuensi berbeda di tiap negara. Di China misalnya, menggunakan frekuensi 840 MHz – 844 MHz, di Jepang menggunakan frekuensi 950 – 955 MHz[15]. Sama halnya seperti negara lain, Direktorat Jenderal Pos dan Telekomunikasi Depkominfo telah mengatur alokasi frekuensi 923 MHz - 925 MHz untuk penggunaan identifikasi objek fisik melalui *radio frequency identification* (RFID) di Indonesia.

2.1.1 Bagian-bagian dari RFID

Dari Gambar 2.1 sebuah sistem dari RFID terdiri dari tiga bagian :

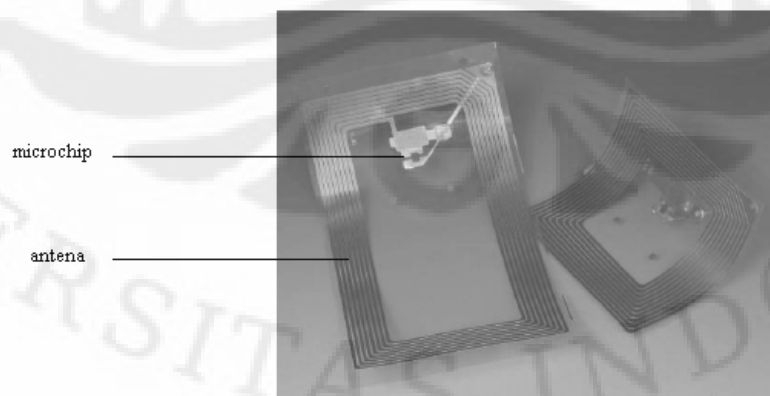
- *Transponder* atau *tag* RFID, terletak pada objek yang akan diidentifikasi

- *Reader* , yang digunakan untuk membaca setiap kode pada *transponder*
- *Komputer Host*, yang digunakan untuk mengolah data yang dibaca oleh *reader*



Gambar 2.1 Bagan Ilustrasi RFID

Berdasarkan Gambar 2.2 *Transponder* pada RFID, atau biasa dikenal sebagai *tag* RFID, terdiri dari sebuah *microchip* dan sebuah *coupling element* (biasanya berbentuk antena). *Microchip* yang berukuran sangat kecil tersebut mampu menyimpan informasi berupa nomor-nomor seri yang unik atau dalam bentuk lain tergantung tipe memorinya. Tipe memori tersebut dapat berupa *read-only*, *read-write*, atau *read-onceread-many*. *Tag* tersebut tertanam dalam sebuah objek yang diidentifikasi.



Gambar 2.2 Bagian dari *Transponder* [4]

Tag read-only memiliki kapasitas memori minimal (biasanya kurang dari 64 bit) dan mengandung data yang terprogram permanen sehingga tidak dapat diubah. Informasi yang terkandung di dalam *tag* seperti ini terutama adalah informasi identifikasi *item*. *Tag pasif* biasanya memiliki tipe memori seperti ini.

Tag read/write bersifat dinamis, artinya memori dapat dibaca dan dirubah berulang-ulang. Oleh karena itu memori yang dimilikinya lebih besar, namun harganya lebih mahal.

Tag dengan tipe memori *write-once read-many* memungkinkan informasi disimpan sekali, tetapi tidak membolehkan perubahan berikutnya terhadap data. *Tag* tipe ini memiliki fitur keamanan *read-only* dengan menambahkan fungsionalitas tambahan dari *tag read/write*.

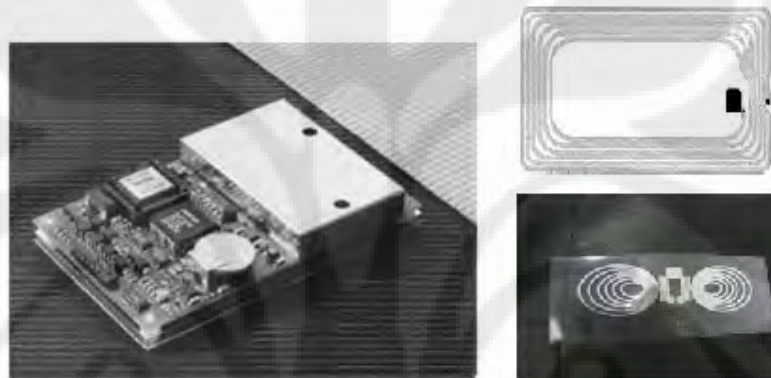
Tag RFID memiliki bermacam bentuk dan ukuran, semua disesuaikan dengan aplikasinya. Seperti *tag* yang ditanam di dalam tubuh hewan, memiliki ukuran yang sangat kecil yang tidak lebih besar dari peniti. Atau bahkan lebih kecil lagi seperti *tag* yang ditanam pada serat kertas uang [4].

Menurut [1], *Tag* RFID biasanya terbagi menjadi 3 macam, yakni *tag pasif*, *tag semipasif*, dan *tag aktif*. *Tag pasif* tidak memiliki power supply sendiri. *Tag semipasif* adalah *tag* yang memiliki catu daya sendiri (baterai) tetapi tidak dapat menginisiasi komunikasi dengan *reader*. *Tag* RFID aktif, di sisi lain harus memiliki power supply sendiri dan memiliki jarak jangkauan yang lebih jauh. Memori yang dimilikinya juga lebih besar sehingga bisa menampung berbagai macam informasi didalamnya. Jarak jangkauan dari RFID *tag* yang aktif ini bisa sampai sekitar 100 meter dan dengan umur baterai yang bisa mencapai beberapa tahun lamanya. Tabel 2.1 merupakan perbandingan *tag* RFID yang ada.

Table 2.1 Tabel Perbandingan *Tag* RFID

	<i>Tag pasif</i>	<i>Tag semipasif</i>	<i>Tag aktif</i>
Catu daya	Dari <i>reader</i>	Baterai internal	Baterai internal
Memori	<i>Read only</i>	<i>Read/write</i>	<i>Read/write</i>
Jarak baca	10 mm – 6 m	6 m – 100 m	100 m

Suatu RFID *reader*, juga disebut suatu *interrogator* yaitu suatu alat yang dapat membaca dan menulis data pada RFID *tag* yang kompatibel. *Reader* adalah sistem *nerve* pusat dari keseluruhan sistem perangkat keras RFID yang menentukan komunikasi dengan dan mengontrol komponen ini adalah tugas yang paling utama tentang segala kesatuan yang terintegrasi dengan entitas perangkat keras ini. Sebuah *reader* menggunakan antenanya sendiri untuk berkomunikasi dengan *tag*, seperti terlihat pada Gambar 2.3 bagian kiri.



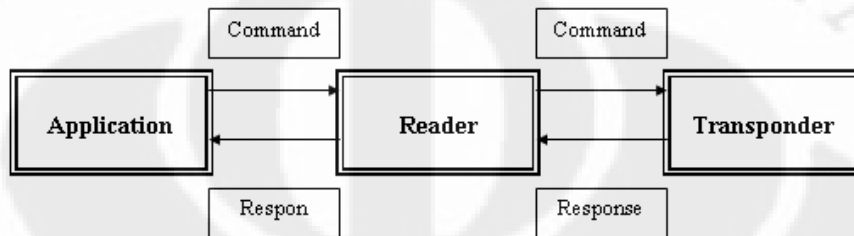
Gambar 2.3 Kiri, Salah Satu Bentuk *Reader*. Kanan, Antena *Reader* Sederhana dan Antena Berdasar Logo *Taiwan Lamination Industry*[14]

Saat ini telah banyak bentuk antena yang dapat difabrikasi untuk aplikasi RFID ini, mulai dari yang sederhana sampai untuk spesifikasi alat yang membutuhkan *gain* yang besar. Bahkan telah dibuat antena dengan desain logo, atau *logo-based RFID antenna* seperti pada Gambar 2.3 bagian kanan[14].

2.1.2 Sistem kerja RFID

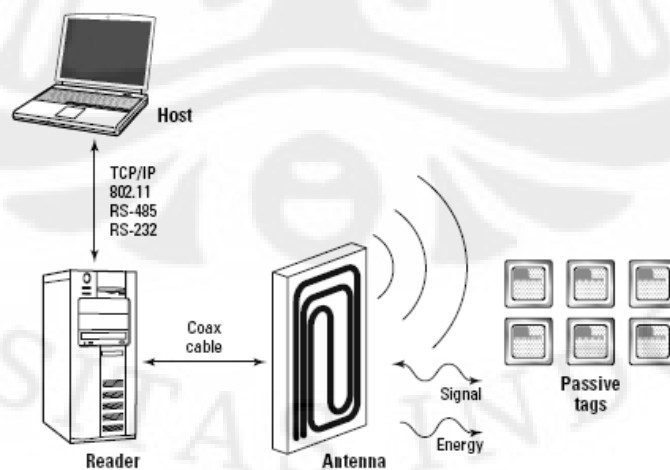
Dari Gambar 2.4 dapat dilihat diagram kerja RFID. Pada label *tag* RFID yang tidak memiliki baterai, antena adalah yang berfungsi sebagai pencatu sumber daya dengan memanfaatkan medan magnet dari pembaca (*reader*) dan memodulasi medan magnet. Kemudian digunakan kembali untuk mengirimkan data yang terdapat dalam *tag label* RFID. Data yang diterima *reader* diteruskan ke database *host computer*. *Reader* mengirim gelombang elektromagnet, yang kemudian diterima oleh antena pada label RFID. Label RFID mengirim data

biasanya berupa nomor *serial* yang tersimpan dalam *label*, dengan mengirim kembali gelombang radio ke *reader*. Informasi dikirim ke dan dibaca dari *label* RFID oleh *reader* menggunakan gelombang radio.



Gambar 2.4 Diagram Kerja RFID

Dalam sistem yang paling umum yaitu sistem pasif, *reader* memancarkan energi gelombang radio yang membangkitkan *label* RFID dan menyediakan energi agar beroperasi. Sedangkan sistem aktif, baterai dalam label digunakan untuk memperoleh jangkauan operasi *label* RFID yang efektif, dan fitur tambahan penginderaan suhu. Data yang diperoleh / dikumpulkan dari *label* RFID kemudian dilewatkan / dikirim melalui jaringan komunikasi dengan kabel atau tanpa kabel ke sistem komputer. Gambar 2.5 merupakan cara kerja RFID yang terjadi.



Gambar 2.5 Cara Kerja RFID Melalui Sinyal Frekuensi Radio[1]

Antena akan mengirimkan melalui sinyal frekuensi radio dalam jarak yang relatif dekat. Dalam proses transmisi tersebut terjadi 2 hal:

- Antena melakukan komunikasi dengan *transponder*, dan
- Antena memberikan energi kepada *tag* untuk berkomunikasi (untuk *tag* yang sifatnya pasif)

2.1.3 Frekuensi Kerja dan Standarisasi

Karena sistem dari RFID menghasilkan dan meradiasikan gelombang elektromagnetik, mereka secara legal diklasifikasikan sebagai *radio systems*. Semua sistem lain dari *radio systems*, seperti radio, televisi, aplikasi *mobile radio*, aplikasi bawah laut dan udara, dan *mobile telephones*, tidak boleh terganggu dengan adanya sistem RFID ini.

Karena keharusan menghindari adanya interferensi gelombang tersebut, maka RFID hanya diperbolehkan untuk menggunakan frekuensi yang mungkin dan masih tersedia yang telah dialokasikan secara spesifik untuk proses industri, ilmu pengetahuan, ataupun aplikasi medis. Ini semua dikasifikasikan secara mendunia oleh *ISM frequency ranges (Industrial – Scientific – Medical)*.

Berdasarkan GS1, rentang frekuensi RFID untuk negara China dan Jepang berturut-turut adalah 840 MHz – 844 MHz, dan 950 MHz – 955 MHz. Sedangkan rentang 2,446 GHz – 2,454 GHz banyak digunakan oleh negara-negara di Eropa. Sedangkan menurut ISM, rentang frekuensi kerja RFID terlihat pada Tabel 2.2

Tabel 2.2 Rentang Frekuensi Sistem RFID, dan Kegunaannya[4]

Rentang frekuensi untuk system RFID		
frequency range	Penggunaan	Keterangan
< 135 kHz	radio <i>aeronautical</i> , <i>marine navigational</i> , serta servis radio moliter	Eropa
6.765 .. 6.795 MHz	<i>broadcasting</i> , servis radio cuaca dan <i>aeronautical</i>	Perancis dan Negara sekitarnya

13.553 .. 13.567 MHz	sistem <i>remote control</i> , <i>radio equipment</i> dan <i>paggers</i> , <i>contactless smartcards</i> (ISO 14443, MIFARE, LEGIC, ...), <i>smartlabels</i> (ISO 15693, <i>Tag-It</i> , <i>I-Code</i> , ...) dan <i>item management</i> (ISO 18000-3).	Amerika, Eropa
26.957 .. 27.283 MHz	diathermic apparatus (aplikasi medis), peralatan pengeboran/pengelasan frekuensi tinggi (aplikasi industri), <i>remote controls</i> dan <i>paggers</i>	Eropa, Amerika, Kanada
433 MHz	Radio amatir, <i>baby intercoms</i> , <i>telemetry transmitters</i> , <i>cordless headphones</i> , <i>keyless entry</i>	Hamper di seluruh dunia
840 .. 870 MHz	Alat hubungan jarak pendek	Europe, dan Negara CEPT
902 .. 955 MHz	Smartlabels, item management, dan aplikasi lain.	Eropa, Asia, USA/Canada only
2.400 .. 2.483 GHz	<i>telemetry transmitter</i> , <i>PC LAN systems</i>	USA/Canada
2.446 .. 2.454 GHz	automatic vehicle identification	Eropa, USA
5.725 .. 5.875 GHz	<i>Sensor gerak</i>	USA/Canada, Europe

Perkembangan standard merupakan tanggung jawab ISO (*International Organization for Standardization*). ISO merupakan gabungan dari institusi *standardisation* nasional, seperti DIN (Jerman) dan ANSI (Amerika). Oleh karena itu, ISO juga mengatur standard internasional penggunaan sistem RFID.

Untuk *Animal Identification* digunakan standard ISO 11784, 11785 dan 14223. ISO 11784: '*Radio-frequency identification of animals — Code structure*'. ISO 11785: '*Radio-frequency identification of animals — Technical concept*'. ISO 14223: '*Radio-frequency identification of animals — Advanced transponders*'.

ISO 10536 telah dibuat antara tahun 1992 dan 1995 untuk *Contactless Smart cards*. [9].

ISO 10374 merupakan standard untuk system identifikasi otomatis dari containers yang berbasis *transponder microwave*. RFID ini bekerja pada frekuensi 850 – 950 MHz dan 2,4 – 2,5 GHz.

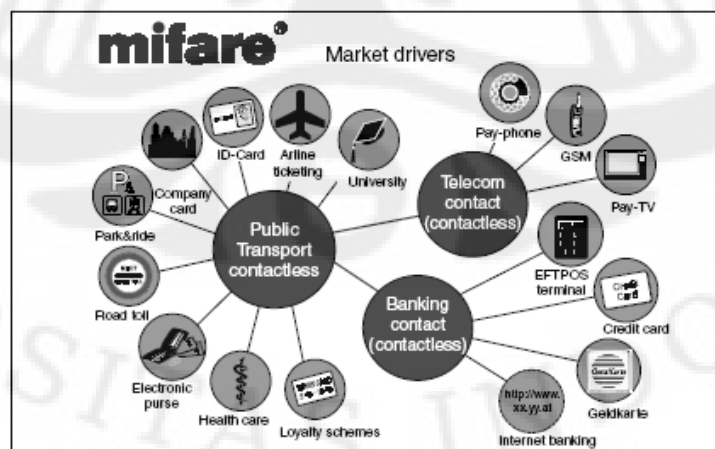
VDI 4470 digunakan sebagai standard sistem RFID untuk aplikasi Anti-theft Systems for Goods, atau sistem anti pencurian barang. Seperti penggunaan alarm dan deteksi kehilangan.

ISO 18000 series adalah standard ISO untuk *Item Management*. Tujuan dari standard ini adalah untuk memastikan bahwa kebutuhan akan *Item Management* akan selalu tersedia untuk generasi *transponder* di masa depan.

2.1.4 Penggunaan RFID

Semakin berkembangnya teknologi membuat manusia semakin kreatif dalam menciptakan sesuatu, sama halnya dengan adanya RFID. Manusia mulai mencoba membuat berbagai macam peralatan yang dapat diintegrasikan dengan gelombang elektromagnetik yang dihasilkan oleh sistem RFID.

Salah satu implementasi dari RFID adalah *smart cards*[4]. Pada tahun 1950-an kartu kredit pertama diciptakan oleh Diners Club. Dan semakin berkembangnya teknologi semikonduktor, semakin mungkin pula mengintegrasikan memori ke dalam sebuah *chip* silikon. Pada tahun 1983, sebuah terobosan teknologi dilakukan oleh perusahaan Perancis PTT dengan smart card telephone. Seiring perkembangan, smart cards semakin dikembangkan penggunaannya, seperti pada sistem pembayaran (transportasi umum, tiket) atau *passes* (kartu identitas, *company pass*), seperti terlihat pada Gambar 2.6



Gambar 2.6 Aplikasi RFID Oleh Phillip Electronic N.V[4]

Dari Gambar 2.7 RFID juga dikembangkan dalam sistem transportasi publik. Transportasi publik merupakan potensi terbesar yang pernah ada dari sistem RFID, terutama dengan penggunaan *contactless smart cards*. Sebagai contoh elektronik *travel pass* sistem terbesar terdapat di Seoul, Korea Selatan. Dimana pada tahun 1997 tersedia 4000 bis dan total 3500 *charging points* tersedia di terminal. Teknologi yang digunakan adalah MIFARE system yang bekerja pada frekuensi kerja 13.56 MHz. Selain itu, di Turki terdapat pembayaran tol dengan AutoPass. Begitupula di negara lain, menggunakan RFID untuk berbagai macam pembayaran, ticket ataupun *passes* pada transportasi publiknya.



Gambar 2.7 Penggunaan RFID pada Transportasi Publik di Seoul, Korea Selatan[4]

Sistem RFID juga dapat digunakan sebagai *Access Control*. Sistem elektronik ini mampu memberikan authorisation dari setiap individu untuk memasuki area tertentu (gedung, pertunjukan, rumah) baik secara *online* ataupun *offline*.

Identifikasi hewan[5] dapat pula mempegunakan sistem RFID. Pada umumnya digunakan *tag* RFID pasif untuk implantasi, karena ukurannya yang sangat kecil. Berbagai tujuan dari penggunaan RFID ini pada identifikasi hewan, seperti mengetahui letaknya, kapan waktu reproduksi, dan identifikasi lainnya.

Pada bidang komersial, sistem RFID dapat dipergunakan sebagai identifikasi barang ataupun container. Seperti identifikasi peralatan listrik, barang dagangan, buku, dan lain sebagainya.

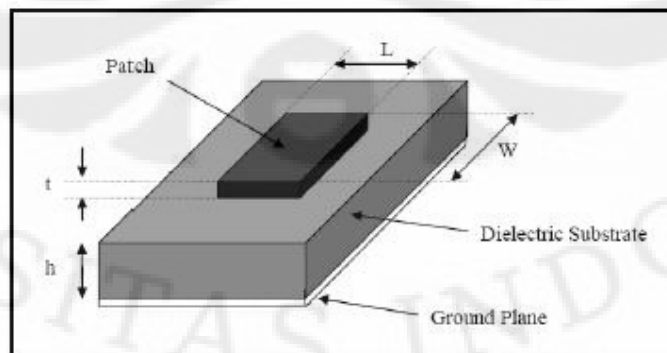
Berbagai aplikasi dewasa ini banyak diterapkan oleh sistem RFID, mulai dari kegunaan yang sederhana seperti sensor, sampai pada perkembangannya dalam dunia kedokteran, militer, dan lain sebagainya. Penggunaan tersebut tentunya dimanfaatkan untuk mempermudah kehidupan manusia.

2.2 Antena Mikrostrip

Antena merupakan bagian dari sistem pengiriman dan penerimaan yang dirancang untuk meradiasikan gelombang elektromagnetik [12]. Antena mikrostrip merupakan salah satu contohnya.

Antena mikrostrip pada awalnya diperkenalkan di Amerika oleh Deschamps dan di Perancis oleh Gutton dan Baissinot pada tahun 1950an. Setelah kedatangan teknologi *printed-circuit* beberapa penelitian mulai berhasil mengembangkan antena praktis untuk pertama kalinya.

Antena mikrostrip adalah suatu konduktor metal yang menempel diatas *ground plane* yang diantaranya terdapat bahan dielektrik, seperti terlihat pada Gambar 2.8. Jenis antena ini memiliki keunggulan terutama pada rancangan antena yang tipis, ringan, tidak mahal, ketahanan yang tinggi, mampu disesuaikan dengan bidang planar dan non planar, serta dapat berintegrasi dengan peralatan telekomunikasi lain yang berukuran sempit, seperti *Microwave Integrated Circuit* (MICs). Namun pada prinsipnya antena mikrostrip memiliki bandwitdh yang sempit, dan bergantung pada ukuran, ketebalan substrat, jenis sbstrat, dan tipe *feed point* nya. Namun keterbatasan ini telah mampu diatasi dengan desain antena mikrostrip yang beragam, seperti pembuatan path berbentuk U atau V[13]

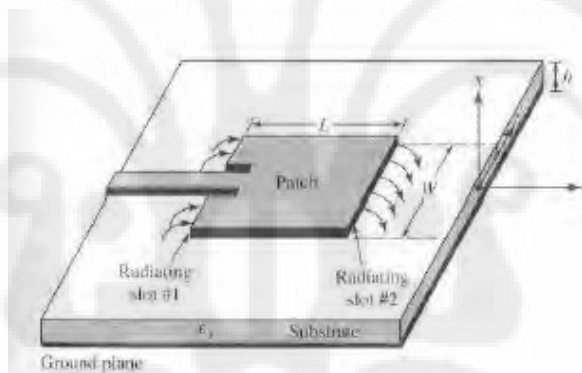


Gambar 2.8 Bagian-bagian Antena Mikrostrip[16]

Dewasa ini banyak aplikasi pemerintahan dan komersial menggunakan antenna mikrostrip ini, seperti *mobile radio*, *wireless communication*, dan aplikasi lain yang memiliki kemiripan spesifikasi.

2.2.1 Karakteristik Antena Mikrostrip

Antena mikrostrip mulai mendapatkan perhatian pada awal tahun 1970an, walaupun ide awal antenna ini muncul pada tahun 1953 dan patennya pada tahun 1955. Seperti pada Gambar 2.9, antenna mikrostrip terdiri dari sebuah *strip metal* (*patch*) yang sangat tipis ($t \ll \lambda_0$) dimana λ_0 adalah panjang gelombang ruang hampa) diatas sebuah *ground* (lapisan konduktif lain) yang dipisahkan oleh substrat dielektrik ($h \ll \lambda_0$, biasanya $0,003 \lambda_0 \leq h \leq 0,05 \lambda_0$).

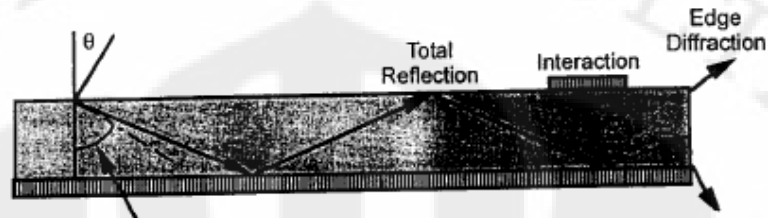


Gambar 2.9 Dimensi Antena Mikrostrip[2]

Banyak substrat yang bisa digunakan untuk desain antenna mikrostrip, konstanta dielektrik yang biasa dipakai adalah diantara rentang $2.2 \leq \epsilon_r \leq 12$. dan substrat yang paling baik dipergunakan untuk antenna ini adalah yang memiliki konstanta dielektrik paling rendah dari rentang tersebut, karena dengan konstanta dielektrik tersebut akan menghasilkan efisiensi yang lebih baik, *bandwidth* yang lebih lebar, radiasi yang lebih bebas, namun membutuhkan ukuran element yang lebih besar [12]

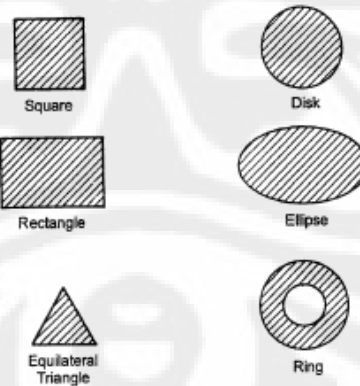
Seringkali, antenna mikrostrip yang didisain merupakan antenna *patch*. Berdasarkan Gambar 2.10, Antena Mikrostrip memiliki sumber radiasi yang meradiasi semata-mata karena medan antara ujung *patch* dan bidang *ground*.

Lapisan konduktif bawah berlaku mirip dengan bidang *ground reflektif*, memantulkan kembali energi melewati substrat dan ke ruang kosong.



Gambar 2.10 Medan yang Diradiasikan oleh Antena Patch[2]

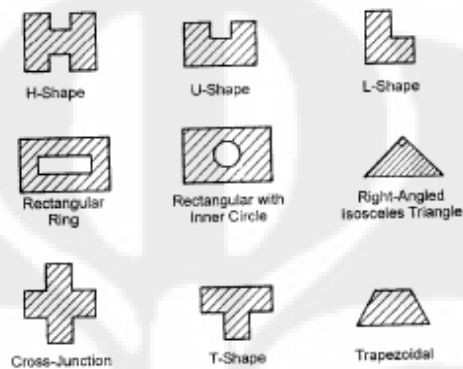
Dari Gambar 2.11 ada berbagai macam bentuk dasar dari antena mikrostrip. *Square*, *rectangular*, dan lingkaran merupakan desain yang umum digunakan dalam perancangan antena mikrostrip, karena sangat mudah untuk dianalisa dan difabrikasi, karakteristik radiasi yang menarik, dan yang paling penting kecilnya radiasi *cross-polarization*. Selain itu, terdapat pula antena *dipole*, karena memiliki *bandwidth* yang lebar dan kecil ukurannya sehingga sering dipakai untuk antena *arrays*. Setiap desain memiliki karakteristik masing-masing.



Gambar 2.11 Bentuk Dasar Antena Mikrostrip[3]

Dan sesuai dengan kebutuhan akan teknologi, desain antena mikrostrip ini mengalami perubahan pula menjadi lebih kompleks seperti terlihat pada gambar 2.12. Ini dilakukan agar dapat memenuhi kriteria pada aplikasi-aplikasi tertentu.

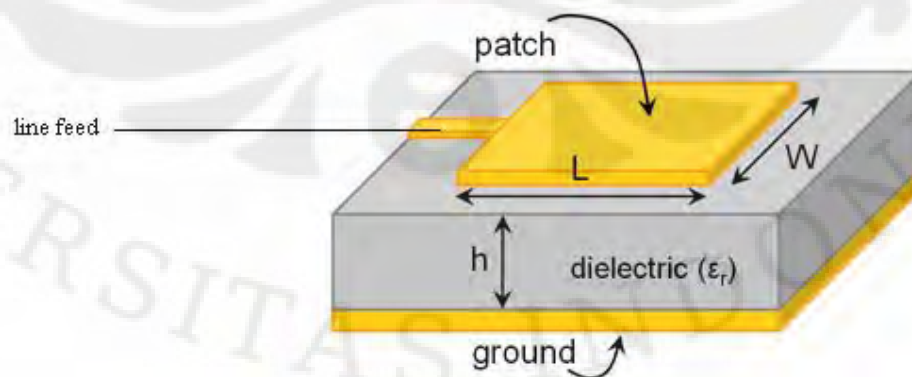
Pembentukan *patch* seperti H-shape, U-shape dan bentuk lainnya dilakukan untuk mendapatkan kriteria antena seperti pembentukan frekuensi resonansi yang lebih banyak, peningkatan *gain*, dan lain sebagainya[3].



Gambar 2.12 Beberapa Modifikasi Antena Mikrostrip[3]

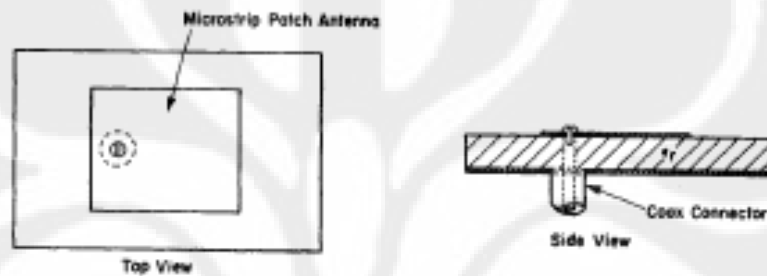
2.2.2 Teknik *Feeding*

Banyak konfigurasi yang dapat digunakan untuk *feeding* pada antena mikrostrip. Namun ada 4 macam *feeding* yang paling populer digunakan, yakni *microstrip line*, *coaxial probe*, *aperture coupling* dan *proximity coupling*. Teknik *microstrip line feed* sangat mudah untuk difabrikasi, mudah untuk *match* dengan hanya mengatur posisi *feed* tersebut. Pada teknik ini digunakan strip kecil tambahan yang biasanya sangat lebih kecil dibanding *patch* antena, seperti terlihat pada Gambar 2.13



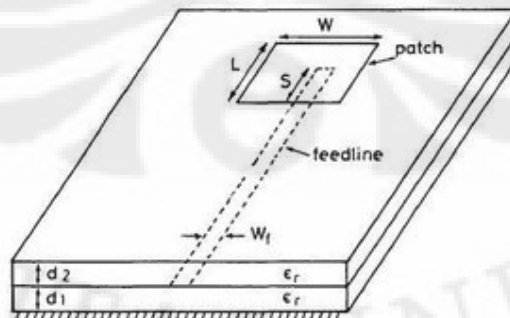
Gambar 2.13 *Line Feed*

Gambar 2.14 merupakan teknik *coaxial probe*, dimana bagian dalam konduktor dari *coax* ditambahkan kedalam *patch* radiasi sementara bagian luar konduktor dihubungkan dengan *ground plane*. Teknik ini sering pula digunakan, karena mudah difabrikasi dan memiliki radiasi palsu yang kecil. Namun, kelemahannya adalah memiliki bandwidth yang kecil dan sulit didesain untuk ukuran substrat yang tipis.



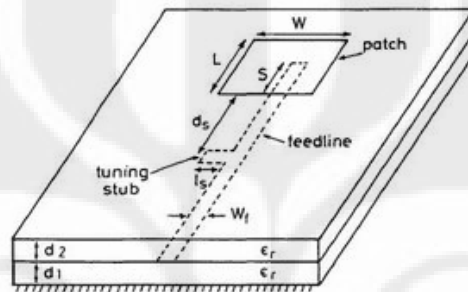
Gambar 2.14 Coaxial Probe[2]

Teknik *aperture coupling* pada Gambar 2.15 adalah yang paling sulit untuk difabrikasi dari keempat jenis *feeding* ini dan juga memiliki bandwidth yang sempit. Namun, teknik *feeding* ini mampu menghasilkan pola radiasi yang baik. Untuk desain ini, parameter elektrik dari substrat, dan lebar dari *line feed* mampu mengoptimalkan desain.



Gambar 2.15 Aperture Coupling[2]

Proximity coupling mampu menghasilkan polarisasi yang sangat baik dan tidak terjadi *cross-polarization* pada bidang. Dari keempat desain *feed* ini, *proximity coupling* memiliki bandwidth yang paling lebar dan kecilnya radiasi tambahan (*spurious radiation*). Namun fabrikasi untuk teknik ini sangat sulit. Panjang dari *feeding stub* dan rasio *width-to-line* dari *patch* dapat digunakan untuk mengoptimalkan desain. Gambar 2.16 merupakan *feeding proximity coupling*



Gambar 2.16 *Proximity Coupling*[2]

Setiap teknik pencatuan memiliki kenggulannya sendiri, itu semua disesuaikan dengan karakteristik antenna masing-masing. Dengan keempat teknik pencatuan tersebut, diharapkan antenna mikrostrip yang terbentuk memiliki kesesuaian dengan karakteristik antenna yang diinginkan.

Dari keempat teknik pencatuan tersebut, dapat dibuat tabel perbandingannya dalam Tabel 2.3

Tabel 2.3 Perbandingan Beberapa Teknik Pencatuan

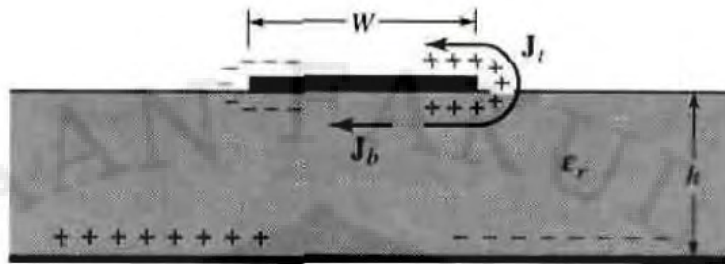
Karakteristik	Microstrip <i>line Feed</i>	<i>Coaxial Feed</i>	Aperture coupled	Proximity coupled <i>Feed</i>
Reliability	Sangat baik	Kurang, pengaruh fabrikasi	Baik	Baik
Fabrikasi	Mudah	Perlu adanya Penyolderan dan pengeboran	Agak rumit	Agak Rumit
Bandwidth	2 – 5 %	2 – 5 %	>10%	Dapat >10 %

2.2.3 Metode Analisa pada Antena Mikrostrip

Antena mikrostrip merupakan jenis antena yang memiliki *narrow-band*, sehingga Model *cavity* atau rongga telah banyak digunakan dalam menganalisa antena mikrostrip ini [2]. Metode ini mengasumsikan bidang antara *ground plane* dan *patch* peradiasi antena sebagai sebuah *patch* rongga.

Pada metode ini bidang peradiasi dan *ground plane* diasumsikan sebagai dinding elektrik dan empat buah dinding *patch* diasumsikan sebagai dinding magnetik. Model *cavity* ini dapat digunakan untuk substrat yang tipis, dimana *patch* 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.

Berdasarkan Gambar 2.17 Ketika antena mikrostrip diberikan energi, *patch* muatan dibentuk pada bagian atas dan bawah permukaan dari *patch* tersebut, dan juga pada bagian pentanahan (*ground*). *Patch* muatan dikendalikan oleh 2 (dua) mekanisme, yaitu : mekanisme atraktif dan mekanisme repulsif [12]. 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 (J_1) 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*.



Gambar 2. 17 Distribusi dan Kerapatan Arus pada Antena Mikrostrip[12]

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*.

2.2.4 Impedansi *Matching*

Suatu jalur transmisi dikatakan *matched* apabila karakteristik impedansi $Z_0 = Z_L$, atau dengan kata lain tidak ada pemantulan yang terjadi pada ujung saluran beban. Z_0 merupakan karakteristik impedansi suatu saluran transmisi dan biasanya bernilai 50 ohm. Z_L merupakan impedansi beban. Beban dapat berupa antenna atau rangkaian lain yang mempunyai impedansi ekuivalen Z_L . Karena kegunaan utama saluran transmisi adalah untuk mentransfer daya secara sempurna, maka beban yang *matched* sangat diperlukan.

2.2.5 Parameter-parameter Antena Mikrostrip

2.2.5.1 Impedansi Masukan (*Input Impedance*)

Impedansi masukan adalah perbandingan (rasio) antara tegangan dengan arus. Memiliki nilai yang berbeda untuk posisi tertentu[3]

$$Z_{in}(z) = \frac{\tilde{V}(z)}{\tilde{I}(z)} = \frac{V_0^+ [e^{-j\beta z} + \Gamma e^{j\beta z}]}{V_0^+ [e^{-j\beta z} - \Gamma e^{j\beta z}]} Z_0 = Z_0 \left[\frac{1 + \Gamma e^{j2\beta z}}{1 - \Gamma e^{j2\beta z}} \right] \quad (2.1)$$

Dari Persamaan 2.1, (V) jumlah merupakan tegangan masuk dan tegangan, serta (I) jumlah arus 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 Persamaan 2.2[3]:

$$Z_{in}(-l) = \frac{\tilde{V}(l)}{\tilde{I}(l)} = \frac{V_0^+ [e^{j\beta l} + \Gamma e^{-j\beta l}]}{V_0^+ [e^{j\beta l} - \Gamma e^{-j\beta l}]} Z_0 = Z_0 \left[\frac{1 + \Gamma e^{-j2\beta l}}{1 - \Gamma e^{-j2\beta l}} \right] = Z_0 \left(\frac{Z_L \cos \beta l + jZ_0 \sin \beta l}{Z_0 \cos \beta l + jZ_L \sin \beta l} \right) \quad (2.2)$$

2.2.5.2 VSWR (*Voltage Standing Wave Ratio*)

VSWR adalah perbandingan antara amplitudo gelombang berdiri (*standing wave*) maksimum ($|V|_{\max}$) dengan minimum ($|V|_{\min}$) [3]. Perbandingan ini disebut sebagai koefisien refleksi tegangan (Γ):

$$\Gamma = \frac{V_0^-}{V_0^+} = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} \quad (2.3)$$

Dari Persamaan 2.3, (V_0^+) adalah tegangan yang dikirimkan dan (V_0^-) adalah tegangan yang direfleksikan. Di mana Z_L adalah impedansi beban (*load*) dan Z_0 adalah impedansi saluran *lossless*.

Rumus untuk mencari nilai VSWR dapat ditulis pada Persamaan 2.4 [3]:

$$S = \frac{|V|_{\max}}{|V|_{\min}} = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \quad (2.4)$$

Dari Persamaan 2.4, kondisi yang paling baik adalah ketika VSWR bernilai 1 ($S=1$) saluran dalam keadaan *matching*, yang berarti tidak ada tegangan yang direfleksikan Namun kondisi ini sangat sulit untuk didapatkan.

2.2.5.3 Return loss

Return loss adalah perbandingan antara amplitudo dari gelombang yang direfleksikan terhadap amplitudo gelombang yang dikirimkan, seperti tertulis pada Persamaan 2.5 dan 2.6

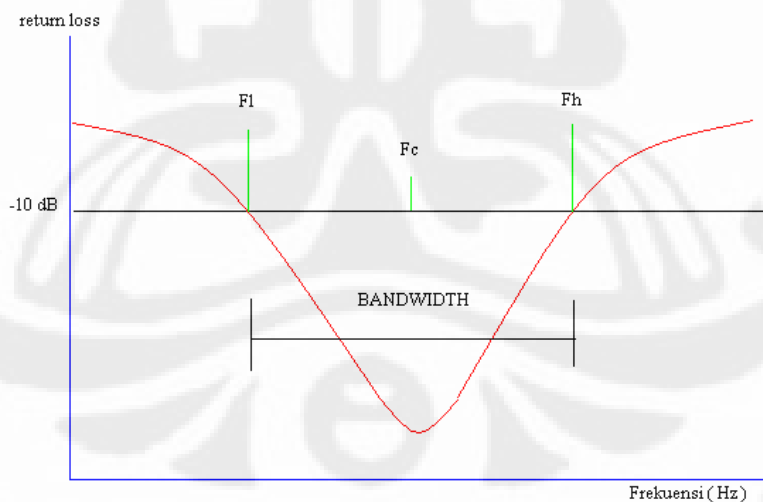
$$\Gamma = \frac{V_0^-}{V_0^+} = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} \quad (2.5)$$

$$\text{return loss} = 20 \log_{10} |\Gamma| \quad (2.6)$$

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 (*matching*).

2.2.5.4 Bandwidth

Bandwidth merupakan rentang frekuensi kerja antenna yang terbentuk setelah terpenuhinya karakteristik antenna yang didesain.



Gambar 2.18 Bandwidth

Bandwidth dinyatakan sebagai perbandingan antara frekuensi atas dan frekuensi bawah dalam level yang dapat diterima. Sehingga dari Gambar 2.18 dapat nilai bandwidth dapat dicari dengan persamaan :

$$BW = \frac{f_h - f_l}{f_c} \times 100 \% \quad (2.7)$$

$$f_c = \frac{f_h + f_l}{2} \quad (2.8)$$

Dengan f_h = frekuensi tertinggi dalam *band* (GHz)
 f_l = frekuensi terendah dalam *band* (GHz)
 f_c = frekuensi tengah dalam *band* (GHz),

2.2.5.5 Penguatan (*Gain*)

Ada dua jenis parameter penguatan (*Gain*) yaitu *absolute gain* dan *relative gain*. Dari Persamaan 2.9 *absolute gain* pada sebuah antena didefinisikan sebagai perbandingan antara intensitas pada arah tertentu dengan intensitas radiasi yang diperoleh jika daya yang diterima oleh antena teradiasi secara isotropik. Intensitas radiasi yang berhubungan dengan daya yang diradiasikan secara isotropik sama dengan daya yang diterima oleh antena (P_{in}) dibagi dengan 4π . *Absolute gain* ini dapat dihitung dengan Persamaan 2.9

$$gain = 4\pi \frac{U(\theta, \phi)}{P_{in}} \quad (2.9)$$

Selain *absolute gain* juga ada *relative gain*. *Relative gain* didefinisikan sebagai perbandingan antara perolehan daya pada sebuah arah dengan perolehan daya pada antena referensi pada arah yang direferensikan juga. Daya masukan harus sama di antara kedua antena itu. Akan tetapi, antena referensi merupakan sumber isotropik yang *lossless* ($P_{in}(lossless)$). Secara rumus dapat dihubungkan sebagai Persamaan 2.10[3]

$$G = \frac{4\pi U(\theta, \phi)}{P_{in}(lossless)} \quad (2.10)$$

Jika arah tidak ditentukan, maka perolehan daya biasanya diperoleh dari arah radiasi maksimum.

2.2.5.6 Efisiensi

Efisiensi antena adalah perbandingan/*ratio* antara daya yang diradiasikan dengan daya yang diberikan ke terminal (daya input). Berdasarkan Gambar 2.19 besarnya daya yang diradiasikan pasti lebih kecil dari daya yang diberikan, hal ini dikarenakan adanya rugi-rugi (*loss*).



Gambar 2.19 Diagram Efisiensi

Rugi-rugi ini muncul karena:

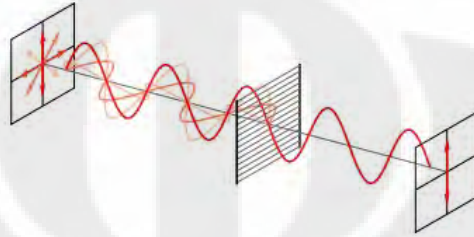
- Refleksi/pantulan karena adanya ketidakcocokan jalur transmisi dan antena
- Rugi daya (daya yang hilang) ketika daya diradiasikan, dikarenakan daya yang sudah lemah, atau karena terefleksikan oleh suatu penghalang.

2.2.5.7 Polarisasi

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 antena pada arah tertentu.

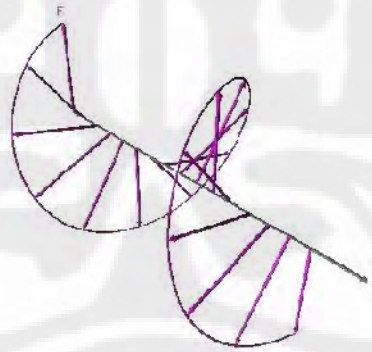
Polarisasi dapat diklasifikasikan sebagai *linear* (linier), *circular* (melingkar), atau *elliptical* (elips). Polarisasi linier terjadi pada Gambar 2.20,

dimana jika suatu gelombang yang berubah menurut waktu pada suatu titik memiliki vektor medan elektrik (atau magnet) pada titik tersebut berorientasi pada garis lurus yang sama pada setiap waktu.



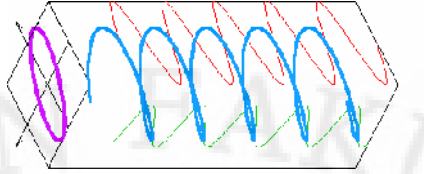
Gambar 2.20 Polarisasi Linier[17]

Pada Gambar 2.21 Polarisasi melingkar 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



Gambar 2.21 Polarisasi Melingkar[17]

Dari gambar 2.22 polarisasi elips terjadi ketika gelombang yang berubah menurut waktu memiliki vektor medan (elektrik atau magnet) berada pada jalur kedudukan elips pada ruang.



Gambar 2.22 Polarisasi Elips[17]

2.2.5.8 Keterarahan (*Directivity*)

Directivity merupakan perbandingan (rasio) intensitas radiasi sebuah antenna pada arah tertentu dengan intensitas radiasi rata-rata pada semua arah, seperti terlihat pada Persamaan 2.11. Intensitas radiasi rata-rata sama dengan jumlah daya yang diradiasikan oleh antenna dibagi dengan 4π . Jika arah tidak ditentukan, arah intensitas radiasi maksimum merupakan arah yang dimaksud. Keterarahan ini dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 2.11

$$D = \frac{U}{U_0} = \frac{4\pi U}{P_{rad}} \quad (2.11)$$

Dan jika arah tidak ditentukan, keterarahan terjadi pada intensitas radiasi maksimum yang didapat dengan Persamaan 2.12

$$D_{max} = D_0 = \frac{U_{max}}{U_0} = \frac{4\pi U_{max}}{P_{rad}} \quad (2.12)$$

Di mana :

D = keterarahan

D_0 = keterarahan maksimum

U = intensitas radiasi

U_{max} = intensitas radiasi maksimum

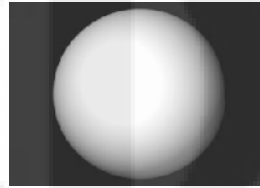
U_0 = intensitas radiasi pada sumber isotropik

P_{rad} = daya total radiasi

2.2.5.9 Pola Radiasi

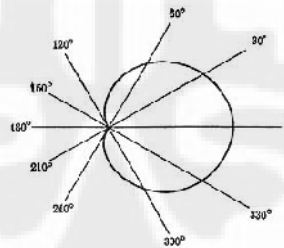
Pola radiasi antenna didefinisikan sebagai fungsi matematik atau sebuah representasi grafik dari radiasi antenna sebagai sebuah fungsi dari koordinat ruang. Jenis pola radiasi yang mungkin terbentuk dengan desain antenna tertentu dapat berupa pola *isotropic*, pola *directional*, dan pola radiasi *lobe*.

Dari Gambar 2.23, pola *isotropic* pada antenna Antena isotropik didefinisikan sebagai sebuah antenna tanpa rugi-rugi secara hipotesis yang mempunyai radiasi sama besar ke setiap arah. Karena meradiasi ke semua arah sama besar, pola radiasi ini terlihat menyerupai sebuah bola



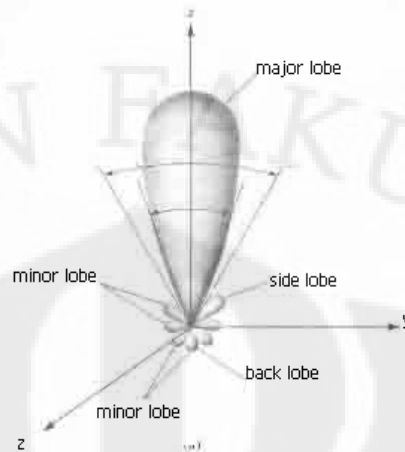
Gambar 2.23 Pola Radiasi *Isotropic*[17]

Pola *directional* mempunyai pola radiasi atau pola menerima gelombang elektromagnetik yang lebih efektif pada arah-arah tertentu saja seperti terlihat pada Gambar 2.24, dimana arah radiasinya mengarah ke sudut 0 derajat. Salah satu contoh antenna *directional* adalah antenna dengan pola *omnidirectional*.



Gambar 2.24 Pola Radiasi *Direccional*[18]

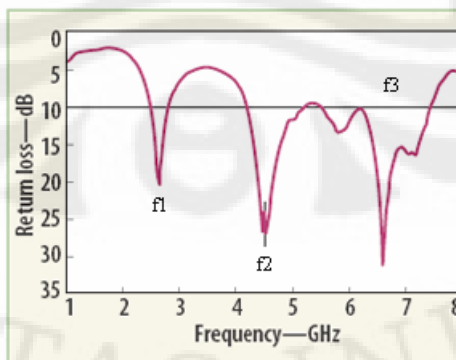
Pada gambar 2.25 pola radiasi *lobe* terjadi jika bagian-bagian dari pola radiasi ditunjukkan sebagai cuping-cuping yang bisa diklasifikasikan menjadi *main* (utama), *side* (samping), dan *back* (belakang) cuping (*lobe*).



Gambar 2.25 Pola Radiasi Lobe[3]

2.2.6 Antena Multiband

Sebuah antena akan mampu menghasilkan frekuensi kerja yang bervariasi. Mulai dari satu frekuensi kerja saja (*singleband*), dua frekuensi kerja (*dualband*), sampai antena yang memiliki 3 atau lebih frekuensi kerja (*multiband*). Frekuensi kerja merupakan sebuah frekuensi dimana sebuah antena mampu memancarkan radiasinya dengan baik dan bereaksi dengan terminal atau sebuah perangkat elektronik. Antena *multiband* merupakan sebuah antena yang mampu menghasilkan lebih dari dua frekuensi resonansi yang memiliki *return loss* dibawah -10 dB. Seperti terlihat pada Gambar 2.26, nilai f_1 , f_2 , dan f_3 merupakan frekuensi resonansi yang terjadi, sehingga antena tersebut dapat dikatakan sebagai antena *multiband*.

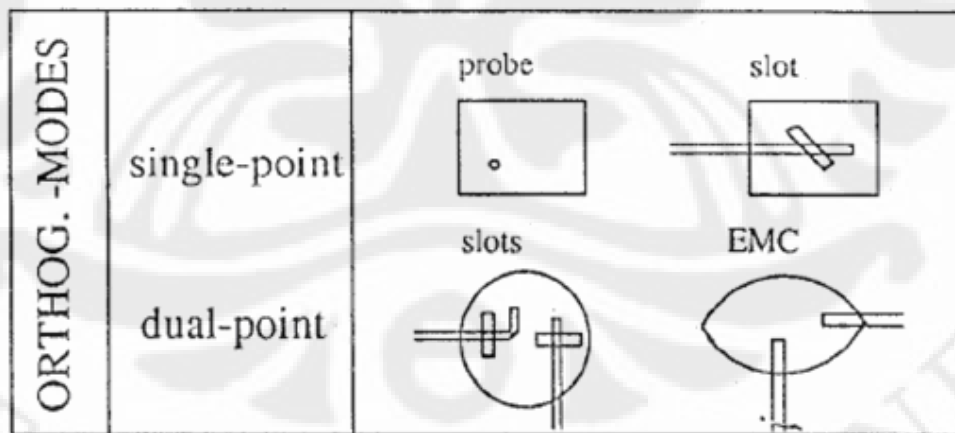
Gambar 2.26 Tiga Buah Frekuensi Resonansi (*Multiband*)

Perancangan antena *multiband* membuat sebuah antena mampu bekerja untuk berbagai aplikasi. Namun perancangannya dibutuhkan teknik tersendiri. Secara umum terdapat 3 cara untuk mendapatkan antena yang memiliki lebih dari satu frekuensi, yakni :

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

2.2.6.1 *Orthogonal-mode Multi-frequency Antenna*

Orthogonal-mode multi-frequency antenna merupakan salah satu cara untuk menghasilkan lebih dari satu buah frekuensi resonansi. Teknik yang digunakan ialah dengan cara menempatkan sebuah pencatu (*feed*) pada salah satu *patch* hingga pada posisi pencatu tersebut didapatkan lebih dari satu frekuensi resonansi. Hal ini dapat dilakukan dengan menggunakan teknik *probe* sebagai pencatunya dan dengan pemberian *slot* yang arahnya menuju pencatu pada pencatuan *line*. Sedangkan cara lain adalah dengan menggunakan pencatuan EMC (*Electromagnetically Coupled*). Gambar 2.27 adalah macam-macam teknik *Orthogonal-mode multi-frequency antenna*.

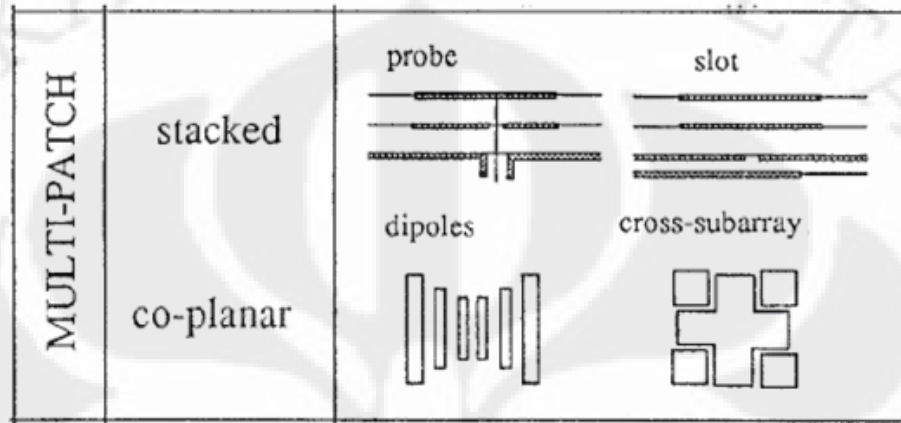


Gambar 2.27 Teknik *Orthogonal-Mode Multi-Frequency Antenna*[12]

2.2.6.2 *Multi-patch Multi-frequency Antenna*

Pada *Multi-patch multi-frequency antenna* digunakan lebih dari satu *patch* untuk menghasilkan lebih dari satu frekuensi resonansi. Dari Gambar 2.28, cara

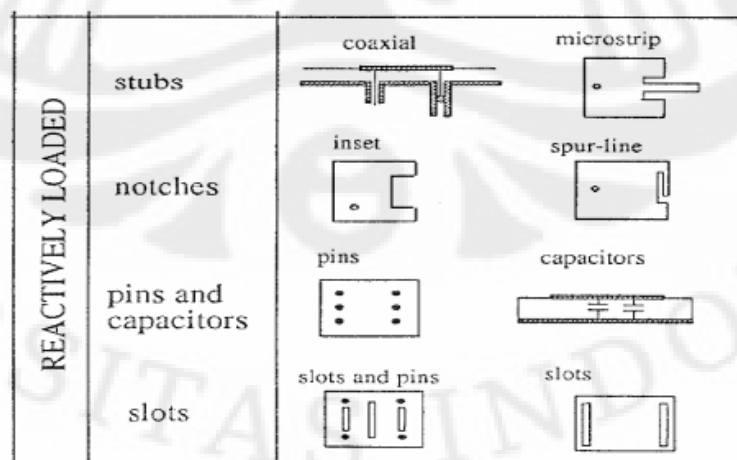
yang dipergunakan ialah dengan menumpuk setiap *patch* hingga menghasilkan frekuensi yang berbeda-beda, atau dapat pula dengan cara menyusun patch antenna pada satu lapisan substrat.



Gambar 2.28 Teknik *Multi-Patch Multi-Frequency Antenna*[12]

2.2.6.3 *Reactively-loaded Multi-frequency Antenna*

Reactively-loaded multi-frequency antenna merupakan cara ketiga untuk menghasilkan antenna yang memiliki banyak frekuensi, yakni dengan menambahkan beban (*stub*, *slot*, *pin*, *slot* dan *pin*, ataupun kapasitor) pada antenna. Beban reaktif tersebut ditambahkan secara khusus pada tepi peradiasi. Gambar 2.29 merupakan macam-macam teknik *Reactively-loaded multi-frequency antenna*



Gambar 2.29 Teknik *Reactively-Loaded Multi-Frequency Antenna*[12]

BAB 3

PERANCANGAN ANTENA DAN SIMULASI

Skripsi ini dilakukan untuk merancang sebuah antena mikrostrip dengan teknik *Reactively-loaded multi-frequency antenna* untuk menghasilkan 3 frekuensi kerja (*multiband frequency*) pada frekuensi 840 MHz – 844 MHz, 950 MHz - 955 MHz, dan 2,446 GHz – 2,454 GHz untuk aplikasi RFID (*Radio Frequency Identification*). Teknik pencatuan yang digunakan adalah teknik pencatuan langsung *Direct Microstrip Line* dengan *inset feed* dan *offset feed*. Keuntungan dari perancangan antena ini adalah bentuknya yang kecil, ringan, mudah untuk fabrikasi, dan memiliki *bandwidth* yang sesuai untuk aplikasi RFID (*Radio Frequency Identification*).

Beberapa tahap yang harus dilakukan untuk merancang jenis antena ini antara lain adalah menentukan jenis substrat dan spesifikasinya, menentukan dimensi antena, serta menentukan dimensi dari saluran pencatu untuk menghasilkan kondisi *match*. Adapun dalam perancangan ini digunakan software HFSS V 11.1.1 untuk simulasi.

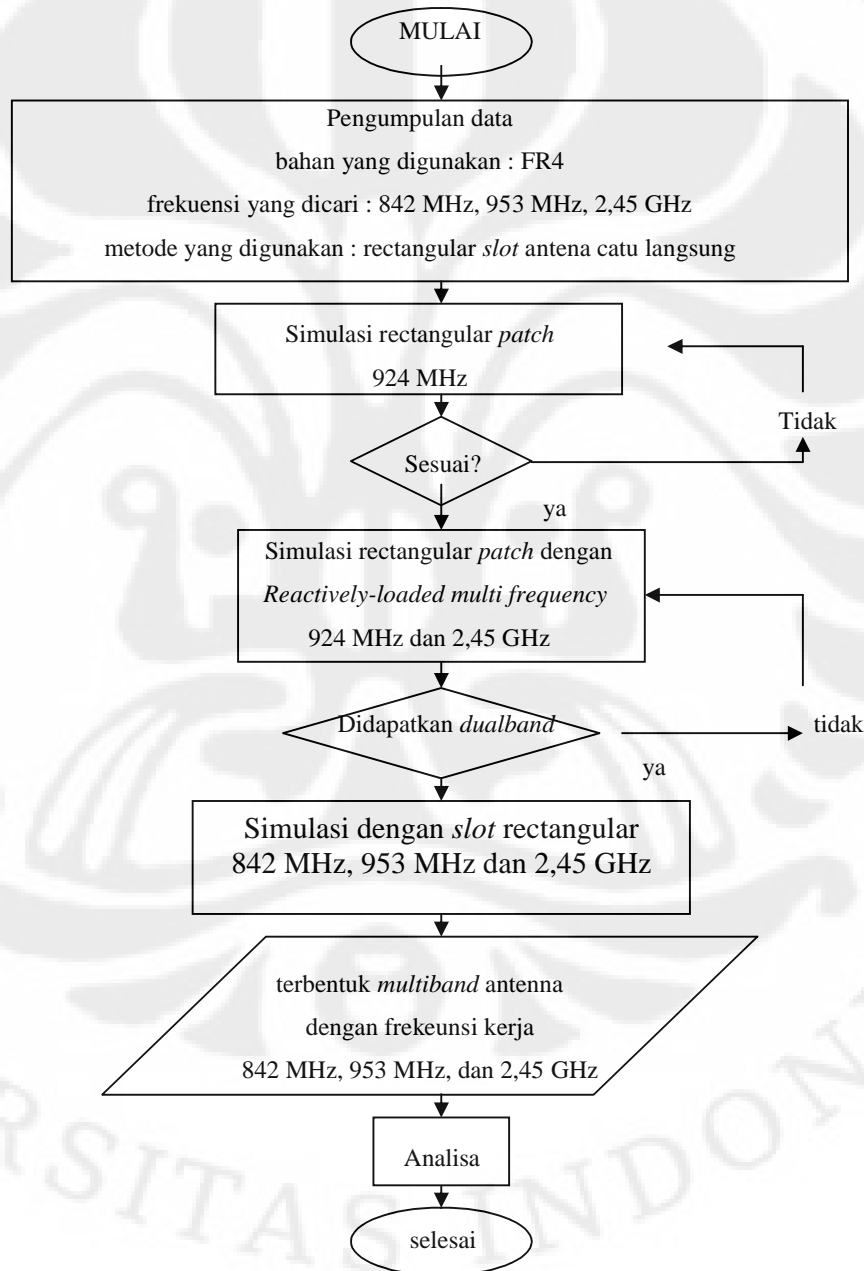
3.1 Perlengkapan yang Digunakan

Perangkat yang digunakan adalah :

- a. PC (*Personal Computer*) untuk menampilkan *software* yang dipergunakan dalam perancangan antena
- b. Perangkat lunak *HFSS v 11.1.1* untuk proses simulasi antena yang sudah dirancang
- c. Perangkat lunak *PCAAD 3.0* untuk menentukan impedansi saluran, dan perhitungan dimensi saluran mikrostrip
- d. Perangkat lunak *Microsoft Office Excel 2003* untuk menampilkan tabel karakteristik antena
- e. Perangkat lunak *Microsoft Visio 2003*

3.2 Diagram Alir Perancangan Antena

Tahap awal yang dilakukan dalam perancangan simulasi ini adalah menentukan substrat yang digunakan, kemudian menentukan dimensi dari *patch* yang diinginkan, lalu melakukan simulasi untuk menghasilkan frekuensi kerja yang ditujukan untuk aplikasi RFID (*Radio Frequency Identification*). Setiap tahapan yang dilakukan digambarkan dalam diagram alir pada Gambar 3.1



Gambar 3.1 Diagram Alir Perancangan Antena

3.3 Jenis Substrat yang Digunakan

Dalam melakukan perancangan antenna, pertama kali ditentukan jenis substrat yang akan digunakan. Pada skripsi ini digunakan substrat FR4 (evoksi) dengan ketebalan 3,2 mm dengan spesifikasi pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1. Spesifikasi Substrat yang Digunakan

Jenis Substrat	FR4 (evoksi)
Konstanta Dielektrik Relatif (ϵ_r)	4,4
Dielectric Loss Tangent ($\tan \delta$)	0,02
Ketebalan Substrat (h)	3,2 mm

3.4 Frekuensi Kerja Antena

Pada rancangan antenna ini, diinginkan mampu bekerja pada frekuensi 840-844 MHz, 950-955 MHz, 2,446-2,454 GHz. Hal ini berarti, frekuensi resonansinya adalah 840-842 MHz, 950-955 MHz, dan 2,446-2,454 GHz dengan frekuensi tengah 842 MHz, 953 MHz, dan 2,45 GHz. Frekuensi tengah resonansi ini, selanjutnya akan menjadi nilai parameter frekuensi dalam menentukan parameter-parameter lainnya seperti dimensi *patch* dan lebar saluran pencatu. Pada rentang frekuensi kerja tersebut, diharapkan antenna memiliki parameter $VSWR \leq 2$.

3.5 Teknik Pencatuan

Pencatuan yang digunakan pada antenna yang dirancang pada skripsi ini adalah menggunakan teknik pencatuan *Direct Microstrip Line* dengan *inset feed* dan *offset feed*. Dari teknik pencatuan ini diharapkan antenna memiliki karakteristik impedansi saluran adalah 50 Ohm. Pada awalnya digunakan PCAAD untuk menghasilkan dimensi dari pencatu agar mendapatkan impedansi 50 Ohm, namun untuk menghasilkan frekuensi kerja dari antenna yang diinginkan maka dilakukan pengaturan besarnya lebar pencatu dan panjang saluran pencatu. Pengaturan panjang dan lebar dari pencatu ini akan secara otomatis disesuaikan dengan impedansi *matching* 50 Ohm saat simulasi.

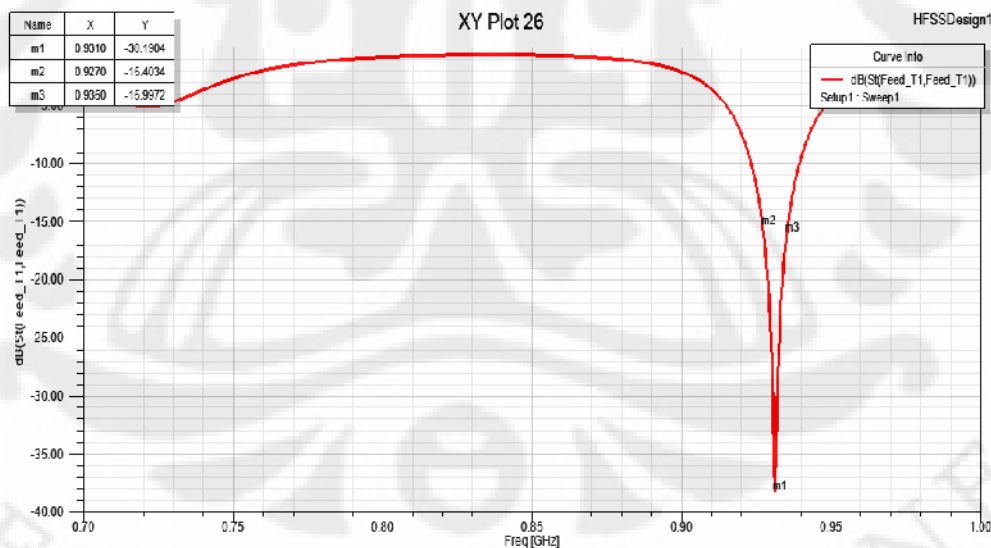
3.6 Perancangan Antena *Singleband*

3.6.1 Perancangan Dimensi Antena *Singleband*

Pada awalnya antena di desain pada frekuensi 924 MHz dengan teknik pencatuan *direct microstrip line*. Substrat yang digunakan adalah FR4 dengan karakteristik seperti tersebut pada sub bab sebelumnya. Setelah diketahui karakteristik dari substrat yang digunakan, selanjutnya dilakukan perancangan *patch* peradiasi antena mikrostrip dengan terlebih dahulu menghitung dimensi *patch* tersebut sesuai formula perhitungan antena *rectangular* pada bab 2. Dari perhitungan tersebut yang berdasarkan spesifikasi substrat yang akan digunakan, diperoleh panjang dan lebar *patch* masing-masing adalah 74,1 mm dan 98,7 mm.

3.6.2 Simulasi Antena

Pada tahap ini, hasil rancangan disimulasikan dengan perangkat lunak *HFSS v 11.1.1* Gambar 3.2 menunjukkan grafik *return loss* hasil simulasi awal yang merupakan hasil rancangan berdasarkan perhitungan teori ($W=74,1$ mm, $L=98,7$ mm)



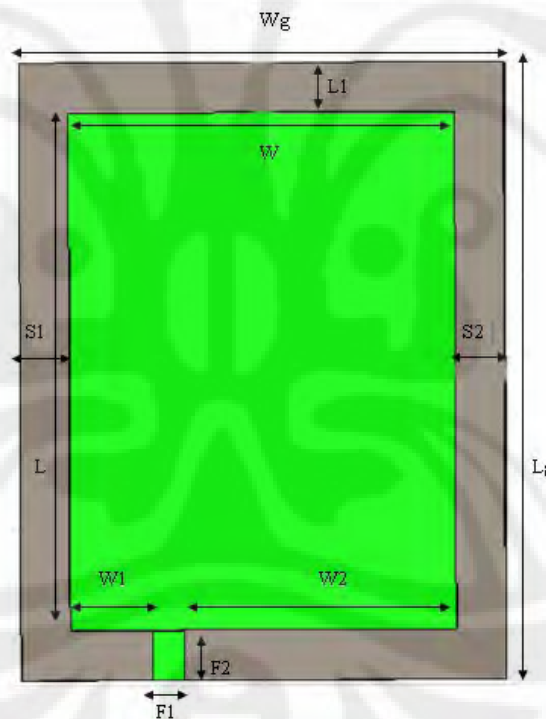
Gambar 3.2 Hasil Simulasi Awal Antena *Singleband*

Dari Gambar 3.2 dapat dilihat bahwa pada frekuensi kerja yang diinginkan bergeser dari 923 MHz ke frekuensi 931 MHz dengan nilai *return loss* yang diperoleh sebesar -38,194 dB. Hasil ini sedikit bergeser dari frekuensi yang

diharapkan yaitu 923 MHz. Hal tersebut dapat disebabkan oleh ketidaksesuaian antara perhitungan dimensi *patch* segiempat yang digunakan dengan teknik pencatutan *direct microstrip line*. Oleh karena itu, untuk mendapatkan rancangan yang optimal perlu dilakukan pengkarakterisasian antenna.

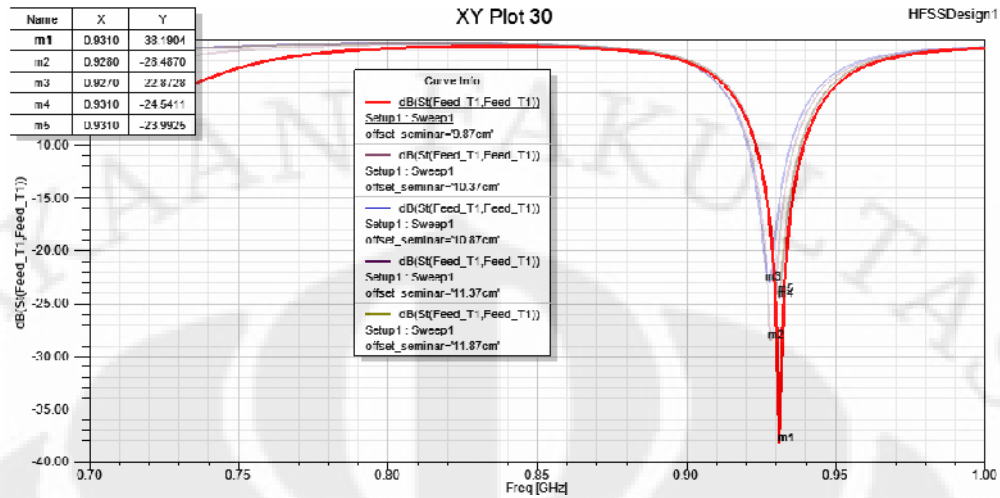
3.6.3. Karakterisasi Antena *Singleband*

Secara teori umum, untuk menggeser frekuensi kerja dari 923 MHz menjadi 931 MHz adalah dengan memperbesar dimensi *patch* antenna, karena dimensi antenna berbanding terbalik dengan frekuensi kerjanya. Ada dua dimensi yang akan di karakterisasi dari *patch*, yakni dengan mengkarakterisasi panjang *patch* (L) dan lebar dari *patch* (W). Gambar 3.3 merupakan dimensi antenna yang akan di karakterisasi.



Gambar 3.3 Dimensi *Patch* Karakterisasi

Gambar 3.4 memperlihatkan karakterisasi dari rancangan antenna dengan mengubah hanya panjang *patch* (L) saja sedangkan parameter lainnya tetap. Variasi panjang *patch* yang dibuat adalah mulai dari 98,7 mm hingga 118,7 mm dengan kenaikan 5 mm dan parameter yang tetap adalah lebar *patch* (W), yakni 74,1 mm.



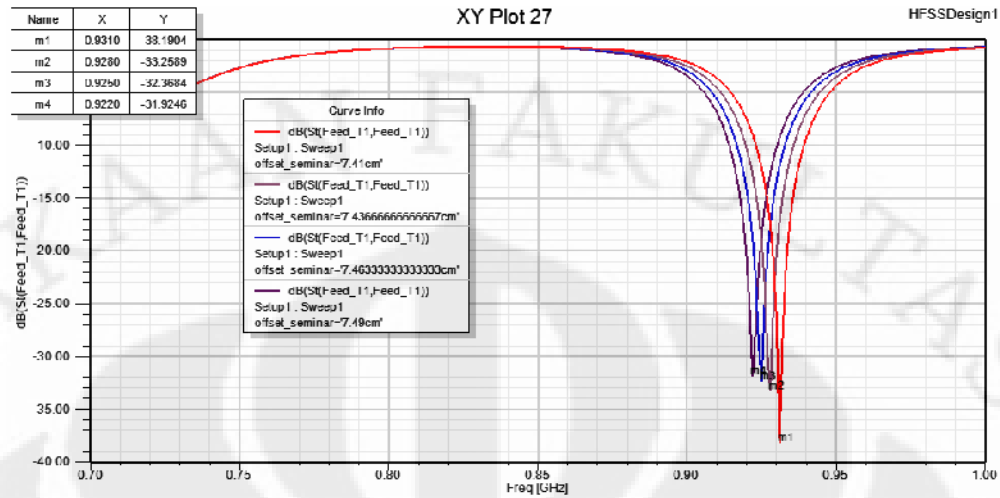
Gambar 3.4 Grafik *Return Loss* pada Karakterisasi Panjang *Patch* Antena *Singleband*

Dari grafik pada Gambar 3.4 dapat terlihat bahwa karakterisasi dengan melakukan karakterisasi pada panjang *patch* hanya mempengaruhi sedikit dari frekuensi resonansi yang terjadi. Dari 98,7 mm frekuensi seharusnya menurun ketika *patch* ditingkatkan ukurannya, Namun penurunan tersebut tidak terlalu drastis. *Matching impedance* sedikit mempengaruhi panjang *patch*, terlihat ketika *patch* ditambah ukurannya, *return loss* semakin meningkat. Tabel 3.2 berikut merupakan tabel karakterisasinya

Tabel 3.2 Pengaruh Perubahan Panjang *Patch* Antenna *Singleband*

Panjang <i>Patch</i> (cm)	Frekuensi Rendah (MHz)	Frekuensi Tinggi (MHz)	<i>Return loss</i> (dB)
9,87	924	939	-38,1904
10,37	921	936	-28,4870
10,87	920	934	-22,9487

Gambar 3.5 memperlihatkan sebuah pengkarakterisasian dari rancangan antenna dengan mengubah hanya ukuran lebar *patch* (W), sedangkan parameter lainnya tetap. Variasi lebar panjang *patch* (L) yang dibuat adalah mulai 74,1 mm hingga 74,9 mm dengan perubahan tiap 0,2 mm. Parameter yang tetap adalah: panjang *patch* (L=98,7mm) dan.



Gambar 3.5 Grafik *Return Loss* pada Karakterisasi Lebar Antena *Singleband*

Dari Gambar 3.5 tersebut dapat diamati bahwa dengan memperbesar lebar *patch* maka frekuensi kerja dari antenna menjadi lebih kecil, demikian pula untuk sebaliknya. Tabel 3.3 merupakan tabel karakterisasinya.

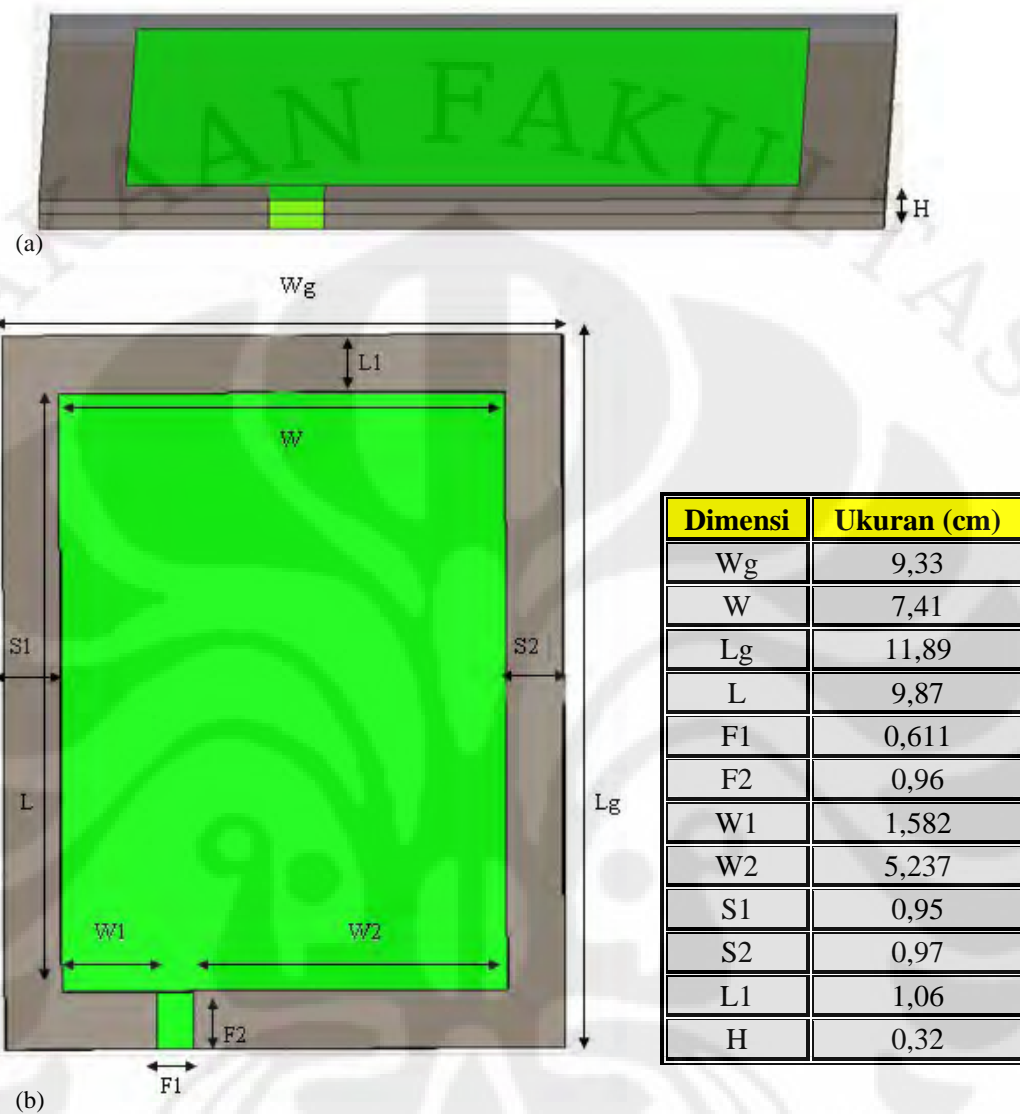
Tabel 3.3 Pengaruh Perubahan Lebar *Patch* Antena *Singleband*

Lebar <i>Patch</i> (cm)	Frekuensi Rendah (MHz)	Frekuensi Tinggi (MHz)	<i>Return loss</i> (dB)
7,41	924	939	-38,1904
7,43	920	935	-33,2589
7,46	917	932	-32,3684

Nilai optimum yang dicapai dengan perubahan tersebut akan saling terkait dengan nilai parameter lain, yaitu dengan kombinasi pengaturan antara dimensi *patch* dan lebar *patch*.

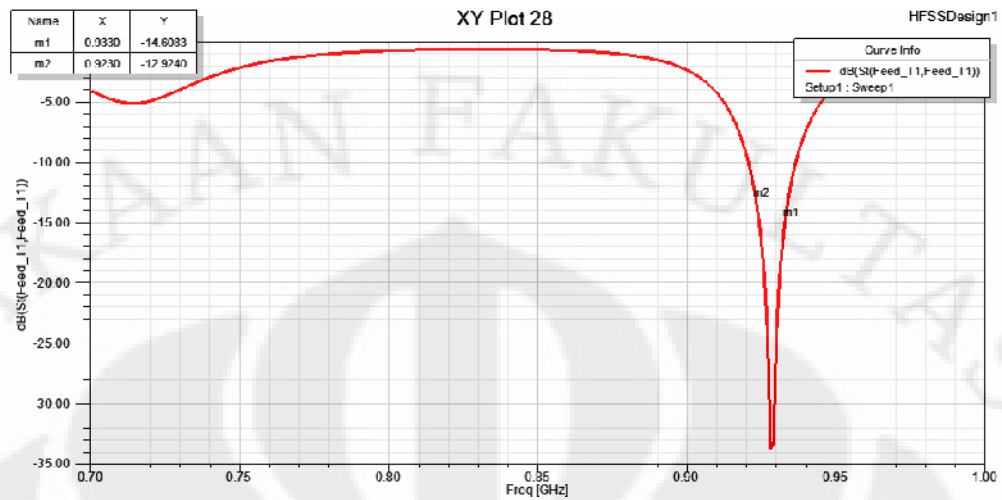
3.6.4. Hasil Simulasi Antena *Singleband*

Gambar 3.6 merupakan geometri hasil rancangan dari antenna setelah mengalami karakterisasi.

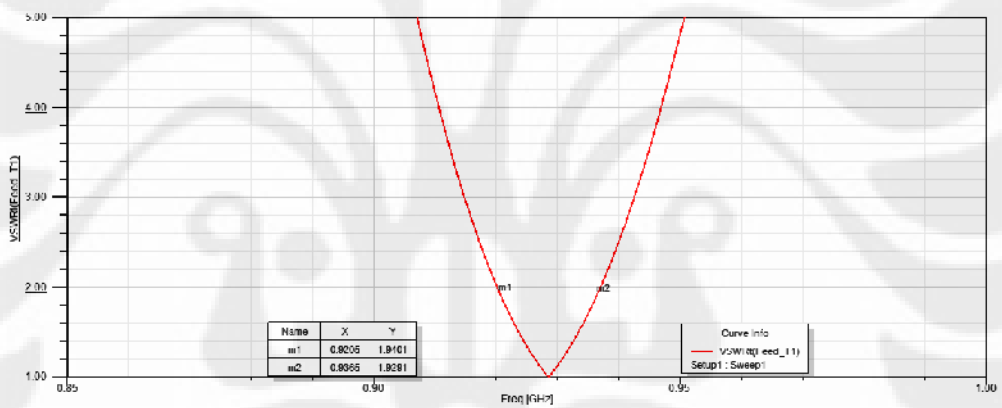


Gambar 3.6 Geometri Hasil Perancangan Antena *Singleband* (a) Samping (b) Atas

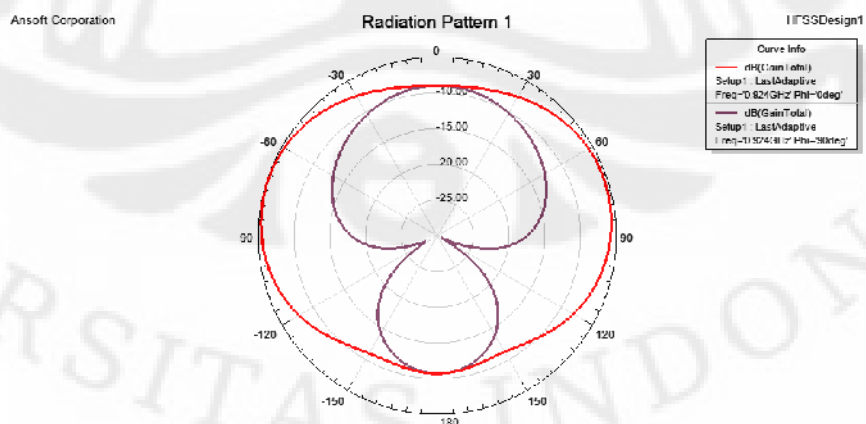
Dengan mengetahui beberapa karakteristik dari antena yang dirancang, maka dapat membantu mempermudah memperoleh rancangan yang optimal. Nilai *matching* akan diperoleh dengan karakterisasi letak saluran pencatu. Pengamatan pada parameter *return loss*, *VSWR*, dan pola radiasi dari hasil simulasi elemen tunggal yang diperoleh optimal diberikan pada Gambar 3.7, 3.8, dan 3.9. Hasil simulasi yang optimum ini didapatkan dengan melakukan karakterisasi terhadap kombinasi antara nilai parameter panjang *patch*, lebar *patch* dan dimensi saluran pencatu yang terlebih dahulu sudah dikarakterisasikan berdasar posisinya.



Gambar 3.7 Hasil Simulasi Akhir Return Loss Antenna Singleband



Gambar 3.8 Hasil Akhir Simulasi VSWR Antenna Singleband



Gambar 3.9 Hasil Akhir Simulasi Pola Radiasi Antenna Singleband

Dari hasil simulasi akhir didapatkan bahwa untuk antenna *rectangular* ini mampu menghasilkan frekuensi resonansi 923 MHz – 925 MHz untuk sistem RFID dengan *return loss* dibawah -9,54 dB. Grafik VSWR menunjukkan bahwa untuk nilai VSWR < 2 dihasilkan rentang frekuensi 921 MHz – 936 MHz, rentang ini mencakup frekuensi kerja RFID pada 923 MHz – 925 MHz. Sedangkan nilai dari *gain* bernilai negatif karena daya yang dikeluarkan antenna lebih kecil dibanding daya yang diterima antenna.

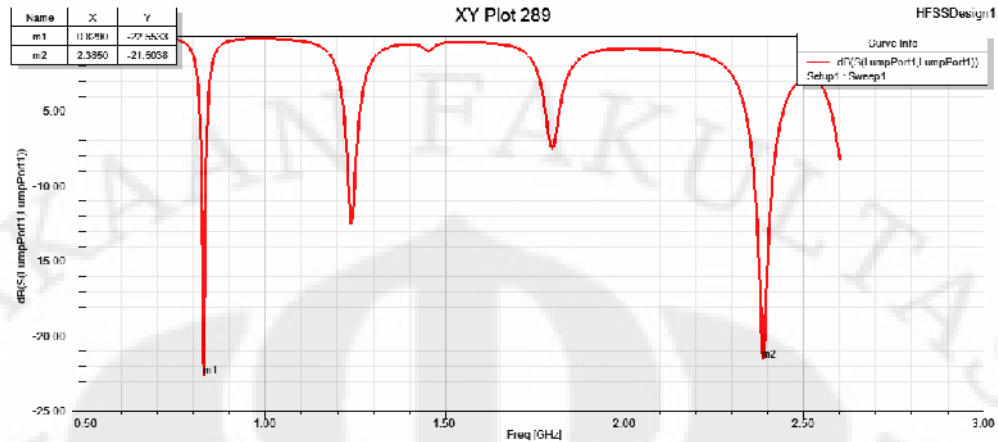
3.7 Perancangan Antena *Dualband*

3.7.1 Perancangan Dimensi Antena *Dualband*

Salah satu cara untuk mendapatkan antenna *multiband* adalah dengan teknik *Reactively-loaded multi-frequency antenna*. Pada jenis teknik ini dilakukan simulasi dengan menggunakan teknik *feeding Direct Microstrip Line* dengan *inset feed* dan *offset feed*, dari desain yang dilakukan terjadi penurunan frekuensi resonansi sekitar 300 MHz. Untuk mendapatkan frekuensi kerja yang diinginkan, maka antenna dirancang kembali dengan dimensi yang baru untuk frekuensi 1,25 GHz, sehingga ketika terjadi penurunan 300 MHz akibat teknik *feeding* yang dilakukan maka akan didapatkan frekuensi kerja 923 MHz - 926 MHz yang diinginkan. Dari perhitungan, diperoleh panjang dan lebar *patch* masing-masing adalah 54,5 mm dan 73,02 mm. Dimensi *patch* ini kemudian disesuaikan agar mendapat frekuensi *multiband* yang diinginkan.

3.7.2 Simulasi Antena

Pada tahap ini, hasil rancangan disimulasikan dengan perangkat lunak *HFSS v 11.1.1* Gambar 3.9 menunjukkan grafik *return loss* hasil simulasi awal setelah digunakan teknik *Reactively-loaded multi-frequency antenna* yang menggunakan teknik *feeding Direct Microstrip Line* dengan *inset feed* dan *offset feed*.

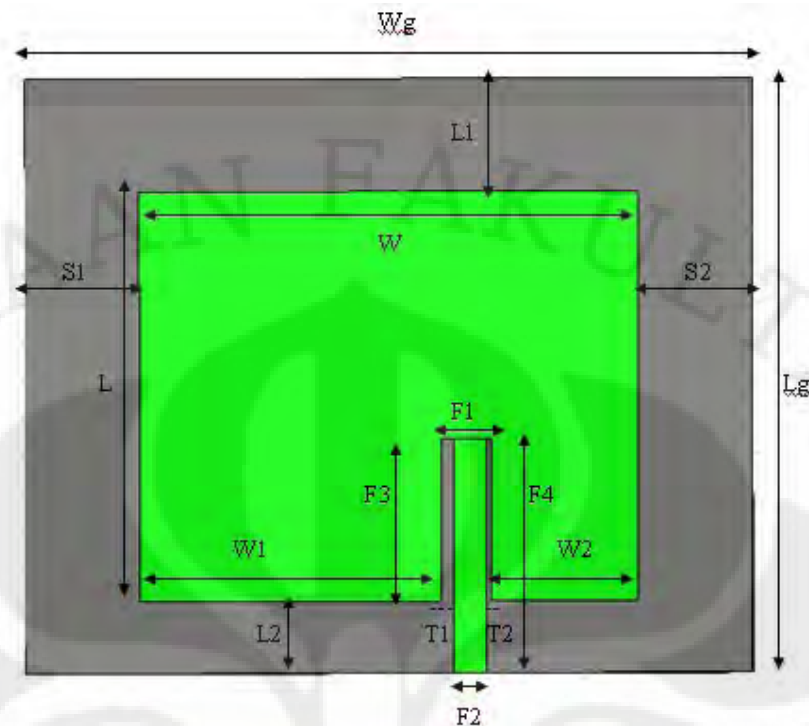


Gambar 3.10 Hasil Simulasi Awal *Return Loss* Antena *Dualband*

Dari Gambar 3.10 terlihat ada sedikit pergeseran yang terjadi untuk mendapatkan frekuensi kerja 924 MHz dan 2,45 GHz pada nilai *return loss* dibawah -10 dB. Hal tersebut dapat disebabkan oleh ketidaksesuaian antara perhitungan dimensi *patch* segiempat setelah dipergunakan teknik *Reactively-loaded multi-frequency antenna* untuk menghasilkan antena *multiband*.. Oleh karena itu, untuk mendapatkan rancangan yang optimal perlu dilakukan pengkarakterisasian antena.

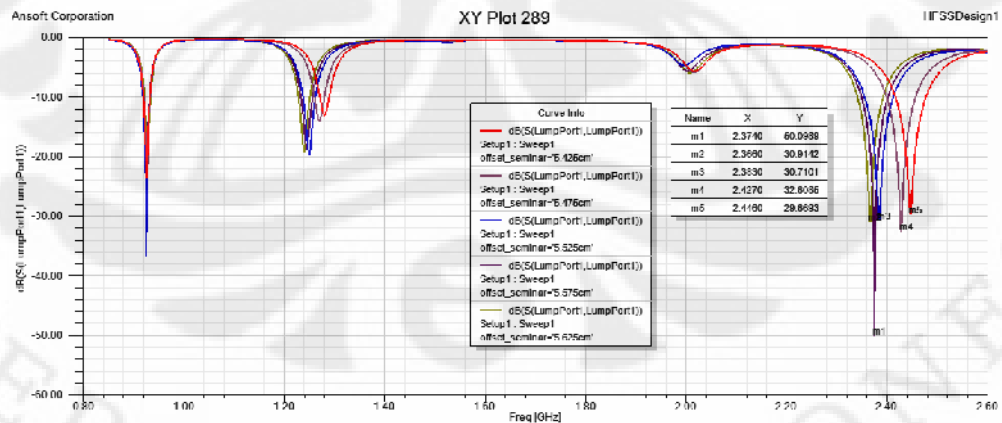
3.7.3 Karakterisasi Antena *Dualband*

Sama halnya dengan antena mikrostrip yang lain, secara umum untuk menggeser frekuensi kerja menjadi lebih besar adalah dengan mengecilkan dimensi *patch*, dan untuk memperkecilnya adalah dengan memperbesar dimensinya. Pada antena *dualband* ini akan dikarakterisasi berdasar dimensi *patch*. Sama dengan pada *singleband*, yang akan dikarakterisasi adalah panjang *patch* (L) dan lebar dari *patch* (W). Gambar 3.11 merupakan dimensi dari antena yang akan di karakterisasi.



Gambar 3.11 Dmensi dari Antena

Gambar 3.12 memperlihatkan karakterisasi dari rancangan antena dengan mengubah hanya panjang *patch* (L) saja sedangkan parameter lainnya tetap. Variasi panjang *patch* yang dibuat adalah mulai dari 54,25 mm hingga 56,25 mm dengan kenaikan 0,5 mm dan parameter yang tetap adalah lebar *patch* (W).

Gambar 3.12 Grafik *Return loss* pada Karakterisasi Panjang *Patch* Antena Dualband

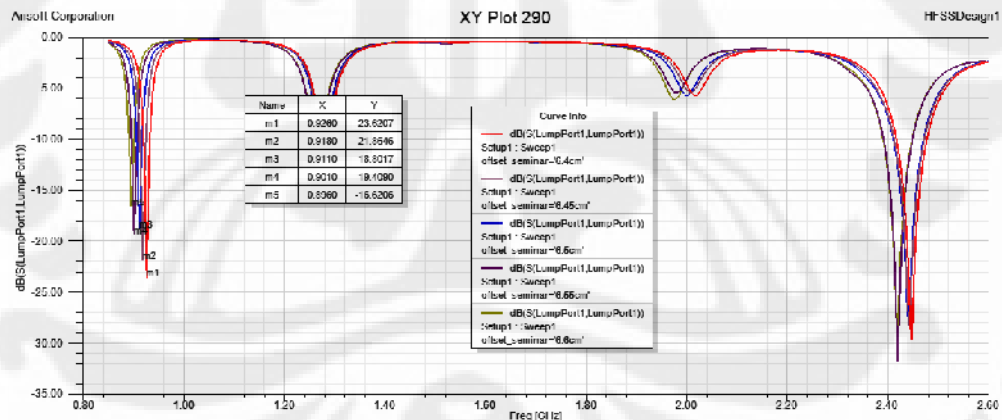
Dari grafik pada Gambar 3.12 dapat terlihat bahwa karakterisasi dengan melakukan karakterisasi pada panjang *patch* akan sangat mempengaruhi

frekuensi resonansi dari 2,45 GHz. Semakin panjang *patch* yang dibentuk, maka frekuensi 2,45 GHz akan semakin mengecil, begitu pula sebaliknya. Perubahan panjang *patch* ini tidak begitu mempengaruhi frekuensi resonansi pada posisi 931 MHz. Tabel 3.4 merupakan tabel karakterisasinya.

Tabel 3.4 Pengaruh Perubahan Panjang *Patch* Antena *Dualband*

Panjang Patch (cm)	924 MHz			2450 MHz		
	Frekuensi Rendah (MHz)	Frekuensi Tinggi (MHz)	Return Loss (dB)	Frekuensi Rendah (MHz)	Frekuensi Tinggi (MHz)	Return Loss (dB)
5,425	920	932	-23,6207	2417	2476	-29,6693
5,475	921	932	-22,3177	2401	2454	-32,6085
5,525	919	932	-36,6446	2357	2410	-30,4860

Gambar 3.13 memperlihatkan sebuah pengkarakterisasian dari rancangan antenna dengan mengubah hanya ukuran lebar *patch*, sedangkan parameter lainnya tetap. Variasi lebar *patch* (W) yang dibuat adalah sebesar 10 mm, dengan perubahan setiap 0,5 mm. Parameter yang tetap adalah: panjang *patch*.



Gambar 3.13 Grafik *Return Loss* pada Karakterisasi Lebar *Patch* Antena *Dualband*

Dari Gambar 3.13 tersebut dapat diamati bahwa dengan memperbesar lebar *patch* maka frekuensi kerja 931 MHz akan berubah, namun tidak begitu mempengaruhi untuk frekuensi 2.45 GHz. Dari karakterisasi didapatkan ketika lebar *patch* antenna menjadi lebih kecil, maka frekuensi akan semakin besar, demikian pula untuk sebaliknya. Tabel 3.5 merupakan tabel karakterisasinya

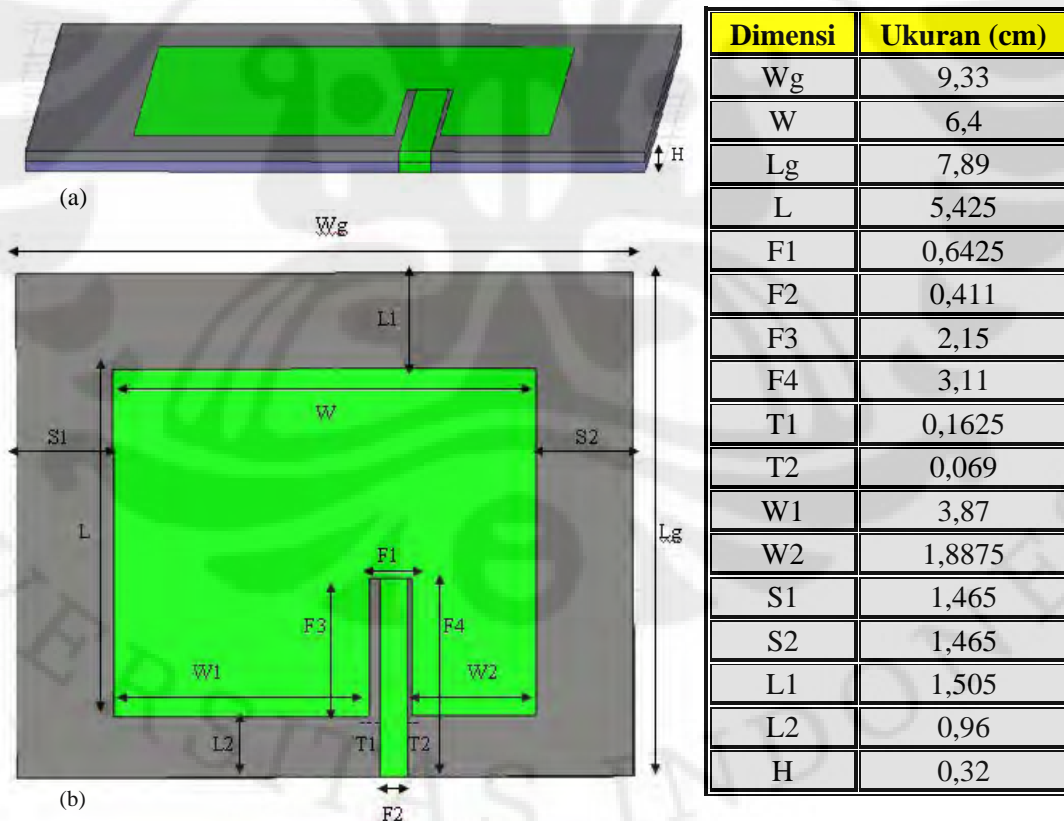
Tabel 3.5 Pengaruh Perubahan Lebar Patch Antena Dualband

Lebar Patch (cm)	924 MHz			2450 MHz		
	Frekuensi Rendah (MHz)	Frekuensi Tinggi (MHz)	Return Loss (dB)	Frekuensi Rendah (MHz)	Frekuensi Tinggi (MHz)	Return Loss (dB)
6,40	920	932	-23,6207	2417	2476	-28,2981
6,45	913	924	-21,8646	2414	2489	-32,6085
6,50	906	916	-18,8017	2412	2468	-27,9172

Dari kedua karakterisasi di atas, Nilai optimum yang dicapai akan sangat mempengaruhi dengan merubah dimensi *patch* yang dibentuk. Dimana frekuensi 2,45 GHz sangat dipengaruhi oleh panjang *patch*, dan frekuensi 924 MHz akan sangat dipengaruhi oleh lebar *patch*.

3.7.4 Hasil Simulasi Antena Dualband

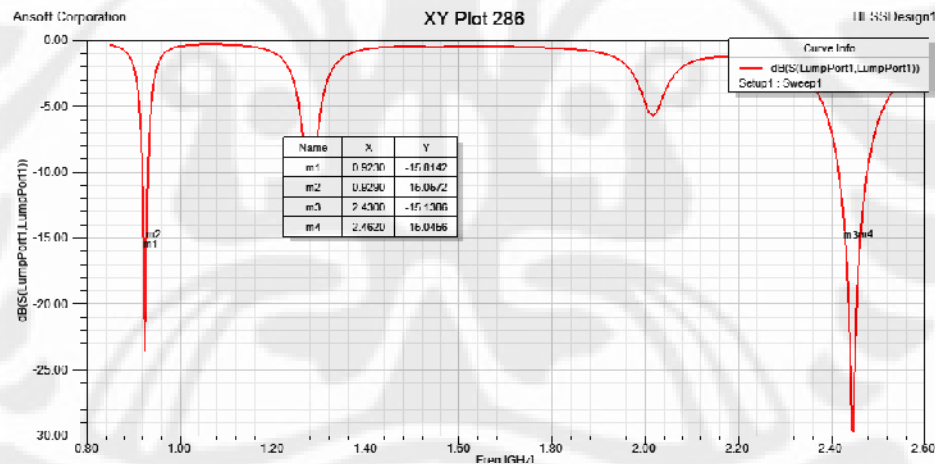
Berikut geometri hasil rancangan setelah mengalami karakterisasi.



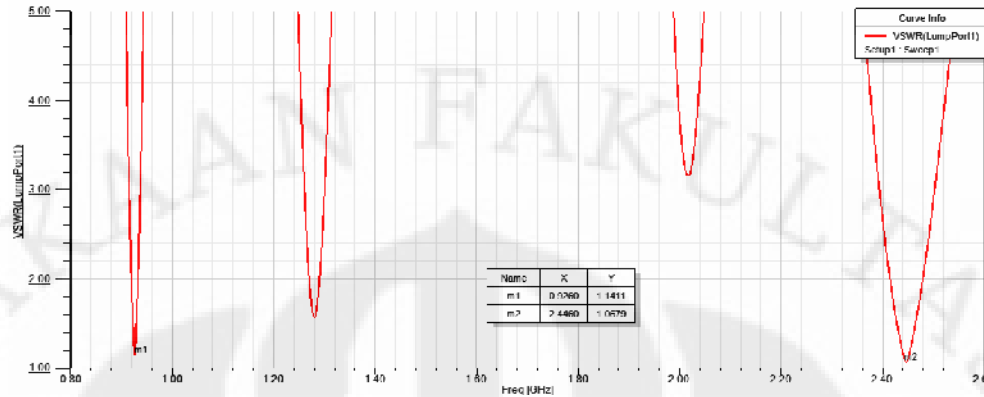
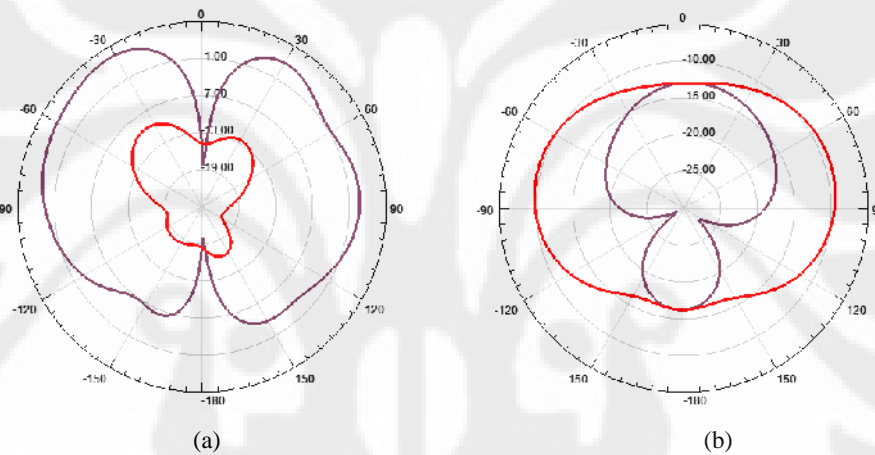
Gambar 3.14 Geometri Hasil Perancangan Antena Dualband (a) Samping (b) Atas

Dengan mengetahui beberapa karakteristik dari antenna yang dirancang, maka dapat membantu mempermudah memperoleh rancangan yang optimal. Pengamatan pada parameter *return loss*, VSWR, dan pola radiasi dari hasil simulasi elemen tunggal yang diperoleh optimal diberikan pada Gambar 3.15, 3.16, dan 3.17. Hasil simulasi yang optimum ini didapatkan dengan melakukan karakterisasi terhadap kombinasi antara nilai parameter dimensi *patch* dan panjang saluran pencatu.

Dari hasil simulasi akhir didapatkan bahwa untuk antenna ini mampu menghasilkan frekuensi resonansi 923 MHz – 925 MHz dan 2,446 GHz – 2,454 GHz untuk sistem RFID dengan *return loss* dibawah -9,54 dB. Grafik VSWR menunjukkan bahwa untuk nilai VSWR < 2 dihasilkan rentang frekuensi 920 MHz – 932 MHz dan 2,415 GHz – 2,477 GHz. Dengan ini maka antenna ini merupakan antenna *dualband* yang bekerja pada dua buah frekuensi kerja sistem RFID.



Gambar 3.15 Hasil Simulasi *Return Loss* Antena *Dualband*

Gambar 3.16 Hasil Simulasi VSWR Antena *Dualband*Gambar 3.17 Hasil Simulasi Pola Radiasi Antena *Dualband* (a) 924 MHz (b) 2,45 GHz

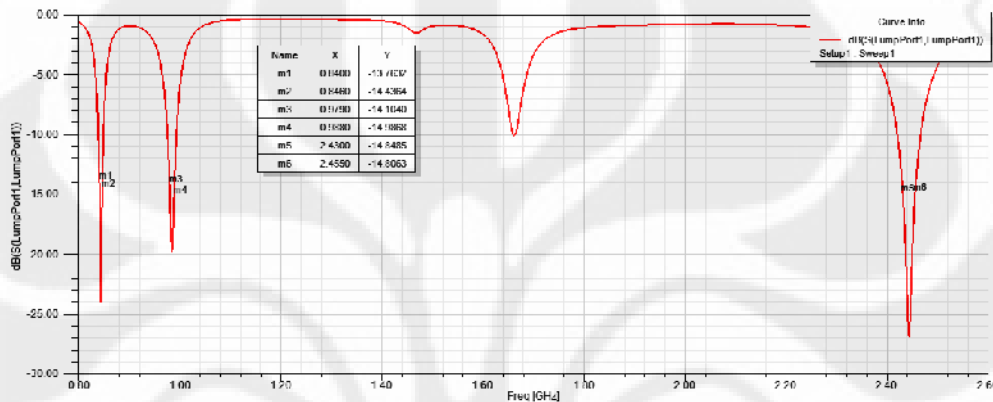
3.7 Perancangan Antena *Multiband*

3.7.1 Perancangan Dimensi Antena *Multiband*

Untuk mendapatkan frekuensi resonansi ke tiga ini dilakukan dengan teknik *slot*. Sebuah *slot rectangular* tipis di masukan ke dalam desain antena untuk memunculkan frekuensi resonansi di 842 MHz. Namun setelah antena mikrostrip ini di *slot*, muncul sebuah frekuensi resonansi pada frekuensi 1200 MHz. Dengan karakterisasi posisi *slot* dan lebar *slot*, frekuensi resonansi tersebut semakin menurun, hingga sampai pada frekuensi resonansi 924 MHz. Hingga akibatnya frekuensi resonansi 924 MHz yang awalnya sudah terbentuk, bergeser hingga frekuensi 842 MHz.

3.7.2 Simulasi Antena

Pada tahap ini, hasil rancangan disimulasikan dengan perangkat lunak HFSS v 11.1.1 Gambar 3.18 menunjukkan grafik *return loss* hasil simulasi awal setelah digunakan teknik *Reactively-loaded multi-frequency antenna* yang menggunakan teknik *feeding Direct Microstrip Line* dengan *inset feed* dan *offset feed* yang telah ditambahkan *slot*.

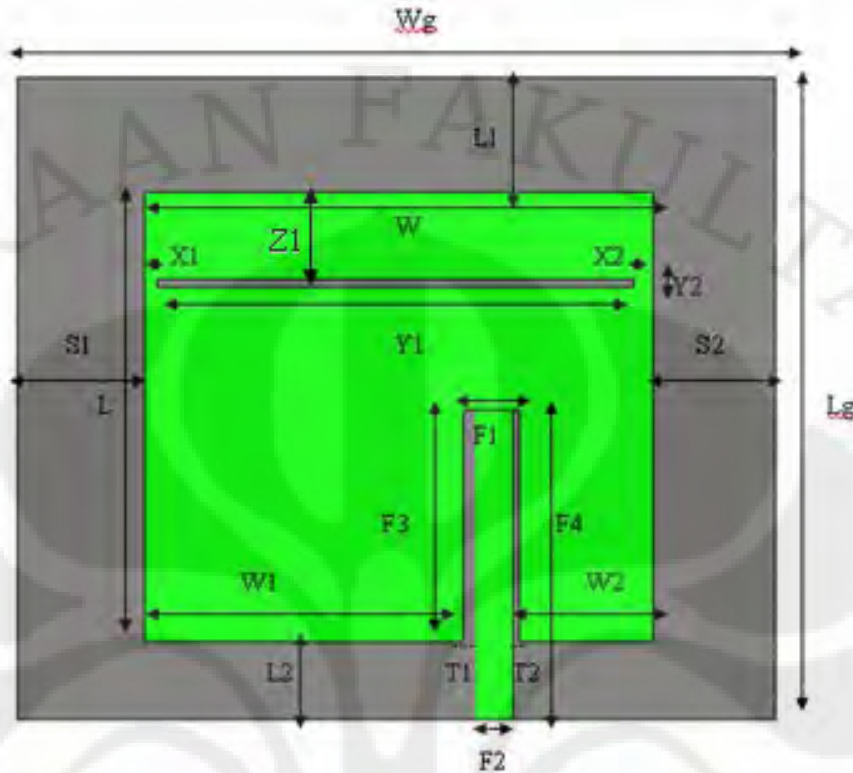


Gambar 3.18 Hasil Simulasi Swal *Return Loss* Antena *Multiband*

Dari grafik *return loss* pada Gambar 3.18 tersebut diatas, terjadi penambahan frekuensi resonansi pada frekuensi 979 MHz – 988 MHz. Frekuensi yang terbentuk ini membuat pergeseran pada frekuensi 923 MHz – 929 MHz yang sudah terbentuk sebelumnya menjadi frekuensi 840 MHz – 846 MHz. Untuk kemudian dilakukan karakterisasi agar terjadi pergeseran pada frekuensi 979 MHz – 988 MHz menjadi frekuensi 950 MHz – 955 MHz, hingga akhirnya terbentuk antena *multiband* untuk aplikasi RFID pada frekuensi 842 MHz, 953 MHz, dan 2,45 GHz.

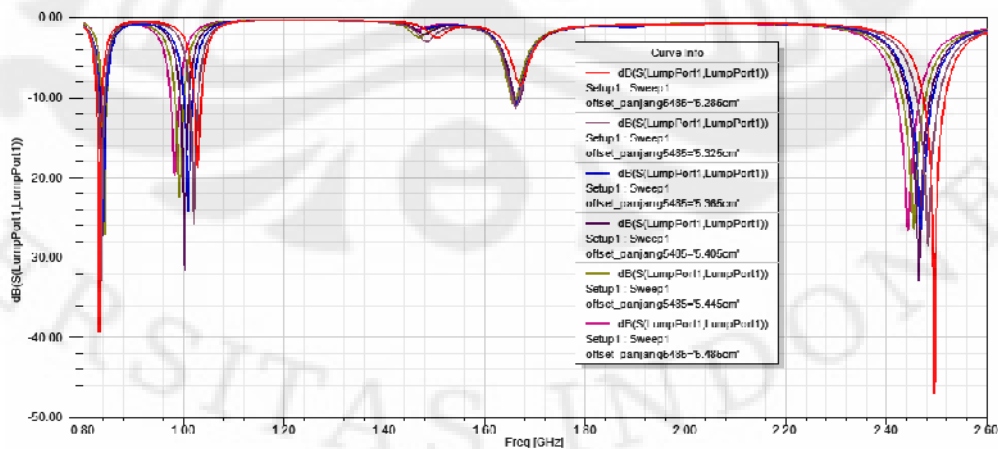
3.7.3 Karakterisasi Antena *Multiband*

Karakterisasi antena *multiband* ini akan dilakukan untuk panjang *patch* (L), lebar *patch* (W), panjang *slot* (S2), lebar *slot* (S1) dan posisi *slot*. Karakterisasi ini dilakukan agar terbentuk frekuensi resonansi yang sesuai dengan frekuensi kerja pada RFID. Gambar 3.19 merupakan dimensi dari antena perancangan.



Gambar 3.19 Dimensi dari Antena *Multiband*

Gambar 3.20 memperlihatkan karakterisasi dari rancangan antenna dengan mengubah hanya panjang *patch* (L) saja sedangkan parameter lainnya tetap. Variasi panjang *patch* yang dibuat adalah mulai dari 52,85 mm hingga 54,85 mm dengan kenaikan 0.4 mm, dengan parameter lain tetap.



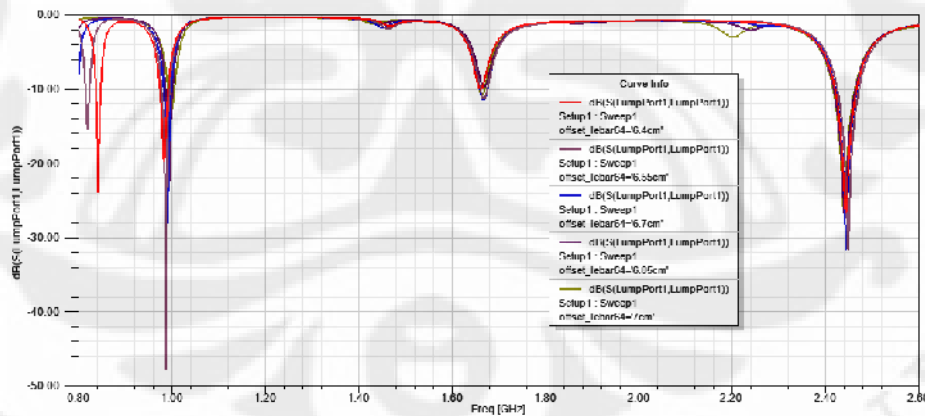
Gambar 3.20 Grafik *Return Loss* pada Karakterisasi Panjang *Patch* Antena *Multiband*

Dari Gambar 3.20 dapat terlihat bahwa dengan karakterisasi pada panjang *patch* akan sangat mempengaruhi frekuensi resonansi dari 980 MHz serta frekuensi resonansi 2,45 GHz. Semakin panjang *patch* yang dibentuk, maka frekuensi 980 MHz dan 2,45 GHz akan cenderung semakin mengecil, begitu pula sebaliknya. Perubahan panjang *patch* ini tidak begitu mempengaruhi frekuensi resonansi pada posisi 842 MHz. Tabel 3.6 merupakan tabel karakterisasinya.

Tabel 3.6 Pengaruh Perubahan Panjang *Patch* Antena *Multiband*

Panjang Patch (cm)	842 MHz			953 MHz			2450 MHz		
	Frekuensi Rendah (MHz)	Frekuensi Tinggi (MHz)	Return Loss (dB)	Frekuensi Rendah (MHz)	Frekuensi Tinggi (MHz)	Return Loss (dB)	Frekuensi Rendah (MHz)	Frekuensi Tinggi (MHz)	Return Loss (dB)
5,285	828	838	-39,1899	1023	036	-18,6983	2476	254	-49,9311
5,325	832	843	-32,7973	1014	030	-25,9265	2461	2503	-28,5347
5,365	835	843	-25,5401	1002	019	-24,2468	2447	2490	-26,3520

Gambar 3.21 memperlihatkan sebuah pengkarakterisasian dari rancangan antenna dengan mengubah hanya ukuran lebar *patch*, sedangkan parameter lainnya tetap. Variasi lebar *patch* (W) yang dibuat adalah 6 mm dengan perubahan tiap 1.5 mm.



Gambar 3.21 Grafik *Return Loss* pada Karakterisasi Lebar *Patch* Antena *Multiband*

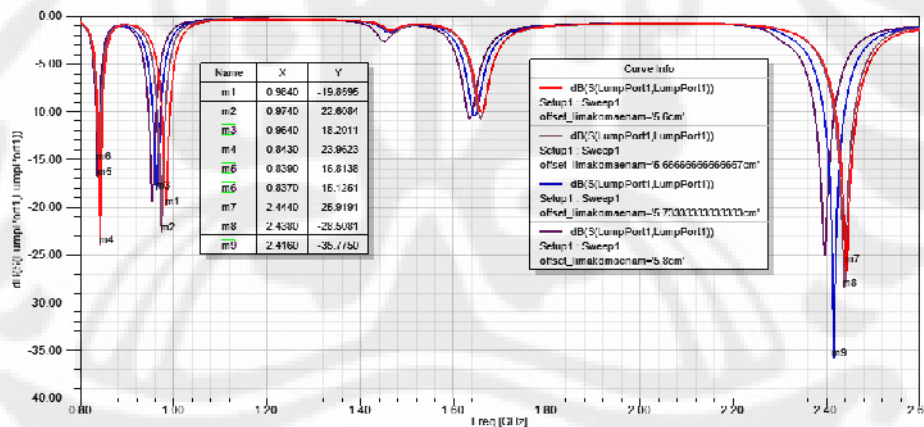
Dari Gambar 3.21 tersebut dapat diamati bahwa dengan memperbesar lebar *patch* maka frekuensi kerja 842 MHz akan berubah, namun tidak begitu mempengaruhi untuk frekuensi 980 MHz dan 2,45 GHz. Dari karakterisasi

didapatkan ketika lebar *patch* antenna menjadi lebih kecil, maka frekuensi akan semakin besar, demikian pula untuk sebaliknya. Tabel 3.7 merupakan tabel karakterisasinya.

Tabel 3.7 Pengaruh Perubahan Lebar *Patch* Antena *Multiband*

Lebar Patch (cm)	842 MHz			953 MHz			2450 MHz		
	Frekuensi Rendah (MHz)	Frekuensi Tinggi (MHz)	Return Loss (dB)	Frekuensi Rendah (MHz)	Frekuensi Tinggi (MHz)	Return Loss (dB)	Frekuensi Rendah (MHz)	Frekuensi Tinggi (MHz)	Return Loss (dB)
6,4	839	848	-23,9623	975	993	-19,8595	2421	2465	-26,7131
6,55	816	824	-15,3695	979	995	-47,7243	2426	2470	-31,7572
6,7	-	810	-	984	999	-28,0762	2423	2464	-31,7213

Gambar 3.22 memperlihatkan sebuah pengkarakterisasian dari rancangan antenna dengan mengubah hanya ukuran panjang *slot* (S_2) saja, sedangkan parameter lainnya tetap. Variasi panjang *slot* yang dibuat adalah 2 mm dengan perubahan tiap 0,7 mm.



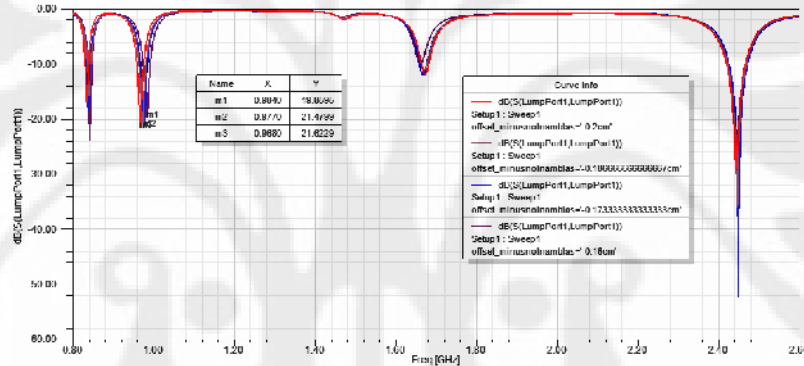
Gambar 3.22 Grafik *Return Loss* pada Karakterisasi Panjang *Slot* Antena *Multiband*

Dari gambar 3.22 diatas dapat diketahui bahwa perubahan panjang pada *slot* akan mempengaruhi frekuensi resonansi pada frekuensi 980 MHz dan 2,45 GHz, sedang pada frekuensi 840 tidak terlalu berpengaruh. Tabel 3.8 merupakan tabel karakterisasinya.

Tabel 3.8 Pengaruh Perubahan Panjang *Slot* Antena *Multiband*

Panjang slot (cm)	842 MHz			953 MHz		Return Loss (dB)	2450 MHz		
	Frekuensi Rendah (MHz)	Frekuensi Tinggi (MHz)	Return Loss (dB)	Frekuensi Rendah (MHz)	Frekuensi Tinggi (MHz)		Frekuensi Rendah (MHz)	Frekuensi Tinggi (MHz)	Return Loss (dB)
5,6	838	848	-23,9623	975	992	-19,8505	2421	2565	-26,7131
5,67	837	845	-15,6120	966	982	-22,6084	2418	2459	-28,5031
5,73	838	846	-16,8246	956	972	-18,2011	2395	2438	-35,7750

Gambar 3.23 memperlihatkan sebuah pengkarakterisasian dari rancangan antenna dengan mengubah hanya ukuran lebar *slot* saja (S1), sedangkan parameter lainnya tetap. Variasi lebar *slot* (S1) yang dibuat adalah 0.4 mm dengan perubahan tiap 0,1 mm



Gambar 3.23 Grafik *Return Loss* pada Karakterisasi Lebar *Slot* Antena *Multiband*

Dari Gambar 3.23 diatas dapat diketahui bahwa perubahan lebar pada *slot* akan mempengaruhi frekuensi resonansi pada frekuensi 980 MHz, sedang pada frekuensi 840 MHz dan 2,45 GHz tidak terlalu berpengaruh. Tabel 3.9 merupakan tabel karakterisasinya.

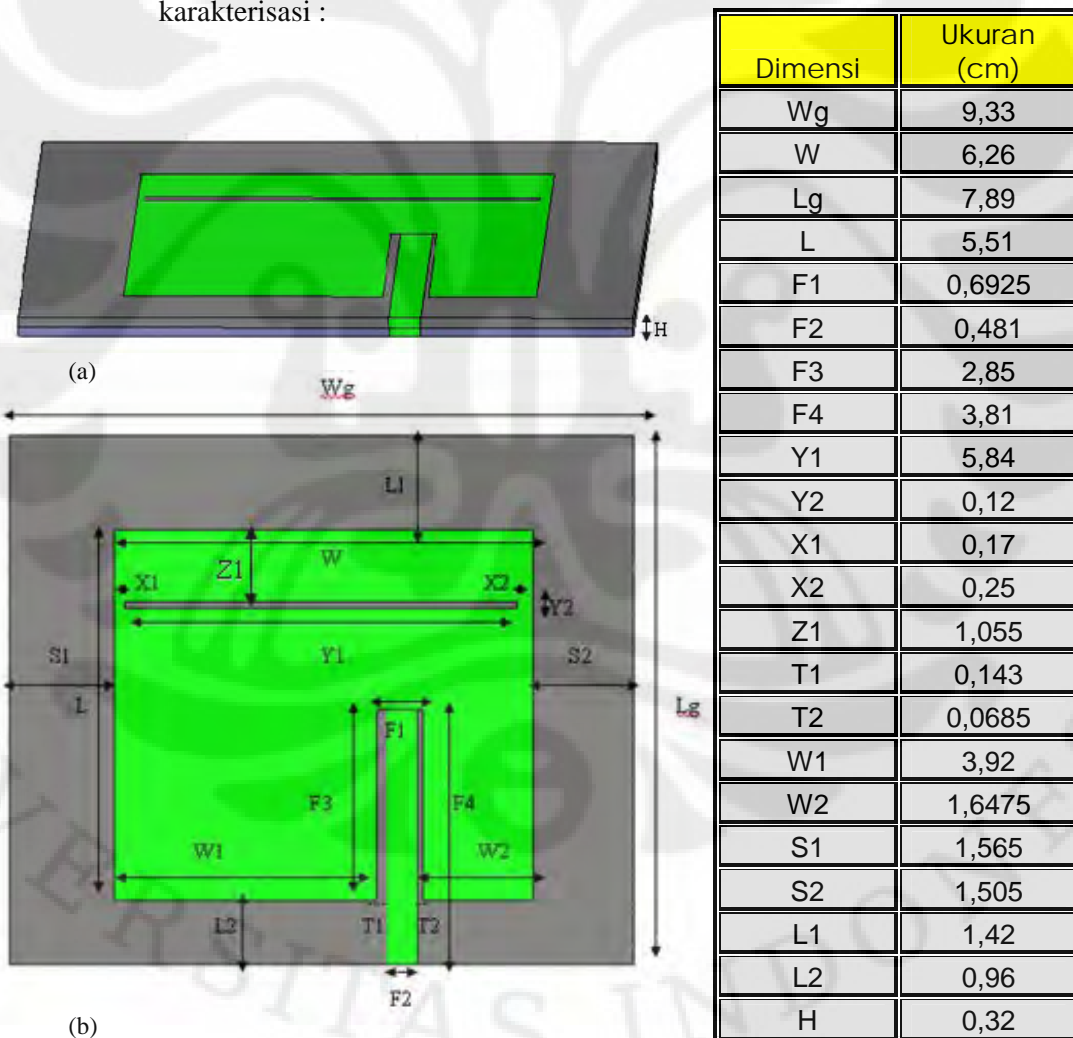
Tabel 3.9 Pengaruh Perubahan Lebar *Slot* Antena *Multiband*

Lebar slot (cm)	842 MHz			953 MHz		Return Loss (dB)	2450 MHz		
	Frekuensi Rendah (MHz)	Frekuensi Tinggi (MHz)	Return Loss (dB)	Frekuensi Rendah (MHz)	Frekuensi Tinggi (MHz)		Frekuensi Rendah (MHz)	Frekuensi Tinggi (MHz)	Return Loss (dB)
0,20	832	840	-17,0130	960	976	-21,6229	2421	2563	-28,9862
0,18	837	846	-15,7155	965	981	-20,5450	2425	2466	-36,0512
0,17	834	844	-18,6596	969	985	-21,4799	2427	2470	-52,428

Dari semua karakterisasi di atas, nilai optimum yang dicapai akan sangat dipengaruhi dengan perubahan dimensi *patch* yang dibentuk, lebar dan panjang dari *slot*, serta karakterisasi pada posisi saluran pencatu untuk mendapatkan kondisi yang *matching*. Dimana frekuensi 842 MHz sangat dipengaruhi oleh lebar *patch*, frekuensi 980 MHz dan 2,45 GHz akan sangat dipengaruhi oleh panjang *patch* serta panjang dari *slot*, serta perubahan pada lebar *slot* akan mempengaruhi frekuensi 980 MHz..

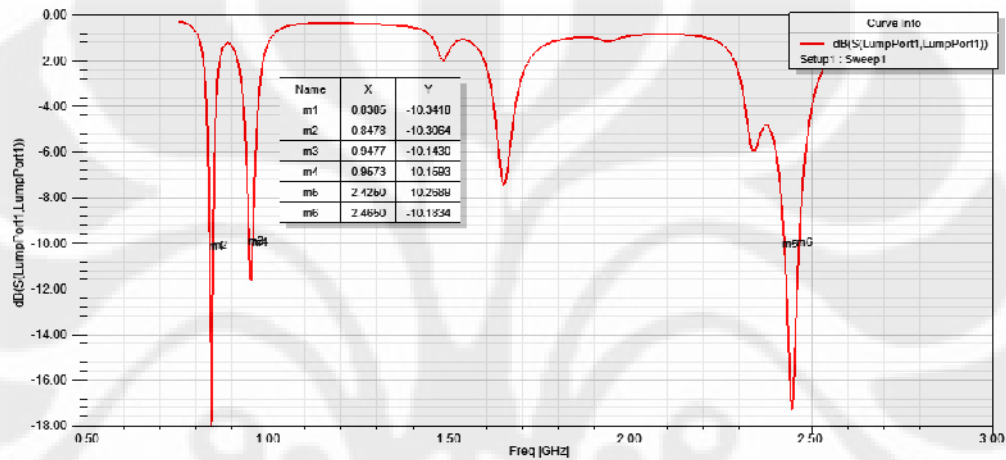
3.7.4 Hasil Simulasi Antena *Multiband*

Gambar 3.24 merupakan geometri hasil rancangan setelah mengalami karakterisasi :

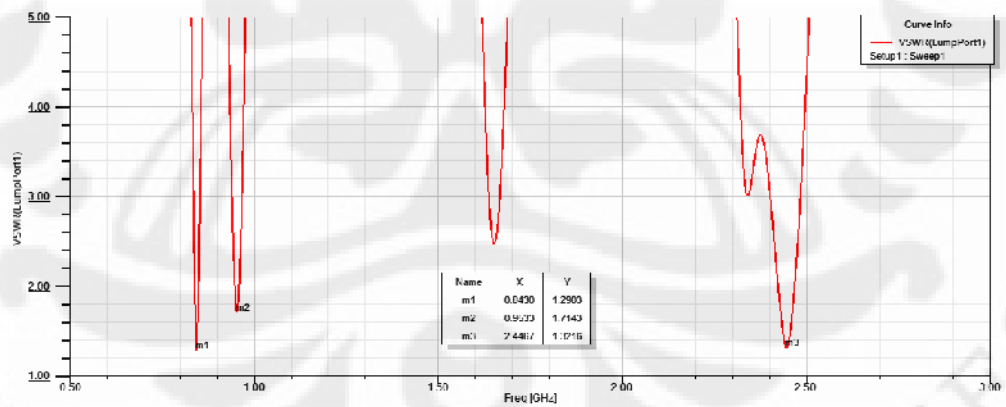


Gambar 3.24 Geometri Hasil Perancangan Antena *Multiband* (a) Samping (b) Atas

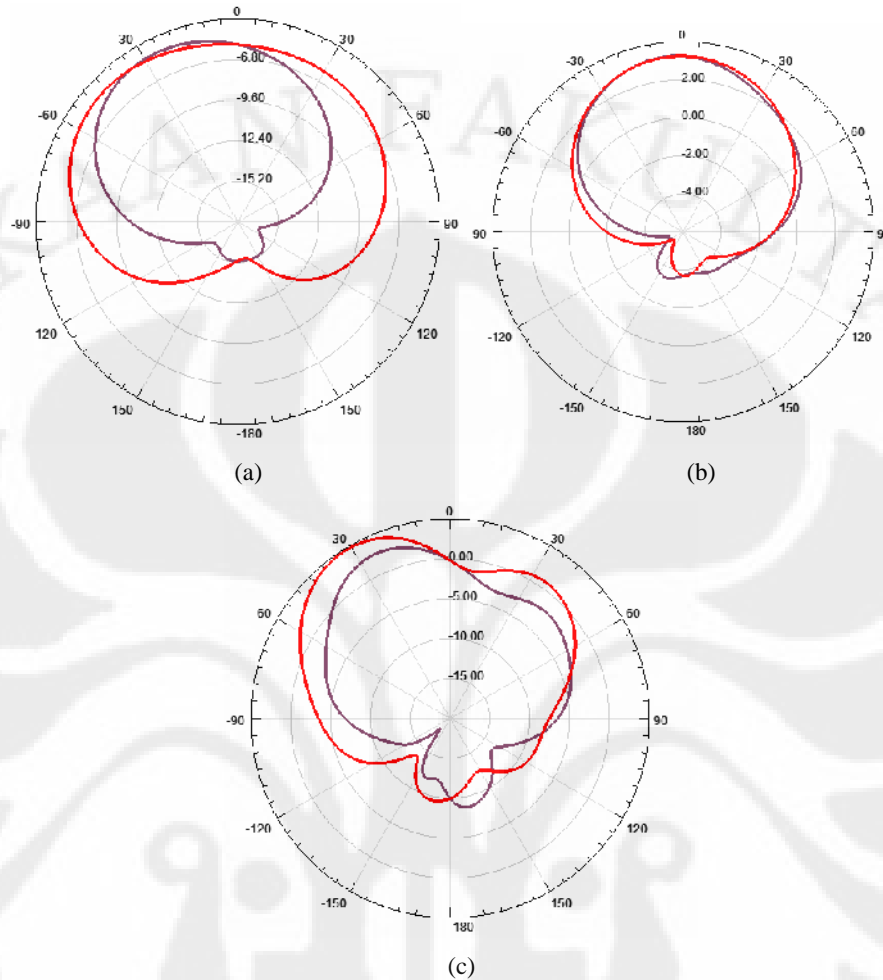
Dengan mengetahui beberapa karakteristik dari antenna yang dirancang, maka dapat membantu mempermudah memperoleh rancangan yang optimal. Pengamatan pada parameter *return loss*, *VSWR*, dan pola radiasi dari hasil simulasi elemen tunggal yang diperoleh optimal diberikan pada Gambar 3.25, 3.26, dan 3.27. Hasil simulasi yang optimum ini didapatkan dengan melakukan karakterisasi terhadap kombinasi antara nilai parameter dimensi *patch*, dimensi dan posisi *slot*, serta panjang dan posisi saluran pencatu.



Gambar 3.25 Hasil Simulasi *Return Loss* Antena *Multiband*



Gambar 3.26 Hasil Simulasi *VSWR* Antena *Multiband*



Gambar 3.27 Hasil Simulasi Pola Radiasi Antena *Multiband* (a)842 MHz (b)953 MHz (c)2,45GHz

Dari hasil simulasi akhir didapatkan bahwa untuk antenna ini mampu menghasilkan frekuensi resonansi 840 MHz – 844 MHz (Standard RFID China), 950 MHz – 955 MHz (Standard RFID Jepang), dan 2,446 GHz – 2,454 GHz (Eropa) dengan *return loss* dibawah -9,54 dB. Grafik VSWR menunjukan bahwa untuk nilai VSWR < 2 dihasilkan rentang frekuensi 838 MHz – 847 MHz, 948 MHz – 957 MHz dan 2,428 GHz – 2,465 GHz. Dengan ini maka antenna ini merupakan antenna *multiband* yang bekerja pada tiga buah frekuensi kerja sistem RFID.

BAB 4

PENGUKURAN DAN ANALISA

Setelah dilakukan perancangan antenna dan mensimulasikannya dengan software pendukung seperti yang telah disebutkan pada bab 3, maka langkah selanjutnya yang dilakukan adalah melakukan fabrikasi pada rancangan yang telah dibuat. Setelah antenna yang telah dirancang di fabrikasi maka langkah selanjutnya yang dilakukan adalah mengukur antenna tersebut. Proses pengukuran antenna ini dilakukan pada ruangan *Anechoic Chamber* yang berada pada Departemen Elektro FTUI. Ruangan ini mampu menyerap gelombang elektromagnetik sehingga mengurangi pantulan dan interferensi gelombang lain. Hal ini berguna agar tingkat keakuratan hasil pengukuran menjadi lebih presisi. Adapun pengukuran yang dilakukan untuk mengetahui parameter-parameter dari antenna yang telah dirancang dan difabrikasi pada skripsi ini adalah pengukuran *port* tunggal, pengukuran pola radiasi, dan pengukuran *gain*. Berikut adalah antenna hasil fabrikasi.

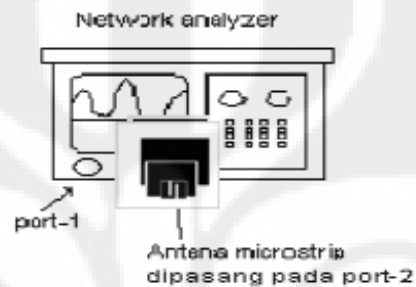


Gambar 4.1 Antena Hasil Fabrikasi

Fabrikasi antenna pada Gambar 4.1 ini dilakukan untuk antenna *multiband*, yakni antenna *multiband* modifikasi dengan penambahan *slot* pada bagian *patch* nya. Pada tepian antenna dapat kita lihat terdapat perekat isolasi, ini dilakukan untuk menyatukan dua buah substrat yang tebalnya masing-masing 1,6 mm menjadi satu agar sesuai dengan desain antenna *multiband* yang memiliki ketebalan 3.2 mm.

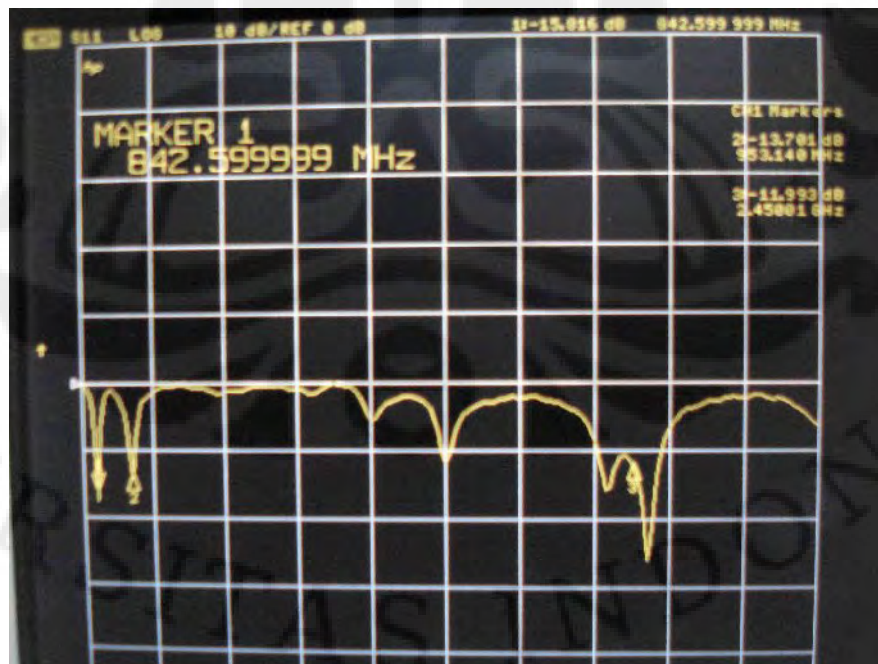
4.1 Pengukuran *Port* Tunggal

Pada proses pengukuran *port* tunggal ini, parameter-parameter dari antenna yang dapat diukur adalah *return loss*, VSWR, dan impedansi masukan dari antenna. Pengukuran yang dilakukan menggunakan network analyzer dengan format S_{11} . Gambar konfigurasi dari pengukuran *port* tunggal ini dapat dilihat pada Gambar 4.2



Gambar 4.2 Konfigurasi Pengukuran *Port* Tunggal

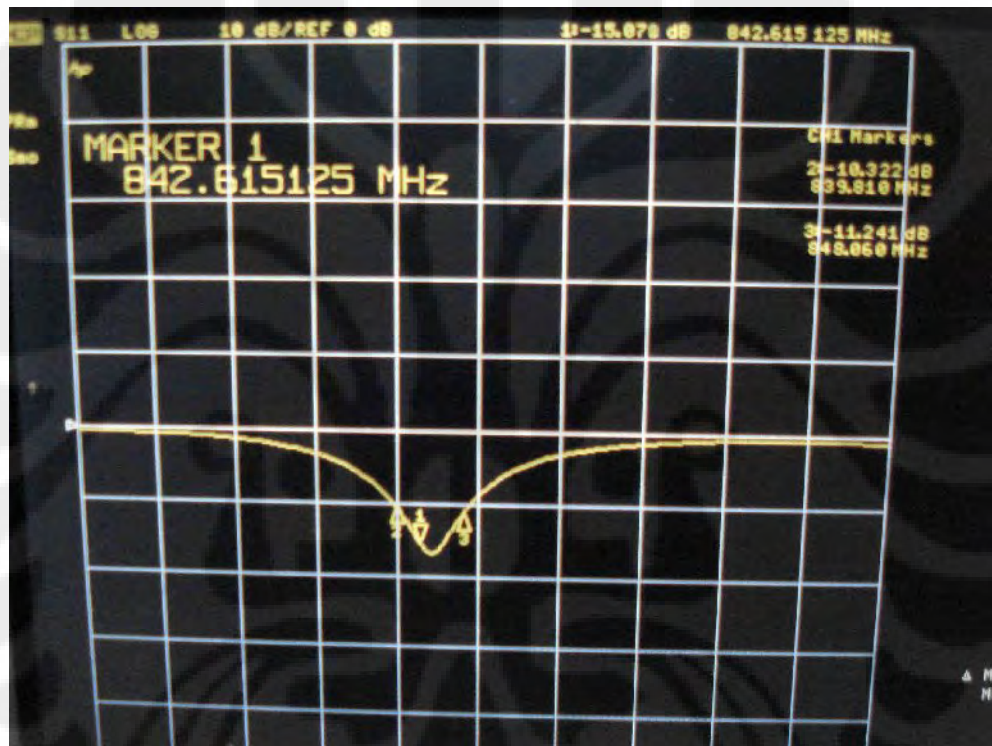
Dari pengukuran yang dilakukan didapatkanlah nilai *return loss* yang terjadi pada antenna pada Gambar 4.3



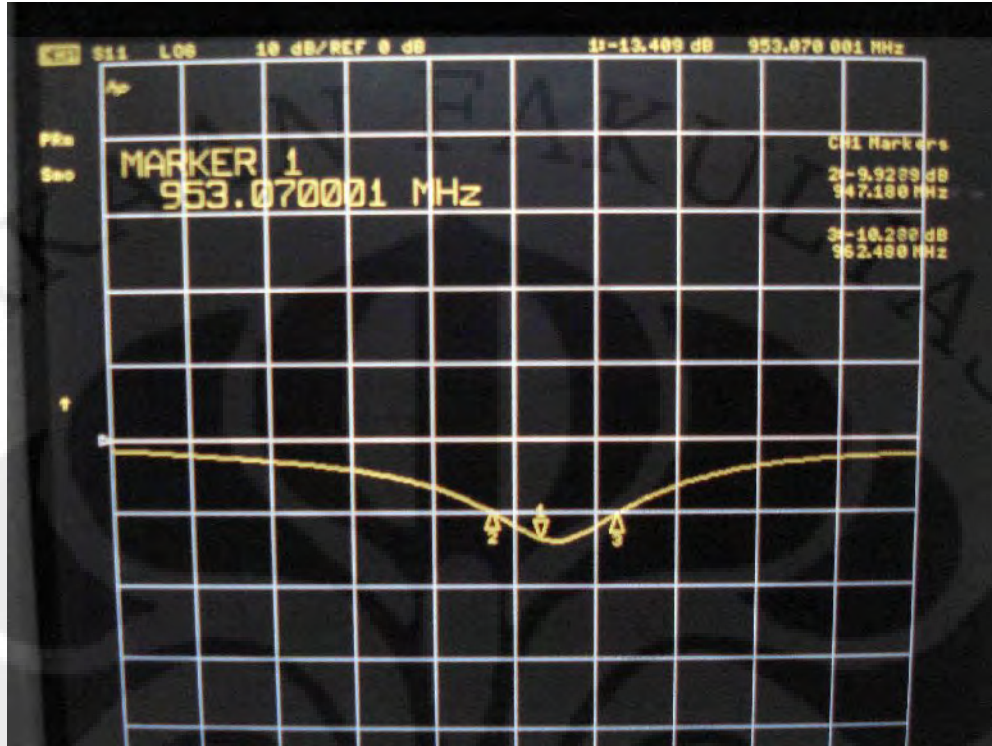
Gambar 4.3 Grafik *Return Loss* Antena Hasil Pengukuran *Port* Tunggal

Dari pengukuran yang dilakukan terhadap antenna *multiband* ini didapatkan tiga buah frekuensi resonansi, yakni pada frekuensi 842 MHz, 953 MHz dan 2,45 GHz. Ketiga buah frekuensi resonansi yang diharapkan sudah sesuai dengan frekuensi yang diharapkan dengan *return loss* dibawah -9,54 dB.

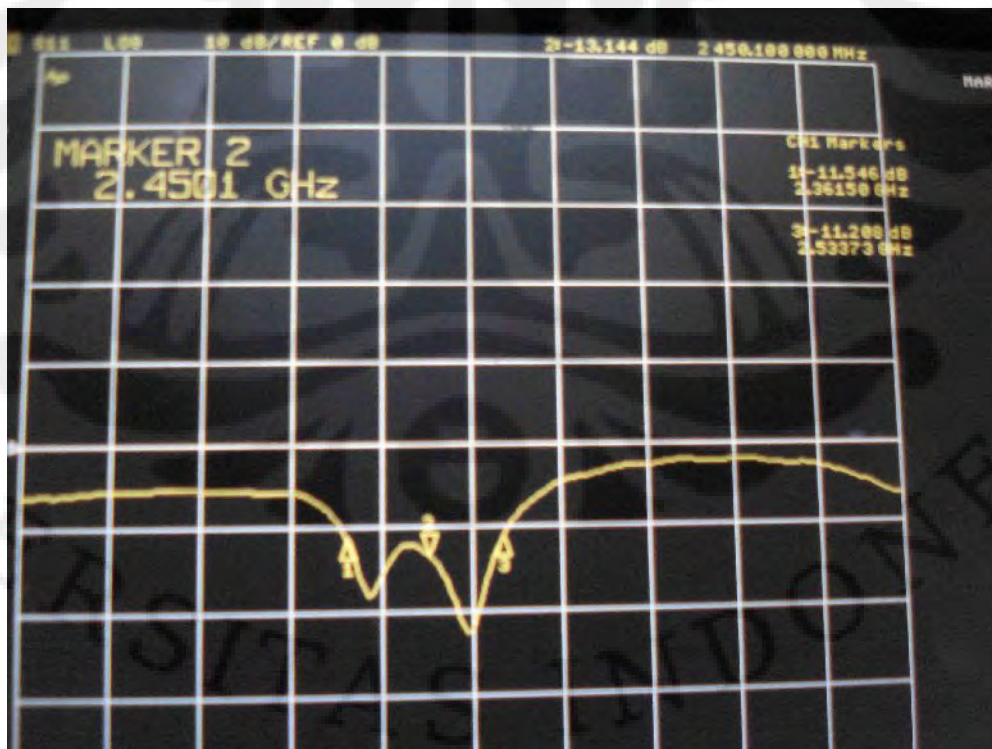
Dari Gambar 4.4, 4.5, dan 4.6 dapat terlihat grafik antara *return loss* pada setiap frekuensi resonansi yang terjadi.



Gambar 4.4 *Return Loss* pada Frekuensi 842 MHz



Gambar 4.5 Return Loss pada Frekuensi 953 MHz



Gambar 4.6 Return Loss pada Frekuensi 2.45 GHz

Dari Gambar 4.4 sampai 4.6 terlihat bahwa proses perancangan antenna *multiband* ini mendapatkan sebuah antenna yang dapat bekerja pada tiga buah frekuensi. Hal ini terlihat dimana frekuensi kerja yang mempunyai *return loss* dibawah -9,54 dB terdapat 3 buah. Pada *band* pertama didapatkan frekuensi 842 MHz. Pada *band* kedua didapatkan frekuensi kerja 953 MHz. Sedangkan pada *band* ketiga didapatkan frekuensi kerja 2,45 GHz. Hal ini dapat terlihat dari grafik VSWR yang didapatkan, seperti yang dapat dilihat pada Tabel 4.1, 4.2, dan 4.3

Tabel 4.1 *Return Loss* dan VSWR pada Frekuensi 842 MHz

Frek (MHz)	<i>Return Loss</i> (dB)	VSWR
	(Pengukuran)	
835	-5,821	3,095196356
836	-6,341	2,860201375
837	-7,631	2,421050351
838	-8,641	2,17352319
839	-9,412	2,022866544
840	-11,067	1,776515433
841	-12,998	1,577066093
842	-15,021	1,431310977
843	-15,921	1,380774923
844	-16,147	1,369189962
845	-15,021	1,431310977
846	-14,213	1,48352445
847	-12,622	1,610386308
848	-11,102	1,772187091
849	-10,021	1,921687701
850	-8,267	2,257624657
851	-7,312	2,514464887
852	-6,777	2,692081514
853	-6,021	2,999815766

Tabel 4.2 *Return Loss* dan VSWR pada Frekuensi 953 MHz

Frek (MHz)	<i>Return Loss</i> (dB)	VSWR
	(Pengukuran)	
945	-8,913	2,117134812
946	-9,424	2,020733655
947	-10,077	1,913060345
948	-10,787	1,812287359
949	-11,361	1,741095478

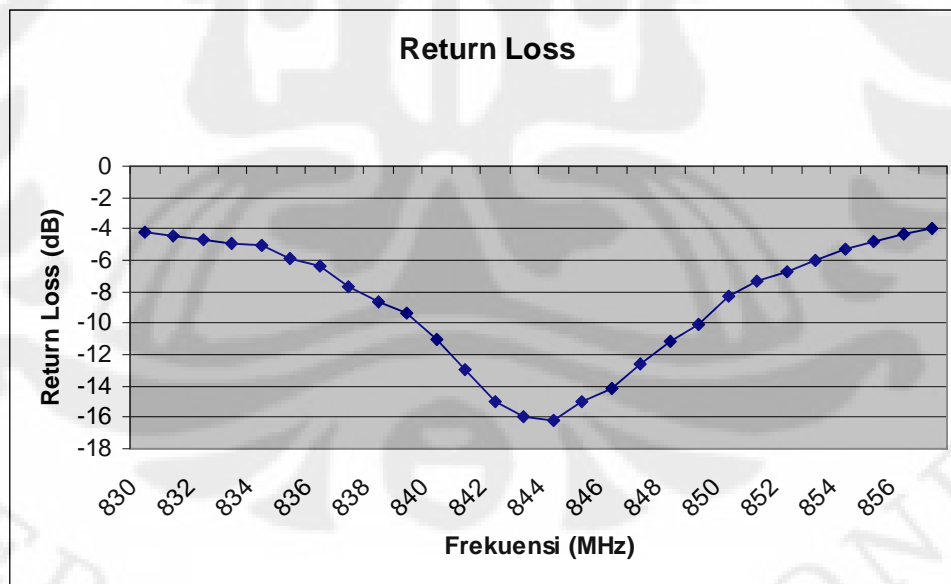
950	-11,752	1,697104256
951	-12,313	1,639560475
952	-12,664	1,606549005
953	-13,249	1,556059
954	-13,552	1,531925674
955	-14,303	1,477350601
956	-13,523	1,534179743
957	-13,243	1,55655017
958	-12,867	1,588415303
959	-12,543	1,617685613
960	-11,768	1,695375265
961	-11,035	1,78049998
962	-10,435	1,860333043
963	-9,983	1,927603122
964	-9,124	2,07590116
965	-8,873	2,125192276

Tabel 4.3 *Return Loss* dan VSWR pada Frekuensi 2,45 GHz

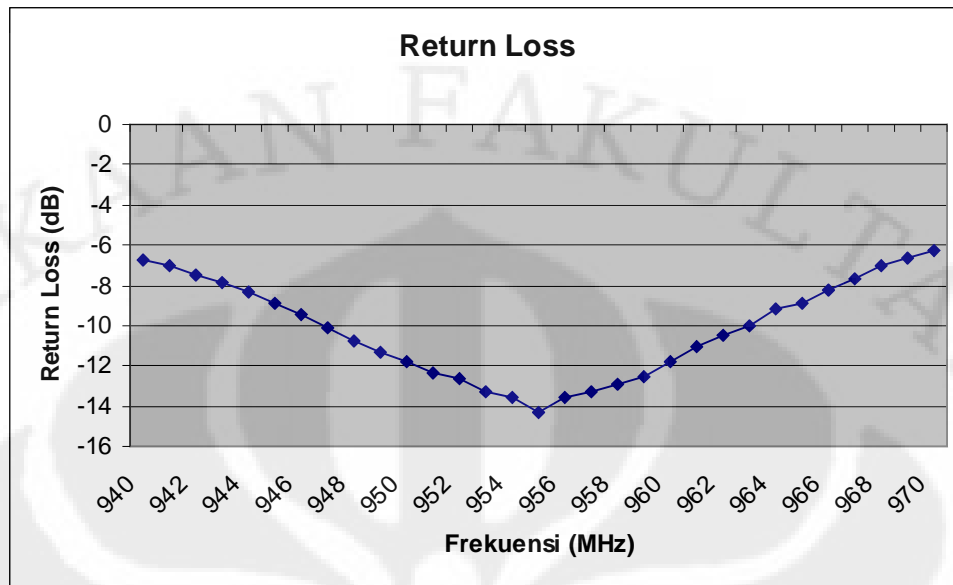
Frek (MHz)	<i>Return Loss</i> (dB) (Pengukuran)	VSWR
2340	-7,812	2,371645622
2345	-8,391	2,228845414
2350	-9,321	2,039236881
2355	-9,581	1,993367815
2360	-10,573	1,841069427
2365	-11,711	1,701559559
2370	-13,012	1,575869123
2375	-15,322	1,413582493
2380	-16,671	1,343860008
2385	-18,221	1,279799294
2390	-18,924	1,255269181
2395	-17,213	1,319733459
2400	-16,351	1,359081416
2405	-15,683	1,393433531
2410	-14,523	1,462650166
2415	-13,777	1,514822229
2420	-13,032	1,574164431
2425	-12,571	1,615086247
2430	-12,163	1,654346163
2435	-11,093	1,77329714
2440	-12,012	1,669663285
2445	-12,203	1,650362076
2450	-12,522	1,619644051
2455	-12,811	1,593350331
2460	-13,205	1,559673217
2465	-13,978	1,500100757

2470	-14,753	1,447852806
2475	-15,321	1,41363996
2480	-16,454	1,354099022
2485	-17,945	1,290143386
2490	-19,812	1,227637916
2495	-21,442	1,185083656
2500	-22,671	1,158725783
2505	-22,812	1,155970635
2510	-21,473	1,184363485
2515	-19,148	1,247964461
2520	-17,152	1,322349998
2525	-14,613	1,456791871
2530	-11,213	1,758662388
2535	-10,224	1,890912187
2540	-8,251	2,261405874

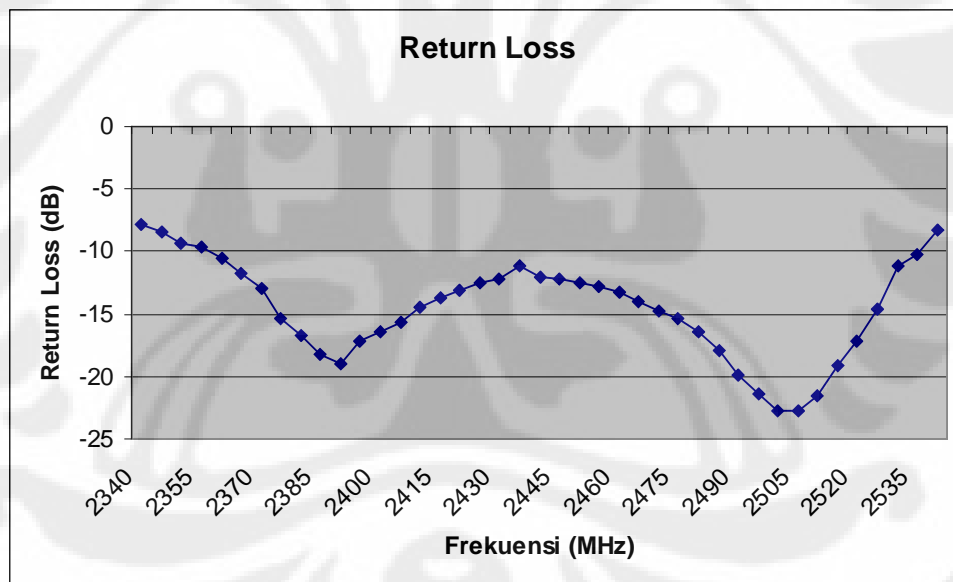
Dari Tabel 4.1 sampai 4.3 didapatkan bahwa nilai *return loss* pada frekuensi 842 MHz adalah -15,021, pada 953 MHz adalah -13,249 dB, dan pada 2,45 GH adalah -12,522 dB. Sehingga dapat kita buat pula grafik *return loss* dalam excel seperti Gambar 4.7



(a)



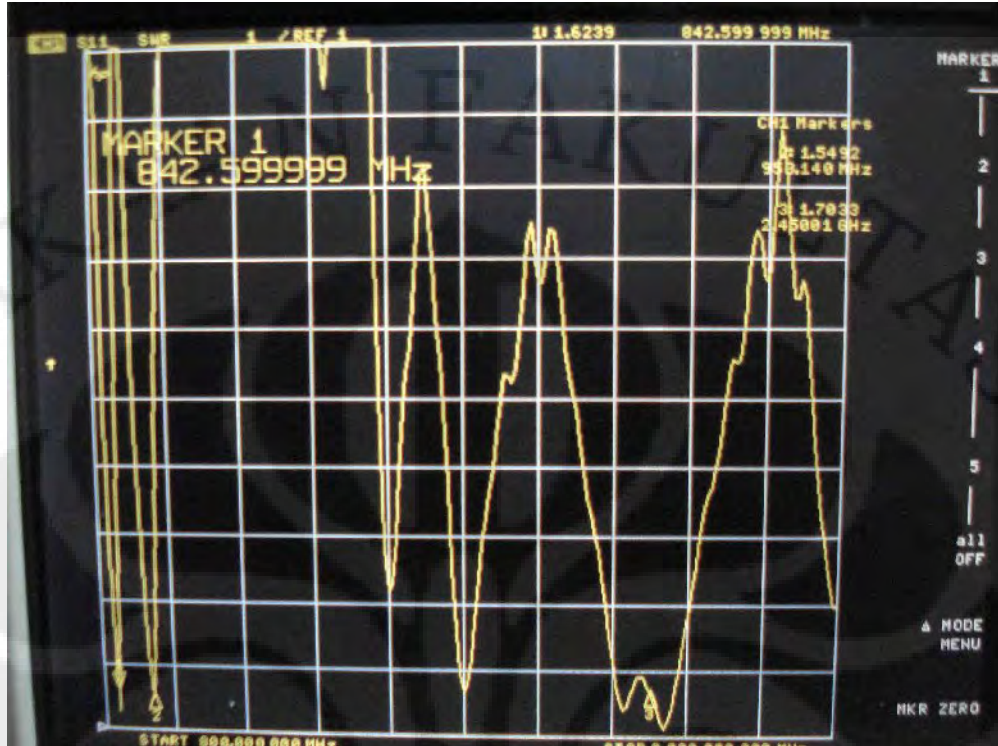
(b)



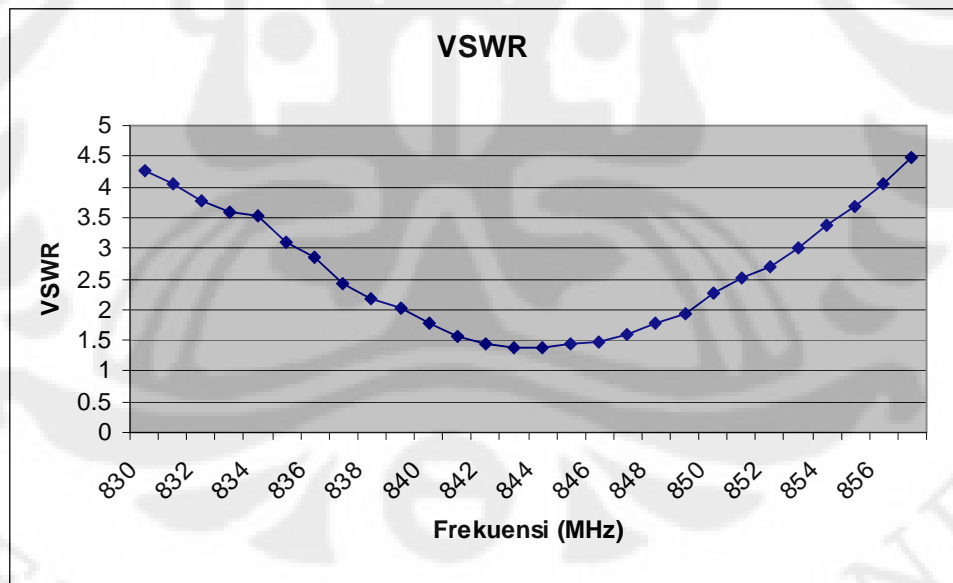
(c)

Gambar 4.7 Return Loss Hasil Pengukuran (a) 842 MHz (b) 953 MHz (c) 2,45 GHz

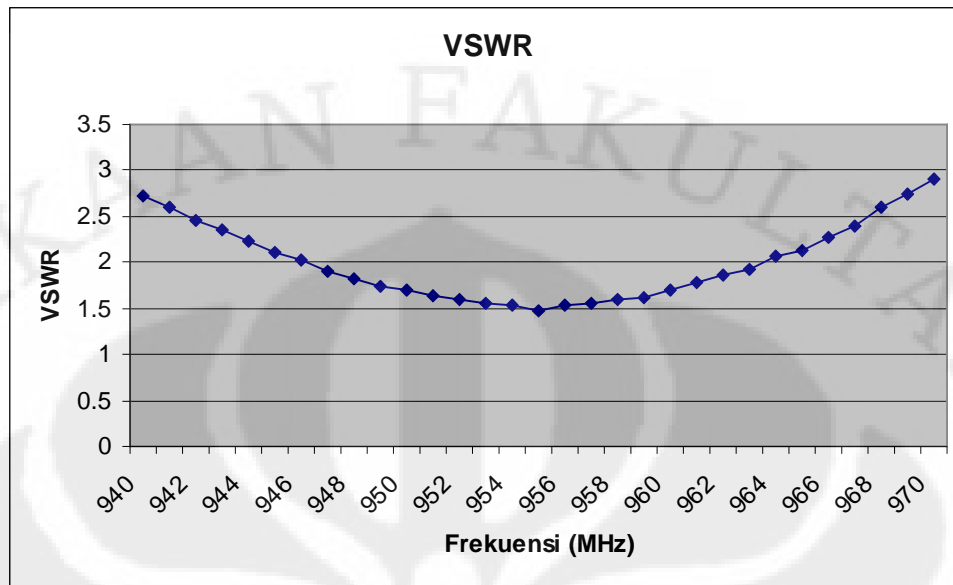
Pada Gambar 4.8 terlihat bahwa didapatkan nilai $VSWR \leq 2$ untuk setiap frekuensi resonansi yang terjadi. Pada frekuensi 842,59 MHz didapatkan nilai 1,62, pada 953,14 MHz bernilai 1,54, dan pada 2,45 GHz bernilai 1,70



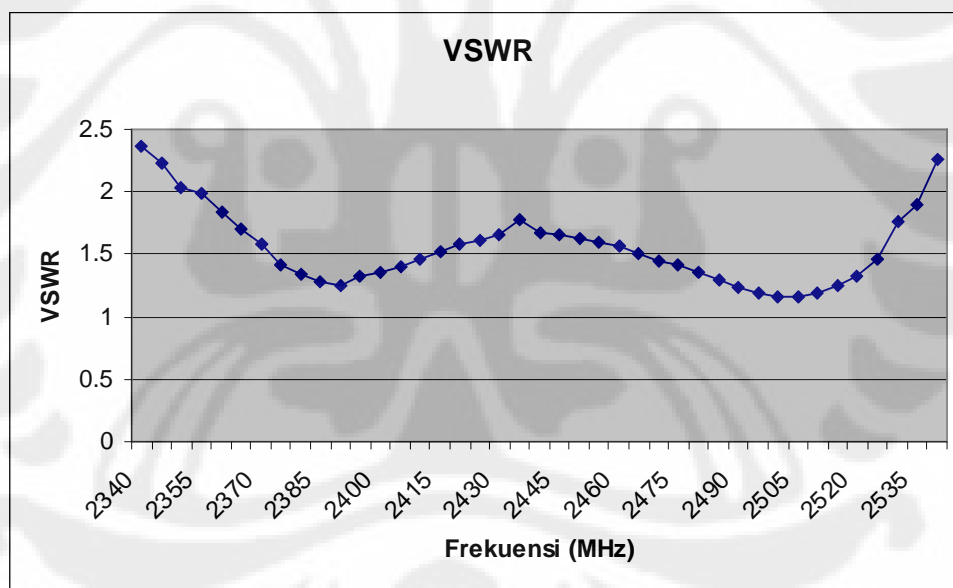
(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 4.8 VSWR Hasil Pengukuran (a) Keseluruhan (b) 842 MHz (c) 953 GHz (d) 2,45 GHz

Dari pengukuran yang dilakukan dapat kita buat sebuah tabel perbandingan antara antenna hasil simulasi dan antenna hasil pengukuran berdasarkan *return loss* minimum yang dihasilkan, rentang frekuensi dengan nilai

return loss dibawah -9,54 dB, bandwidth antenna, serta VSWR minimum yang dihasilkan pada rentang frekuensi tersebut.

Tabel 4.4 Tabel Perbandingan Antena Hasil Simulasi dengan Hasil Pengukuran,
(a) Frekuensi 844 MHz (b) Frekuensi 953 MHz (c) Frekuensi 2,45 GHz

Parameter	Hasil simulasi	Hasil pengukuran
<i>Return loss</i>	-17,940 dB	-16,147 dB
Bandwidth	9 MHz (1,06 %)	9 MHz (1,06 %)
Rentang Frekuensi	838 MHz – 847 MHz	840 MHz – 849 MHz
VSWR	1,29	1,369

(a)

Parameter	Hasil simulasi	Hasil pengukuran
<i>Return loss</i>	-11,619	-14,303 dB
Bandwidth	10 MHz (1,05 %)	16 MHz (1,46 %)
Rentang Frekuensi	947 MHz – 957 MHz	947 MHz – 963 MHz
VSWR	1,711	1,477

(b)

Parameter	Hasil simulasi	Hasil pengukuran
<i>Return loss</i>	-17.237 dB	-21,731 dB
Bandwidth	41 MHz (1,67 %)	175 MHz (7,17 %)
Rentang Frekuensi	2.424 MHz – 2,465 MHz	2360 MHz – 2535 MHz
VSWR	1,318	1,155

(c)

Dari Tabel 4.4 dapat diketahui bahwa terdapat kesesuaian antara hasil simulasi dan hasil pengukuran. Hanya saja terjadi pelebaran bandwidth yang besar pada frekuensi 2,45 GHz. Pada Frekuensi 842 MHz, dari pengukuran didapatkan bandwidth 9 MHz (1,06%) dengan rentang frekuensi 840 MHz – 849 MHz. Hasil ini menunjukkan bahwa terjadi kesamaan bandwidth dengan bandwidth pada hasil simulasi yang bernilai 9 (1,06%)MHz. Pada Frekuensi 953 MHz, dari pengukuran didapatkan bandwidth 16 MHz (1,46%) dengan rentang frekuensi 947 MHz – 963 MHz. Hasil ini menunjukkan bahwa terjadi pelebaran bandwidth dibandingkan bandwidth pada hasil simulasi yang bernilai 10 MHz (1,05%). Begitupula pada Frekuensi 2,45 GHz, dari pengukuran didapatkan bandwidth 175 MHz (7,17%) dengan rentang frekuensi 2360 MHz – 2535 MHz. Hasil ini menunjukkan bahwa terjadi pelebaran bandwidth dibandingkan bandwidth pada hasil simulasi yang bernilai 41 MHz (1,67 %). Dari semua frekuensi resonansi yang terjadi, hasil pengukuran menunjukkan bahwa ketiga frekuensi resonansi tersebut memenuhi rentang frekuensi sistem RFID yang diizinkan.

Dari pengukuran yang dilakukan dapat kita ketahui pula nilai impedansi yang dihasilkan pada Gambar 4.9. Untuk mendapatkan kondisi *matching* dibutuhkan nilai impedansi 50 Ohm. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa untuk frekuensi resonansi 842 MHz dihasilkan nilai impedansi $65,938 \pm 16,402j$ Ohm, sedangkan untuk 953 MHz dihasilkan nilai impedansi $55,539 \pm 20,117j$ Ohm, serta untuk 2,45 GHz dihasilkan nilai impedansi $81,723 \pm 13,629j$ Ohm. Hasil ini menunjukkan bahwa kondisi antenna mendekati nilai *matching* berdasarkan hasil pengukuran untuk frekuensi 843 MHz, 953 MHz serta 2,45 GHz. Sedangkan yang paling mendekati *matching* adalah pada frekuensi 844 MHz, 955 MHz, 2,505 GHz.



Gambar 4.9 Smith Chart Pengukuran Antena

4.2 Pengukuran Pola Radiasi

Pola radiasi merupakan visualisasi radiasi dan penerimaan antena dalam koordinat sumbu. Medan radiasi antena terdiri dari medan jauh (*far field*) dan medan dekat (*near-field*). Secara umum pola radiasi digambarkan daerah medan jauh, karena pada medan jauh distribusi medan angular tidak tergantung pada besarnya jarak antar antena. Jarak minimum medan jauh antara antena pengirim dan antena penerima dinyatakan sebagai berikut:

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

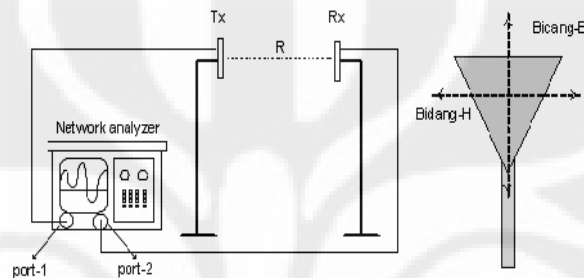
dimana: r_{\min} = jarak minimum pemancar dengan penerima (cm)

D = dimensi terbesar dari antena (cm)

λ = panjang gelombang (cm)

Pengukuran pola radiasi dilakukan dengan menggunakan alat ukur *network analyzer* dengan mengacu pada jarak minimum pengukuran. Format

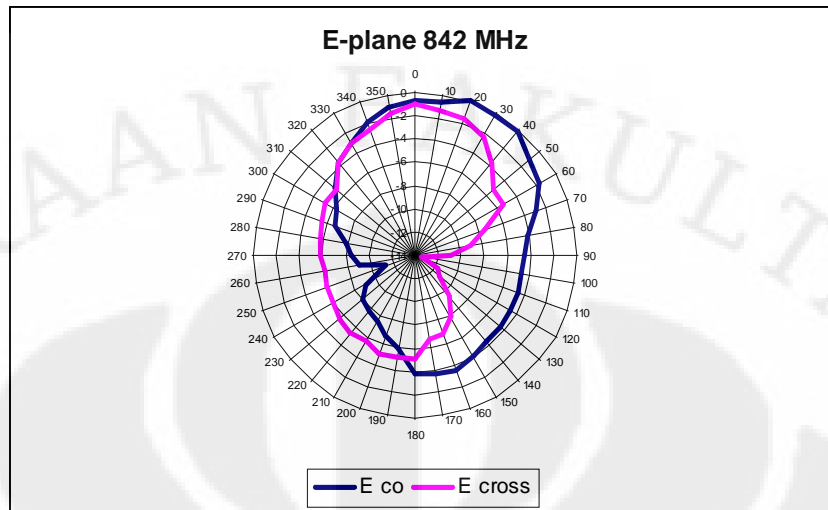
pengukuran yang digunakan adalah jenis S_{12} dengan antenna pemancar diletakkan pada *port* 1, sedangkan antenna yang diukur diletakkan pada *port* 2. Antena pemancar menggunakan antenna yang memiliki frekuensi kerja yang sama dengan antenna hasil perancangan. Konfigurasi peralatan dan orientasi arah bidang-E dan bidang-H selama proses pengukuran adalah seperti Gambar 4.10



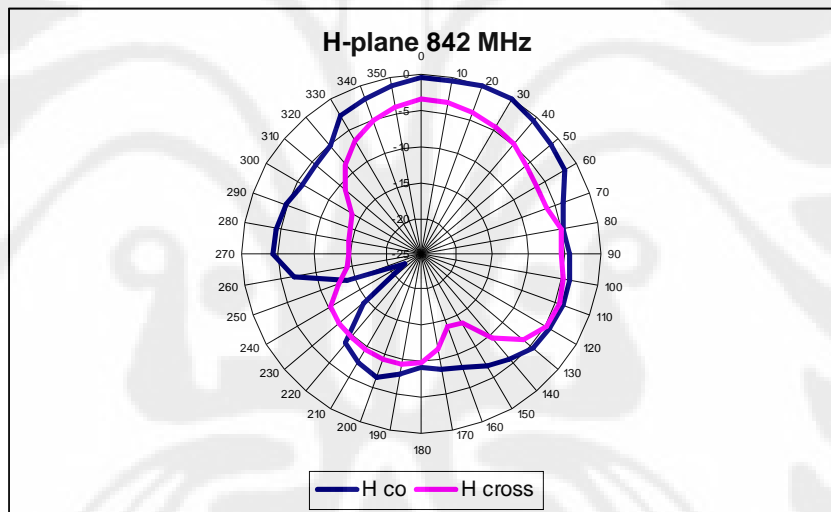
Gambar 4.10 Rangkaian Peralatan pada Pengukuran Pola Radiasi

Pengukuran pola radiasi dilakukan di dalam ruangan *anechoic chamber* yang dindingnya bersifat menyerap gelombang elektromagnet, untuk mengurangi pantulan dan interferensi. Jarak pisah harus memenuhi jarak minimum untuk mengatur medan jauh. Pada pengukuran kali ini digunakan jarak pisah 12 cm dengan jarak medan dekat 3,49 cm untuk frekuensi 842 MHz, kemudian dipergunakan jarak 15 cm dengan jarak medan dekat 3,95 cm untuk frekuensi 953 MHz, dan berjarak 25 cm untuk jarak medan dekat 8,75 cm untuk frekuensi 2,45 GHz. Alat ukur *network analyzer* diatur untuk melakukan pengukuran parameter S_{12} . Sudut penerimaan antenna penerima diubah-ubah dari 0° hingga 360° dengan interval 10° untuk bidang-E dan bidang-H. Pengukuran dilakukan pada frekuensi tengah dari antenna.

Dari pengukuran yang dilakukan didapatkanlah nilai kuat radiasi antenna seperti dalam Tabel Lampiran 1.1 sampai Tabel lampiran 2.6. Dari nilai tabel tersebut kemudian dibuatlah normalisasi bidang E terhadap kuat radiasi terbesar dari E-co, dan normalisasi bidang H terhadap kuat radiasi terbesar dari H-co. Sehingga didapatkan pola radiasi seperti terlihat pada Gambar 4.11 sampai 4.13.



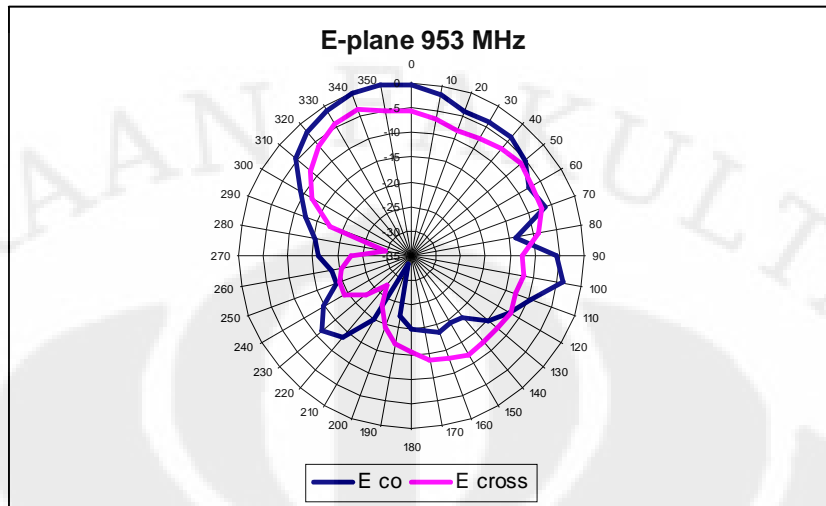
(a)



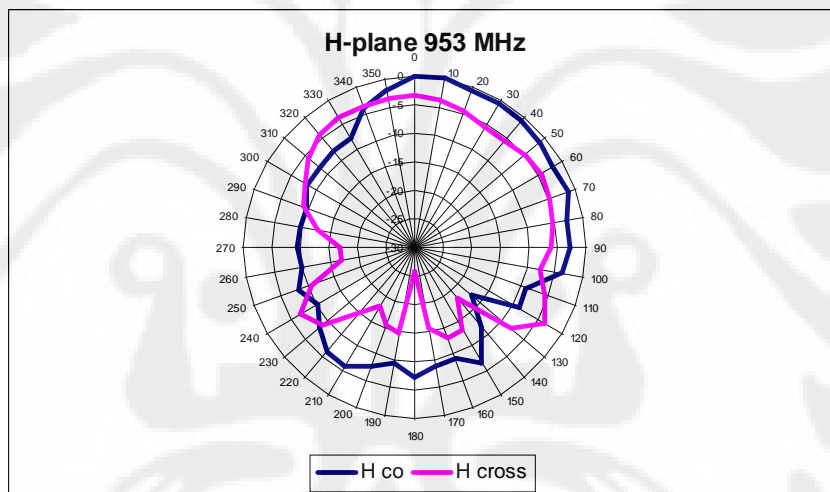
(b)

Gambar 4.11 Pola Radiasi pada Frekuensi 842 MHz (a) Bidang E (b) Bidang H

Dari Gambar 4.11 didapatkan bahwa medan E pada frekuensi 842 MHz mengarah *unidirectional* dengan nilai *main lobe* maksimum mengarah pada sudut 20° . Demikian pada medan H pada antenna mengarah *unidirectional* dengan nilai *main lobe* maksimum mengarah pada sudut 20° . Terdapat perbedaan 1,101 dB antara E-co dan E-cross, serta 3,333 dB antara H-co dan H-cross. Data normalisasi bidang E dapat terlihat pada Tabel Lampiran 1.1 dan 1.2. Sedangkan normalisasi bidang H dapat terlihat pada Tabel Lampiran 2.1 dan 2.2



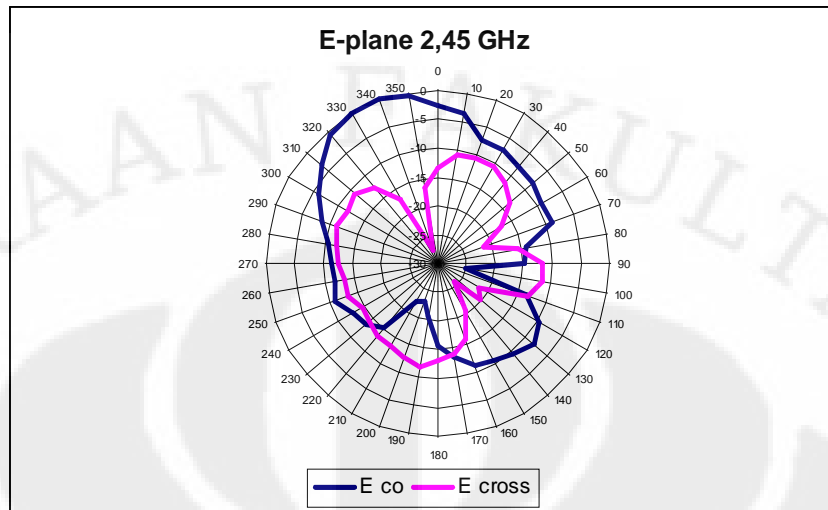
(a)



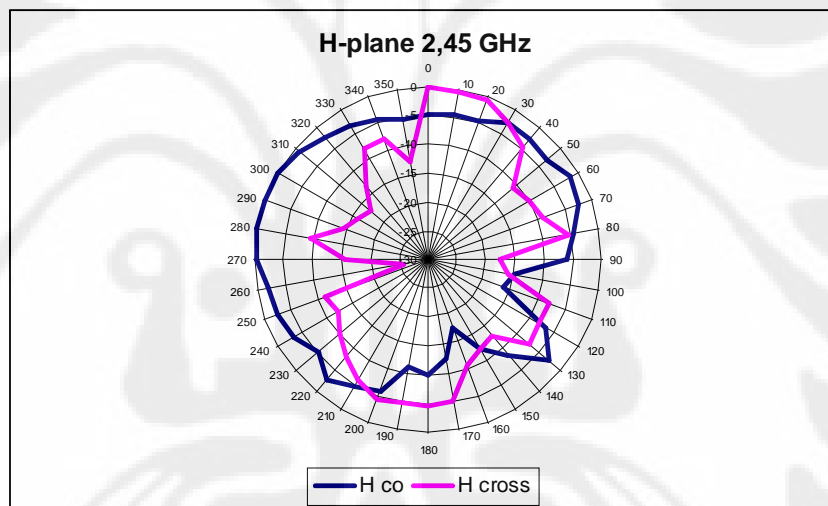
(b)

Gambar 4.12 Pola Radiasi pada Frekuensi 953 MHz (a) Bidang E (b) Bidang H

Dari Gambar 4.12 didapatkan bahwa nilai medan E pada frekuensi 953 MHz mengarah *unidirectional* dengan nilai *main lobe* maksimum mengarah pada sudut 350° . Demikian pula pada medan H pada antena mengarah *unidirectional* dengan nilai *main lobe* maksimum mengarah pada sudut 10° . Terdapat perbedaan 3,483 dB antara E-co dan E-cross, serta 3,633 dB antara H-co dan H-cross. Data normalisasi bidang E dapat terlihat pada Tabel Lampiran 1.3 dan 1.4. Sedangkan normalisasi bidang H dapat terlihat pada Tabel Lampiran 2.3 dan 2.4



(a)



(b)

Gambar 4.13 Pola Radiasi Pada Frekuensi 2,45 GHz (a) Bidang E (b) Bidang H

Dari Gambar 4.13 didapatkan bahwa medan E pada frekuensi 2,45 GHz mengarah *unidirectional* dengan nilai *main lobe* maksimum mengarah pada sudut 340° . Demikian pada medan H pada antenna mengarah *unidirectional* dengan nilai *main lobe* maksimum mengarah pada sudut 280° . Terdapat perbedaan 10,746 dB antara E-co dan E-cross, serta 0,218 dB antara H-co dan H-cross. Data normalisasi bidang E dapat terlihat pada Tabel Lampiran 1.5 dan 1.6. Sedangkan normalisasi bidang H dapat terlihat pada Tabel Lampiran 2.5 dan 2.6

4.3 Pengukuran Gain

Secara umum terdapat dua metode yang dapat digunakan untuk mengukur *gain*, yaitu *absolute-gain* dan *gain-transfer*. Dalam skripsi ini akan digunakan pengukuran dengan metode *absolute-gain* dengan metode tiga-antena.

Konfigurasi pengukuran *gain* adalah dengan dua buah antenna diletakkan pada arah berkas utama pola radiasi, dengan memperhatikan pada jarak minimum pengukuran medan jauh. Karena menggunakan metode tiga antenna, maka terdapat 3 kemungkinan pasangan antenna pengirim dan penerima, yaitu:

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

Metode tiga antenna tidak memperhitungkan apakah antenna tersebut sebagai pengirim atau penerima. Dalam hal ini yang perlu diperhitungkan adalah pasangan kombinasi antenna.

Perhitungan *gain* ini didasarkan pada persamaan Friis[3]. Secara umum persamaan Friis dinyatakan dalam Persamaan 4.2 (dalam dB):

$$(G_{ot})_{dB} + (G_{or})_{dB} = 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi R}{\lambda} \right) + 10 \log_{10} \left(\frac{Pr}{Pt} \right) \quad (4.2)$$

Sehingga ketiga persamaan untuk masing-masing kombinasi adalah seperti pada Persamaan 4.3 sampai 4.5

- a. kombinasi 1-2

$$(G_1)_{dB} + (G_2)_{dB} = 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi R}{\lambda} \right) + 10 \log_{10} \left(\frac{Pr_2}{Pt_1} \right) \quad (4.3)$$

- b. kombinasi 1-3

$$(G_1)_{dB} + (G_3)_{dB} = 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi R}{\lambda} \right) + 10 \log_{10} \left(\frac{Pr_3}{Pt_1} \right) \quad (4.4)$$

- c. kombinasi 2-3

$$(G_2)_{dB} + (G_3)_{dB} = 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi R}{\lambda} \right) + 10 \log_{10} \left(\frac{Pr_3}{Pt_2} \right) \quad (4.5)$$

dimana:

G = *gain* absolut (dB);

R = jarak pisah antara antena pemancar dan penerima (meter);

λ = panjang gelombang pada frekuensi yang digunakan (meter);

P_t = daya pengirim (Watt);

P_r = daya penerimaan (Watt).

Ketiga persamaan di atas dapat dituliskan sebagai Persamaan 4.6 sampai 4.8

$$G_1 \text{ (dB)} + G_2 \text{ (dB)} = A \quad (4.6)$$

$$G_1 \text{ (dB)} + G_3 \text{ (dB)} = B \quad (4.7)$$

$$G_2 \text{ (dB)} + G_3 \text{ (dB)} = C \quad (4.8)$$

Dengan demikian nilai *Gain* didapat dengan Persamaan 4.9 sampai 4.11

$$G_1 \text{ (dB)} = \frac{1}{2} (A + B - C) \quad (4.9)$$

$$G_2 \text{ (dB)} = \frac{1}{2} (A - B + C) \quad (4.10)$$

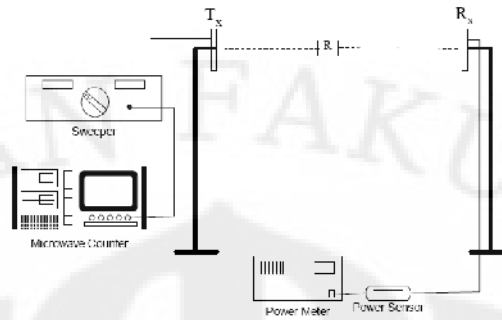
$$G_3 \text{ (dB)} = \frac{1}{2} (-A + B + C) \quad (4.11)$$

Hal-hal yang harus diperhatikan dalam pengukuran *gain* antena untuk mengurangi terjadinya kesalahan pengukuran adalah:

1. antena pengirim dan penerima saling berhadapan pada berkas maksimumnya,
2. antena memenuhi kriteria medan jauh,
3. semua komponen dalam kondisi *matching*,

Pengukuran *gain* dilakukan di dalam ruangan *anechoic chamber*.

Rangkaian peralatan selama proses pengukuran dapat dilihat pada Gambar 4.14

Gambar 4.14 Rangkaian Peralatan Pada Pengukuran *Gain*

Pengukuran yang dilakukan adalah untuk menentukan nilai *gain* untuk rentang frekuensi 840 MHz – 844 MHz, 950 MHz – 955 MHz, dan 2,446 GHz – 2,454 GHz Sehingga pengukuran yang dilakukan adalah pada frekuensi 842 MHz, 953 MHz, dan 2,45 GHz. Berikut adalah hasil pengukuran *gain* pada masing-masing frekuensi.

Tabel 4.5 Data Pengukuran *Gain* Antena (a) 842 MHz (b) 953 MHz (c) 2,45 GHz.

G1+G2	-16,7872		G1	-6,966
G2+G3	-21,5084		G2	-7,532
G1+G3	-18,6536		G3	-11,687

(a)

G1+G2	-12,733		G1	-2,54
G2+G3	-19,5049		G2	-5,247
G1+G3	-11,8538		G3	-7,091

(b)

G1+G2	-7,34285		G1	-3,041
G2+G3	-11,488		G2	-4,311
G1+G3	-10,2291		G3	-7,187

(c)

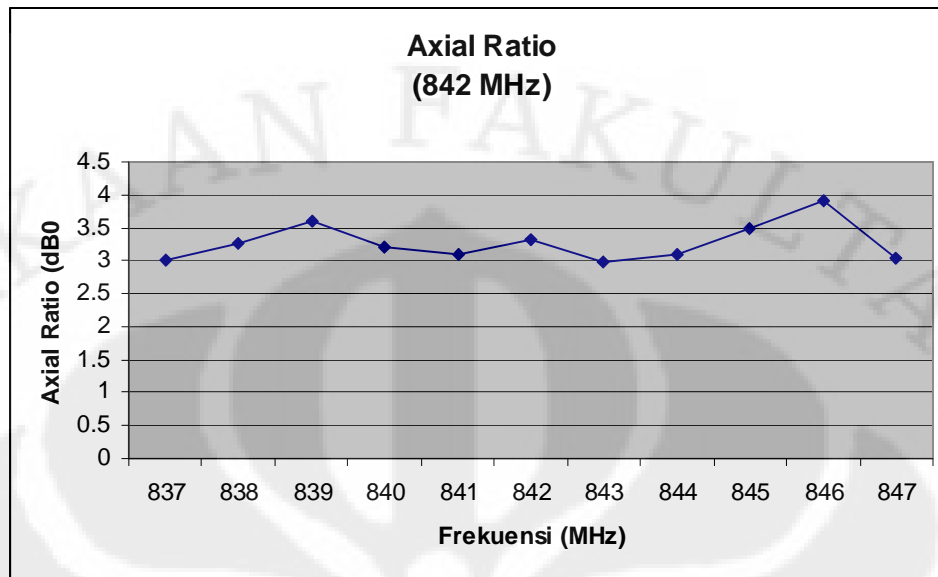
Dari Tabel 4.5 didapatkan nilai *gain* negatif, ini berarti antenna rancangan tersebut memiliki intensitas radiasi yang lebih kecil dibanding dengan intensitas radiasi yang seharusnya didapatkan ketika daya input yang diterima antenna teradiasi secara isotropik. Antenna meradiasi tidak efektif, artinya adalah bahwa terjadi *losses* yang besar ketika daya di transmisikan. Data pengukuran *gain* dapat terlihat pada Tabel Lampiran 3.1 untuk frekuensi 842 MHz, Tabel Lampiran 3.2 untuk frekuensi 953 MHz, dan Tabel Lampiran 3.3 untuk frekuensi 2,45 GHz.

4.4 Pengukuran *Axial ratio*

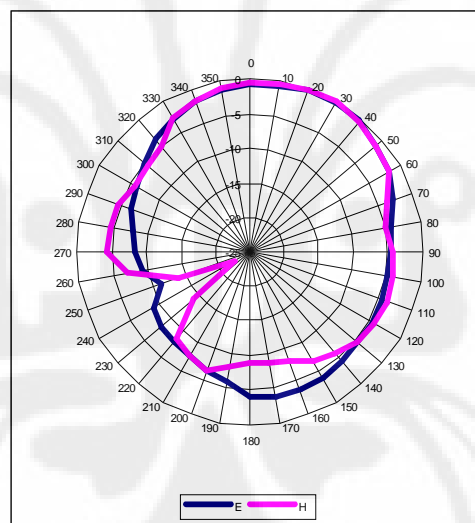
Axial ratio antenna yang baik harus kurang dari 3 dB, artinya besarnya *magnitude* antara bidang E dan bidang H untuk rentang frekuensi tertentu tidak boleh melebihi dari 3 dB. Nilai *axial ratio* lebih dari 3 dB memiliki arti bahwa antenna memiliki polarisasi linier, dan jika nilai *axial ratio* kurang dari 3 dB maka antenna memiliki polarisasi melingkar.

Pengukuran dilakukan dengan 2 buah antenna, antenna yang pertama diletakkan pada *port* 1 dan bertindak sebagai antenna pengirim, sedangkan antenna yang akan diukur *axial rasionya* diletakkan pada *port* 2. Jarak pengukuran mengacu pada jarak minimum medan jauh. Pengukuran dilakukan dengan cara memvariasikannya terhadap frekuensi untuk masing-masing medan pada bidang E dan bidang H.

Rentang frekuensi yang diukur dalam pengukuran *axial ratio* pada frekuensi 842 MHz adalah dari 837 MHz sampai pada frekuensi 847 MHz. Pada frekuensi 953 MHz rentang frekuensi yang diukur adalah dari 947 MHz sampai pada frekuensi 957 MHz. Sedangkan pada frekuensi 2,45 GHz, diukur dari frekuensi 2,4 GHz sampai frekuensi 2,5 GHz. Pada Gambar 4.15 sampai Gambar 4.17 dapat terlihat hasil pengukuran *axial ratio* pada frekuensi 837 MHz – 847 MHz, 947 MHz – 957 MHz, dan 2,4 GHz – 2,5 GHz.



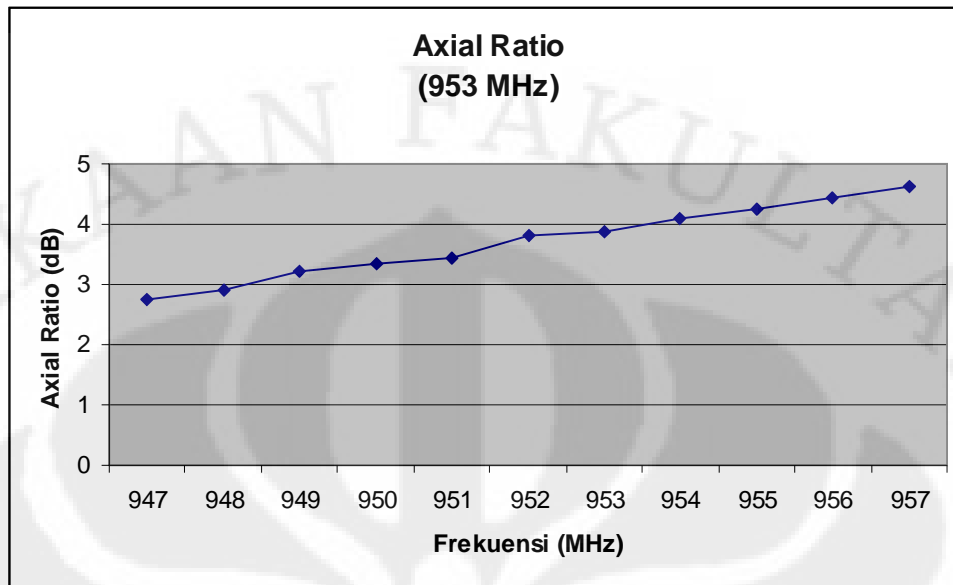
(a)



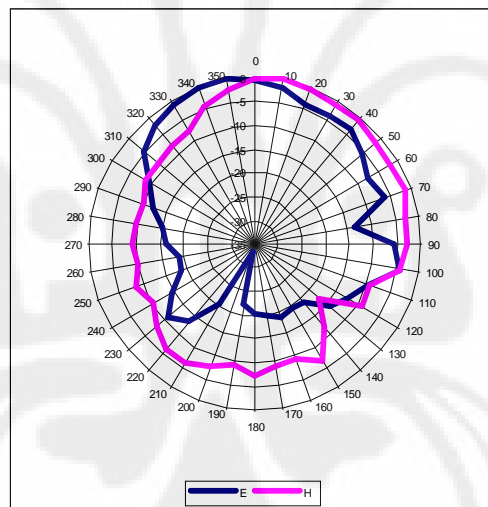
(b)

Gambar 4.15 Nilai *Axial Ratio* dan Pola Radiasi 842 MHz (a) *Axial Ratio* (b) Pola Radiasi

Berdasarkan Gambar 4.15 (a) hasil pengukuran *axial ratio* pada frekuensi 842 MHz (rentang frekuensi 837 MHz – 847 MHz) didapatkan bahwa antenna memiliki nilai *axial ratio* diatas 3 dB. Hal ini membuktikan bahwa pada rentang frekuensi ini antenna memiliki polarisasi linier. Dapat pula kita bandingkan dengan bentuk pola radiasi bidang E dan H pada Gambar 4.15 (b).



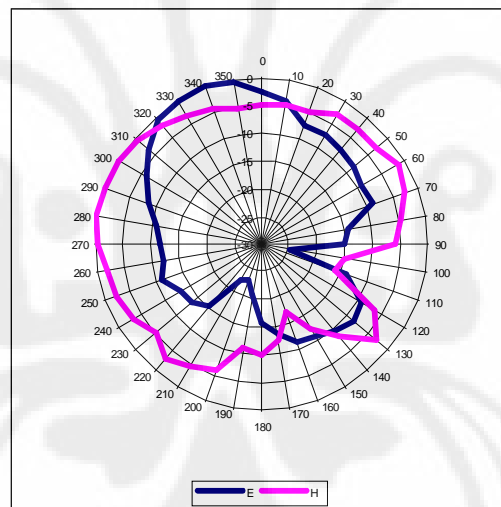
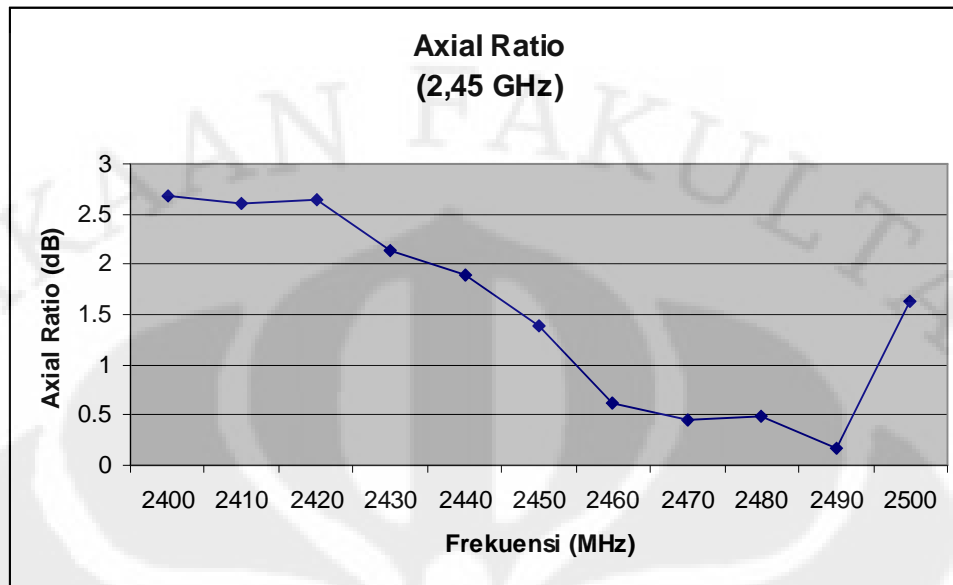
(a)



(b)

Gambar 4.16 Nilai *Axial Ratio* Antena 953 MHz (a) *Axial Ratio* (b) Pola Radiasi

Berdasarkan Gambar 4.16 (a) hasil pengukuran *axial ratio* pada frekuensi 953 MHz (rentang frekuensi 937 MHz – 947 MHz) didapatkan bahwa antena memiliki nilai *axial ratio* diatas 3 dB. Hal ini membuktikan bahwa pada rentang frekuensi ini antena memiliki polarisasi linier. Dapat pula kita bandingkan dengan bentuk pola radiasi bidang E dan H pada Gambar 4.16 (b).



Gambar 4.17 Nilai *Axial Ratio* Antena pada Frekuensi 2,45 GHz

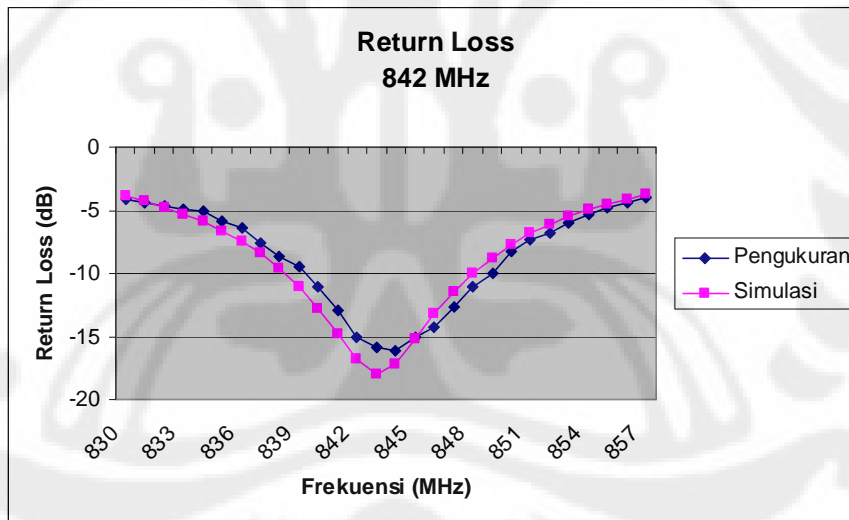
Berdasarkan Gambar 4.17 (a) hasil pengukuran *axial ratio* pada frekuensi 2,45 GHz (rentang frekuensi 2,4 GHz – 2,5 GHz) didapatkan bahwa antena memiliki nilai *axial ratio* dibawah 3 dB. Hal ini membuktikan bahwa pada rentang frekuensi ini antena memiliki polarisasi melingkar. Dapat pula kita bandingkan dengan bentuk pola radiasi bidang E dan H pada Gambar 4.17 (b).

4.5 Analisis Hasil Secara Keseluruhan

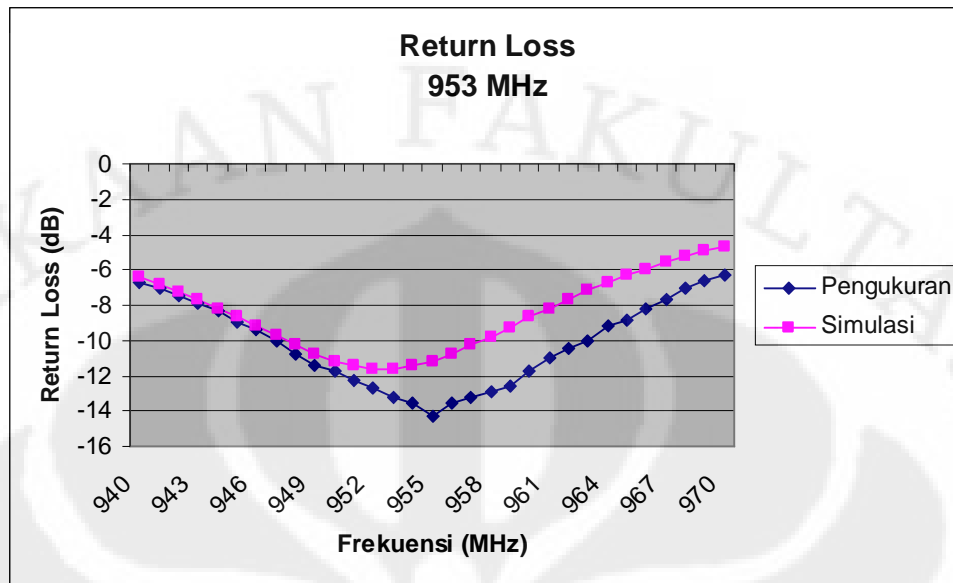
4.5.1 Karakteristik Frekuensi Resonansi

Dari pengukuran yang dilakukan akan didapatkan hasil yang sedikit berbeda dengan hasil simulasi yang dilakukan. Sehingga dari keseluruhan hasil yang didapat, didapatkan grafik perbandingan antara data hasil pengukuran dengan hasil simulasi.

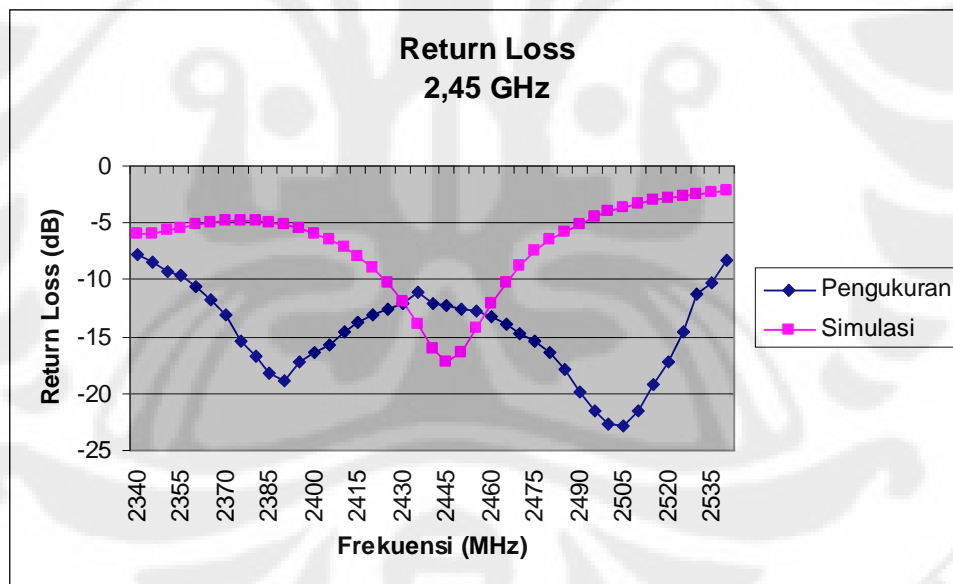
Dari Gambar 4.16 menunjukkan bahwa pada frekuensi 842 MHz hasil pengukuran memperlihatkan bahwa nilai *return loss* lebih besar dibandingkan dengan hasil simulasi, dengan nilai terendah pada frekuensi 844 MHz. Sedangkan pada frekuensi 953 MHz, didapatkan nilai *return loss* yang lebih rendah jika dibandingkan dengan hasil simulasi, dengan nilai terendah pada frekuensi 955 MHz. Sedangkan pada frekuensi 2,45 GHz nilai *return loss* terendah pada pengukuran bergeser hingga frekuensi 2,505 GHz jika dibandingkan hasil simulasi yang dilakukan.



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.18 Grafik *Return Loss* vs Frekuensi pada Hasil Pengukuran dan Simulasi (a) 842 MHz
(b) 953 MHz (c) 2,45 GHz

4.5.2 Error data *single port* pengukuran dan simulasi

Dapat dilihat pada hasil simulasi dan hasil pengukuran terdapat perbedaan. Akan tetapi meskipun terdapat perbedaan antara hasil simulasi dan pengukuran, sehingga dapat kita hitung error hasil simulasi dengan error hasil pengukuran. Berikut diberikan nilai error frekuensi kerja antenna rancangan:

$$Error = \left| \frac{f_{percobaan} - f_{simulasi}}{f_{simulasi}} \right| \times 100\% \quad (4.12)$$

Untuk frekuensi kerja rendah 843 MHz:

$$Error = \left| \frac{840 \text{ MHz} - 838 \text{ MHz}}{838 \text{ MHz}} \right| * 100 \% = 0,238 \%$$

Untuk frekuensi kerja atas 843 MHz

$$Error = \left| \frac{849 \text{ MHz} - 847 \text{ MHz}}{847 \text{ MHz}} \right| * 100 \% = 0,240 \%$$

Untuk frekuensi kerja rendah 953 MHz:

$$Error = \left| \frac{947 \text{ MHz} - 947 \text{ MHz}}{947 \text{ MHz}} \right| * 100 \% = 0 \%$$

Untuk frekuensi kerja atas 953 MHz

$$Error = \left| \frac{963 \text{ MHz} - 957 \text{ MHz}}{957 \text{ MHz}} \right| * 100 \% = 0,627 \%$$

Untuk frekuensi kerja rendah 2.45 GHz:

$$Error = \left| \frac{2360 \text{ MHz} - 2424 \text{ MHz}}{2424 \text{ MHz}} \right| * 100 \% = 2,640 \%$$

Untuk frekuensi kerja atas 2.45 GHz

$$\text{Error} = \left| \frac{2535 \text{ MHz} - 2465 \text{ MHz}}{2465 \text{ MHz}} \right| * 100 \% = 2,841 \%$$

Perbedaan-perbedaan yang terjadi antara simulasi dan hasil pengukuran dapat disebabkan oleh berbagai macam penyebab. Penyebab-penyebab tersebut antara lain adalah sebagai berikut:

1. Adanya *air gap* pada saat penggabungan dua buah substrat menjadi satu, karena antenna memiliki ketebalan 3,2 mm yang tersusun atas dua buah substrat yang masing-masing memiliki ketebalan 1,6 mm,
2. Terdapat sedikit ketidaksesuaian dimensi substrat dan *patch* desain antenna simulasi dengan fabrikasi, dimana substrat yang seharusnya berdimensi 9,33 cm x 7,89 cm menjadi berdimensi 9,3 cm x 7,8 cm,
3. Adanya *losses* pada kabel penghubung yang menghubungkan *Network Analyzer* dengan antenna sebesar 2 dB.

BAB 5

KESIMPULAN

Pada skripsi ini telah didesain sebuah antenna mikrostrip *multiband* untuk aplikasi RFID (*Radio Frequency Identification*). Dari hasil skripsi yang telah dibuat, didapatlah beberapa kesimpulan

1. Antena mikrostrip dengan metode *Reactively-loaded multi-frequency antenna* dengan penambahan *slot* yang didesain berdasarkan pengukuran bekerja pada frekuensi 840 MHz – 849 MHz (frekuensi ini mencakupi frekuensi 840 - 844 MHz RFID di China), kemudian 947 MHz – 963 MHz (frekuensi ini mencakupi frekuensi 950 – 955 MHz RFID di Jepang), serta pada frekuensi kerja 2,360 GHz – 2,535 GHz (frekuensi ini mencakupi frekuensi 2,446 GHz – 2,454 GHz di Eropa menurut ISM), dengan nilai *return loss* dibawah -9,54 dB dan $VSWR \leq 2$.
2. Nilai impedansi Hasil pengukuran menunjukkan bahwa untuk frekuensi resonansi 842 MHz dihasilkan nilai impedansi $65,938 \pm 16,402j$ Ohm, sedangkan untuk 953 MHz dihasilkan nilai impedansi $55,539 \pm 20,117j$ Ohm, serta untuk 2,45 GHz dihasilkan nilai impedansi $81,723 \pm 13,629j$ Ohm
3. Dari pengukuran pola radiasi diketahui bahwa antena memiliki pola radiasi *unidirectional* dengan bentuk polarisasi linier pada frekuensi 842 MHz dan 953 MHz, serta memiliki polarisasi melingkar pada frekuensi 2,45 GHz.
4. Dari pengukuran *Gain* didapatkan nilai *gain* untuk frekuensi 842 MHz adalah -6,966 dB, untuk frekuensi 953 MHz bernilai -2, 54 dB, dan untuk frekuensi 2,45 GHz bernilai -3.041 dB

DAFTAR ACUAN

- [1] Patrick J. Sweeney II, *RFID for dummies* (Indiana: Wiley Publishing Inc Int.,2005)
- [2] Ramesh G, *et al*, *Microstrip Antenna Design Handbook* (London: Artech House , 2000)
- [3] Constantine A. Balanis, *Antenna Theory: Analysis and Design*, (New York: John Wiley and Sons Inc, 1997)
- [4] Syed A, Mohammad I, *RFID Handbook:Applications Technology, Security, and Prifacy*, (New York: CRC Press, 2008)
- [5] S. Maci, G. Biffi, *Dual Frequency Patch Antenna*, *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, Vol. 39, No. 6, December 1997
- [6] N. M. Sameena, R. B. Konda, *A Novel Slot For Enhancing The Impedance Bandwidth and Gain of Rectangular Microstrip*, *Progress In Electromagnetics Research C*, Vol. 11, 11-19, 2009
- [7] C. Chulvanich, J. Nakasuwan, *et al*, *Design Narrow Slot Antenna for Dual Frequency*, *PIERS ONLINE*, Vol. 3, No. 7, 2007
- [8] G. Monti, L. Catarinucci, *Compact Microstrip Antenna for RFID Application*, *Progress In Electromagnetics Research Letters*, Vol. 8, 191-199, 2009
- [9] Klaus F, *RFID Handbook: Fundamentals and Applications in Contactless Smart Card and Identification, second edition* (Chichester: Wiley, 2003)
- [10] Sam P, *RFID Case Study Book*, (Abhisam Software, 2007)

- [11] Edmund A. Laport, *Radio Antenna Engineering*, (New York: McGraw-Hill Book Company inc, 1952)
- [12] Hilman Halim. “Perancangan antena mikrostrip *triple-band* yang bekerja pada frekuensi WIMAX” Skripsi, Program Sarjana Fakultas Teknik UI, Depok, 2006
- [13] Roy J, Thomas M “*Miniaturized Broadband Microstrip Antennas for HIPERLAN/2 Application*,” Romanian Journal of Information Sciend and Technology, X, no 4 (2007)
- [14] Chi-Fang H, *et al*, “*Design of Logo-Based Tag Antennas of RFID Applications*”, International Symposium of Antennas and Propagation, Paper ID: 1645061, October (2008)
- [15] GS1 EPC Global, *Regulatory status for using RFID in the UHF spectrum*, , EPC Global Official Journal of the European Communities (2009)
- [16] Vivekananda Lanka Subrahmanya, “*Pattern Analysis of The Rectangular Microstrip Patch Antenna*” Final Master Degree Thesis 30 ECTS, Thesis No.: 4/2009
- [17] Wikipedia, [Http://en.wikipedia.org](http://en.wikipedia.org). Diakses 30 Desember 2009
- [18] Google, [Http://www.antiquewireless.org/otb/forgoten.htm](http://www.antiquewireless.org/otb/forgoten.htm). Diakses 30 Desember 2009

DAFTAR PUSTAKA

Constantine A. Balanis, *Antenna Theory: Analysis and Design*, (New York: John Wiley and Sons Inc, 1997)

Edmund A. Laport, *Radio Antenna Engineering*, (New York: McGraw-Hill Book Company inc, 1952)

Fitri, Iskandar (2008) "Studi Karakteristik Pancaran antena Mikrostrip *Slot* jalur Lebar (*Wideband*)". Diakses 2 Oktober 2009, dari Badan Penelitian dan Pengembangan SDM, DEPKOMINFO.

<http://blogs.depkominfo.go.id/balitbang/2008/03/27/studi-karakteristik-pancaran-antena-mikrostrip-slot-jalur-lebar-wideband/>

Hilman Halim. "Perancangan antena mikrostrip *triple-band* yang bekerja pada frekuensi WIMAX" Skripsi, Program Sarjana Fakultas Teknik UI, Depok, 2006

Klaus F, *RFID Handbook: Fundamentals and Applications in Contactless Smart Card and Identification, second edition* (Chichester: Wiley, 2003)

Patrick J. Sweeney II, *RFID for dummies* (Indiana: Wiley Publishing Inc Int.,(2005)

Ramesh G, *et al, Microstrip Antenna Design Handbook* (London: Artech House , 2000)

Roy J, Thomas M "Miniaturized Broadband Microstrip Antennas for *HIPERLAN/2* Application," Romanian Journal of Information Sciend and Technology, X, no 4 (2007)

Sam P, *RFID Case Study Book*, (Abhisam Software, 2007)

Syed A, Mohammad I, *RFID Handbook: Applications Technology, Security, and Privacy*, (New York: CRC Press, 2008)



Lampiran 1 Data Hasil Pengukuran Pola Radiasi (E-Plane)

Tabel Lampiran 1.1 E-plane (co) pada Frekuensi 842 MHz

	(E) 842 MHz			
sudut (derajat)	data 1	data 2	rata-rata	normalisasi
0	-41,477	-41,532	-41,5045	-0,8465
10	-41,457	-41,501	-41,479	-0,821
20	-40,705	-40,611	-40,658	0
30	-40,833	-40,921	-40,877	-0,219
40	-40,887	-41,077	-40,982	-0,324
50	-41,813	-41,996	-41,9045	-1,2465
60	-42,345	-42,415	-42,38	-1,722
70	-43,512	-43,598	-43,555	-2,897
80	-44,795	-44,949	-44,872	-4,214
90	-45,281	-45,321	-45,301	-4,643
100	-45,414	-45,549	-45,4815	-4,8235
110	-45,352	-45,1	-45,226	-4,568
120	-45,209	-45,275	-45,242	-4,584
130	-45,135	-45,197	-45,166	-4,508
140	-45,112	-45,119	-45,1155	-4,4575
150	-44,654	-44,742	-44,698	-4,04
160	-44,355	-44,338	-44,3465	-3,6885
170	-44,372	-44,378	-44,375	-3,717
180	-44,577	-44,683	-44,63	-3,972
190	-46,496	-46,556	-46,526	-5,868
200	-47,374	-47,379	-47,3765	-6,7185
210	-48,164	-48,176	-48,17	-7,512
220	-48,589	-48,54	-48,5645	-7,9065
230	-48,797	-48,786	-48,7915	-8,1335
240	-49,668	-49,726	-49,697	-9,039
250	-51,011	-52,972	-51,9915	-11,3335
260	-49,761	-49,826	-49,7935	-9,1355
270	-49,214	-49,155	-49,1845	-8,5265
280	-48,662	-48,596	-48,629	-7,971
290	-47,11	-47,602	-47,356	-6,698
300	-46,978	-46,834	-46,906	-6,248
310	-45,721	-45,731	-45,726	-5,068
320	-44,318	-44,47	-44,394	-3,736
330	-43,734	-43,721	-43,7275	-3,0695
340	-42,661	-42,639	-42,65	-1,992
350	-41,928	-41,939	-41,9335	-1,2755

(Lanjutan)

Tabel Lampiran 1.2 E-plane (cross) pada Frekuensi 842 MHz

(E) 843 MHz				
sudut (derajat)	data 1	data 2	rata-rata	normalisasi
0	-41,755	-41,763	-41,759	0
10	-42,171	-42	-42,136	-0,377
20	-42,373	-42,385	-42,379	-0,62
30	-43,033	-43,112	-43,0725	-1,3135
40	-44,344	-44,407	-44,3755	-2,6165
50	-45,924	-45,735	-45,8295	-4,0705
60	-45,947	-46,033	-45,99	-4,231
70	-48,195	-48,141	-48,168	-6,409
80	-49,621	-49,775	-49,698	-7,939
90	-51,542	-51,691	-51,6165	-9,8575
100	-53,747	-53,558	-53,6525	-11,8935
110	-54,003	-54,112	-54,0575	-12,2985
120	-52,462	-52,422	-52,442	-10,683
130	-51,745	-51,976	-51,8605	-10,1015
140	-50,112	-50,161	-50,1365	-8,3775
150	-48,732	-48,585	-48,6585	-6,8995
160	-47,433	-47,549	-47,491	-5,732
170	-47,412	-47,364	-47,388	-5,629
180	-45,747	-46,022	-45,8845	-4,1255
190	-45,77	-45,819	-45,7945	-4,0355
200	-45,731	-45,793	-45,762	-4,003
210	-46,327	-46,242	-46,2845	-4,5255
220	-46,027	-46,053	-46,04	-4,281
230	-46,231	-46,289	-46,26	-4,501
240	-46,441	-46,504	-46,4725	-4,7135
250	-46,722	-46,754	-46,738	-4,979
260	-46,921	-46,818	-46,8695	-5,1105
270	-46,441	-46,533	-46,487	-4,728
280	-46,403	-46,391	-46,397	-4,638
290	-46,113	-46,189	-46,151	-4,392
300	-45,642	-45,689	-45,6655	-3,9065
310	-45,881	-45,772	-45,8265	-4,0675
320	-44,483	-44,394	-44,4385	-2,6795
330	-43,717	-43,722	-43,7195	-1,9605
340	-43,331	-43,244	-43,2875	-1,5285
350	-42,551	-42,398	-42,4745	-0,7155

(Lanjutan)

Tabel Lampiran 1.3 E-plane (co) pada Frekuensi 953 MHz

		(E) 953 MHz		
sudut (derajat)	data 1	data 2	rata-rata	normalisasi
0	-46,671	-46,648	-46,6595	-0,7285
10	-47,947	-47,957	-47,952	-2,021
20	-49,81	-49,808	-49,809	-3,878
30	-49,872	-49,914	-49,893	-3,962
40	-49,872	-49,869	-49,8705	-3,9395
50	-51,278	-51,327	-51,3025	-5,3715
60	-53,571	-53,758	-53,6645	-7,7335
70	-52,358	-52,464	-52,411	-6,48
80	-59,711	-59,684	-59,6975	-13,7665
90	-51,826	-51,733	-51,7795	-5,8485
100	-50,255	-50,285	-50,27	-4,339
110	-55,528	-55,621	-55,5745	-9,6435
120	-58,403	-58,497	-58,45	-12,519
130	-60,528	-60,462	-60,495	-14,564
140	-65,169	-64,636	-64,9025	-18,9715
150	-64,721	-66,329	-65,525	-19,594
160	-64,27	-64,633	-64,4515	-18,5205
170	-65,615	-65,8	-65,7075	-19,7765
180	-66,244	-66,203	-66,2235	-20,2925
190	-68,556	-68,379	-68,4675	-22,5365
200	-78,325	-80,393	-79,359	-33,428
210	-66,628	-66,044	-66,336	-20,405
220	-59,385	-59,669	-59,527	-13,596
230	-57,378	-57,516	-57,447	-11,516
240	-60,462	-60,926	-60,694	-14,763
250	-63,611	-66,141	-64,876	-18,945
260	-65,735	-63,657	-64,696	-18,765
270	-62,468	-62,381	-62,4245	-16,4935
280	-61,572	-61,27	-61,421	-15,49
290	-59,311	-57,686	-58,4985	-12,5675
300	-56,167	-54,296	-55,2315	-9,3005
310	-50,891	-50,245	-50,568	-4,637
320	-48,767	-48,38	-48,5735	-2,6425
330	-47,345	-47,045	-47,195	-1,264
340	-46,347	-46,212	-46,2795	-0,3485
350	-45,934	-45,928	-45,931	0

(Lanjutan)

Tabel Lampiran 1.4 E-plane (cross) pada Frekuensi 953 MHz

		(E) 953 MHz		
sudut (derajat)	data 1	data 2	rata-rata	normalisasi
0	-51,824	-51,522	-51,673	-2,259
10	-53,311	-52,891	-53,101	-3,687
20	-54,223	-54,094	-54,1585	-4,7445
30	-53,922	-53,637	-53,7795	-4,3655
40	-53,134	-52,775	-52,9545	-3,5405
50	-52,218	-51,945	-52,0815	-2,6675
60	-52,973	-52,978	-52,9755	-3,5615
70	-53,104	-53,032	-53,068	-3,654
80	-55,375	-54,92	-55,1475	-5,7335
90	-58,651	-58,544	-58,5975	-9,1835
100	-57,41	-58,352	-57,881	-8,467
110	-58,594	-58,942	-58,768	-9,354
120	-57,921	-58,037	-57,979	-8,565
130	-58,212	-58,2	-58,206	-8,792
140	-58,932	-57,924	-58,428	-9,014
150	-57,834	-57,998	-57,916	-8,502
160	-58,638	-59,279	-58,9585	-9,5445
170	-59,751	-59,656	-59,7035	-10,2895
180	-61,223	-61,78	-61,5015	-12,0875
190	-63,332	-62,817	-63,0745	-13,6605
200	-65,444	-65,912	-65,678	-16,264
210	-69,701	-69,277	-69,489	-20,075
220	-73,505	-72,63	-73,0675	-23,6535
230	-69,347	-68,115	-68,731	-19,317
240	-65,501	-65,71	-65,6055	-16,1915
250	-65,26	-65,784	-65,522	-16,108
260	-66,87	-66,44	-66,655	-17,241
270	-68,38	-69,267	-68,8235	-19,4095
280	-76,052	-75,573	-75,8125	-26,3985
290	-63,741	-63,736	-63,7385	-14,3245
300	-58,21	-58,124	-58,167	-8,753
310	-54,377	-54,229	-54,303	-4,889
320	-52,29	-51,87	-52,08	-2,666
330	-50,453	-50,214	-50,3335	-0,9195
340	-49,521	-49,307	-49,414	0
350	-51,826	-51,417	-51,6215	-2,2075

(Lanjutan)

Tabel Lampiran 1.5 E-plane (co) pada Frekuensi 2,45 GHz

		(E) 2,45 GHz		
sudut (derajat)	data 1	data 2	rata-rata	normalisasi
0	-55,511	-55,651	-55,581	-2,784
10	-56,457	-56,982	-56,7195	-3,9225
20	-60,245	-60,274	-60,2595	-7,4625
30	-60,559	-59,898	-60,2285	-7,4315
40	-60,881	-61,224	-61,0525	-8,2555
50	-61,133	-61,268	-61,2005	-8,4035
60	-62,093	-62,152	-62,1225	-9,3255
70	-61,666	-61,763	-61,7145	-8,9175
80	-66,754	-67,448	-67,101	-14,304
90	-67,833	-67,818	-67,8255	-15,0285
100	-75,983	-79,818	-77,9005	-25,1035
110	-67,321	-66,002	-66,6615	-13,8645
120	-62,359	-62,25	-62,3045	-9,5075
130	-61,329	-60,887	-61,108	-8,311
140	-62,414	-62,572	-62,493	-9,696
150	-63,928	-63,37	-63,649	-10,852
160	-64,193	-64,276	-64,2345	-11,4375
170	-65,968	-66,513	-66,2405	-13,4435
180	-68,756	-68,355	-68,5555	-15,7585
190	-73,319	-74,041	-73,68	-20,883
200	-76,587	-75,325	-75,956	-23,159
210	-75,217	-75,401	-75,309	-22,512
220	-68,464	-68,114	-68,289	-15,492
230	-66,716	-66,57	-66,643	-13,846
240	-65,912	-65,729	-65,8205	-13,0235
250	-64,187	-63,586	-63,8865	-11,0895
260	-64,621	-64,987	-64,804	-12,007
270	-64,392	-64,597	-64,4945	-11,6975
280	-63,456	-63,694	-63,575	-10,778
290	-61,5	-61,215	-61,3575	-8,5605
300	-59,376	-58,556	-58,966	-6,169
310	-56,724	-56,086	-56,405	-3,608
320	-53,886	-53,831	-53,8585	-1,0615
330	-53,249	-53,093	-53,171	-0,374
340	-52,858	-52,736	-52,797	0
350	-53,407	-53,498	-53,4525	-0,6555

(Lanjutan)

Tabel Lampiran 1.6 E-plane (cross) pada Frekuensi 2,45 GHz

		(E) 2,45 GHz		
sudut (derajat)	data 1	data 2	rata-rata	normalisasi
0	-66,424	-66,11	-66,267	-2,724
10	-63,942	-63,607	-63,7745	-0,2315
20	-63,429	-63,946	-63,6875	-0,1445
30	-63,663	-63,423	-63,543	0
40	-64,465	-64,877	-64,671	-1,128
50	-66,247	-66,425	-66,336	-2,793
60	-69,974	-70,002	-69,988	-6,445
70	-75,007	-73,801	-74,404	-10,861
80	-68,243	-68,821	-68,532	-4,989
90	-64,481	-64,674	-64,5775	-1,0345
100	-64,738	-64,233	-64,4855	-0,9425
110	-65,918	-66,118	-66,018	-2,475
120	-75,377	-73,879	-74,628	-11,085
130	-72,874	-73,55	-73,212	-9,669
140	-77,363	-79,949	-78,656	-15,113
150	-73,555	-73,131	-73,343	-9,8
160	-68,87	-68,817	-68,8435	-5,3005
170	-67,15	-67,014	-67,082	-3,539
180	-65,32	-66,874	-66,097	-2,554
190	-64,324	-64,875	-64,5995	-1,0565
200	-65,646	-65,154	-65,4	-1,857
210	-66,506	-66,377	-66,4415	-2,8985
220	-66,164	-66,7	-66,432	-2,889
230	-67,13	-67,339	-67,2345	-3,6915
240	-67,867	-67,471	-67,669	-4,126
250	-66,361	-66,21	-66,2855	-2,7425
260	-66,218	-66,632	-66,425	-2,882
270	-65,71	-65,576	-65,643	-2,1
280	-65,318	-64,346	-64,832	-1,289
290	-64,322	-64,164	-64,243	-0,7
300	-64,307	-64,981	-64,644	-1,101
310	-63,67	-64,763	-64,2165	-0,6735
320	-65,611	-65,86	-65,7355	-2,1925
330	-69,617	-70,414	-70,0155	-6,4725
340	-79,953	-81,1	-80,5265	-16,9835
350	-69,381	-69,377	-69,379	-5,836

Lampiran 2 Data Hasil Pengukuran Pola Radiasi (H-Plane)

Tabel Lampiran 2.1 H-plane (co) pada Frekuensi 842 MHz

	(H) 842 MHz			
sudut (derajat)	data 1	data 2	rata-rata	normalisasi
0	-42,181	-42,337	-42,259	-0,4915
10	-42,152	-42,211	-42,1815	-0,414
20	-41,793	-41,742	-41,7675	0
30	-41,838	-41,871	-41,8545	-0,087
40	-42,367	-42,443	-42,405	-0,6375
50	-43,152	-43,061	-43,1065	-1,339
60	-43,679	-43,715	-43,697	-1,9295
70	-45,611	-45,736	-45,6735	-3,906
80	-46,719	-46,984	-46,8515	-5,084
90	-46,211	-46,147	-46,179	-4,4115
100	-45,863	-45,934	-45,8985	-4,131
110	-45,641	-45,769	-45,705	-3,9375
120	-46,002	-46,137	-46,0695	-4,302
130	-46,257	-46,334	-46,2955	-4,528
140	-47,551	-47,818	-47,6845	-5,917
150	-48,592	-48,531	-48,5615	-6,794
160	-49,905	-50,101	-50,003	-8,2355
170	-50,477	-50,538	-50,5075	-8,74
180	-50,979	-50,723	-50,851	-9,0835
190	-49,913	-49,738	-49,8255	-8,058
200	-48,471	-48,584	-48,5275	-6,76
210	-49,195	-49,608	-49,4015	-7,634
220	-50,262	-50,721	-50,4915	-8,724
230	-56,01	-56,414	-56,212	-14,4445
240	-64,572	-64,012	-64,292	-22,5245
250	-56,242	-55,347	-55,7945	-14,027
260	-49,011	-48,773	-48,892	-7,1245
270	-46,252	-46,131	-46,1915	-4,424
280	-46,274	-46,234	-46,254	-4,4865
290	-46,655	-46,759	-46,707	-4,9395
300	-47,762	-47,711	-47,7365	-5,969
310	-47,423	-47,447	-47,435	-5,6675
320	-46,839	-47,025	-46,932	-5,1645
330	-44,607	-44,571	-44,589	-2,8215
340	-43,812	-43,715	-43,7635	-1,996
350	-42,846	-42,807	-42,8265	-1,059

(Lanjutan)

Tabel Lampiran 2.2 H-plane (cross) pada Frekuensi 842 MHz

(H) 842 MHz				
sudut (derajat)	data 1	data 2	rata-rata	normalisasi
0	-45,124	-45,077	-45,1005	0
10	-45,337	-45,359	-45,348	-0,2475
20	-45,665	-45,612	-45,6385	-0,538
30	-46,354	-46,371	-46,3625	-1,262
40	-46,755	-46,733	-46,744	-1,6435
50	-47,674	-47,782	-47,728	-2,6275
60	-48,315	-48,281	-48,298	-3,1975
70	-48,115	-48,057	-48,086	-2,9855
80	-47,077	-47,131	-47,104	-2,0035
90	-47,255	-47,184	-47,2195	-2,119
100	-46,802	-46,744	-46,773	-1,6725
110	-46,282	-46,531	-46,4065	-1,306
120	-46,351	-46,671	-46,511	-1,4105
130	-48,122	-48,148	-48,135	-3,0345
140	-51,401	-51,615	-51,508	-6,4075
150	-55,603	-55,586	-55,5945	-10,494
160	-56,176	-56,007	-56,0915	-10,991
170	-53,111	-53,147	-53,129	-8,0285
180	-51,499	-51,606	-51,5525	-6,452
190	-51,142	-51,249	-51,1955	-6,095
200	-51,171	-51,145	-51,158	-6,0575
210	-51,305	-51,421	-51,363	-6,2625
220	-51,711	-51,638	-51,6745	-6,574
230	-51,774	-51,806	-51,79	-6,6895
240	-52,25	-52,192	-52,221	-7,1205
250	-54,777	-54,601	-54,689	-9,5885
260	-56,143	-56,222	-56,1825	-11,082
270	-56,734	-56,561	-56,6475	-11,547
280	-56,344	-56,61	-56,477	-11,3765
290	-56,312	-56,255	-56,2835	-11,183
300	-55,813	-55,925	-55,869	-10,7685
310	-52,979	-52,844	-52,9115	-7,811
320	-50,441	-50,501	-50,471	-5,3705
330	-48,542	-48,437	-48,4895	-3,389
340	-46,937	-47,014	-46,9755	-1,875
350	-46,127	-46,082	-46,1045	-1,004

(Lanjutan)

Tabel Lampiran 2.3 H-plane (co) pada Frekuensi 953 MHz

	(H) 953 MHz			
sudut (derajat)	data 1	data 2	rata-rata	normalisasi
0	-46,801	-46,755	-46,778	-0,4095
10	-46,387	-46,35	-46,3685	0
20	-47,517	-47,159	-47,338	-0,9695
30	-47,481	-47,492	-47,4865	-1,118
40	-47,251	-47,647	-47,449	-1,0805
50	-48,114	-48,175	-48,1445	-1,776
60	-48,613	-48,63	-48,6215	-2,253
70	-48,273	-47,959	-48,116	-1,7475
80	-49,201	-49,958	-49,5795	-3,211
90	-49,412	-49,456	-49,434	-3,0655
100	-50,703	-50,336	-50,5195	-4,151
110	-56,121	-55,42	-55,7705	-9,402
120	-55,389	-55,54	-55,4645	-9,096
130	-64,242	-62,814	-63,528	-17,1595
140	-58,665	-58,488	-58,5765	-12,208
150	-53,256	-53,126	-53,191	-6,8225
160	-55,87	-55,57	-55,72	-9,3515
170	-55,247	-55,717	-55,482	-9,1135
180	-53,924	-53,594	-53,759	-7,3905
190	-56,035	-55,783	-55,909	-9,5405
200	-54,474	-54,365	-54,4195	-8,051
210	-52,183	-52,805	-52,494	-6,1255
220	-52,921	-52,731	-52,826	-6,4575
230	-54,362	-55,179	-54,7705	-8,402
240	-56,273	-57,492	-56,8825	-10,514
250	-54,493	-55,314	-54,9035	-8,535
260	-56,349	-56,626	-56,4875	-10,119
270	-55,991	-55,742	-55,8665	-9,498
280	-56,421	-56,105	-56,263	-9,8945
290	-57,132	-56,06	-56,596	-10,2275
300	-54,901	-55,137	-55,019	-8,6505
310	-54,251	-55,541	-54,896	-8,5275
320	-54,229	-55,112	-54,6705	-8,302
330	-54,257	-54,551	-54,404	-8,0355
340	-50,627	-50,515	-50,571	-4,2025
350	-48,655	-48,516	-48,5855	-2,217

(Lanjutan)

Tabel Lampiran 2.4 H-plane (cross) pada Frekuensi 953 MHz

		(H) 953 MHz		
sudut (derajat)	data 1	data 2	rata-rata	normalisasi
0	-50,06	-49,943	-50,0015	0
10	-50,417	-50,362	-50,3895	-0,388
20	-51,573	-51,125	-51,349	-1,3475
30	-52,164	-52,287	-52,2255	-2,224
40	-52,012	-52,031	-52,0215	-2,02
50	-51,316	-51,128	-51,222	-1,2205
60	-51,025	-50,915	-50,97	-0,9685
70	-51,565	-51,694	-51,6295	-1,628
80	-52,345	-52,215	-52,28	-2,2785
90	-52,372	-52,852	-52,612	-2,6105
100	-54,321	-54,574	-54,4475	-4,446
110	-52,046	-52,593	-52,3195	-2,318
120	-50,124	-50,236	-50,18	-0,1785
130	-53,974	-54,515	-54,2445	-4,243
140	-64,345	-65,194	-64,7695	-14,768
150	-60,215	-59,272	-59,7435	-9,742
160	-59,675	-59,631	-59,653	-9,6515
170	-62,144	-62,214	-62,179	-12,1775
180	-72,641	-71,782	-72,2115	-22,21
190	-61,511	-61,174	-61,3425	-11,341
200	-62,958	-61,422	-62,19	-12,1885
210	-64,129	-65,027	-64,578	-14,5765
220	-62,611	-61,115	-61,863	-11,8615
230	-55,611	-55,125	-55,368	-5,3665
240	-53,318	-53,555	-53,4365	-3,435
250	-57,132	-57,878	-57,505	-7,5035
260	-63,951	-63,124	-63,5375	-13,536
270	-63,666	-63,417	-63,5415	-13,54
280	-59,119	-59,244	-59,1815	-9,18
290	-55,789	-55,796	-55,7925	-5,791
300	-53,314	-55,564	-54,439	-4,4375
310	-52,521	-52,369	-52,445	-2,4435
320	-51,159	-50,199	-50,679	-0,6775
330	-50,251	-50,128	-50,1895	-0,188
340	-50,241	-50,331	-50,286	-0,2845
350	-50,551	-50,121	-50,336	-0,3345

(Lanjutan)

Tabel Lampiran 2.5 H-plane (co) pada Frekuensi 2,45 GHz

		(H) 2,45 GHz		
sudut (derajat)	data 1	data 2	rata-rata	normalisasi
0	-63,111	-62,644	-62,8775	-5,0035
10	-62,703	-62,547	-62,625	-4,751
20	-62,146	-62,908	-62,527	-4,653
30	-61,872	-59,668	-60,77	-2,896
40	-61,128	-60,397	-60,7625	-2,8885
50	-61,277	-61,094	-61,1855	-3,3115
60	-60,337	-59,012	-59,6745	-1,8005
70	-60,41	-60,512	-60,461	-2,587
80	-61,481	-63,822	-62,6515	-4,7775
90	-62,779	-65,426	-64,1025	-6,2285
100	-70,86	-74,631	-72,7455	-14,8715
110	-78,251	-69,905	-74,078	-16,204
120	-65,681	-63,522	-64,6015	-6,7275
130	-61,031	-60,772	-60,9015	-3,0275
140	-63,899	-68,795	-66,347	-8,473
150	-72,046	-68,323	-70,1845	-12,3105
160	-74,16	-76,086	-75,123	-17,249
170	-71,264	-69,734	-70,499	-12,625
180	-68,339	-67,453	-67,896	-10,022
190	-68,124	-70,091	-69,1075	-11,2335
200	-64,194	-63,356	-63,775	-5,901
210	-63,079	-62,232	-62,6555	-4,7815
220	-60,81	-60,837	-60,8235	-2,9495
230	-63,403	-62,933	-63,168	-5,294
240	-61,734	-60,507	-61,1205	-3,2465
250	-61,125	-59,594	-60,3595	-2,4855
260	-60,377	-59,294	-59,8355	-1,9615
270	-58,733	-58,158	-58,4455	-0,5715
280	-57,821	-57,927	-57,874	0
290	-58,224	-57,99	-58,107	-0,233
300	-57,873	-58,22	-58,0465	-0,1725
310	-59,078	-58,731	-58,9045	-1,0305
320	-60,096	-60,636	-60,366	-2,492
330	-61,038	-61,306	-61,172	-3,298
340	-61,704	-62,195	-61,9495	-4,0755
350	-63,563	-63,218	-63,3905	-5,5165

(Lanjutan)

Tabel Lampiran 2.6 H-plane (cross) pada Frekuensi 2,45 GHz

		(H) 2,45 GHz		
sudut (derajat)	data 1	data 2	rata-rata	normalisasi
0	-58,172	-58,013	-58,0925	0
10	-58,403	-58,462	-58,4325	-0,34
20	-58,685	-58,933	-58,809	-0,7165
30	-59,69	-61,856	-60,773	-2,6805
40	-62,854	-62,4	-62,627	-4,5345
50	-68,247	-69,21	-68,7285	-10,636
60	-68,022	-67,234	-67,628	-9,5355
70	-67,627	-66,227	-66,927	-8,8345
80	-63,512	-63,496	-63,504	-5,4115
90	-76,303	-75,005	-75,654	-17,5615
100	-73,592	-74,102	-73,847	-15,7545
110	-66,196	-65,472	-65,834	-7,7415
120	-66,135	-66,085	-66,11	-8,0175
130	-64,653	-65,556	-65,1045	-7,012
140	-70,554	-70,828	-70,691	-12,5985
150	-70,211	-69,708	-69,9595	-11,867
160	-68,676	-68,54	-68,608	-10,5155
170	-63,259	-63,001	-63,13	-5,0375
180	-62,775	-62,648	-62,7115	-4,619
190	-63,006	-62,891	-62,9485	-4,856
200	-62,316	-62,403	-62,3595	-4,267
210	-63,727	-63,611	-63,669	-5,5765
220	-66,162	-65,765	-65,9635	-7,871
230	-68,294	-67,655	-67,9745	-9,882
240	-70,672	-69,981	-70,3265	-12,234
250	-69,133	-69,005	-69,069	-10,9765
260	-84,575	-82,798	-83,6865	-25,594
270	-74,83	-72,207	-73,5185	-15,426
280	-67,501	-67,54	-67,5205	-9,428
290	-72,669	-72,009	-72,339	-14,2465
300	-73,539	-74,287	-73,913	-15,8205
310	-75,736	-74,119	-74,9275	-16,835
320	-72,251	-70,454	-71,3525	-13,26
330	-66,481	-65,456	-65,9685	-7,876
340	-65,7	-65,648	-65,674	-7,5815
350	-71,396	-70,409	-70,9025	-12,81

Lampiran 3 Data Hasil Pengukuran *Gain*Tabel Lampiran 3.1 *Gain* Frekuensi 842 MHz

Tx	Rx	Daya penerima (μW)		
		Daya I	Daya II	Jarak (cm)
A	B	0,865	0,864	12
A	C	0,292	0,291	15
B	C	0,563	0,562	25
G1+G2	-16,7872		G1	-6,966
G2+G3	-21,5084		G2	-7,532
G1+G3	-18,6536		G3	-11,687

Tabel Lampiran 3.2 *Gain* Frekuensi 953 MHz

Tx	Rx	Daya penerima (μW)		
		Daya I	Daya II	Jarak (cm)
A	B	1,104	1,093	12
A	C	0,237	0,225	15
B	C	1,34	1,35	25
G1+G2	-12,733		G1	-2,54
G2+G3	-19,5049		G2	-5,247
G1+G3	-11,8538		G3	-7,091

Tabel Lampiran 3.3 *Gain* Frekuensi 2,45 GHz

Tx	Rx	Daya penerima (μW)		
		Daya I	Daya II	Jarak (cm)
A	B	0,209	0,205	12
A	C	0,0801	0,0793	15
B	C	0,107	0,106	25
G1+G2	-7,34285		G1	-3,041
G2+G3	-11,488		G2	-4,311
G1+G3	-10,2291		G3	-7,187