



UNIVERSITAS INDONESIA

**RANCANG BANGUN ANTENA MIKROSTRIP *MULTIBAND* UNTUK
APLIKASI PEMBACA RFID DENGAN MENGGUNAKAN TEKNIK
PENCATUAN *ELECTROMAGNETIC COUPLING***

SKRIPSI

**SUBROTO FAJAR SIDDIQ
06 06 07 4376**

**FAKULTAS TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
DEPOK
DESEMBER 2010**



UNIVERSITAS INDONESIA

**RANCANG BANGUN ANTENA MIKROSTRIP *MULTIBAND* UNTUK
APLIKASI PEMBACA RFID DENGAN MENGGUNAKAN TEKNIK
PENCATUAN *ELECTROMAGNETIC COUPLING***

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

**SUBROTO FAJAR SIDDIQ
06 06 07 4376**

**FAKULTAS TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
DEPOK
DESEMBER 2010**

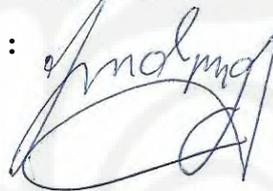
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Subroto Fajar Siddiq

NPM : 0606074376

Tanda Tangan :



Tanggal : 15 Desember 2010

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Subroto Fajar Siddiq
NPM : 0606074326
Program Studi : Teknik Elektro
Judul Skripsi : RANCANG BANGUN ANTENA MIKROSTRIP
MULTIBAND UNTUK APLIKASI PEMBACA RFID
DENGAN MENGGUNAKAN TEKNIK
PENCATUAN *ELECTROMAGNETIC COUPLING*

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

DEWAN PENGUJI

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



Penguji : Prof. Ir. Dr. Eko Tjipto Rahardjo, M.Sc., Ph.D.



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



Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 27 Desember 2010

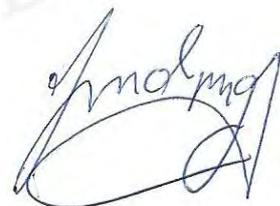
KATA PENGANTAR

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

- (1) *Dr. Fitri Yuli Zulkifli, S.T., Msc*, selaku dosen pembimbing dan *Prof. Eko Tjipto Rahardjo*, selaku Ketua *Antenna Propagation and Microwave Research Group* yang telah menyediakan waktu, tenaga dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini.
- (2) Orang tua dan keluarga saya yang telah memberikan dukungan moril dan materil.
- (3) Yudha Dwi, Achmad Fauzi, Ilyas S., Nofrizal, Aditya "Pepsi" Inzani, Tajudin, Rommy R. Arief dan rekan-rekan mahasiswa/i Teknik Elektro Angkatan 2006 yang telah membantu dan memberi dukungan dalam penyusunan buku skripsi ini.
- (4) Pihak- pihak yang telah membantu saya dalam menyelesaikan skripsi ini.

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

Depok, 15 Desember 2010



Penulis

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

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

Nama : Subroto Fajar Siddiq
NPM : 0606074376
Program Studi : Teknik Elektro
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

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

**RANCANG BANGUN ANTENA MIKROSTRIP *MULTIBAND*
UNTUK APLIKASI PEMBACA RFID DENGAN
MENGUNAKAN TEKNIK PENCATUAN
*ELECTROMAGNETIC COUPLING***

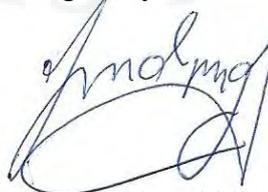
Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada Tanggal : 15 Desember 2010

Yang menyatakan



(Subroto Fajar Siddiq)

ABSTRAK

Nama : Subroto Fajar Siddiq
Program Studi : Teknik Elektro
Judul : RANCANG BANGUN ANTENA MIKROSTRIP *MULTIBAND*
UNTUK APLIKASI PEMBACA RFID DENGAN
MENGUNAKAN TEKNIK PENCATUAN
ELECTROMAGNETIC COUPLING
Pembimbing : Dr. Fitri Yuli Zulkifli, S.T., Msc.

Dalam buku skripsi ini, dirancang sebuah antena mikrostrip yang memiliki tiga frekuensi kerja untuk aplikasi pembaca RFID yaitu pada frekuensi 433 - 434 MHz, 923 - 925 MHz dan 2,446 - 2,454 GHz. Antena mikrostrip ini menggunakan dua substrat dengan dua *patch*. *Patch* pertama mempunyai dimensi 100 x 98 mm untuk frekuensi resonansi pada 433 - 434 MHz dan dimensi untuk *patch* kedua yaitu 57 x 38 mm yang mana didesain agar beresonansi pada frekuensi 2,446 - 2,454 GHz. Pada *patch* kedua, diberikan tambahan beberapa slot serta dilakukan karakterisasi terhadap slot tersebut. Karakterisasi dilakukan untuk mendapatkan frekuensi resonansi pada 923 - 925 MHz dan frekuensi 2,446 - 2,454 GHz. Antena mikrostrip ini dirancang dengan menggunakan substrat FR-4 yang memiliki dimensi 118 x 120 x 3.2 mm dan menerapkan teknik pencatuan *electromagnetic coupling*. Hasil pengukuran antena menunjukkan bahwa antena tersebut mempunyai *bandwidth* pada frekuensi 428,45 - 435,5 MHz, 911,8 - 939,1 MHz dan 2,42-2,487 GHz dapat tercapai.

Kata kunci: *Radio Frequency Identification* (RFID), Antena Mikrostrip

ABSTRACT

Name : Subroto Fajar Siddiq
Study Program : Teknik Elektro
Title : A MULTI BAND MICROSTRIP ANTENNA FOR RFID APPLICATION WITH ELECTROMAGNETIC COUPLING TECHNIQUE
Supervisor : Dr. Fitri Yuli Zulkifli, S.T., Msc.

This paper discusses about a microstrip antenna design for RFID reader which has frequency resonance at 433 - 434 MHz, 923 - 925 MHz and 2,446 – 2,454 GHz. This design uses 2 patches with dimension for the first patch is 100 x 98 mm for resonance frequency 433 - 434 MHz and dimension for the second patch is 57 x 38 mm which has a resonance frequency at 2,446 – 2,454 GHz. In the second patch, slots are added and characterized. Characterization of the slots has been conducted to excite the frequency resonance at 923 - 925 MHz and at 2,446 – 2,454 GHz. The antenna is designed with FR-4 substrate of dimension 118 x 120 x 3.2 mm and using electromagnetic coupling technique for the feeding. The result of measurement shows a frequency *bandwidth* at 428,45 - 435,5 MHz, 911,8 - 939,1 MHz and 2,42 - 2,487 GHz is achieved.

Key words : Radio Frequency Identification (RFID), Microstrip Antenna

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMANPERNYATAAN ORISINALITAS	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR SINGKATAN	xiii
DAFTAR ISTILAH	xiv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan	4
1.3 Batasan Masalah.....	5
1.4 Sistematika Penulisan	5
BAB 2 ANTENA MIKROSTRIP	6
2.1 Struktur Antena Mikrostrip.....	6
2.1.1 Patch	6
2.1.2 Saluran Pentransmisi	7
2.2 Metode Cavity	8
2.3 Parameter Umum Antena.....	10
2.3.1 Pola Radiasi	10
2.3.2 <i>Bandwidth</i>	12
2.3.3 Directivity	13
2.3.4 Gain	13
2.3.5 VSWR.....	14
2.3.6 Return Loss	15
2.3.7 Impedansi Masukan.....	15
2.4 Patch Bentuk Persegi Panjang	16
2.5 Teknik Pencatuan Electromagnetically Coupled.....	17
2.6 Teknik Untuk Menghasilkan Multi-frekuensi.....	18
2.7 Impedance Matching.....	20
2.7.1 Transformasi $\lambda/4$	21
2.8 T-JUNCTION 50 Ohm.....	21
BAB 3 PERANCANGAN ANTENA DAN SIMULASI	22
3.1 Perlengkapan Yang Digunakan.....	22
3.2 Diagram Alir Perancangan Antena.....	24
3.3 Menentukan Frekuensi Kerja Yang Diinginkan	25
3.4 Menentukan Substrat Yang Akan Digunakan.....	25
3.5 Menentukan Lebar Saluran Pencatu 50 Ω	25
3.6 Menentukan Lebar Saluran Pencatu 70,7 Ω	25
3.7 Penentuan Dimensi Antena	28
3.7.1 Dimensi Antena Untuk Frekuensi 433 MHz	28

3.7.2 Dimensi Antena Untuk Frekuensi 920 MHz dan 2,45 GHz....	30
3.8 Penggabungan Kedua Patch Antena.....	48
3.9 Karakterisasi Antena.....	50
3.9.1 Karakterisasi untuk Pergeseran Letak Patch 2.....	50
3.9.2 Karakterisasi Pergeseran Feed	54
3.9.3 Karakterisasi Perubahan Panjang Feed Vertikal Kanan.....	57
3.9.4 Karakterisasi Perubahan Panjang Feed Kiri	60
3.10 Hasil Simulasi dan Pembahasan.....	63
BAB 4 HASIL PENGUKURAN DAN ANALISIS ANTENA	69
4.1 Pengukuran Antena	69
4.2 Pengukuran S_{11} atau Pengukuran Port Tunggal	70
4.2.1 Hasil Pengukuran Return Loss dan VSWR.....	71
4.2.2 Hasil Pengukuran Impedansi Masukan	75
4.3 Pengukuran Pola Radiasi	77
4.4 Pengukuran Axial Rasio	83
4.5 Pengukuran Gain	85
4.6 Analisis Pengukuran Parameter Antena	87
4.6.1 Analisa Hasil Pengukuran Return Loss.....	87
4.6.2 Analisa Hasil Pengukuran Pola Radiasi	91
4.6.3 Analisa Hasil Pengukuran Axial Rasio	95
4.6.4 Analisa Hasil Pengukuran Gain.....	96
BAB 5 KESIMPULAN.....	97
DAFTAR ACUAN	98
LAMPIRAN	100
LAMPIRAN A Data Pengukuran Return Loss.....	100
LAMPIRAN B Data Pengukuran Pola Radiasi	102
LAMPIRAN C Data Pengukuran Gain	108
LAMPIRAN D Data Karakterisasi Simulasi	114

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Contoh Aplikasi RFID	2
Gambar 1.2	Rentang Frekuensi RFID	3
Gambar 2.1	Antena Mikrostrip.....	6
Gambar 2.2	Bentuk-bentuk <i>Patch</i> Antena Mikrostrip.....	7
Gambar 2.3	Jenis-jenis Saluran Transmisi.....	7
Gambar 2.4	Metode Cavity	9
Gambar 2.5	Pola Radiasi Antena.....	15
Gambar 2.6	Proximity Coupled Feed	17
Gambar 2.7	Teknik <i>Orthogonal-mode Multi-frequency</i>	18
Gambar 2.8	Teknik <i>Multi-Patch Multi-Frekuensi</i>	19
Gambar 2.9	Teknik <i>Reactively-loaded Multi-frequency</i>	20
Gambar 2.10	Pemberian Transformasi $\lambda/4$ Untuk Memperoleh <i>Impedance Matching</i>	20
Gambar 2.11	<i>T-Junction</i> 50 Ohm.....	21
Gambar 3.1	Diagram Proses Perancangan Antena	24
Gambar 3.2	Parameter substrat yang digunakan	25
Gambar 3.3	Tampilan Program PCAAD	26
Gambar 3.4	Perancangan <i>T-Junction</i> Impedansi 70,7 Ω	26
Gambar 3.5	Tampilan Program PCAAD	27
Gambar 3.6	Bentuk <i>Feed</i>	28
Gambar 3.7	<i>Patch</i> untuk menghasilkan frekuensi 433 MHz	29
Gambar 3.8	Hasil Desain Gambar 3.7.....	29
Gambar 3.9	<i>Patch</i> untuk menghasilkan frekuensi 2,45 GHz.....	30
Gambar 3.10	Hasil Desain Gambar 3.9 pada Frekuensi 920 MHz	31
Gambar 3.11	Hasil Desain Gambar 3.9 pada Frekuensi 2,45 GHz	31
Gambar 3.12	Penambahan slot <i>rectangular</i> pada <i>patch</i> 2.....	32
Gambar 3.13	Hasil karakterisasi posisi slot <i>rectangular</i> pada Gambar 3.12	
	(a) Frekuensi 923 - 925 MHz.....	32
	(b) Frekuensi 2,45 GHz	33
Gambar 3.14	Hasil karakterisasi panjang slot <i>rectangular</i> horizontal	34
	(a) Frekuensi 923 – 925 MHz.....	34
	(b) Frekuensi 2,45 GHz	34
Gambar 3.15	Penambahan slot vertikal di atas slot horizontal	35
Gambar 3.16	Hasil karakterisasi panjang slot <i>rectangular</i> vertical	36
	(a) Frekuensi 923 – 925 MHz.....	36
	(b) Frekuensi 2,45 GHz	36
Gambar 3.17	Hasil karakterisasi posisi slot <i>rectangular</i> vertical.....	37
	(a) Frekuensi 923 – 925 MHz.....	37
	(b) Frekuensi 2,45 GHz	38
Gambar 3.18	Penambahan slot <i>rectangular</i> setelah L-slot	39
Gambar 3.19	Hasil karakterisasi posisi slot <i>rectangular</i>	39
	(a) Frekuensi 923 – 925 MHz.....	39
	(b) Frekuensi 2,45 GHz	40

Gambar 3.20	Hasil karakterisasi panjang slot <i>rectangular</i>	41
	(a) Frekuensi 923 – 925 MHz.....	41
	(b) Frekuensi 2,45 GHz.....	41
Gambar 3.21	<i>Patch</i> 2 yang telah di <i>unite</i> dengan <i>rectangular</i>	42
Gambar 3.22	Hasil karakterisasi posisi <i>unite rectangular</i>	43
	(a) Frekuensi 923 – 925 MHz.....	43
	(b) Frekuensi 2,45 GHz.....	43
Gambar 3.23	Hasil karakterisasi panjang <i>rectangular</i> yang di- <i>unite</i>	44
	(a) Frekuensi 923 – 925 MHz.....	44
	(b) Frekuensi 2,45 GHz.....	45
Gambar 3.24	<i>Patch</i> untuk menghasilkan Frekuensi 2,45 GHz serta Frekuensi 923 - 925 MHz.....	46
Gambar 3.25	Hasil Desain Gambar 3.24.....	46
Gambar 3.26	Hasil Penambahan Beberapa Slot pada Desain Gambar 3.24.....	47
Gambar 3.27	Perbandingan Antara <i>Patch Rectangular</i> dengan <i>Patch Rectangular</i> yang telah diberi tambahan beberapa slot.....	47
Gambar 3.28	Desain Antena Untuk Menghasilkan Tiga Frekuensi Berbeda.....	49
Gambar 3.29	Besar Dimensi antara <i>Patch</i> Pertama dengan <i>Patch</i> Kedua.....	49
Gambar 3.30	Hasil Karakterisasi posisi <i>Patch</i> kedua terhadap posisi <i>Patch</i> Pertama pada Frekuensi 433 MHz.....	51
Gambar 3.31	Hasil Karakterisasi posisi <i>Patch</i> kedua terhadap posisi <i>Patch</i> Pertama pada Frekuensi 920 MHz.....	52
Gambar 3.32	Hasil Karakterisasi posisi <i>Patch</i> kedua terhadap posisi <i>Patch</i> Pertama pada Frekuensi 2,45 GHz.....	53
Gambar 3.33	Hasil Karakterisasi Pergeseran Posisi <i>Feed</i> pada Frekuensi 433 MHz.....	54
Gambar 3.34	Hasil Karakterisasi Pergeseran Posisi <i>Feed</i> pada Frekuensi 920 MHz.....	55
Gambar 3.35	Hasil Karakterisasi Pergeseran Posisi <i>Feed</i> pada Frekuensi 2,45 GHz.....	56
Gambar 3.36	Hasil Karakterisasi Perubahan Panjang LFR pada Frekuensi 433 MHz.....	57
Gambar 3.37	Hasil Karakterisasi Perubahan Panjang LFR pada Frekuensi 920 MHz.....	58
Gambar 3.38	Hasil Karakterisasi Perubahan Panjang LFR pada Frekuensi 2,45 GHz.....	59
Gambar 3.39	Hasil Karakterisasi Perubahan Panjang LFL pada Frekuensi 433 MHz.....	60
Gambar 3.40	Hasil Karakterisasi Perubahan Panjang LFL pada Frekuensi 920 MHz.....	61
Gambar 3.41	Hasil Karakterisasi Perubahan Panjang LFL pada Frekuensi 2,45 GHz.....	62
Gambar 3.42	Desain Akhir Antena <i>Multiband</i>	63
Gambar 3.43	Dimensi Hasil Akhir Desain Antena.....	64
Gambar 3.44	Frekuensi 433 MHz hasil dari desain Gambar 3.43.....	64
Gambar 3.45	Frekuensi 920 MHz hasil dari desain Gambar 3.43.....	65
Gambar 3.46	Frekuensi 2,45 GHz hasil desain Gambar 3.43.....	65

Gambar 3.47	Hasil akhir dari antenna yang telah di karakterisasi	66
Gambar 3.48	Pola Radiasi 2 Dimensi Antena Multiband (a) frekuensi 433 - 434 MHz (b) frekuensi 923 – 925 MHz.....	67
Gambar 3.49	Pola Radiasi 3 Dimensi Antena Multiband (a) frekuensi 433 – 434 MHz (b) frekuensi 923 – 925 MHz.....	68
Gambar 4.1	Hasil Fabrikasi Antena (a) Antena secara keseluruhan (b) FEED antena.....	69
Gambar 4.2	Konfigurasi Pengukuran Port Tunggal.....	70
Gambar 4.3	<i>Return loss</i> hasil pengukuran (a). Frekuensi 350 – 3000 MHz (b). Frekuensi 433 MHz (c). Frekuensi 925 MHz (d). Frekuensi 2,45 GHz	72
Gambar 4.4	<i>Bandwidth</i> dan Frekuensi Kerja Hasil Pengukuran	73
Gambar 4.5	VSWR hasil pengukuran (a). frekuensi 433 MHz (b). frekuensi 925 MHz (c). frekuensi 2,45 GHz.....	75
Gambar 4.6	Impedansi masukan hasil penngukuran (a) frekuensi 433 MHz (b) frekuensi 925 MHz (c) 2,45 GHz	77
Gambar 4.7	Besaran Pengukuran Pola Radiasi.....	78
Gambar 4.8	Medan Radiasi E-co dan E-cross (a) frekuensi 433 - 434 MHz (b) frekuensi 923 – 925 MHz (c) frekuensi 2,45 GHz	80
Gambar 4.9	Medan Radiasi H-co dan H-cross (a) frekuensi 433 - 434 MHz (b) frekuensi 923 – 925 MHz (c) frekuensi 2,45 GHz	81
Gambar 4.10	Hasil Pengukuran Antena (a) Axial Rasio Frekuensi 433 – 434 MHz (b) Axial Rasio Frekuensi 923 – 925 MHz (c) Axial Rasio Frekuensi 2,45 GHz	84
Gambar 4.11	Perbandingan Hasil Simulasi Antena dengan Hasil Pengukuran Antena (a) Frekuensi 433 – 434 MHz (b) frekuensi 923 – 925 MHz (c) frekuensi 2,45 GHz	88
Gambar 4.12	Perbandingan Hasil Simulasi Antena dengan Hasil Pengukuran Antena.....	89
Gambar 4.13	Perbandingan Pola Radiasi Medan E dan Medan H untuk Frekuensi 433 – 434 MHz (a) Hasil Pengukuran (b) Hasil Simulasi.....	92
Gambar 4.14	Perbandingan Pola Radiasi Medan E dan Medan H untuk Frekuensi 923 – 925 MHz (a) Hasil Pengukuran (b) Hasil Simulasi.....	93
Gambar 4.15	Keadaan HFSS out of memory	95

DAFTAR SINGKATAN

RFID	<i>Radio Frequency Identification</i>
ISO	<i>International Standart Organization</i>
VSWR	<i>Voltage Standing Wave Ratio</i>
HFSS	<i>High Frequency Structure Simulator</i>
PC	<i>Personal Computer</i>
PCAAD	<i>Personal Computer Aided Antenna Design</i>
dB	<i>Decibel</i>
BW	<i>Bandwidth</i>
f	<i>Frekuensi</i>
mm	<i>millimeter</i>
cm	<i>centimeter</i>

DAFTAR ISTILAH

Z_{in}	<i>Input Impedance</i>
Z_o	Impedansi Saluran
Z_l	Impedansi Beban
V	<i>Voltage</i>
I	<i>Current</i>
f	Frekuensi
f_h	Frekuensi Tertinggi
f_l	Frekuensi Terendah
f_c	Frekuensi Tengah
P_{in}	<i>Input Daya</i>
P_r	Daya yang Diterima
P_t	Daya yang dikirimkan
U	Intensitas Radiasi
D	<i>Directivity</i>
r	Jari-jari
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

Kemajuan teknologi komunikasi saat ini telah berkembang sangat pesat salah satunya dalam komunikasi wireless. Komunikasi wireless membutuhkan mobilitas yang tinggi sehingga untuk menunjang hal tersebut dapat digunakan antena mikrostrip yang memiliki karakteristik sebagai berikut:

- Low profile,
- Dapat disesuaikan dalam bentuk permukaan yang planar atau nonplanar,
- Sederhana dan tidak mahal dalam proses pembuatannya,
- Secara mekanik lebih tahan terhadap tekanan permukaan keras,
- Perancangan antena dapat dengan mudah mendapatkan disain antena dengan parameter yang diinginkan hanya dengan mengatur bentuk dan mode dari *patch*nya.

Penerapan komunikasi wireless salah satu contohnya adalah untuk aplikasi Radio *Frequency* Identification (RFID). RFID merupakan suatu alat untuk mengidentifikasi dan merekam jejak (*tracking*) suatu objek yang menggunakan transmisi frekuensi radio sebagai contoh untuk kasus identifikasi yaitu pemakaian RFID pada perpustakaan untuk kegiatan peminjaman buku, pencatatan kehadiran civitas akademika di universitas dan lain sebagainya. Pada contoh kasus merekam jejak (*tracking*) yaitu pemasangan RFID pada kendaraan bermotor untuk mencegah terjadinya pencurian.

RFID memiliki beberapa keunggulan, di antaranya: tidak memerlukan hubungan *line-of-sight*, informasi dapat dibaca dan ditulis (*dynamic information carrier*), *anti-collision* (beberapa *tag* dapat dibaca bersamaan), lebih murah untuk jangka panjang, tidak memerlukan intervensi manusia [1].

Sebuah sistem RFID terdiri atas *reader* dan *tag* (*transponder*). *Reader* menggunakan sinyal radio untuk berkomunikasi dengan *tag*. Sehingga RFID merupakan teknologi wireless yang dapat menggantikan sistem bar code dikarenakan kemampuannya dalam membaca informasi yang ada dalam *tag* tanpa

kasat mata. Terdapat tiga jenis *tag* RFID yaitu, *active tag* (battery powered), *semi passive tag* dan *passive tag* (*powered by the reader's signals*) [2].

Penggunaan RFID telah banyak diterapkan di berbagai aspek kehidupan manusia salah satunya dalam dunia industri, logistic dan perusahaan manufaktur untuk mengidentifikasi barang-barang [3].



Gambar 1.1 Contoh aplikasi RFID

Pada Gambar 1.1 merupakan salah satu contoh aplikasi RFID pada perpustakaan. Mereka memiliki kepentingan untuk memberikan pelayanan yang terbaik kepada para pengguna perpustakaan. Di samping itu, manajemen perpustakaan juga bertanggung jawab terhadap kondisi fisik dan keamanan semua koleksi yang dimiliki oleh instansi. Setiap koleksi buku pada perpustakaan dipasangi RFID *Tag*. Pada RFID *Tag* tersebut diisikan data terkait dengan nomor inventaris, jenis buku, dan status pinjam buku. Dengan adanya status pinjam pada RFID *Tag*, dapat dikatakan bahwa setiap koleksi buku dapat diamankan dengan cara menempatkan sejumlah *reader* RFID pada pintu keluar/masuk. *Reader* RFID memiliki frekuensi kerja tertentu dan hal regulasi frekuensi kerja akan dijelaskan pada halaman berikut, *reader* tersebut dapat dihubungkan dengan sistem alarm yang memberikan notifikasi apabila ada koleksi yang belum dipinjam namun sudah dibawa keluar. Hal ini memberikan proteksi terhadap koleksi yang ada pada perpustakaan. Di sisi lain, pada saat proses sirkulasi, pihak pengguna juga dapat melakukan peminjaman secara mandiri, dengan proses yang dibuat otomatis yang memudahkan pengguna.

Regulasi frekuensi kerja RFID tidaklah sama di setiap negara. Standar frekuensi kerja RFID di Indonesia yang dikeluarkan oleh Direktur Jendral Pos dan Telekomunikasi Departemen Komunikasi dan Informatika adalah 923 MHz - 925 MHz [19].

Standard	Frequency	Application
ISO 11784	125 kHz / 135 kHz	animal identification (read-only)
ISO 14223/1		animal identification (read/write)
ISO18000-2		logistics
ISO 10536 (ID1 format)	0 to 30 MHz	high security
ISO 14443	13.56 MHz	proximity cards (contactless controller)
ISO15693		vicinity cards (contactless memory)
ISO 18000-3		logistics
EPC Class I RF		electronic product code
NFC ECMA 340		mobile near-field communications (smartcard payment)
ISO 18000-7		433 MHz
ISO 18000-6	860 to 960 MHz	logistics
EPC Class I Gen 2		electronic product code (reading of multiple tags)
ISO 18000-4	2.4 to 2.4835 GHz, 2.45 GHz	logistics
ISO 18000-5	5.725 to 5.875 GHz	logistics

Gambar 1.2 Rentang frekuensi RFID

Selain itu pada Gambar 1.2 adalah keputusan dari badan standar *International Standard Organization* (ISO) yang mengeluarkan beberapa standar frekuensi kerja RFID. Frekuensi kerja tersebut antara lain : 135 KHz (ISO/IEC 18000-2), 13,56 MHz (ISO/IEC 18000-3), 433 MHz (ISO/IEC 18000-7), 2.45 GHz (ISO/IEC 18000-4), dan 5,8 GHz (ISO 18000-5).

Alokasi frekuensi kerja RFID yang digunakan pada antenna yang akan dirancang ini adalah pada frekuensi 433 MHz (433 MHz – 434 MHz), 924 MHz (923 – 925 MHz), dan 2,45 GHz (2,446 – 2,454) GHz [4][20]. Alasan dipilihnya frekuensi ini dikarenakan pada frekuensi 433 - 434 MHz, 923 - 925 MHz, dan 2,45 GHz (2,446 – 2,454 GHz) adalah frekuensi yang digunakan untuk keperluan pencatatan distribusi keluar-masuk logistic [4].

Perancangan antenna multiband ini diimplementasikan pada *reader* RFID. Sehingga untuk sebuah *reader* dapat mendeteksi tag-tag yang memiliki frekuensi kerja yang berbeda. Dengan demikian, untuk keperluan identifikasi tidak lagi diperlukan lebih dari sebuah *reader* untuk dapat mengidentifikasi tag-tag tersebut.

Dengan menggunakan antenna multiband diharapkan dapat meningkatkan efisiensi pemakaian antenna pada *reader* RFID tersebut (hanya menggunakan satu buah antenna sudah dapat melayani lebih dari satu frekuensi).

Maka dari itulah pada skripsi ini akan dirancang bangun antenna mikrostrip yang dapat bekerja pada tiga frekuensi sekaligus (*triple-band antenna*) untuk alokasi frekuensi RFID, yaitu pada frekuensi 433 MHz (433 MHz - 434 MHz), 924 MHz (923 MHz - 925 MHz), dan 2,45 GHz (2,446 – 2,454 GHz) [4][20].

Sudah banyak penelitian yang dilakukan dalam pembuatan antenna mikrostrip *multiband*. Beberapa penelitian tersebut adalah seperti pada [5][6][7][8]. Pada [5] antenna yang digunakan berbentuk *rectangular patch* yang disusun pada tiga layer substrat yang dimana pada masing-masing substrat terdapat air gap. Substrat terbawah terdapat ground yang diberi slot dengan menggunakan teknik dual stacked aperture coupling maka didapatkan frekuensi 9,5 GHz - 16 GHz dengan bandwidth 5.1 GHz. Pada [6] antenna yang digunakan berbentuk *rectangular patch* dengan menggunakan teknik pencatuan inset *feed* sehingga dapat menghasilkan frekuensi kerja 0,9, 2,4, dan 5,2 GHz untuk aplikasi komunikasi wireless. Pada [7] [8] antenna *rectangular patch* dengan menggunakan L-, U-, dan S-slot dapat menghasilkan *multiband* untuk aplikasi WLAN. Sedangkan penelitian *multiband* RFID seperti pada [9][10]. Pada [9] dilakukan penelitian tentang antenna dual band di frekuensi 433 MHz dan 865MHz – 868MHz. Penelitian [10] tentang antenna mikrostrip bentuk C yang dapat menghasilkan *dualband* untuk aplikasi RFID.

1.2 Tujuan Penulisan

Tujuan dari skripsi ini adalah melakukan rancang bangun antenna mikrostrip multi-band yang dapat bekerja pada frekuensi RFID yaitu pada frekuensi 433 - 434 MHz, 923 - 925 MHz, dan 2,45 GHz (2,446 – 2,454 GHz) [4][20].

1.3 Batasan Masalah

Dalam skripsi ini masalah dibatasi pada karakterisasi dan rancang bangun antenna mikrostrip patch segiempat dengan tiga frekuensi kerja untuk aplikasi

pembaca RFID dengan menggunakan teknik pencatuan *electromagnetic coupling* yang dapat bekerja pada tiga pita frekuensi kerja RFID yaitu 433 - 434 MHz, 923 - 925 MHz, dan 2,45 GHz (2,446 – 2,454 GHz) [4][20]. Pada rentang frekuensi tersebut diharapkan antena memiliki nilai $VSWR \leq 2$, atau dengan kata lain mempunyai *return loss* ≤ -10 dB.

1.4 Sistematika Penulisan

Pembahasan yang dilakukan pada skripsi ini meliputi lima bab yaitu:

Bab 1 Pendahuluan

Bagian ini terdiri dari latar belakang masalah, tujuan penulisan, batasan masalah, sistematika penulisan.

Bab 2 Dasar Teori

Bagian ini akan membahas teori mengenai antena mikrostrip diantaranya: parameter antena, pencatuan *electromagnetically coupling* (EMC), antena mikrostrip berbentuk persegi panjang, dan teknik untuk membuat antena *multi-frequency*.

Bab 3 Metodologi Penelitian

Bagian ini memberikan penjelasan mengenai perlengkapan yang dibutuhkan dalam perancangan, substrat yang digunakan, penentuan dimensi antena dan serta *flowchart* dari pembuatan antena yang akan diperancangan dan pembahasan hasil simulasi yang telah didapat.

Bab 4 Hasil Pengukuran dan Analisis Antena

Bagian ini berisikan mengenai hasil pengukuran parameter antena mikrostrip beserta analisisnya.

Bab 5 Kesimpulan

Bagian ini berisikan tentang kesimpulan dari keseluruhan isi skripsi.

BAB 2

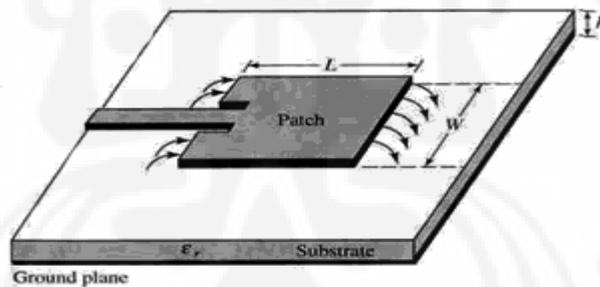
ANTENA MIKROSTRIP

2.1 STRUKTUR ANTENA MIKROSTRIP

Berdasarkan definisi standar dari IEEE, antena merupakan alat/divais yang digunakan untuk meradiasi atau menerima gelombang radio (elektromagnetik). Dengan kata lain, antena merupakan sebuah alat pengarah yang mengkonversi gelombang elektromagnetik menjadi arus listrik maupun sebaliknya [11].

Dapat dilihat pada Gambar 2.1 secara umum, antena mikrostrip dalam bentuknya yang paling sederhana terdiri dari 3 elemen, yaitu Antena mikrostrip mempunyai 4 bagian dasar yaitu:

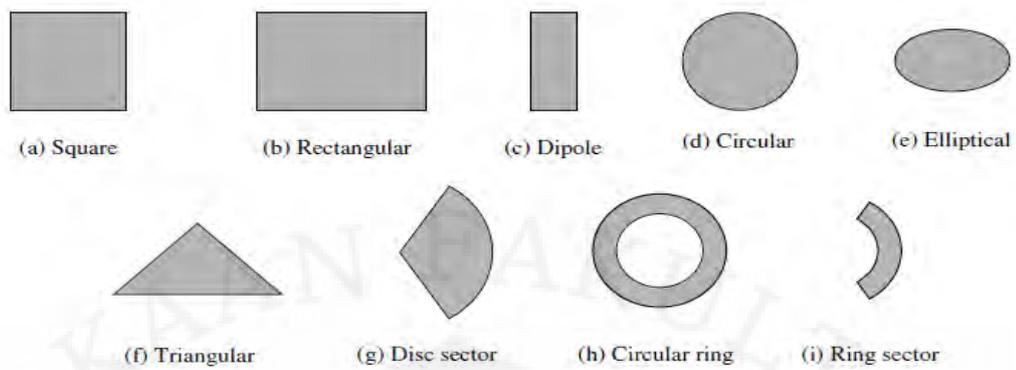
- *Patch* sebagai elemen peradiasi,
- Saluran pentransmisi,
- Substrat dielektrik, dan
- *Ground*.



Gambar 2.1 Antena mikrostrip [11]

2.1.1 Patch

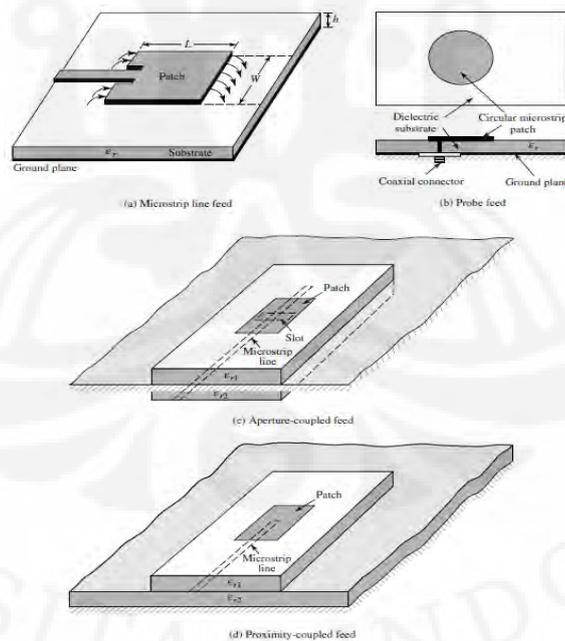
Patch merupakan elemen peradiasi pada antena mikrostrip. *Patch* antena mikrostrip mempunyai beberapa tipe atau bentuk diantaranya adalah sebagai berikut: bujur sangkar, persegi panjang, garis tipis, bundar, garis (*dipole*), elips, segitiga, dan lain sebagainya hal ini dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Bentuk-bentuk *patch* antenna mikrostrip [11]

2.1.2 Saluran Pentransmisi

Saluran pentransmisi atau pencatuan pada antenna mikrostrip memiliki beberapa jenis. Gambar 2.3 merupakan jenis pencatuan yang sering digunakan diantaranya adalah *microstrip line*, *coaxial probe*, *aperture coupling*, dan *proximity coupling*, seperti yang ditunjukkan pada gambar di bawah ini.



Gambar 2.3 Jenis-jenis saluran transmisi [11]

❖ *Microstrip line feed*

Jenis pencatuan yang satu ini mudah untuk difabrikasi, memiliki model yang sederhana dan juga mudah dalam proses pematcingannya hanya dengan mengatur posisi insetnya. Tetapi bandwidth yang dihasilkan kecil (berkisar 2% - 5%) [11].

❖ *Coaxial probe*

Pencatuan jenis ini adalah dengan menghubungkan konduktor dalam pada kabel *coax* dengan radiation *patch* antena dan mengkoneksikan konduktor luar kabel *coax* dengan *ground plane* dari antena. Metode pencatuan *coaxial probe* juga sering digunakan dalam disain antena mikrostrip dikarenakan mudah dalam fabrikasi dan pematcingan, akan tetapi memiliki bandwidth yang kecil. Metode *coaxial probe* lebih sulit untuk dimodelkan terutama untuk substrat yang tebal ($h > 0.02\lambda$) [11].

❖ *Aperture coupling*

Diantara keempat jenis pencatuan, *aperture coupling* merupakan jenis pencatuan yang sulit dalam hal fabrikasi dan memiliki bandwidth yang sempit. *Aperture coupling* terdiri atas dua buah substrat yang terpisahkan oleh sebuah *ground plane*. Pada dasar substrat yang bawah terdapat sebuah *microstrip line feed* yang memiliki energi terkopel dengan *patch* melalui suatu *slot* pada *ground plane* yang memisahkan kedua substrat tersebut [11].

❖ *Proximity coupling*

Metode *proximity coupling* memiliki *bandwidth* yang cukup lebar (mencapai 13%). Selain itu, metode pencatuan ini mudah dalam pemodelannya serta pengaturan *match*nya dapat dilakukan dengan mengatur panjang dari *feed* dan mengatur rasio antara panjang dan lebar dari *patch* [11].

2.2 METODE CAVITY

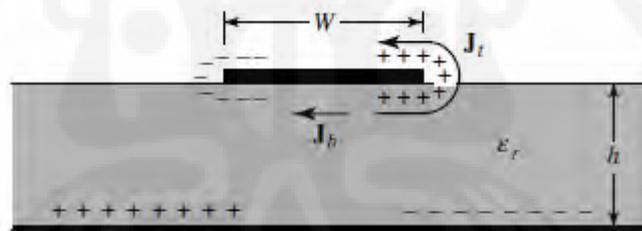
Beberapa metode yang populer untuk analisis antena mikrostrip adalah metode saluran transmisi, dan metode *cavity*.

- Metode saluran transmisi penggambaran secara fisik bagus, dalam perhitungan lebih mudah, tetapi kurang akurat hasil perhitungannya [11].

- Metode *cavity* lebih akurat dibandingkan dengan metode saluran transmisi dan dalam penggambaran secara fisik lebih baik. Namun perhitungannya lebih rumit dibandingkan dengan metode saluran transmisi [11].

Pada Gambar 2.4 merepresentasikan metode *cavity*. Metode ini menggambarkan ruang antara *patch* dengan bidang pentanahan sebagai *cavity* yang dibatasi oleh electric conductors (pada bidang atas dan bawah) dan dinding magnetik (pada sisi-sisinya). Ketika *patch* mikrostrip diberi energi gelombang elektromagnetik, akan timbul distribusi muatan pada bagian permukaan atas dan bawah *patch*, serta bagian permukaan atas bidang pentanahan. Distribusi muatannya dikendalikan oleh dua mekanisme, yaitu *attractive* dan *repulsive* [11].

1. Mekanisme *attractive* mengendalikan distribusi muatan pada bagian antara *patch* dengan bidang pentanahan.
2. Mekanisme *repulsive* merupakan mekanisme untuk menekan sebagian muatan dari bagian bawah *patch* menuju bagian atas *patch* peradiasi. Proses berpindah-pindahnya muatan ini menimbulkan kerapatan arus (*current densities*) dibagian atas (J_t) dan bawah (J_b) *patch*.



Gambar 2.4 Metode Cavity [11]

Seiring dengan semakin kecilnya nilai *height-to-weight ratio* (h/W), maka mekanisme *attractive* menjadi yang dominan, sehingga mengakibatkan jumlah arus yang mengalir dari bawah *patch* lalu ke pinggir dan berakhir pada bagian atas *patch* semakin berkurang [11]. Jika arus tersebut semakin berkurang dan bernilai nol, maka tidak akan timbul medan magnet tangensial pada sisi-sisi *patch*, sehingga tidak akan ada gelombang elektromagnetik yang diradiasikan, atau dengan kata lain sisi-sisi *patch* menjadi dinding magnetik sempurna. Kejadian ini tidak diharapkan, karenanya sekecil apapun *height-to-weight ratio*, dengan metode *Cavity* diharapkan masih ada arus yang mengalir ke permukaan atas

patch. Ketika timbul arus ini, maka pada bagian sisi *patch* akan timbul medan tambahan yang dapat dianalisa sebagai perluasan *patch* peradiasi [11].

PARAMETER UMUM ANTENA

Performansi dari suatu antena, sangat ditentukan oleh parameter-parameternya. Terdapat banyak jenis parameter dari suatu antena. Berikut akan dijelaskan beberapa parameter tersebut.

2.3.1 Pola Radiasi

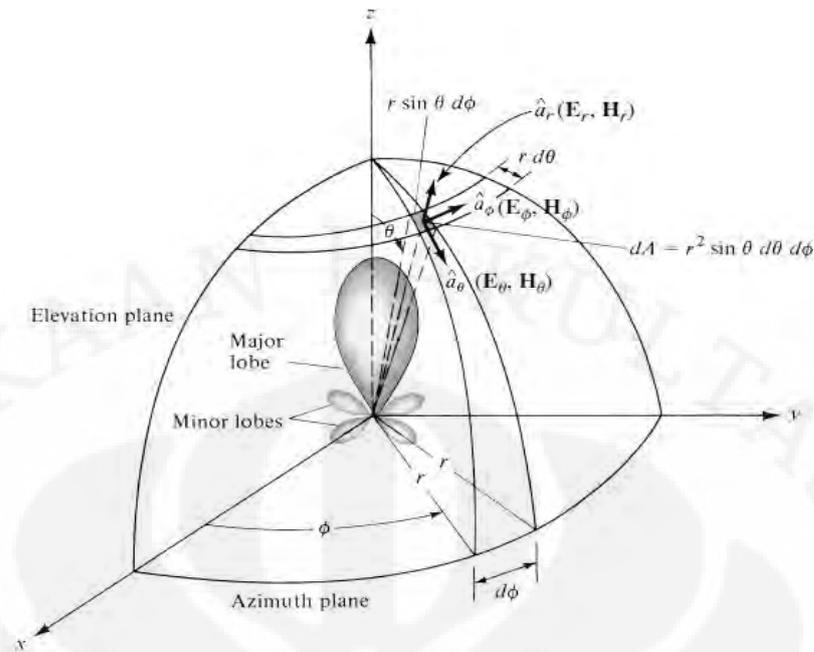
Pola radiasi merupakan representasi grafik dari sifat radiasi antena sebagai fungsi koordinat ruang. Sifat radiasi tersebut meliputi kerapatan flux, intensitas radiasi, kuat medan, atau polarisasi. Biasanya sifat dari radiasi yang sangat dipentingkan adalah persebaran secara tiga dimensi atau dua dimensi dari energi yang diradiasikan antena. Berikut merupakan contoh dari beberapa pola radiasi [11]:

2.1.1 Pola Isotropik

didefinisikan sebagai sebuah antena yang mempunyai radiasi sama besar ke setiap arah.

2.1.2 Pola Directional

Antena yang mempunyai pola radiasi yang lebih efektif pada arah-arah tertentu saja.



Gambar 2.5 Pola radiasi antenna [11]

2.1.3 Bagian-bagian dari pola radiasi

Gambar 2.5 merupakan presentasi bagian-bagian dari pola radiasi yang ditunjukkan sebagai cuping-cuping. Cuping-cuping tersebut bisa diklasifikasikan menjadi main (utama), side (samping), dan back (belakang) cuping (*lobe*).

- *Main lobe* ialah *lobe*/cuping radiasi yang memiliki arah radiasi maksimum.
- *Side lobe* ialah *lobe*/cuping selain *main lobe*.
- *Back lobe* ialah *lobe* yang arahnya berlawanan 180 dengan *main lobe*. *Side lobe* dan *back lobe* merupakan *minor lobe* yang keberadaannya tidak diharapkan.

2.3.2 Bandwidth

Bandwidth merupakan besar rentang frekuensi kerja dari suatu antenna yang sesuai dengan suatu standar yang telah ditentukan. Terdapat beberapa jenis bandwidth [12] yaitu:

a. *Impedance Bandwidth*

Rentang frekuensi di mana *patch* antena dan saluran pencatu *matching*. Nilai *matching* ini dapat dilihat dari *return loss* dan VSWR. Nilai *return loss* dan VSWR yang masih dianggap baik adalah ≤ -10 dB dan kurang dari 2.

b. *Pattern Bandwidth*

Rentang frekuensi di mana *beamwidth*, *sidelobe*, atau *gain*, yang bervariasi menurut frekuensi memenuhi nilai tertentu. Nilai tersebut harus ditentukan terlebih dahulu agar *bandwidth* dapat dicari.

c. *Polarization* atau Axial rasio *Bandwidth*.

Rentang frekuensi di mana polarisasi (linier atau melingkar) masih terjadi. Nilai axial rasio untuk polarisasi linear adalah lebih dari 3 dB. Sedangkan nilai axial rasio untuk polarisasi *circular* adalah kurang dari 3 dB.

Dengan menggunakan persamaan (2.1) dan (2.2) nilai *bandwidth* dapat diketahui. Nilai frekuensi bawah dan frekuensi atas dari suatu antena sudah diketahui. Frekuensi bawah adalah nilai frekuensi awal dari frekuensi kerja antena, sedangkan frekuensi atas merupakan nilai frekuensi akhir dari frekuensi kerja antena. Berikut adalah rumus untuk mencari nilai *bandwidth*:

$$BW = \frac{f_h - f_l}{f_c} \times 100\% \quad (2.1)$$

$$f_c = \frac{f_h + f_l}{2} \quad (2.2)$$

dimana:

- f_h = frekuensi atas (Hz)
- f_l = frekuensi bawah (Hz)
- f_c = frekuensi tengah (Hz)

2.3.3 Directivity

Directivity merupakan perbandingan antara intensitas radiasi dalam arah tertentu pada sebuah antena terhadap intensitas radiasi rata-rata dalam segala arah. Intensitas radiasi rata-rata senilai dengan total daya yang diradiasikan oleh antena

dibagi 4π . Secara matematis untuk mendapatkan nilai directivity sebuah antenna dapat ditentukan dengan persamaan (2.7) [11]:

$$D = \frac{U}{U_o} = \frac{4\pi U}{P_{rad}} \quad (2.7)$$

Dengan:

D = Directivity

U = Intensitas radiasi (W/unit solid angle)

U_o = Intensitas radiasi antenna isotropik (W/unit solid angle)

2.3.4 Gain

Gain adalah rasio antara intensitas radiasi suatu antenna pada arah tertentu dengan intensitas radiasi dari antenna isotropik yang senilai dengan daya masukan yang sama dibagi 4π . Berikut adalah rumusnya (2.8) [14]:

$$G = \frac{\text{Intensitas radiasi pada arah tertentu}}{\text{Intensitas radiasi isotropik}} = 4\pi \frac{U(\theta, \phi)}{P_{in}} \quad (2.8)$$

Gain terkait erat dengan directivity. Hubungan antara gain dan directivity adalah sebagai berikut dapat dilihat pada persamaan (2.9):

$$G = D\eta \quad (2.9)$$

Dengan:

D = Directivity

η = Efisiensi antenna

Terdapat 2 jenis gain yaitu:

1. *Absolute gain*

Didefinisikan sebagai perbandingan antara intensitas pada arah tertentu dengan intensitas radiasi yang diperoleh jika daya yang diterima oleh antenna teradiasi secara isotropik.

2. *Relative gain*

Didefinisikan sebagai perbandingan antara perolehan daya pada sebuah arah tertentu dengan perolehan daya pada antenna referensi pada arah yang direferensikan juga.

2.3.5 Voltage Standing Wave Ratio (VSWR)

VSWR adalah perbandingan antara amplitudo gelombang berdiri (*standing wave*) maksimum ($|V|_{\max}$) dengan minimum ($|V|_{\min}$). Pada saluran transmisi ada dua komponen gelombang tegangan, yaitu tegangan yang dikirimkan (V_0^+) dan tegangan yang direfleksikan (V_0^-). Perbandingan tersebut sebagai koefisien refleksi tegangan (Γ) pada persamaan (2.10) [13].

$$\Gamma = \frac{V_0^-}{V_0^+} = \frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2} \quad (2.10)$$

Di mana Z_1 adalah impedansi beban (*load*) dan Z_2 adalah impedansi saluran *lossless*. Koefisien refleksi tegangan (Γ) memiliki nilai kompleks, yang merepresentasikan besarnya magnitudo dan fasa dari refleksi. Untuk beberapa kasus yang sederhana, ketika bagian imajiner dari Γ adalah nol, maka:

- $\Gamma = -1$: refleksi negatif maksimum, ketika saluran terhubung singkat,
- $\Gamma = 0$: tidak ada refleksi, ketika saluran dalam keadaan *matched* sempurna,
- $\Gamma = +1$: refleksi positif maksimum, ketika saluran dalam rangkaian terbuka.

Rumus untuk mencari nilai VSWR adalah (2.11) [13]:

$$S = \frac{\left| \tilde{V} \right|_{\max}}{\left| \tilde{V} \right|_{\min}} = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \quad (2.11)$$

Kondisi yang paling baik adalah ketika VSWR bernilai 1 ($S=1$) yang berarti tidak ada refleksi ketika saluran dalam keadaan *matching* sempurna. Nilai VSWR yang baik pada suatu antena adalah lebih kecil atau sama dengan 2.

2.3.6 Return loss

Return loss merupakan koefisien refleksi dalam bentuk logaritmik yang menunjukkan daya yang hilang karena antena dan saluran transmisi tidak *matching*. *Return loss* dapat terjadi akibat adanya diskontinuitas antara saluran transmisi dengan impedansi masukan beban (*patch* antena). Sehingga tidak semua daya diradiasikan melainkan ada yang dipantulkan balik. *Return loss* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.12) :

$$RL(\text{dB}) = -20 \log_{10} |\Gamma| \quad (2.12)$$

Frekuensi kerja dari antena yang baik adalah ketika *return loss*-nya bernilai ≤ -10 dB sehingga dapat dikatakan nilai gelombang yang direfleksikan tidak terlalu besar dibandingkan dengan gelombang yang dikirimkan atau dengan kata lain, saluran transmisi sudah *matching*. Nilai parameter ini menjadi salah satu acuan untuk melihat apakah antena sudah dapat bekerja pada frekuensi yang diharapkan atau tidak.

2.3.7 Impedansi Masukan

Impedansi input suatu antena adalah impedansi pada terminal masukan. Impedansi masukan antena terdiri dari bagian riil dan imajiner, yang dapat dinyatakan dengan persamaan (2.13) :

$$Z_A = R_A + j X_A \quad \Omega \quad (2.13)$$

Resistansi input (R_A) menyatakan tahanan disipasi. Reaktansi input (X_A) menyatakan daya yang tersimpan pada medan dekat dari antena. Dari persamaan Z_A , daya real (R_A) yang menggambarkan banyaknya daya yang hilang melalui radiasi ataupun panas. Sedangkan komponen imajiner (X_A) mewakili reaktansi dari antena dan daya yang tersimpan pada antena. Kondisi *matching* saat impedansi masukan mendekati $50 + j0 \Omega$.

2.4 PATCH BENTUK PERSEGI PANJANG

Untuk sebuah antena mikrostrip dengan sebuah *patch* persegi panjang (*rectangular*), bisa panjang dan lebar *patch* yang bersesuaian dengan frekuensi resonansinya. Berikut proses perhitungannya:

Untuk mendapatkan lebar *patch* (W), digunakan persamaan (2.14) [11]:

$$W = \frac{1}{2fr\sqrt{\mu_0\epsilon_0}} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} = \frac{v_0}{2fr} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} \quad (2.14)$$

Dimana v_0 adalah kecepatan cahaya, fr adalah frekuensi resonansi, ϵ_r adalah konstanta dielektrik substrat. Untuk mendapatkan panjang *patch*, digunakan persamaan (2.15) dan (2.16) [11]:

$$L = \frac{1}{2fr\sqrt{\epsilon_{\text{reff}}}\sqrt{\mu_0\epsilon_0}} - 2\Delta L \quad (2.15)$$

Atau

$$L = \frac{v_0}{2fr\sqrt{\epsilon_{\text{reff}}}} - 2\Delta L \quad (2.16)$$

Terlebih dahulu dihitung konstanta dielektrik efektif (ϵ_{reff}) dan ΔL menggunakan persamaan (2.17) dan (2.18) sebagai berikut:

$$\epsilon_{\text{reff}} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[1 + 12 \frac{h}{W} \right]^{-\frac{1}{2}} \quad (2.17)$$

$$\Delta L = h \cdot 0,412 \cdot \frac{(\epsilon_{\text{reff}} + 0,3) \left(\frac{W}{h} + 0,264 \right)}{(\epsilon_{\text{reff}} + 0,3) \left(\frac{W}{h} + 0,8 \right)} \quad (2.18)$$

Dimana:

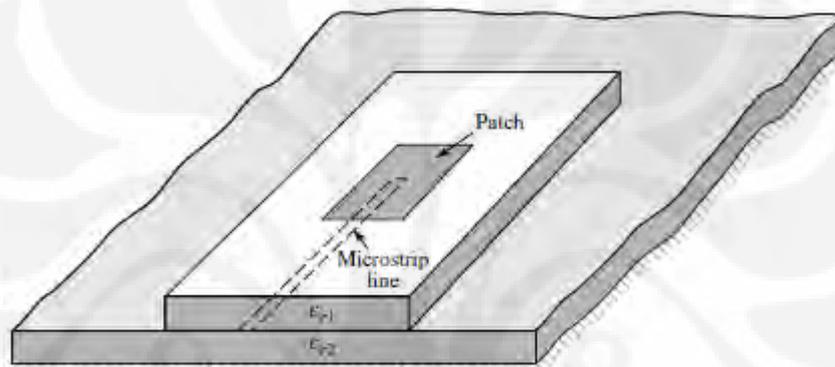
W = lebar *patch*

Fr = frekuensi resonansi,

- ϵ_r = konstanta dielektrik substrat,
 h = tebal atau tinggi dari substrat, dan
 ΔL = merupakan perubahan panjang

2.5 TEKNIK PENCATUAN *ELECTROMAGNETICALLY COUPLING*

Konfigurasi dari teknik pencatuan jenis ini adalah dengan menggunakan dua lapisan substrat seperti pada Gambar 2.6. Pada substrat lapisan atas terdapat *patch* peradiasi dari antenna. Pada lapisan substrat bawah terdapat *ground* dan *feed* pencatu terletak diatas bagian lapisan substrat bawah.



Gambar 2.6 *Electromagnetic-coupling feed* [11]

Dengan menggunakan teknik pencatuan jenis ini maka elemen pencatu dan *patch* peradiasi akan terkopling secara elektromagnetik. Dengan meletakkan *patch* peradiasi diatas dua lapisan substrat maka diharapkan mendapatkan bandwidth yang lebar.

Hal ini dikarenakan dengan menggunakan dua lapisan maka ketebalan substrat yang digunakan menjadi lebih tebal. Teknik *matching* dari pencatuan jenis ini juga relatif mudah. Untuk *me-matching*-kan antenna, hal yang perlu dilakukan cukup dengan mengubah-ubah panjang dari elemen pencatu atau dengan memberikan stub dan mengubah-ubah posisinya.

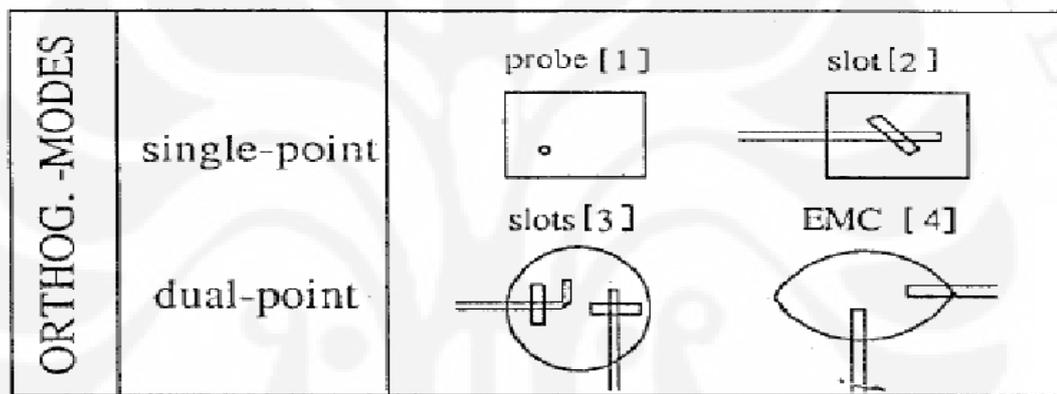
2.6 TEKNIK UNTUK MENGHASILKAN MULTI-FREKUENSI

Secara umum ada tiga cara untuk menghasilkan antenna multi-frekuensi. Cara-cara tersebut adalah [13]:

- ⊖ *Orthogonal-mode multi-frequency* antena
- ⊖ *Reactively-loaded multi-frequency* antena
- ⊖ *Multi-patch multi-frequency* antena

❖ ***Orthogonal-mode Multi-frequency Antena***

Secara umum teknik ini dapat dilihat pada Gambar 2.7. Dengan teknik ini akan dihasilkan dua buah frekuensi yang mempunyai polarisasi orthogonal. Salah satu cara untuk menghasilkan lebih dari satu frekuensi resonansi menggunakan teknik ini adalah dengan menempatkan pencatu pada satu buah *patch* sedemikian sehingga pada posisi tersebut *mematching*kan dua buah frekuensi.

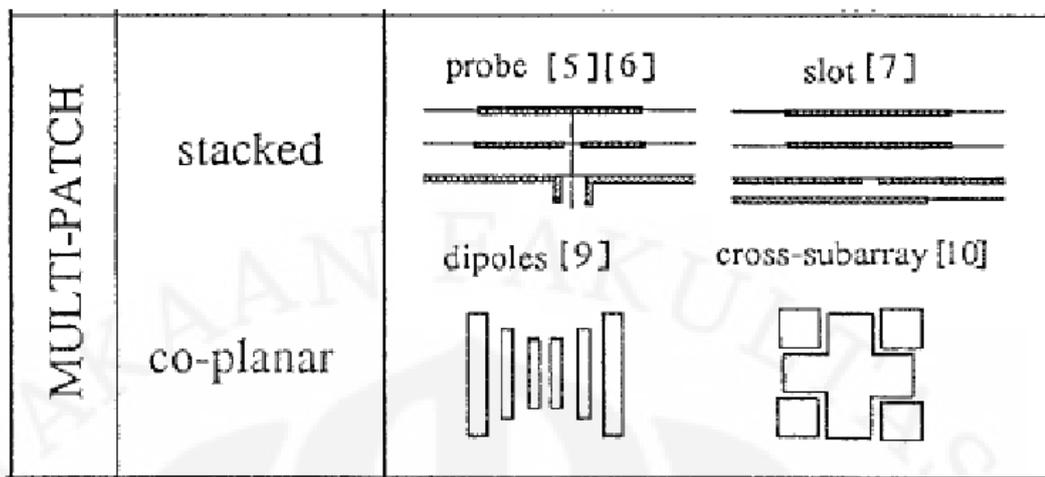


Gambar 2.7 Teknik *Orthogonal-mode Multi-frequency* [21]

Hal ini dapat dilakukan dengan menggunakan teknik pencatuan probe dan dengan cara pencatuan line akan tetapi diberikan slot yang arahnya condong ke arah pencatu. Cara lain untuk menghasilkan lebih dari satu frekuensi resonansi menggunakan teknik ini adalah dengan menggunakan pencatuan ganda.

❖ ***Multi-patch Multi-frequency Antena***

Secara umum teknik ini dapat dilihat pada Gambar 2.8. penggunaan teknik ini untuk menghasilkan lebih dari satu buah frekuensi dilakukan menggunakan lebih dari satu buah *patch*. Cara yang dilakukan dapat dengan menyusun secara menumpuk setiap *patch* yang menghasilkan frekuensi resonansi yang berbeda-beda. Cara ini dinamakan cara *multi-stacked multi-patch* antena.

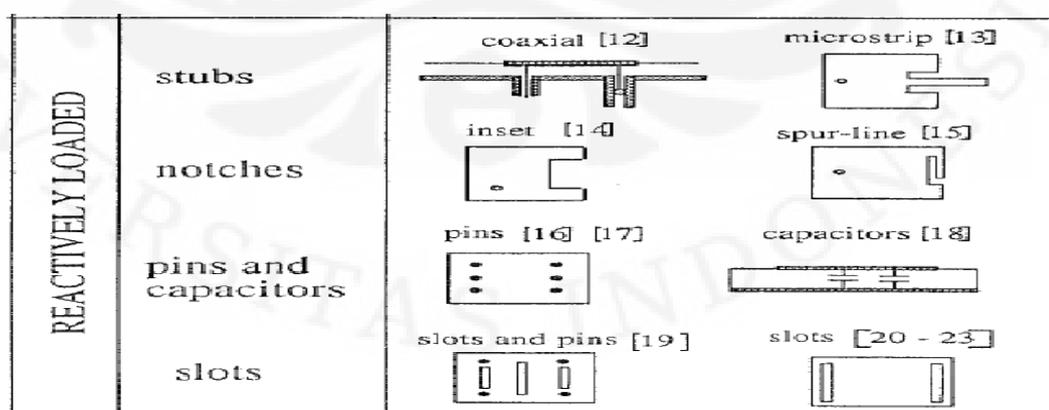


Gambar 2.8 Teknik Multi-Patch Multi-Frekuensi [21]

Cara lainnya adalah *multipatch co-planar* yaitu dengan cara menyusun *patch* antenna pada satu lapisan substrat. Masing-masing substrat tersebut dipisahkan dengan slot. Cara ini sudah digunakan oleh Croq dan Pozar [15] serta ibu Fitri Yuli Zulkifli [16].

❖ Reactively-loaded Multi-frequency Antena

Cara reactively-loaded ini adalah cara untuk menghasilkan multi frekuensi dengan menambahkan beban pada antenna yang direpresentasikan secara umum pada gambar 2.9. Beban yang dimaksud disini bisa berupa stub, slot, pin, dan kapasitor. Teknik ini adalah teknik yang paling populer digunakan untuk menghasilkan antenna yang dapat bekerja lebih dari satu frekuensi.

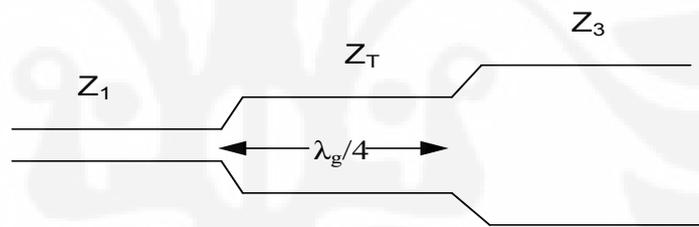


Gambar 2.9 Teknik Reactively-loaded Multi-frequency [21]

Beban reaktif tersebut ditambahkan secara khusus pada tepi peradiasi (radiating edge) untuk menghasilkan panjang resonansi yang lebih jauh, dimana panjang resonansi ini berakaitan dengan pembangkitan frekuensi yang lainnya.

2.7 IMPEDANCE MATCHING

Perancangan suatu antenna tidak terlepas dari penyesuaian impedansi (*impedance matching*). Suatu jalur transmisi dikatakan *matched* apabila karakteristik impedansi $Z_0 = Z_L$, atau dengan kata lain tidak ada refleksi yang terjadi pada ujung saluran beban. Z_0 merupakan karakteristik impedansi suatu saluran transmisi dan biasanya bernilai $50 + j0 \Omega$. Z_L merupakan impedansi beban. Beban dapat berupa antenna atau rangkaian lain yang mempunyai impedansi ekuivalen Z_L . Saat kondisi *matching* saluran transmisi dapat mentransfer daya secara sempurna dan daya yang hilang pada saluran menjadi minimum [18]. Untuk mencapai kondisi *matching*, dapat dilakukan dengan cara menambahkan transformasi $\lambda/4$ hal ini dapat dilihat pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10 Pemberian Transformasi $\lambda/4$ Untuk Memperoleh *Impedance Matching*

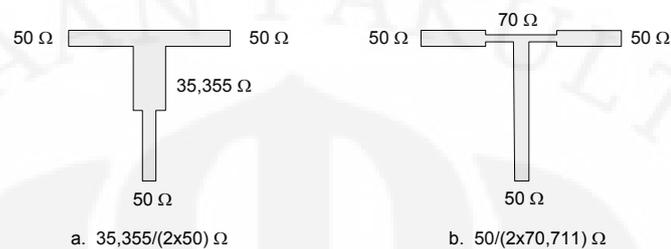
2.7.1 Transformasi $\lambda/4$

Transformasi $\lambda/4$ adalah suatu teknik *impedance matching* dengan cara memberikan saluran transmisi dengan impedansi Z_T di antara dua saluran transmisi yang tidak *match*. Nilai impedansi Z_T dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (2.19).

$$Z_T = \sqrt{Z_1 Z_3} \quad (2.19)$$

2.8 T-JUNCTION 50 Ohm

T-junction merupakan sebuah teknik *power divider* yang umum digunakan pada konfigurasi antena *array* [18]. Terdapat dua jenis *T-junction 50 Ohm* yang dapat digunakan sebagai *power divider* seperti ditunjukkan pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11 *T-Junction 50 Ohm*

Dari Gambar 2.11 dapat dilihat untuk mendapatkan impedansi input 50 ohm dari saluran 50 ohm dapat menggunakan sebuah transformasi. Pada skripsi ini menggunakan pencatuan dengan menerapkan teknik seperti pada Gambar 2.11 (b).

BAB 3

PERANCANGAN ANTENA DAN SIMULASI

Rancang bangun antenna pada skripsi ini menggunakan dua *patch* yang berbentuk persegi panjang. *Patch* pertama mempunyai dimensi 100 mm x 98 mm yang dirancang untuk menghasilkan frekuensi 433 - 434 MHz sedangkan *patch* kedua dengan dimensi 57 mm x 38 mm dirancang untuk menghasilkan frekuensi 2,45 GHz (2,446 – 2,454 GHz) [4][20]. Pada *patch* kedua ditambahkan beberapa slot untuk menimbulkan frekuensi 923 - 925 MHz [19]. Cara yang digunakan pada skripsi ini adalah dengan menerapkan teknik *multi-patch co-planar* yaitu dengan melakukan penyusunan terhadap kedua *patch* dengan dipisahkan oleh slot. Alasan menggunakan teknik ini adalah agar dapat menghasilkan frekuensi kerja yang berbeda-beda serta proses dalam fabrikasi lebih sederhana.

Teknik pencatuan yang digunakan pada perancangan antenna ini adalah teknik *electromagnetically coupling* (EMC) agar menghasilkan bandwidth yang lebar. Hal yang dilakukan dalam proses perancangan adalah:

1. Menentukan frekuensi kerja yang diinginkan
2. Menentukan substrat yang akan digunakan
3. Menentukan lebar saluran pencatu agar 50 Ω
4. Merancang *patch* antenna persegi panjang sesuai dengan frekuensi yang diinginkan
5. Menambahkan beberapa slot pada *patch* kedua
6. Menyatukan kedua *patch* antenna
7. Melakukan simulasi dengan menggunakan program HFSS 11
8. Melakukan karakterisasi terhadap antenna
9. Fabrikasi antenna
10. Melakukan pengukuran terhadap antenna yang telah difabrikasi.

3.1. PERLENGKAPAN YANG DIGUNAKAN

Dalam perancangan antenna ini menggunakan perangkat keras dan perangkat lunak. Perangkat keras digunakan untuk fabrikasi dan pengukuran

antena, sedangkan perangkat lunak digunakan untuk melakukan simulasi dan untuk mengetahui karakteristik atau kinerja antenna yang dirancang.

➤ **Perangkat Keras**

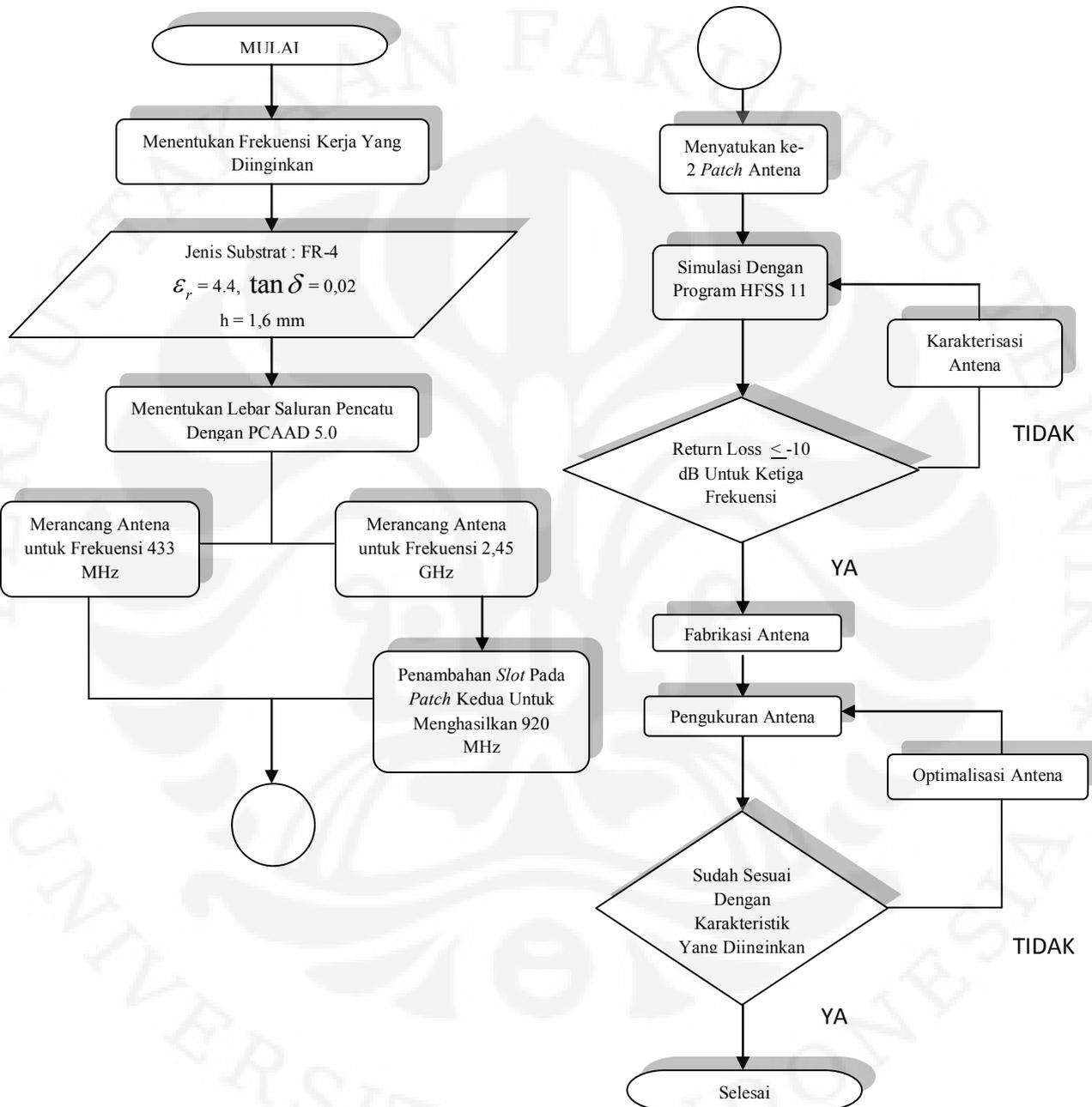
1. Personal Computer dan Laptop untuk melakukan simulasi antenna.
2. FR-4 *Epoxy* untuk substrat antenna, solder dan timah.
3. Network Analyzer Hewlett Packard 8753E (30 kHz - 6 GHz). Alat ini dapat digunakan untuk pengukuran port tunggal (mengukur VSWR, frekuensi resonansi, impedansi masukan, return loss, dan bandwidth) dan port ganda (mengukur pola radiasi dan gain).
4. *Connector SMA* 50 ohm.
5. Kabel *Coaxial* 50 ohm.

➤ **Perangkat Lunak**

1. *Ansoft HFSS versi 11*
Perangkat lunak ini digunakan untuk merancang dan mensimulasikan antenna yang akan dibuat. Setelah disimulasi akan diperoleh beberapa karakteristik antenna seperti frekuensi kerja, *bandwidth*, impedansi input, *return loss*, VSWR, dan pola radiasi.
2. *PCAAD 5.0*
Perangkat lunak ini digunakan untuk menentukan lebar saluran mikrostrip, impedansi karakteristik, konstanta dielektrik efektif, direktivitas, redaman, dan *gain*.
3. *Microsoft Visio 2003*
Perangkat lunak ini digunakan untuk melakukan visualisasi desain perancangan.
4. *Microsoft Excel 2007*
Perangkat lunak ini digunakan untuk mengolah data dengan persamaan matematis.
5. Selotip kertas dan speser yang digunakan untuk menutup celah antara kedua *patch* sehingga adanya udara diantara kedua substrat dapat diminimalisir.

3.2 DIAGRAM ALIR PERANCANGAN ANTENA

Gambar 3.1 merupakan diagram dari tahap-tahap yang dilakukan dalam proses perancangan antenna pada skripsi ini.



Gambar 3.1 Diagram Proses Perancangan Antena

3.3 MENENTUKAN FREKUENSI KERJA YANG DIINGINKAN

Antena ini dirancang untuk bekerja pada frekuensi *multiband* yang dipilih yaitu frekuensi 433 - 434 MHz, 923 - 925 MHz, dan 2,446 – 2,454 GHz [20]. Ketiga frekuensi ini diharapkan memiliki $VSWR \leq 2$ serta *return loss* ≤ -10 dB

3.4 MENENTUKAN SUBSTRAT YANG AKAN DIGUNAKAN

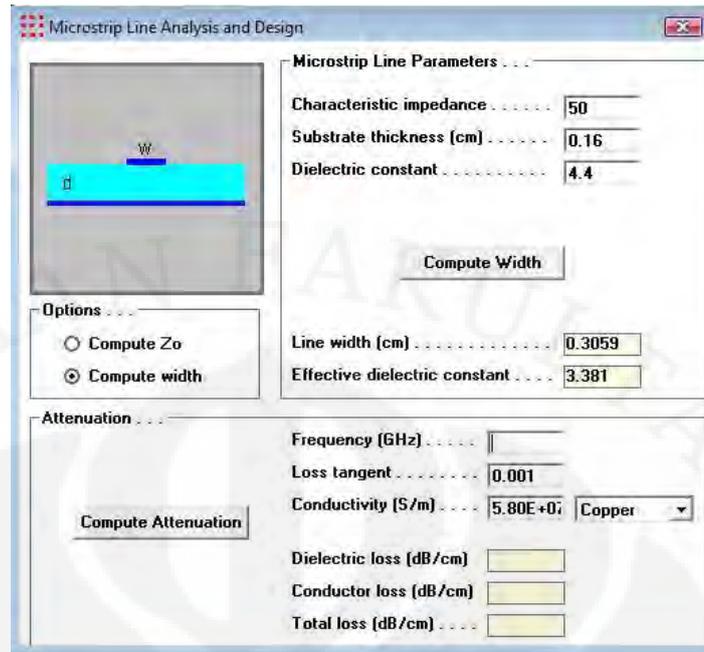
Substrat merupakan bahan dasar yang dipakai untuk perancangan antena. Setiap substrat memiliki nilai parameter yang berbeda-beda. Oleh karena itu dalam perancangan sebuah antena harus dilakukan saat awal. Berikut merupakan parameter dari substrat yang digunakan pada perancangan antena ini.

Jenis Substrat	FR4 (Epoxy)
Konstanta Dielektrik Relatif (ϵ_r)	4,4
Dielectric Loss Tangent ($\tan \delta$)	0,02
Ketebalan Substrat (h)	1,6 mm

Gambar 3.2 Parameter substrat yang digunakan

3.5 MENENTUKAN LEBAR SALURAN PENCATU 50 Ω

Saluran pencatu yang digunakan pada perancangan diharapkan mempunyai atau paling tidak mendekati impedansi masukan sebesar 50 Ω . Untuk mendapatkan nilai impedansi tersebut dilakukan pengaturan lebar dari saluran pencatu dengan menggunakan program PCAAD. Tampilan dari program PCAAD untuk mencari lebar catuan agar mempunyai impedansi 50 Ω dapat dilihat pada Gambar 3.3.

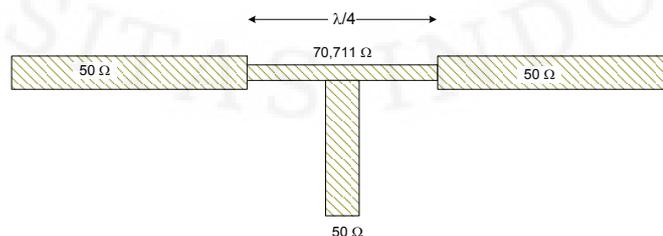


Gambar 3.3 Tampilan Program PCAAD untuk Mencari Lebar Saluran Pencatu Agar Mempunyai Impedansi 50 Ω .

Dengan menggunakan perangkat lunak di atas maka didapatkan lebar saluran pencatu untuk substrat yang digunakan (Gambar 3.2) yaitu sebesar 3,05 mm yang sesuai dengan nilai impedansi *matching* 50 Ω .

3.6 MENENTUKAN LEBAR SALURAN PENCATU 70,7 Ω

Pada hasil rancangan elemen tunggal diketahui bahwa saluran pencatu yang digunakan adalah 50 Ω . Untuk merancang antenna 2 elemennya, dibutuhkan *T-junction* 50 Ω yang berfungsi sebagai *power divider*. Teori tentang *T-junction* telah dibahas pada Bab 2. Pada Gambar 3.4 *T-junction* yang digunakan adalah yang memiliki impedansi 70,7 Ω . Impedansi 70,7 Ω tersebut sebagai transformasi $\lambda/4$.

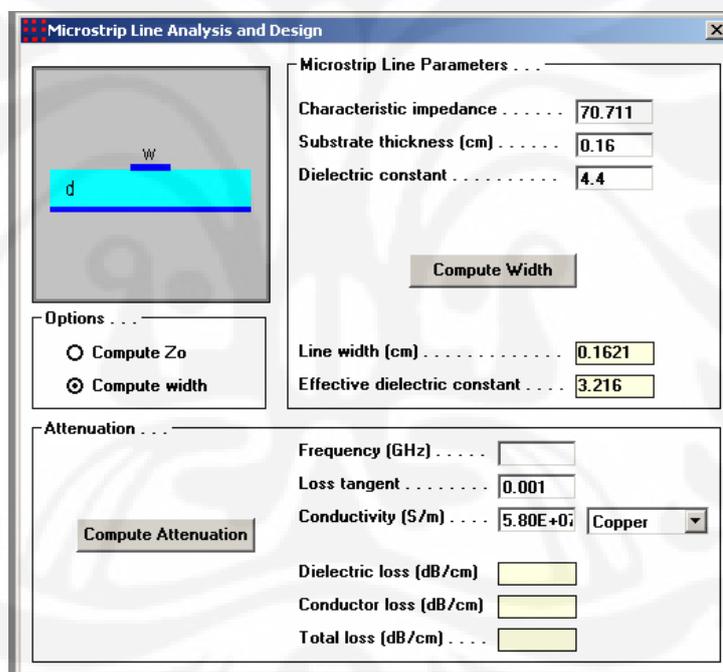


Gambar 3.4 Perancangan *T-Junction* Impedansi 70,7 Ω

Transformasi $\lambda/4$ adalah suatu teknik *impedance matching* dengan cara memberikan saluran transmisi dengan impedansi Z_T di antara dua saluran transmisi yang tidak *match*. Saluran pencatu mikrostrip $70,7 \Omega$ merupakan transformasi $\lambda/4$ antara saluran pencatu 100Ω dan 50Ω . Nilai impedansi transformasi $\lambda/4$ ini diperoleh dari Persamaan (2.20), sebagai berikut :

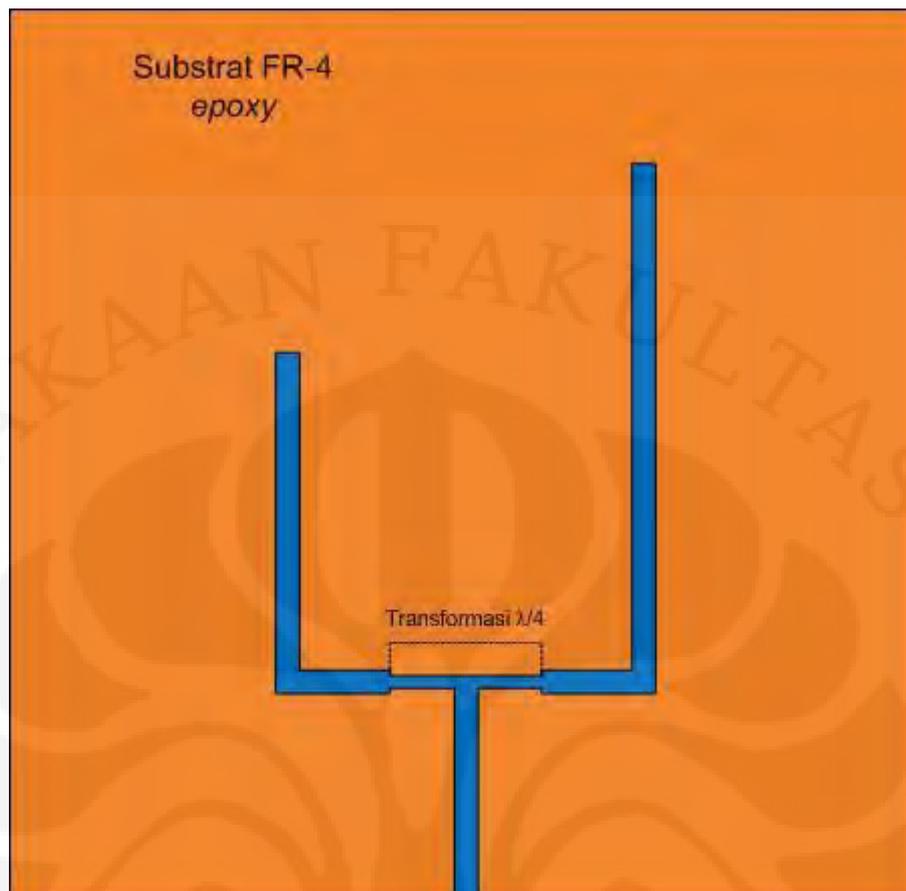
$$Z_T = \sqrt{Z_1 \times Z_3} = \sqrt{50 \times 100} = 70,7 \text{ ohm } (\Omega)$$

Lebar saluran pencatu mikrostrip $70,7 \Omega$ dapat dicari dengan menggunakan perangkat lunak PCAAD 5.0. Tampilan dari program PCAAD untuk mencari lebar catu agar mempunyai impedansi $70,7 \Omega$ dapat dilihat pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Tampilan Program PCAAD Untuk Mencari Lebar Catu Agar Mempunyai Impedansi $70,7 \Omega$

Dengan menggunakan program PCAAD maka akan didapatkan lebar saluran pencatu mikrostrip $70,7 \Omega$ yaitu sebesar $1,62 \text{ mm}$.



Gambar 3.6 Bentuk *Feed*

Pada Gambar 3.6 merupakan bentuk *feed* dengan menerapkan teknik *impedance matching* yaitu penggunaan transformasi $\lambda/4$ agar dihasilkan *feed* dengan impedansi sebesar 50Ω .

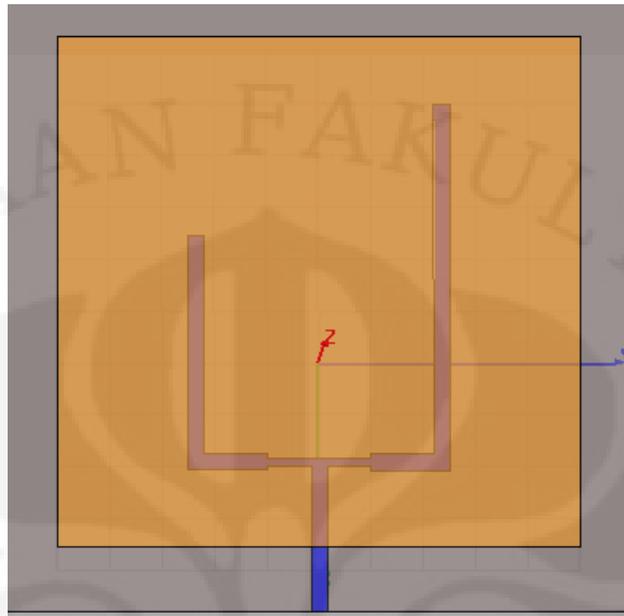
3.7 PENENTUAN DIMENSI ANTENA

3.7.1 Dimensi Antena Untuk Frekuensi 433 MHz

Perhitungan awal untuk menentukan dimensi dari *patch* antena ini pada frekuensi 433 MHz adalah dengan menggunakan perhitungan antena mikrostrip dengan *patch* berbentuk persegi panjang yang telah diberikan pada bab 2.

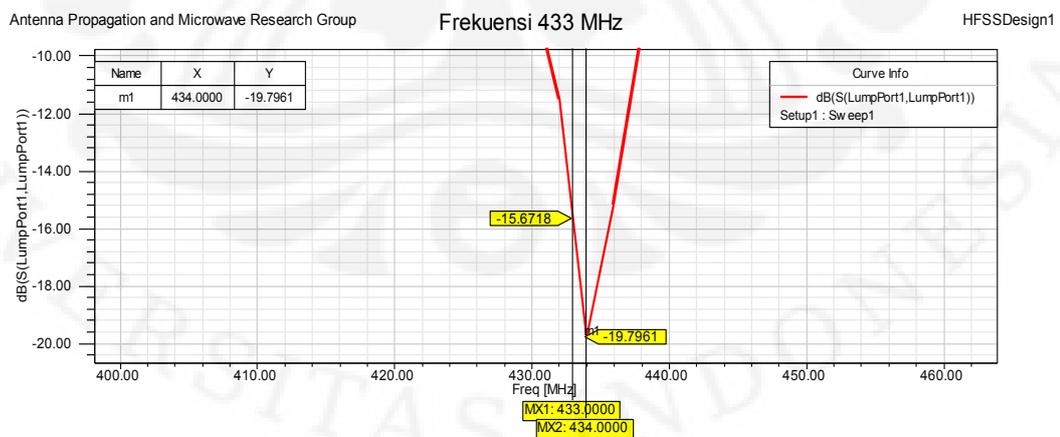
Dengan menggunakan formula yang telah dipaparkan pada bab 2 maka didapatkan besar dimensi *patch* berdasarkan perhitungan adalah 110 mm x 175 mm. Tetapi dengan pengaturan penyesuaian besar dimensi tersebut terhadap bentuk *feed* yang menerapkan teknik *T-junction* maka dapat dilihat pada Gambar

3.7 didapatkan besar dimensi *patch* yang lebih kecil untuk menghasilkan frekuensi 433 MHz yaitu 100 mm x 98 mm.



Gambar 3.7 *Patch* untuk menghasilkan frekuensi 433 MHz

Gambar 3.7 merupakan bentuk desain awal *patch* antenna untuk menghasilkan frekuensi 433 MHz tanpa ditambahkan slot U sebagai tempat bagi *patch* kedua. Hasil yang diperoleh dari desain Gambar 3.7 dapat dilihat dari Gambar 3.8 dibawah ini:



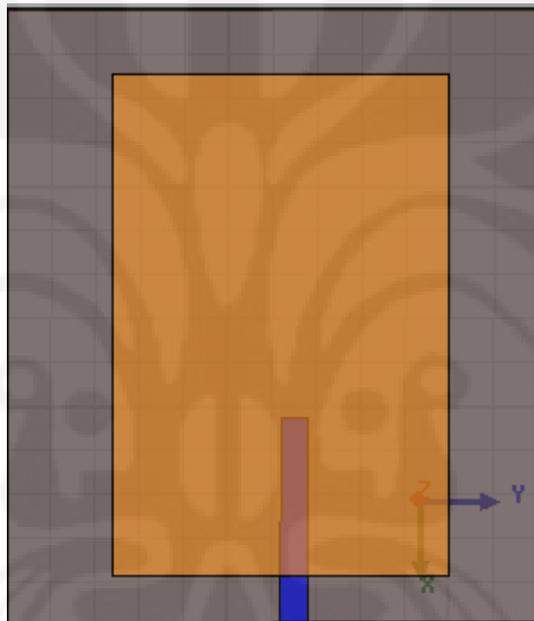
Gambar 3.8 hasil desain Gambar 3.7

Gambar 3.8 merupakan hasil yang didapat setelah dilakukannya penyesuaian dimensi terhadap desain awal antenna yaitu menghasilkan frekuensi

kerja 434 MHz yang ditunjukkan dengan titik M1 dengan *return loss* sebesar -19,79 serta besar bandwidth yaitu 431 MHz – 437 MHz.

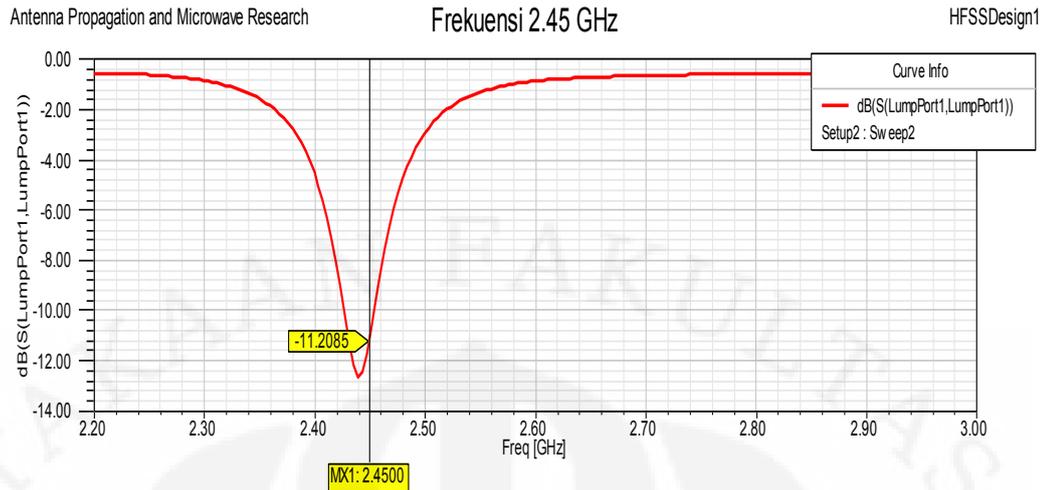
3.7.2 Dimensi Antena Untuk Frekuensi 920 MHz dan 2,45 GHz

Untuk perhitungan awal yaitu mencari besar dimensi dari *patch* antena untuk frekuensi 2,45 GHz dengan menggunakan perhitungan antena mikrostrip dengan *patch* berbentuk persegi panjang pada bab 2. Sedangkan untuk menimbulkan frekuensi 920MHz maka *patch* antena untuk frekuensi 2,45 GHz ditambahkan beberapa slot, yaitu slot *rectangular* dan L-slot [15].



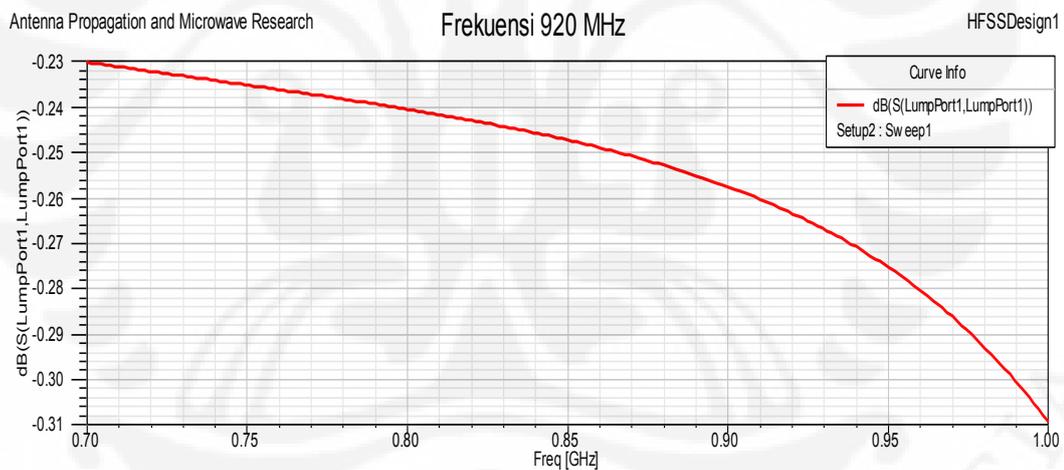
Gambar 3.9 *Patch* untuk menghasilkan frekuensi 2,45 GHz

Gambar 3.9 merupakan *patch* yang didesain untuk menghasilkan frekuensi 2,45 GHz dengan dimensi *patch* adalah 57 mm x 38 mm. Hasil dari desain diatas dapat dilihat pada Gambar 3.10:



Gambar 3.10 Hasil desain Gambar 3.9

Gambar 3.10 merupakan hasil dari desain Gambar 3.9 menunjukkan frekuensi kerja pada frekuensi 2,43 GHz dengan *return loss* -12 serta bandwidth 2,42 GHz – 2,45 GHz.



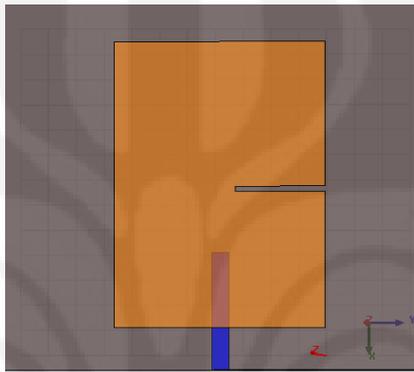
Gambar 3.11 Hasil desain Gambar 3.9

Gambar 3.11 merupakan hasil dari desain Gambar 3.9 Hal ini menunjukkan bahwa tanpa penambahan beberapa slot maka tidak menimbulkan frekuensi 920 MHz. Maka dari itu dilakukan proses karakterisasi dalam penambahan slot. Berikut akan dijelaskan karakterisasi tersebut.

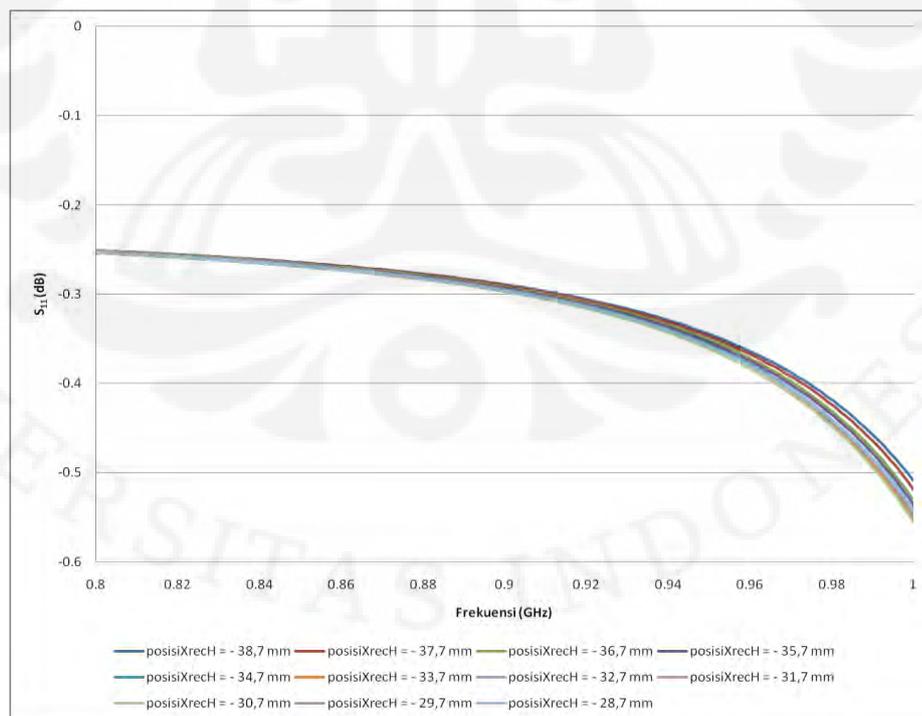
- **Penambahan Slot *Rectangular Horizontal* pada *Patch 2***

- Karakterisasi posisi slot *rectangular horizontal*

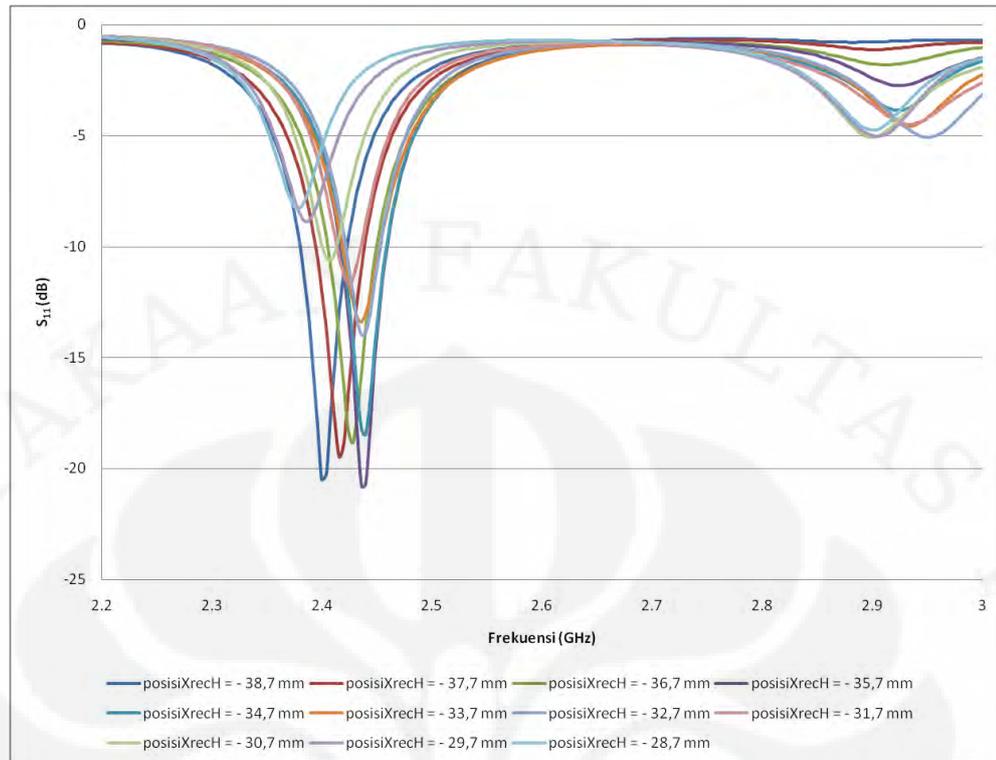
Dengan menambahkan slot awal pada *patch* kedua yaitu berupa slot *rectangular* dan melakukan karakterisasi posisi sepanjang sb-x terhadap slot *rectangular* pada *patch 2* yaitu dimulai dari posisi $X_{recH} = -38,7$ mm sampai posisi $X_{recH} = -28,7$ mm, Gambar 3.12 merupakan penambahan slot di *patch 2* dan Gambar 3.13 adalah hasil yang didapat dari karakterisasi tersebut.



Gambar 3.12 Penambahan slot *rectangular* pada *patch 2*



(a)



(b)

Gambar 3.13 Hasil karakterisasi posisi slot *rectangular* pada Gambar 3.12 (a). frekuensi 923 - 925 MHz (b). frekuensi 2,446 – 2,454 GHz.

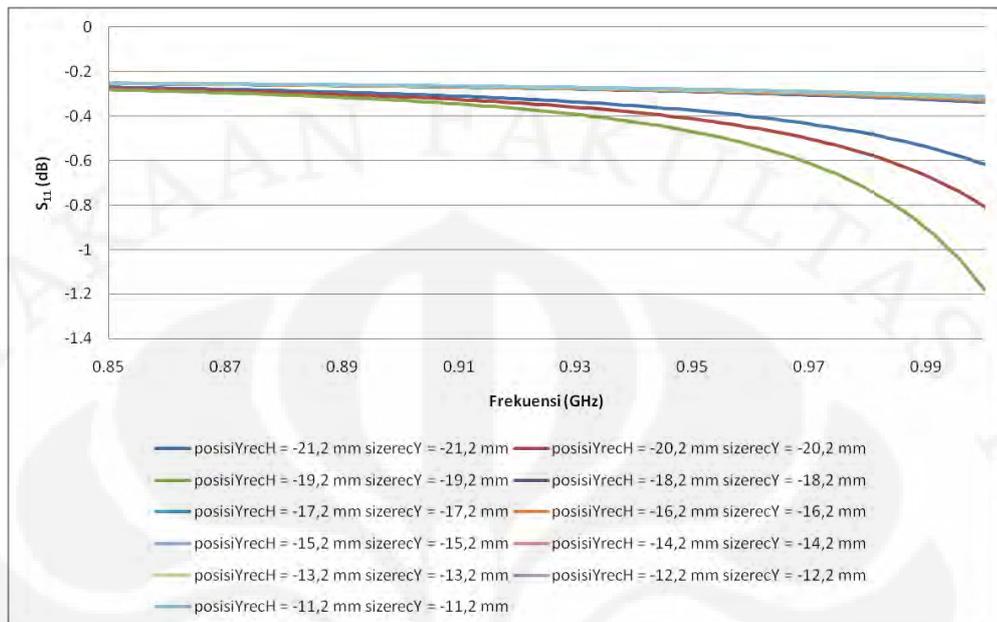
Gambar 3.13 merupakan hasil karakterisasi slot *rectangular* pada sb-x. Pada Gambar 3.13 (a) terlihat bahwa penambahan slot *rectangular* horizontal saja pada *patch* 2 belum dapat menimbulkan frekuensi kerja disekitar 923 – 925 MHz. Sedangkan pada Gambar 3.13 (b) tersebut terlihat bahwa terjadi pergeseran frekuensi serta terjadi pula perubahan impedansi *matching* pada frekuensi kerja 2,446 – 2,454 GHz baik pada posisiXrech = -38,7 mm sampai posisiXrech = -28,7 mm.

Hasil terbaik untuk frekuensi kerja 2,446 – 2,454 GHz didapat saat kedudukan slot *rectangular* terhadap *patch* 2 di koordinat posisiXrech = -33,7 mm pada sb-x.

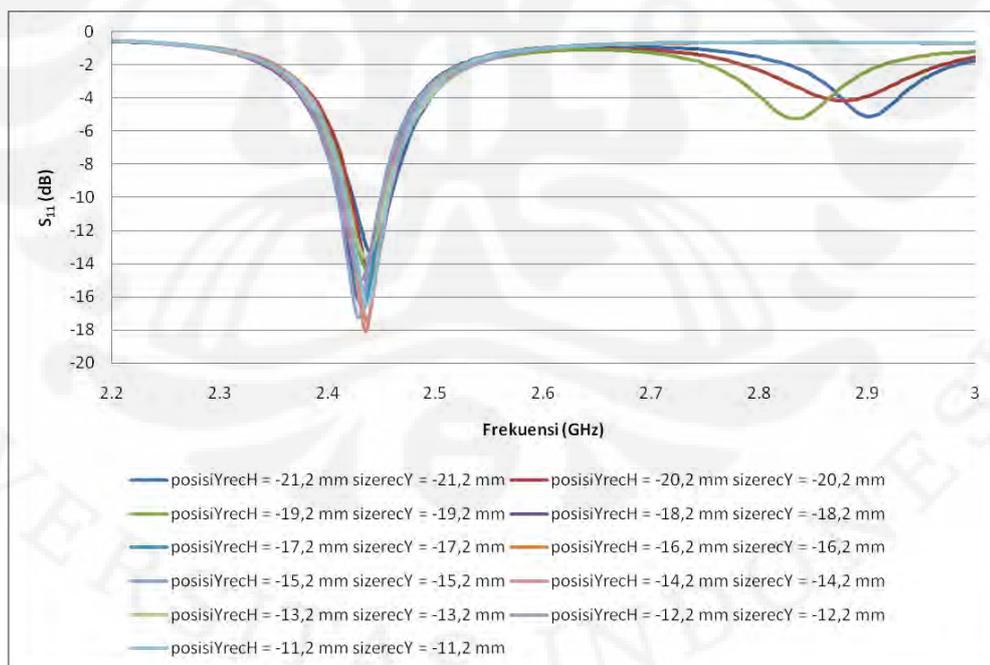
➤ Karakterisasi panjang slot *rectangular* horizontal

Dengan menambahkan slot awal pada *patch* kedua yaitu berupa slot *rectangular* dan melakukan karakterisasi terhadap panjang slot *rectangular* pada

patch 2 yaitu dimulai dari $\text{sizerecY} = -21,2$ mm sampai $\text{sizerecY} = -11,2$ mm, Gambar 3.14 hasil yang didapat dari karakterisasi tersebut.



(a)



(b)

Gambar 3.14 Hasil karakterisasi panjang slot *rectangular* horizontal (a) frekuensi 923 – 925 MHz (b) frekuensi 2,446 – 2,454 GHz

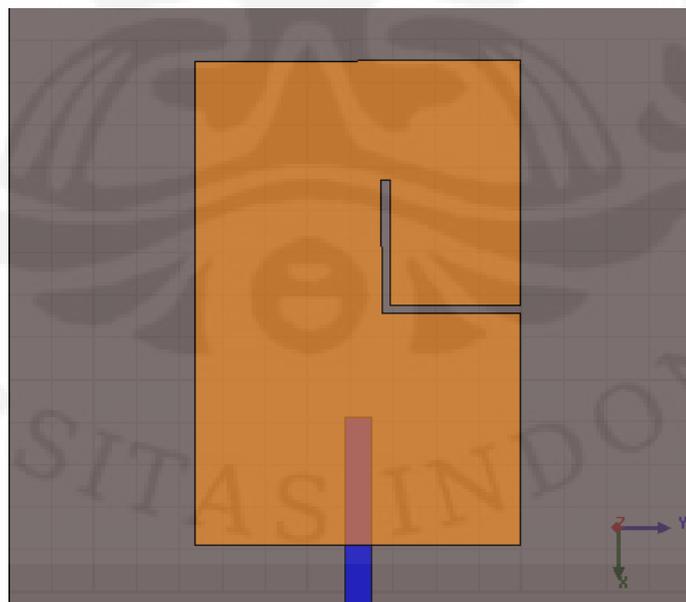
Gambar 3.14 merupakan hasil karakterisasi panjang slot *rectangular* horizontal. Pada Gambar 3.14 (a) terlihat bahwa perubahan panjang slot *rectangular* horizontal pada *patch* 2 belum dapat menimbulkan frekuensi kerja disekitar 923 – 925 MHz. Sedangkan pada Gambar 3.14 (b) tersebut terlihat bahwa terjadi perubahan impedansi *matching* pada frekuensi kerja 2,446 – 2,454 GHz baik pada saat $\text{sizerecY} = -21,2$ mm sampai $\text{sizerecY} = -11,2$ mm.

Hasil terbaik untuk frekuensi kerja 2,446 – 2,454 GHz didapat saat panjang slot *rectangular* horizontal (sizerecY) = -16,2 mm.

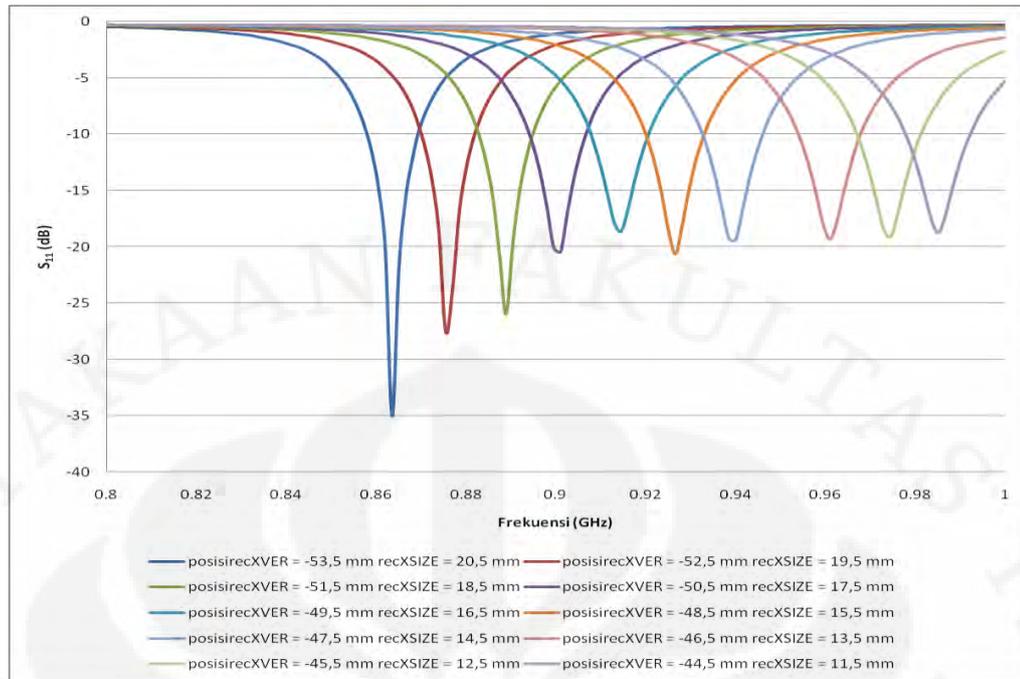
- **Penambahan Slot Rectangular Vertikal pada Patch 2**

- Karakterisasi panjang slot *rectangular* vertikal

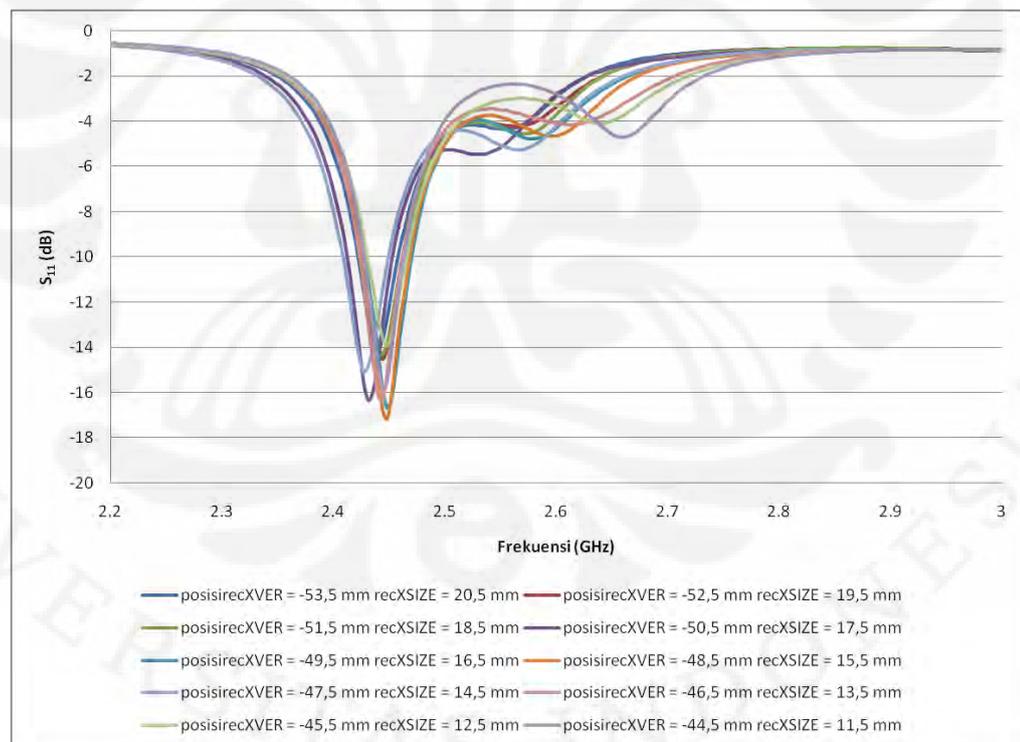
Dengan menambahkan slot kedua pada *patch* kedua yaitu berupa slot *rectangular* vertikal maka secara tidak langsung membentuk L-slot dan melakukan karakterisasi terhadap panjang slot *rectangular* vertikal pada *patch* 2 yaitu dimulai dari $\text{posisirecXVER} = -53,5$ mm atau saat $\text{recXSIZE} = 20,5$ mm sampai $\text{posisirecXVER} = -43,5$ mm atau saat $\text{recXSIZE} = 10,5$ mm, Gambar 3.15 merupakan penambahan slot vertikal dan Gambar 3.16 adalah hasil yang didapat dari karakterisasi tersebut.



Gambar 3.15 Penambahan slot vertikal di atas slot horizontal



(a)



(b)

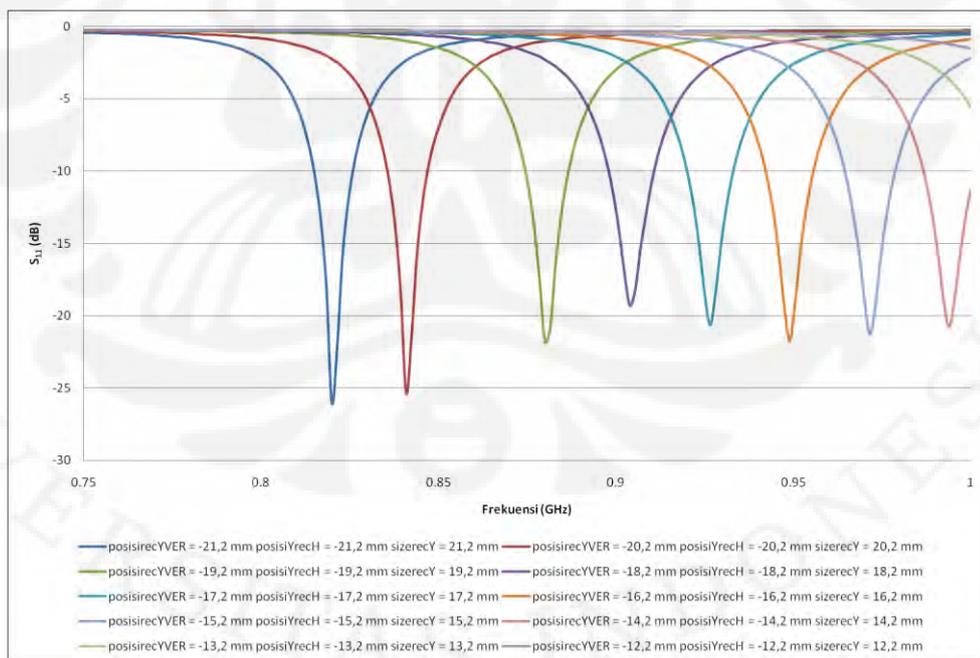
Gambar 3.16 Hasil karakterisasi panjang slot *rectangular* vertikal (a) frekuensi 923 – 925 MHz (b) frekuensi 2,446 – 2,454 GHz

Gambar 3.16 merupakan hasil karakterisasi panjang slot *rectangular* vertikal. Pada Gambar 3.16 (a) terlihat bahwa perubahan panjang slot *rectangular* vertikal pada *patch* 2 sudah dapat menimbulkan frekuensi kerja disekitar 923 – 925 MHz dan terjadi pergeseran frekuensi kerja serta perubahan impedansi *matching*. Sedangkan pada Gambar 3.16 (b) tersebut terlihat bahwa terjadi perubahan impedansi *matching* pada frekuensi kerja 2,446 – 2,454 GHz baik pada saat $\text{recXSIZE} = -20,5$ mm sampai $\text{recXSIZE} = -11,5$ mm.

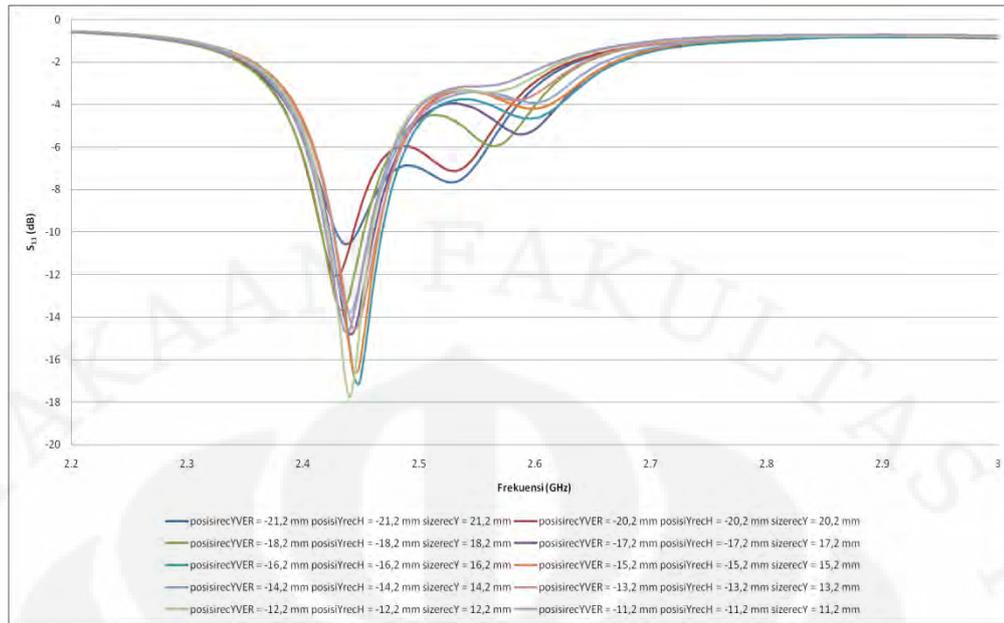
Hasil terbaik untuk frekuensi kerja 923 – 925 MHz dan 2,446 – 2,454 GHz didapat saat panjang slot *rectangular* vertikal (recXSIZE) = -11,5 mm.

➤ Karakterisasi posisi slot *rectangular* vertikal

Dengan menambahkan slot kedua pada *patch* kedua yaitu berupa slot *rectangular* vertikal dan melakukan karakterisasi terhadap posisi slot *rectangular* vertikal pada sb-y yaitu dimulai dari $\text{posisirecYVER} = -21,2$ mm sampai $\text{posisirecYVER} = -11,2$ mm, Gambar 3.17 merupakan hasil yang didapat dari karakterisasi tersebut.



(a)



(b)

Gambar 3.17 Hasil karakterisasi posisi slot *rectangular* vertikal (a) frekuensi 923 – 925 MHz (b) frekuensi 2,446 – 2,454 GHz

Gambar 3.17 merupakan hasil karakterisasi terhadap posisi slot *rectangular* vertikal. Pada Gambar 3.17 (a) terlihat bahwa perubahan posisi slot *rectangular* vertikal pada *patch* 2 menimbulkan pergeseran frekuensi kerja serta perubahan impedansi *matching*. Sedangkan pada Gambar 3.17 (b) tersebut terlihat bahwa terjadi perubahan impedansi *matching* pada frekuensi kerja 2,446 - 2,454 GHz baik pada saat posisirecYVER = -21,2 mm sampai posisirecYVER = -11,2 mm.

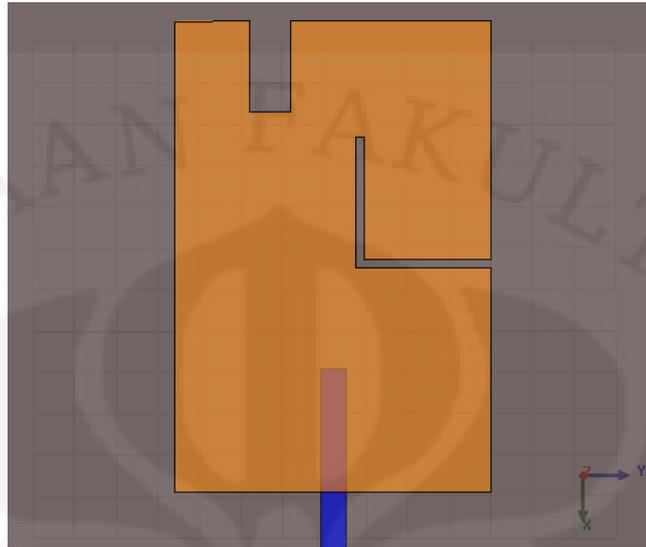
Hasil terbaik untuk frekuensi kerja 923 – 925 MHz dan 2,446 – 2,454 GHz didapat saat posisi slot *rectangular* vertikal (posisirecYVER) = -16,2 mm.

- **Penambahan Slot *Rectangular* setelah L-slot Pada *Patch* 2**

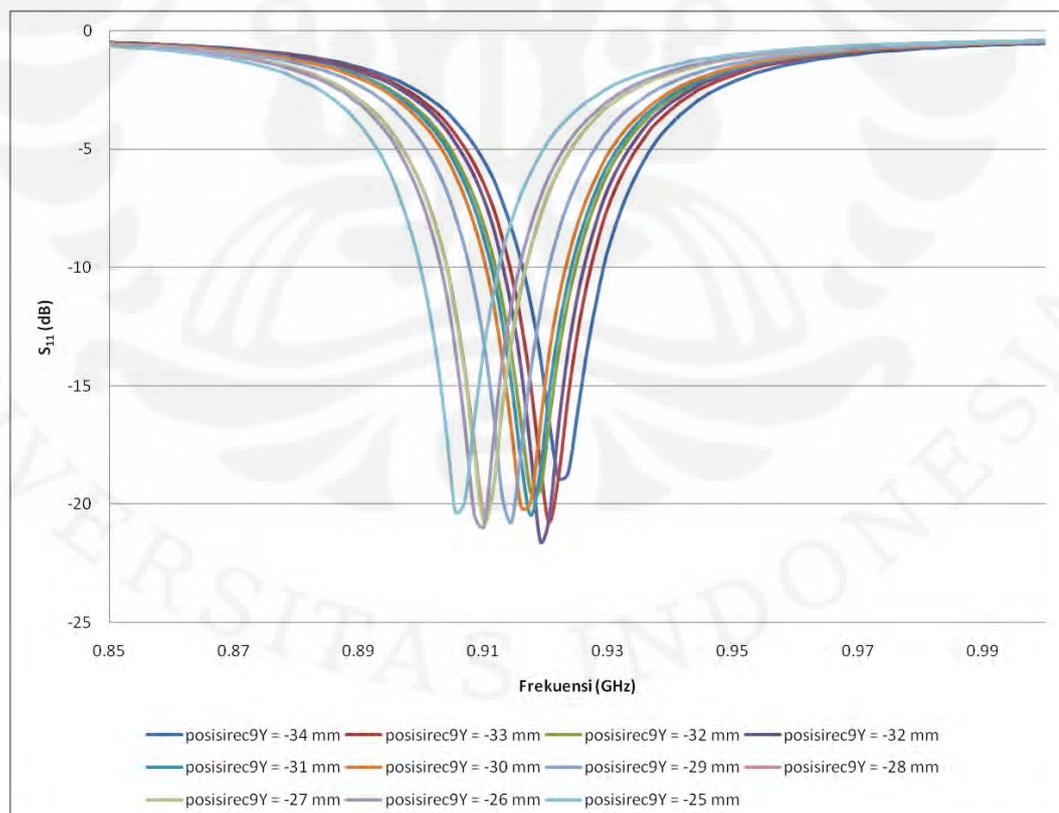
- Karakterisasi posisi slot *rectangular*

Dengan menambahkan slot setelah L-slot pada *patch* kedua yaitu berupa slot *rectangular* dan melakukan karakterisasi posisi sepanjang sb-y terhadap slot *rectangular* pada *patch* 2 yaitu dimulai dari posisirec9Y = -34 mm sampai

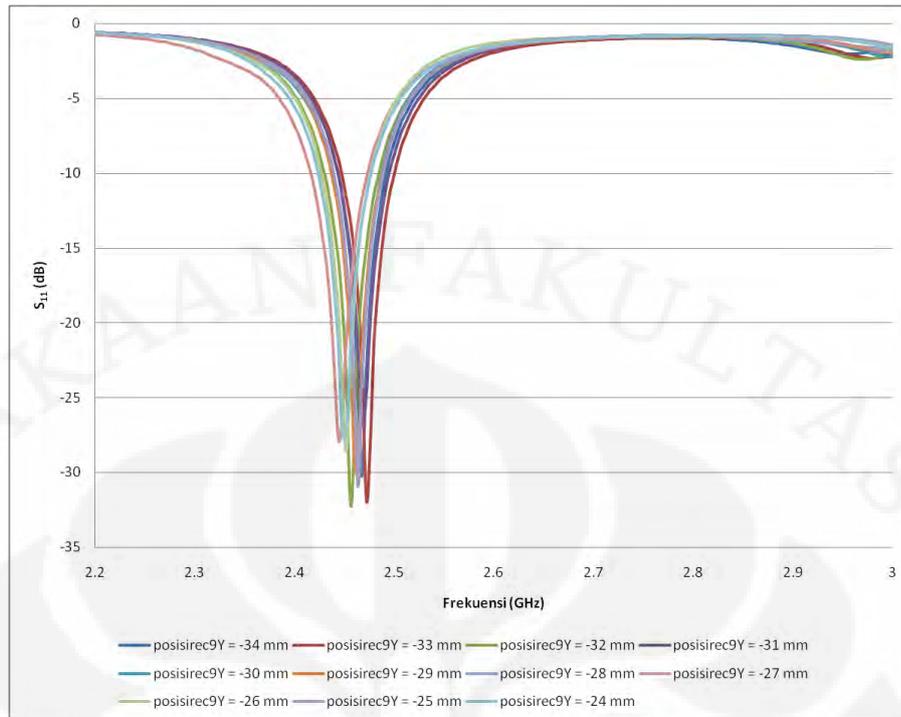
posisirec9Y = -24 mm, Gambar 3.18 merupakan penambahan slot *rectangular* dan Gambar 3.19 merupakan hasil yang didapat dari karakterisasi tersebut.



Gambar 3.18 Penambahan slot *rectangular* setelah L-slot



(a)



(b)

Gambar 3.19 Hasil karakterisasi posisi slot *rectangular* (a) frekuensi 923 – 925 MHz (b) frekuensi 2,446 – 2,454 GHz

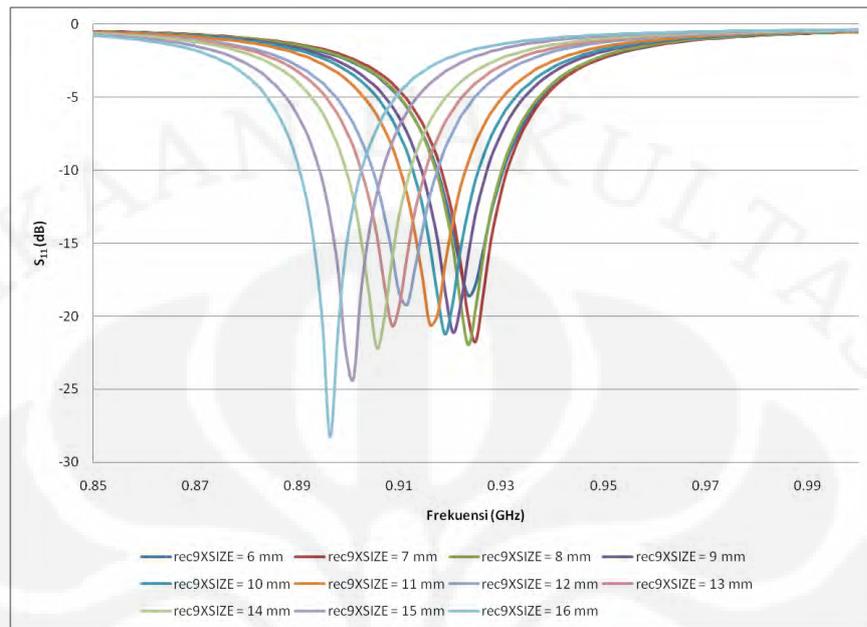
Gambar 3.19 merupakan hasil karakterisasi terhadap posisi slot *rectangular* sepanjang sb-y yang dibuat setelah L-slot. Pada Gambar 3.19 (a) terlihat bahwa perubahan posisi slot *rectangular* pada *patch* 2 menimbulkan pergeseran frekuensi kerja serta perubahan impedansi *matching*. Sedangkan pada Gambar 3.19 (b) tersebut terlihat bahwa terjadi perubahan impedansi *matching* pada frekuensi kerja 2,446 – 2,454 GHz baik pada saat $\text{posisirec9Y} = -34$ mm sampai $\text{posisirec9Y} = -24$ mm.

Hasil terbaik untuk frekuensi kerja 923 – 925 MHz dan 2,446 - 2,454 GHz didapat saat posisi slot *rectangular* (posisirec9Y) = -29 mm.

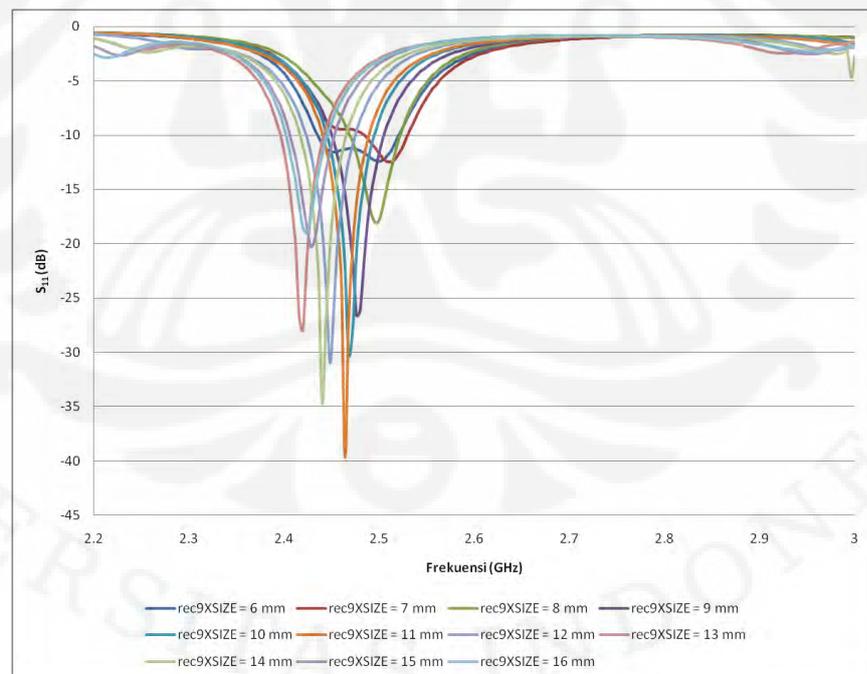
➤ Karakterisasi panjang slot *rectangular*

Penambahan slot setelah L-slot pada *patch* kedua yaitu berupa slot *rectangular* seperti Gambar 3.18 dan melakukan karakterisasi panjang slot *rectangular* pada *patch* 2 yaitu dimulai dari $\text{rec9XSIZE} = 6$ mm sampai

rec9XSIZE = 16 mm, Gambar 3.20 merupakan hasil yang didapat dari karakterisasi tersebut.



(a)



(b)

Gambar 3.20 Hasil karakterisasi panjang slot *rectangular* (a). Frekuensi 923 -925 MHz (b). Frekuensi 2,446 – 2,454 GHz

Gambar 3.20 merupakan hasil karakterisasi terhadap panjang slot *rectangular* sepanjang $sb-x$ yang dibuat setelah L-slot. Pada Gambar 3.20 (a) terlihat bahwa perubahan panjang slot *rectangular* pada *patch 2* menimbulkan pergeseran frekuensi kerja serta perubahan impedansi *matching*. Sedangkan pada Gambar 3.20 (b) terlihat bahwa terjadi perubahan impedansi *matching* pada frekuensi kerja 2,446 – 2,454 GHz baik pada saat $rec9XSIZE = 6$ mm sampai $rec9XSIZE = 16$ mm.

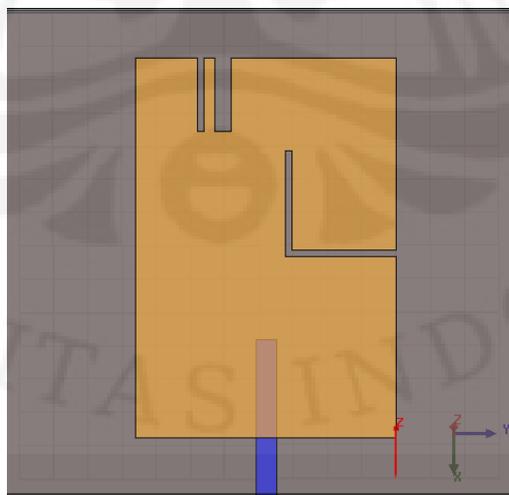
Hasil terbaik untuk frekuensi kerja 923 – 925 MHz dan 2,446 - 2,454 GHz didapat saat panjang slot *rectangular* ($rec9XSIZE$) = 11 mm.

- **Penggabungan Rectangular**

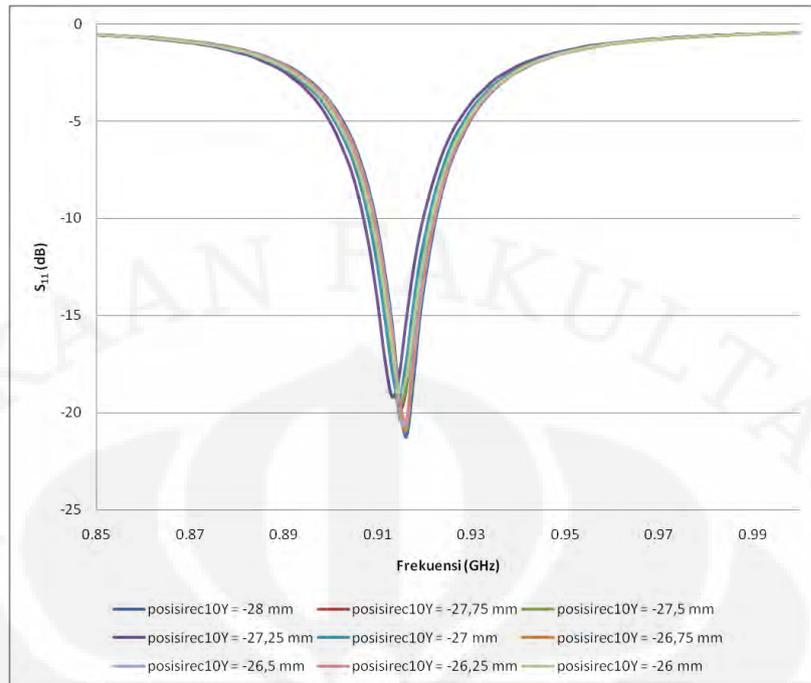
- Karakterisasi posisi *rectangular*

Setelah mengkarakterisasi L-slot dan slot *rectangular*, maka proses berlanjut dengan penggabungan *rectangular* pada *patch 2* yang diletakkan di slot *rectangular* dan mengkarakterisasi posisinya. Penggabungan *rectangular* ini bertujuan untuk *matching* dua frekuensi kerja yang diinginkan yaitu frekuensi 923 - 925 MHz dan frekuensi 2,446 – 2,454 GHz.

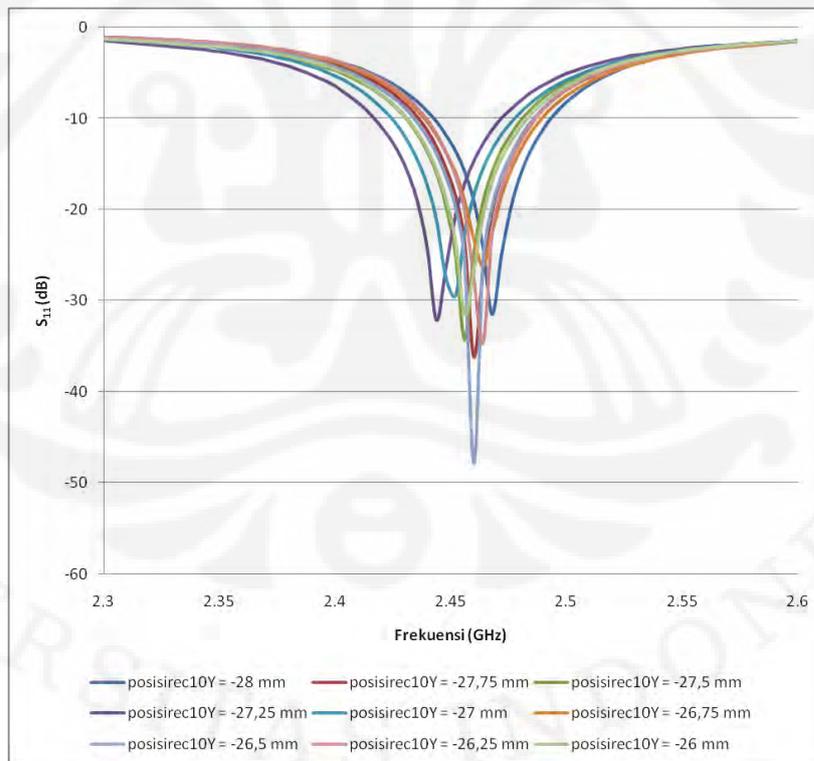
Gambar 3.21 merupakan gambar *patch 2* yang telah ditambah dengan *rectangular* dan Gambar 3.22 merupakan hasil dari karakterisasi posisi *rectangular* tersebut.



Gambar 3.21 *Patch 2* yang telah di gabung dengan *rectangular*



(a)



(b)

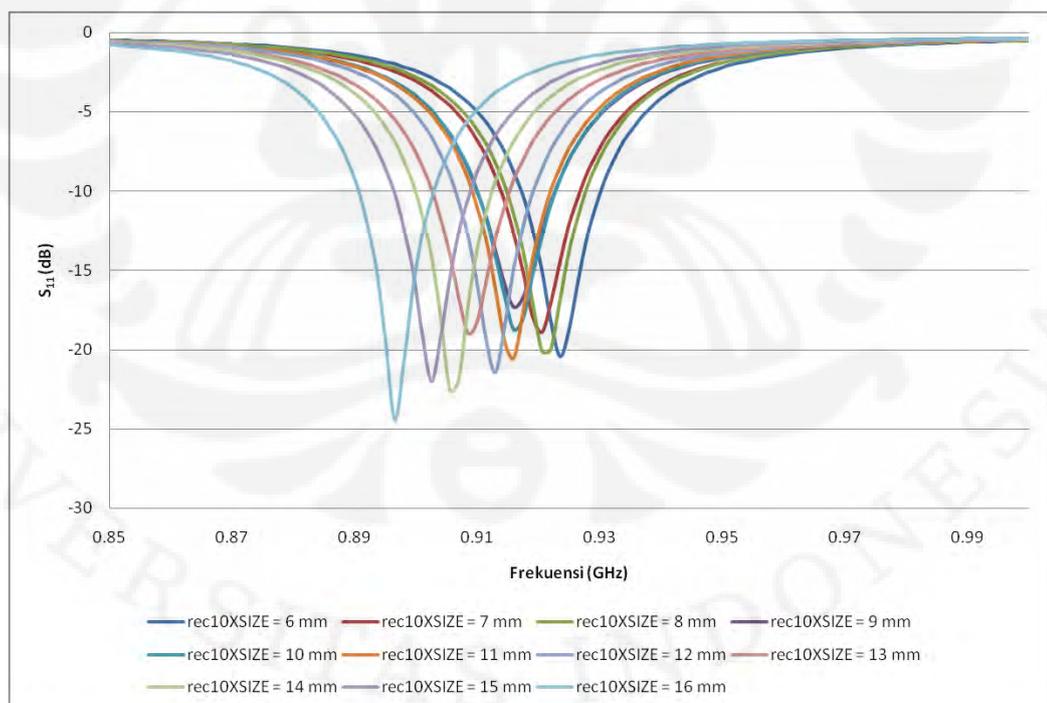
Gambar 3.22 Hasil karakterisasi posisi *rectangular* (a). Frekuensi 923 – 925 MHz
(b). Frekuensi 2,446 – 2,454 GHz

Gambar 3.22 merupakan hasil karakterisasi posisi *rectangular* sepanjang sb-y yang dibuat setelah L-slot dan slot *rectangular*. Pada Gambar 3.22 (a) terlihat bahwa perubahan posisi *rectangular* pada *patch 2* menimbulkan pergeseran frekuensi dan perubahan impedansi *matching*. Sedangkan pada Gambar 3.22 (b) terlihat bahwa terjadi perubahan impedansi *matching* pada frekuensi kerja 2,446 - 2,454 GHz baik pada saat posisi $\text{rec10Y} = -28$ mm sampai posisi $\text{rec10Y} = -26$ mm.

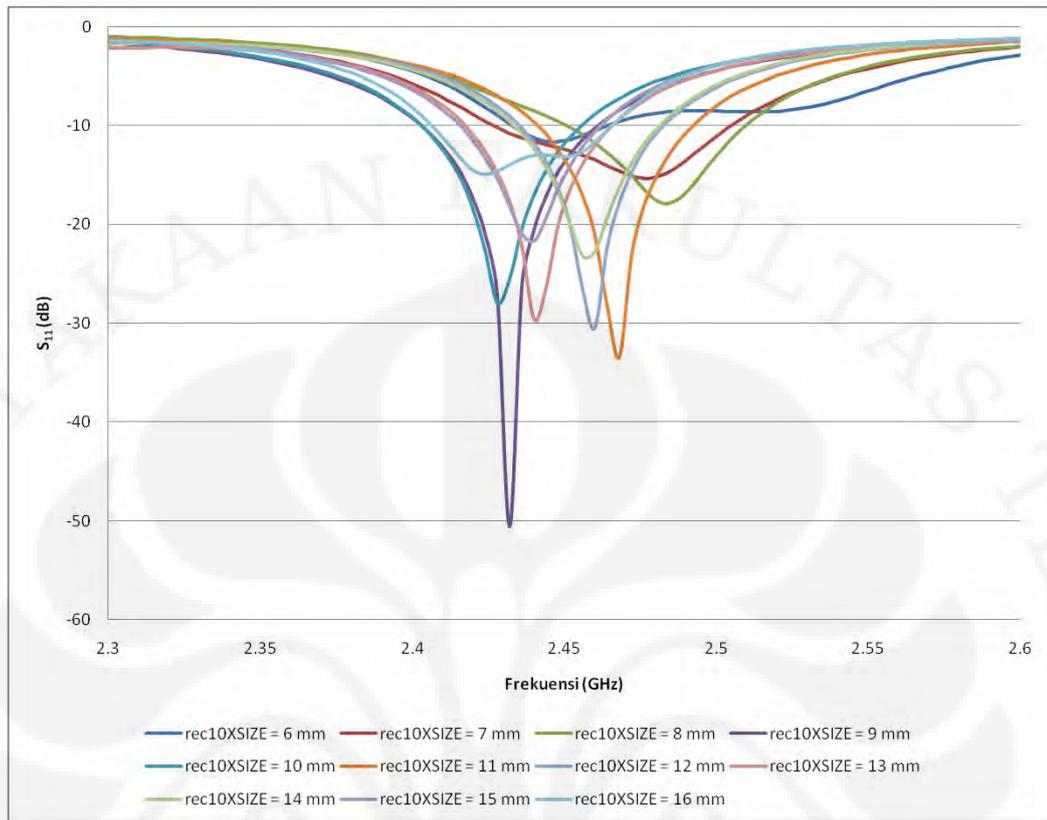
Hasil terbaik untuk frekuensi kerja 923 – 925 MHz dan 2,446 – 2,454 GHz didapat saat posisi *rectangular* (posisirec10Y) = -28 mm.

➤ Karakterisasi panjang *rectangular*

Setelah mengkarakterisasi posisi *rectangular* seperti pada gambar 3.21, maka proses berlanjut dengan mengkarakterisasi panjangnya. Karakterisasi panjang dimulai dari $\text{rec10XSIZE} = 6$ mm sampai $\text{rec10XSIZE} = 16$ mm. Gambar 3.23 merupakan hasil dari karakterisasi panjang *rectangular* tersebut.



(a)



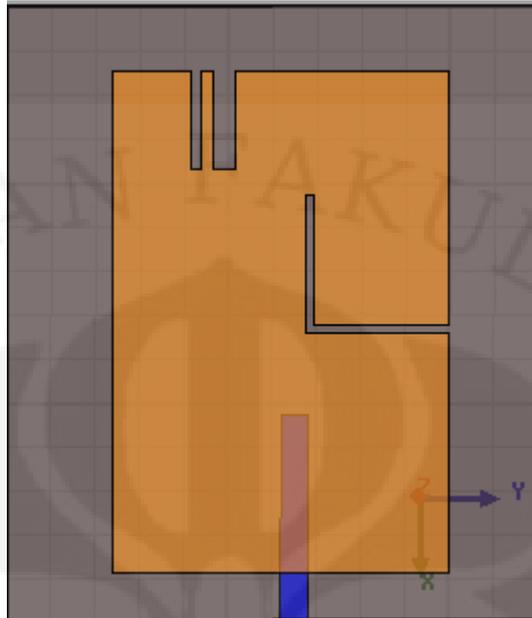
(b)

Gambar 3.23 Hasil karakterisasi panjang *rectangular* (a). Frekuensi 923 – 925 MHz (b). Frekuensi 2,446 – 2,454 GHz

Gambar 3.23 merupakan hasil karakterisasi panjang *rectangular* pada sb-x yang dibuat setelah L-slot dan slot *rectangular*. Pada Gambar 3.23 (a) terlihat bahwa perubahan panjang *rectangular* pada *patch* 2 menimbulkan pergeseran frekuensi dan perubahan impedansi *matching*. Sedangkan pada Gambar 3.23 (b) terlihat bahwa terjadi perubahan impedansi *matching* dan pergeseran frekuensi pada frekuensi kerja 2,446 – 2,454 GHz baik pada saat $\text{rec10XSIZE} = 6 \text{ mm}$ sampai $\text{rec10XSIZE} = 16 \text{ mm}$.

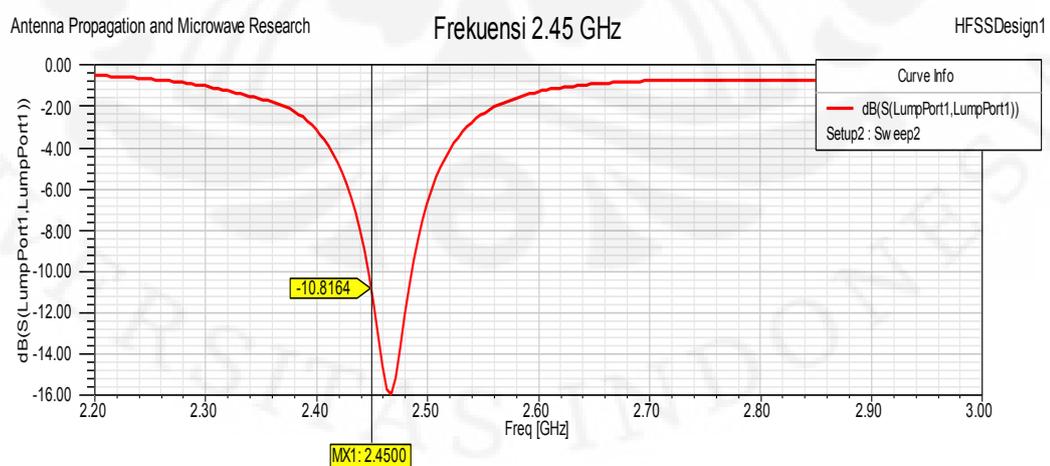
Hasil terbaik untuk frekuensi kerja 923 – 925 MHz dan 2,446 – 2,454 GHz didapat saat panjang *rectangular* (rec10XSIZE) = 11 mm.

- **Desain Fix Patch 2**



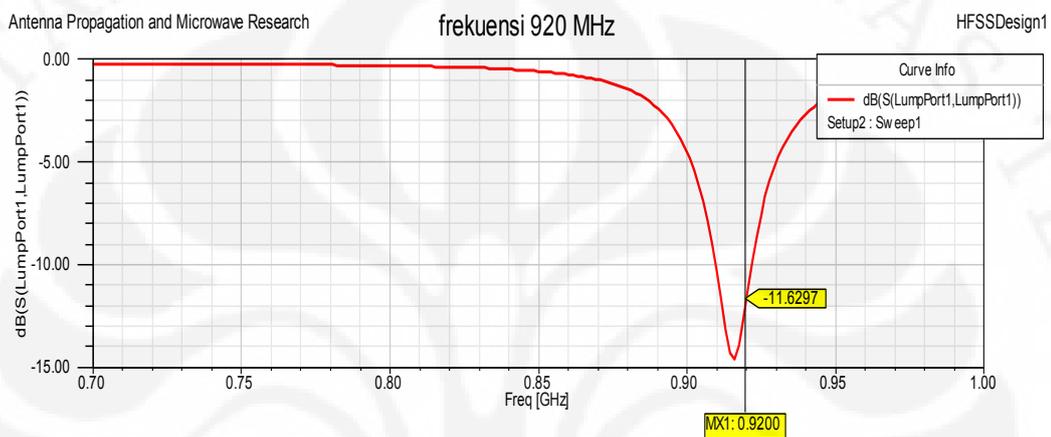
Gambar 3.24 *Patch* untuk menghasilkan Frekuensi 2,446 – 2,454 GHz serta Frekuensi 923 - 925 MHz

Gambar 3.24 merupakan *patch* yang didesain untuk menghasilkan frekuensi 2,446 – 2,454 GHz dengan dimensi *patch* adalah 57 mm x 38 mm. Pada desain tersebut ditambahkan beberapa slot untuk menghasilkan frekuensi 923 - 925 MHz. Hasil dari desain tersebut dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 3.25 Hasil desain Gambar 3.24

Gambar 3.25 merupakan hasil dari desain Gambar 3.24 Pada Gambar tersebut menunjukkan bahwa untuk desain tersebut dapat menimbulkan frekuensi 2,446 – 2,454 GHz dengan frekuensi kerja pada 2,47 GHz, *return loss* -16 serta bandwidth dari 2,44 GHz – 2,48 GHz. Jika dibandingkan dengan hasil dari desain pada Gambar 3.9, maka hasil setelah penambahan beberapa slot menunjukkan terjadinya pergeseran ke frekuensi yang lebih rendah atau ke arah kiri, tetapi frekuensi 2,446 – 2,454 GHz masih masuk atau *matching*.



Gambar 3.26 Hasil penambahan beberapa slot pada desain Gambar 3.24

Gambar 3.26 merupakan hasil dari desain Gambar 3.24 Pada Gambar tersebut menunjukkan bahwa untuk desain pada Gambar 3.9 jika ditambahkan beberapa slot maka akan menimbulkan frekuensi 920 MHz. Dari Gambar 3.26 menunjukkan bahwa frekuensi kerja pada frekuensi 918 MHz dengan *return loss* -14,9 serta bandwidth dari 916 MHz – 923 MHz.

Berikut merupakan perbandingan antara *patch rectangular* dengan *patch rectangular* yang telah diberi tambahan beberapa slot :

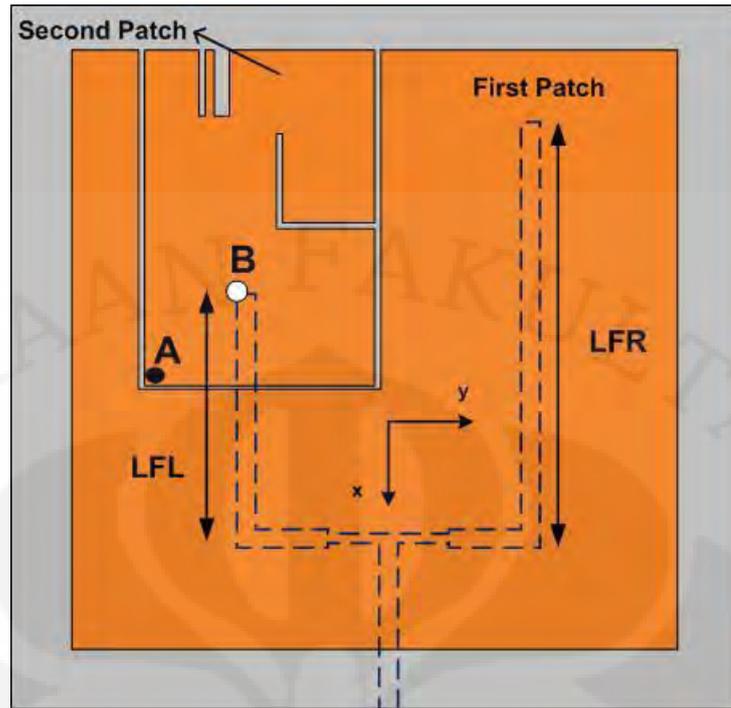
<i>Patch Rectangular</i>		<i>Patch Rectangular dengan Tambahan Beberapa Slot</i>	
Frekuensi Tujuan	Return Loss	Frekuensi Tujuan	Return Loss
2,45 GHz	-11,2 dB	2,45 GHz	-10,8
		920 MHz	-11,6

Gambar 3.27 Perbandingan Antara *Patch Rectangular* dengan *Patch Rectangular* yang telah diberi tambahan beberapa slot

3.8 PENGGABUNGAN KEDUA *PATCH* ANTENA

Teknik yang digunakan pada skripsi ini untuk menghasilkan tiga frekuensi resonansi kerja yang berbeda adalah memakai teknik *multi-patch coplanar*. Teknik *multi-patch coplanar* pada perancangan antenna ini adalah dengan cara menambahkan slot berbentuk U untuk memberi tempat bagi *patch* antenna kedua agar dapat disusun dalam satu substrat. Pada *patch* persegi panjang yang menghasilkan frekuensi resonansi 433 - 434 MHz diberi slot berbentuk U dan menempatkan *patch* kedua yang berbentuk persegi panjang penghasil frekuensi resonansi 2,45 GHz diatas slot U tersebut. Pada *patch* persegi panjang yang menghasilkan frekuensi resonansi 2,45 GHz juga diberi beberapa slot yaitu slot yang berbentuk *rectangular* dan L-slot sehingga dapat menghasilkan frekuensi 923 - 925 MHz [16] [17].

Dengan pencatuan berupa *T-junction* yaitu dengan tranforamsi $\lambda/4$, maka kedua *patch* antenna tersebut dapat terkopel secara bersama-sama sehingga menghasilkan tiga frekuensi resonansi yang diinginkan. Pencatuan serta letak *patch* antenna kedua terhadap *patch* antenna pertama inilah yang menjadi parameter karakterisasi antenna yang dirancang pada skripsi ini. Gambar 3.28 merupakan desain antenna setelah dilakukan penggabungan kedua *patch* serta penerapan teknik *T-junction*.



(a)



(b)

Gambar 3.28 Desain Antena Untuk Menghasilkan Tiga Frekuensi Berbeda (a).
Tampak Atas (b). Tampak Samping

Dimensi <i>Patch</i> Pertama	Dimensi <i>Patch</i> Kedua
98 mm x 100 mm	57 mm x 38 mm

Gambar 3.29 Besar Dimensi antara *Patch* Pertama dengan *Patch* Kedua

Keterangan tanda pada gambar 3.16 (a) :

1. Titik A merupakan karakterisasi untuk pergeseran letak *patch* 2
2. Titik B merupakan karakterisasi untuk pergeseran letak posisi *feed*
3. LFR merupakan karakterisasi perubahan panjang *feed* vertikal kanan
4. LFL merupakan karakterisasi perubahan panjang *feed* vertikal kiri

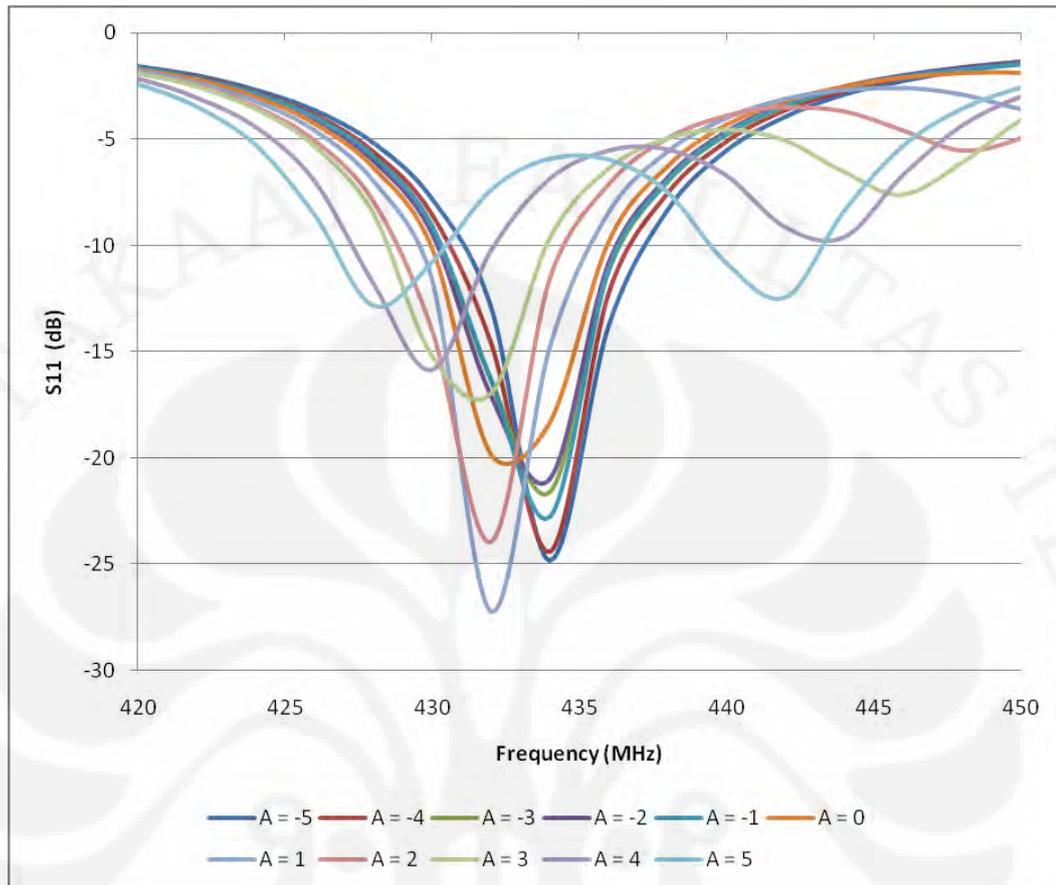
3.9 KARAKTERISASI ANTENA

Saat digabungkan kedua *patch* seperti pada Gambar 3.28, maka akan terjadi pergeseran frekuensi maka dari itu perlu dilakukannya suatu karakterisasi agar tujuan tiga frekuensi kerja RFID dapat dicapai yaitu pada frekuensi 433 - 434 MHz, 923 - 925 MHz, dan 2,446 – 2,454 GHz. Karakterisasi yang dilakukan adalah sebagai berikut:

3.9.1. Karakterisasi untuk pergeseran letak *patch* 2

Karakterisasi pergeseran letak *patch* kedua merupakan parameter pertama yang dilakukan terhadap posisi *patch* pertama sepanjang sumbu Y. Karakterisasi letak *patch* kedua dimulai dari titik focus A *patch* kedua yaitu (0, 0). Koordinat 0 pada sumbu Y merepresentasikan nilai koordinat -38 pada sumbu Y sedangkan koordinat 0 pada sumbu X merepresentasikan nilai koordinat -62,5 pada sumbu X. Kemudian *patch* kedua dikarakterisasi sepanjang sumbu Y. Dimulai dari A = -5 sampai 5, atau dengan kata lain dimulai dari A = -43 sampai -33. Hasil dari karakterisasi tersebut dapat dilihat pada setiap gambar frekuensi pada halaman berikut.

- Frekuensi 433 - 434 MHz

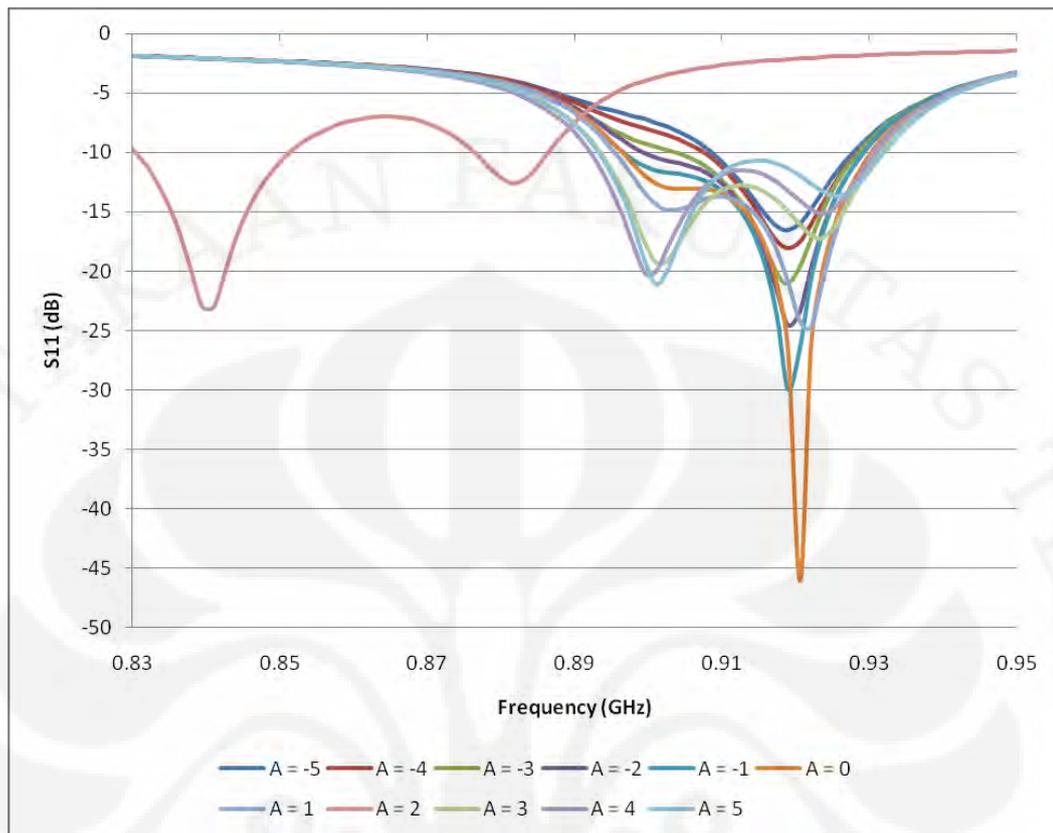


Gambar 3.30 Hasil Karakterisasi posisi *Patch* kedua terhadap posisi *Patch* Pertama.

Gambar 3.30 merupakan hasil dari karakterisasi posisi *patch* kedua. Pada Gambar tersebut dapat diambil kesimpulan bahwa terjadi pergeseran frekuensi ke arah kanan atau ke frekuensi yang lebih tinggi. Selain itu terjadi perubahan beberapa frekuensi pula untuk posisi-posisi tertentu yaitu pada posisi *patch* kedua, $A = 4$ serta $A = 5$ atau saat $A = -34$ dan $A = -33$.

Hasil terbaik untuk frekuensi 433 - 434 MHz adalah pada saat posisi *patch* kedua, $A = 0$ atau pada saat posisi *patch* kedua di koordinat $A = -38$ di sumbu Y.

- Frekuensi 923 - 925 MHz

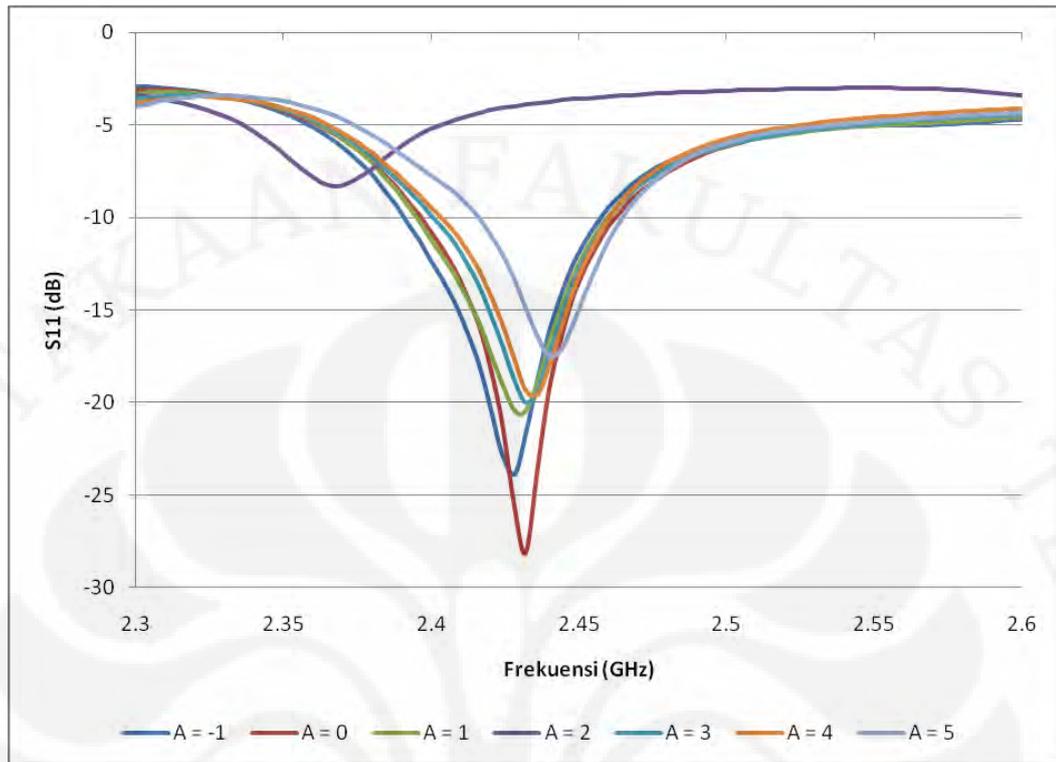


Gambar 3.31 Hasil Karakterisasi posisi *Patch* kedua terhadap posisi *Patch* Pertama.

Gambar 3.31 merupakan hasil dari karakterisasi posisi *patch* kedua. Pada Gambar tersebut dapat diambil kesimpulan bahwa terjadi perubahan impedansi *matching* terhadap frekuensi. Selain itu terjadi pergeseran beberapa frekuensi pula untuk posisi-posisi tertentu yaitu pada posisi *patch* kedua, $A = 2$ atau saat $A = -36$.

Hasil terbaik untuk frekuensi 923 - 925 MHz adalah pada saat posisi *patch* kedua, $A = 0$ atau pada saat posisi *patch* kedua di koordinat $A = -38$ di sumbu Y.

- Frekuensi 2,45 GHz



Gambar 3.32 Hasil Karakterisasi posisi *Patch* kedua terhadap posisi *Patch* Pertama.

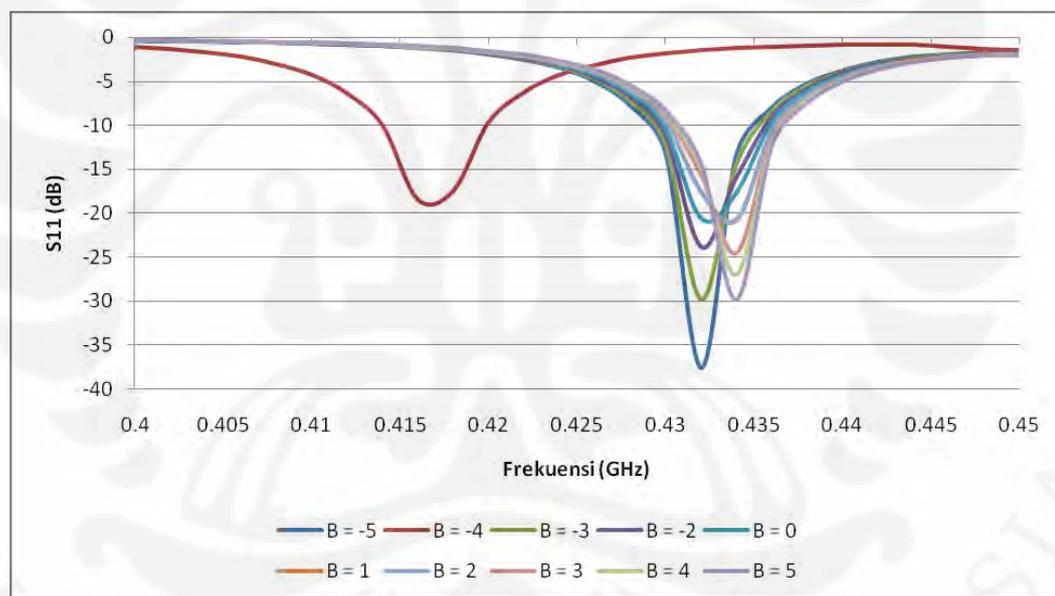
Gambar 3.32 merupakan hasil dari karakterisasi posisi *patch* kedua. Pada Gambar tersebut dapat diambil kesimpulan bahwa terjadi perubahan impedansi *matching* terhadap frekuensi. Selain itu terjadi pergeseran beberapa frekuensi pula untuk posisi-posisi tertentu yaitu pada posisi *patch* kedua, $A = 2$ atau saat $A = -36$. Untuk beberapa posisi tertentu terjadi out of memory terhadap hasil frekuensi 2,45 GHz.

Hasil terbaik untuk frekuensi 2,446 – 2,454 GHz adalah pada saat posisi *patch* kedua, $A = 0$ atau pada saat posisi *patch* kedua di koordinat $A = -38$ di sumbu Y.

3.9.2. Karakterisasi Pergeseran *Feed*

Karakterisasi pergeseran *feed* merupakan parameter kedua yang dilakukan sepanjang sumbu Y. Karakterisasi *feed* tersebut dimulai dari titik focus B yaitu (0,0). Koordinat 0 pada sumbu X merepresentasikan nilai koordinat 20,01 pada sumbu X sedangkan koordinat 0 pada sumbu Y merepresentasikan nilai koordinat -1,505 pada sumbu Y. Kedudukan *feed* dikarakterisasi sepanjang sumbu Y. Dimulai dari B = -5 sampai 5, atau dengan kata lain dimulai dari B = -6,505 sampai 3,495. Hasil dari karakterisasi tersebut dapat dilihat pada setiap gambar frekuensi dibawah ini:

- **Frekuensi 433 – 434 MHz**

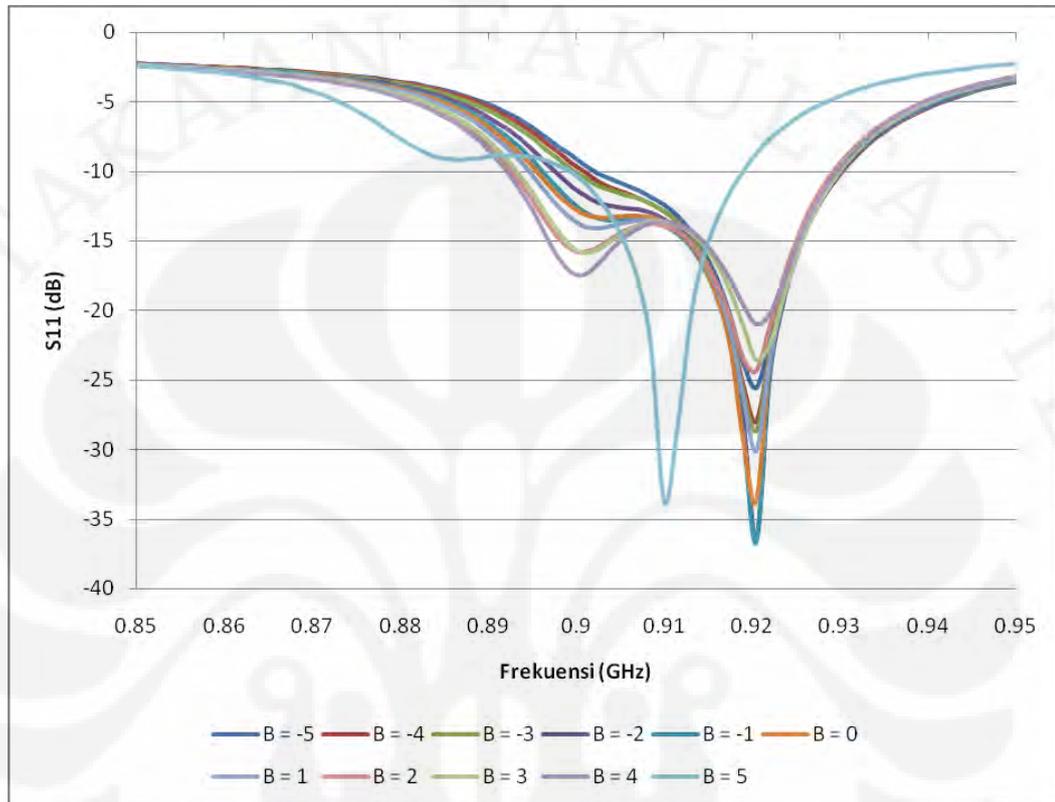


Gambar 3.33 Hasil Karakterisasi Pergeseran Posisi *Feed*.

Gambar 3.33 merupakan hasil dari karakterisasi pergeseran posisi *feed*. Pada Gambar tersebut dapat diambil kesimpulan bahwa terjadi perubahan impedansi *matching* terhadap frekuensi. Selain itu terjadi pergeseran beberapa frekuensi pula untuk posisi-posisi tertentu yaitu pada posisi *feed*, B = -4 atau saat B = -5,505 pada sumbu Y.

Hasil terbaik untuk frekuensi 433 - 434 MHz adalah pada saat posisi *feed*, $B = 0$ atau pada saat posisi *feed* di koordinat $B = -1,505$ pada sumbu Y.

- **Frekuensi 923 - 925 MHz**

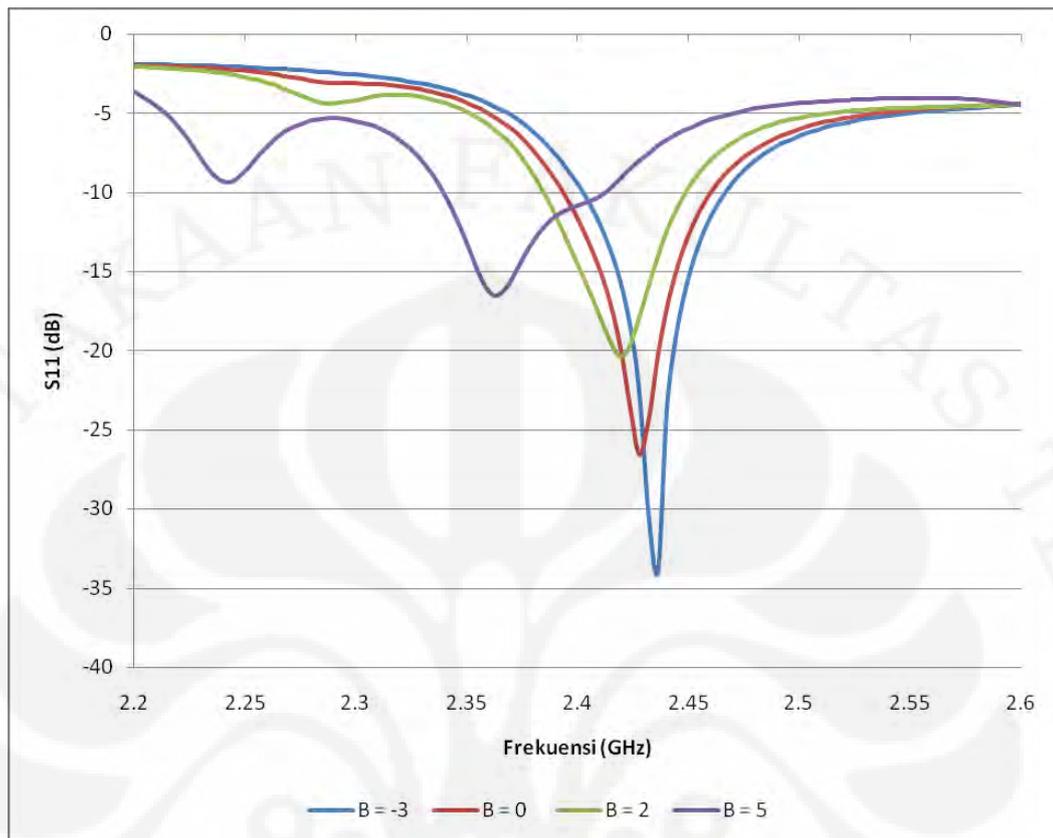


Gambar 3.34 Hasil Karakterisasi Pergeseran Posisi *Feed*.

Gambar 3.34 merupakan hasil dari karakterisasi pergeseran posisi *feed*. Pada Gambar tersebut dapat diambil kesimpulan bahwa terjadi perubahan impedansi *matching* terhadap frekuensi. Selain itu terjadi pergeseran beberapa frekuensi pula untuk posisi-posisi tertentu yaitu pada posisi *feed*, $B = 5$ atau saat $B = 3,495$ pada sumbu Y.

Hasil terbaik untuk frekuensi 923 - 925 MHz adalah pada saat posisi *feed*, $B = 0$ atau pada saat posisi *feed* di koordinat $B = -1,505$ pada sumbu Y.

- Frekuensi 2,45 GHz



Gambar 3.35 Hasil Karakterisasi Pergeseran Posisi *Feed*.

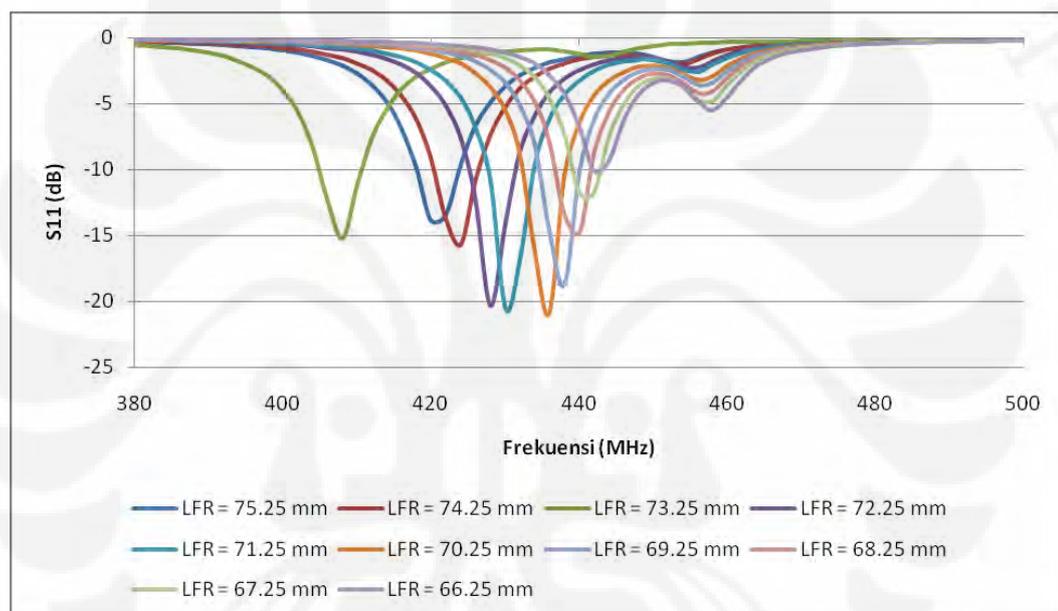
Gambar 3.35 merupakan hasil dari karakterisasi pergeseran posisi *feed*. Pada Gambar tersebut dapat diambil kesimpulan bahwa terjadi perubahan impedansi *matching*. Selain itu terjadi pergeseran frekuensi pula ke arah frekuensi yang lebih rendah yaitu pada posisi *feed*, $B = 5$ atau saat $B = 3,495$ pada sumbu Y. Untuk posisi-posisi tertentu terjadi out of memory untuk frekuensi 2,45 GHz.

Hasil terbaik untuk frekuensi 2,446 – 2,454 GHz adalah pada saat posisi *feed*, $B = 0$ atau pada saat posisi *feed* di koordinat $B = -1,505$ pada sumbu Y.

3.9.3. Karakterisasi Perubahan Panjang *Feed* Vertikal Kanan (LFR)

Karakterisasi perubahan panjang *feed* vertikal kanan merupakan parameter ketiga yang dilakukan sepanjang sumbu X. Karakterisasi perubahan panjang LFR tersebut dimulai dari titik focus LFR yaitu (-49,5, 21,9). Karakterisasi perubahan panjang LFR dimulai dari LFR = -54,5 sampai -44,5 pada sumbu X atau pada saat panjang LFR = 75,25 mm sampai 65,25 mm. Hasil dari karakterisasi tersebut dapat dilihat pada setiap gambar frekuensi dibawah ini:

- Frekuensi 433 – 434 MHz

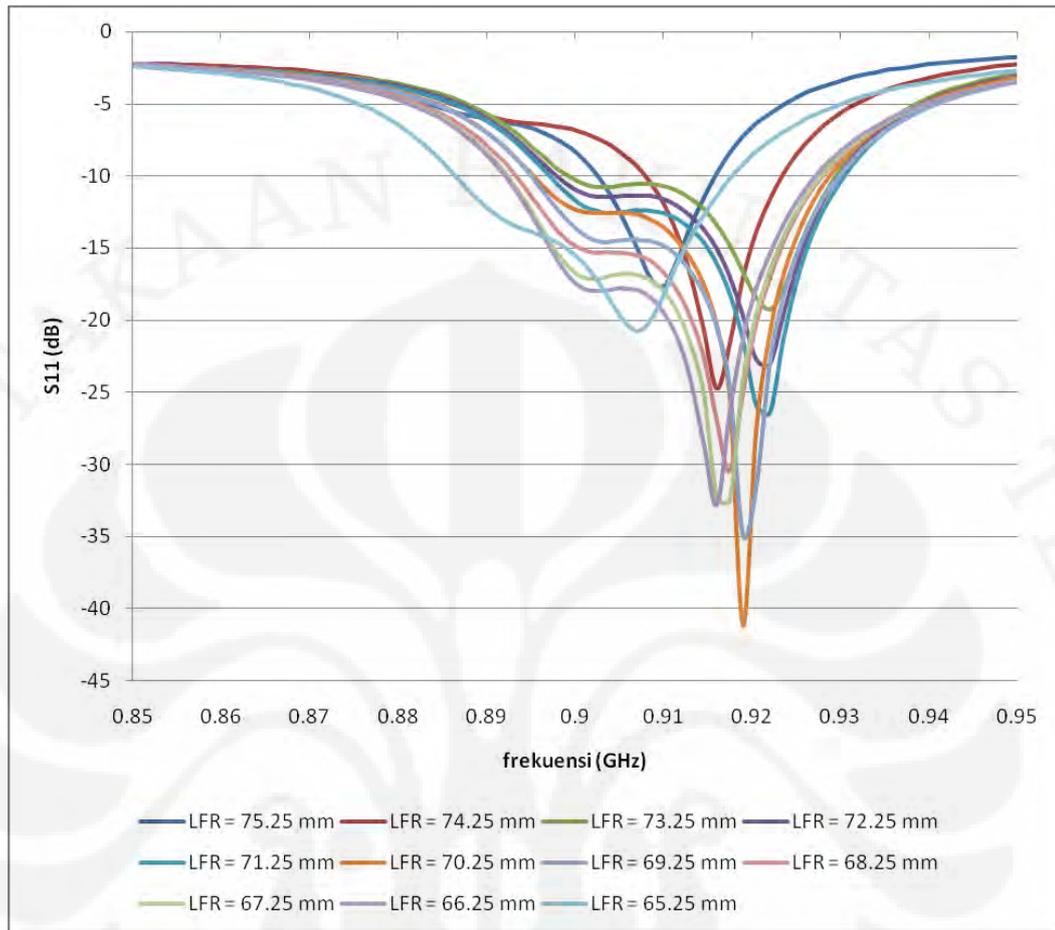


Gambar 3.36 Hasil Karakterisasi Perubahan Panjang LFR.

Gambar 3.36 merupakan hasil dari karakterisasi perubahan panjang LFR. Pada Gambar tersebut dapat diambil kesimpulan bahwa terjadi pergeseran frekuensi ke arah frekuensi yang lebih tinggi serta terjadi pula perubahan impedansi *matching*. Untuk posisi-posisi tertentu terjadi perubahan frekuensi yang tidak beraturan yaitu pada saat panjang LFR = 73,25 mm.

Hasil terbaik untuk frekuensi 433 - 434 MHz adalah pada saat posisi LFR = -49,5 pada sumbu X atau pada saat panjang LFR = 70,25.

- Frekuensi 923 - 925 MHz

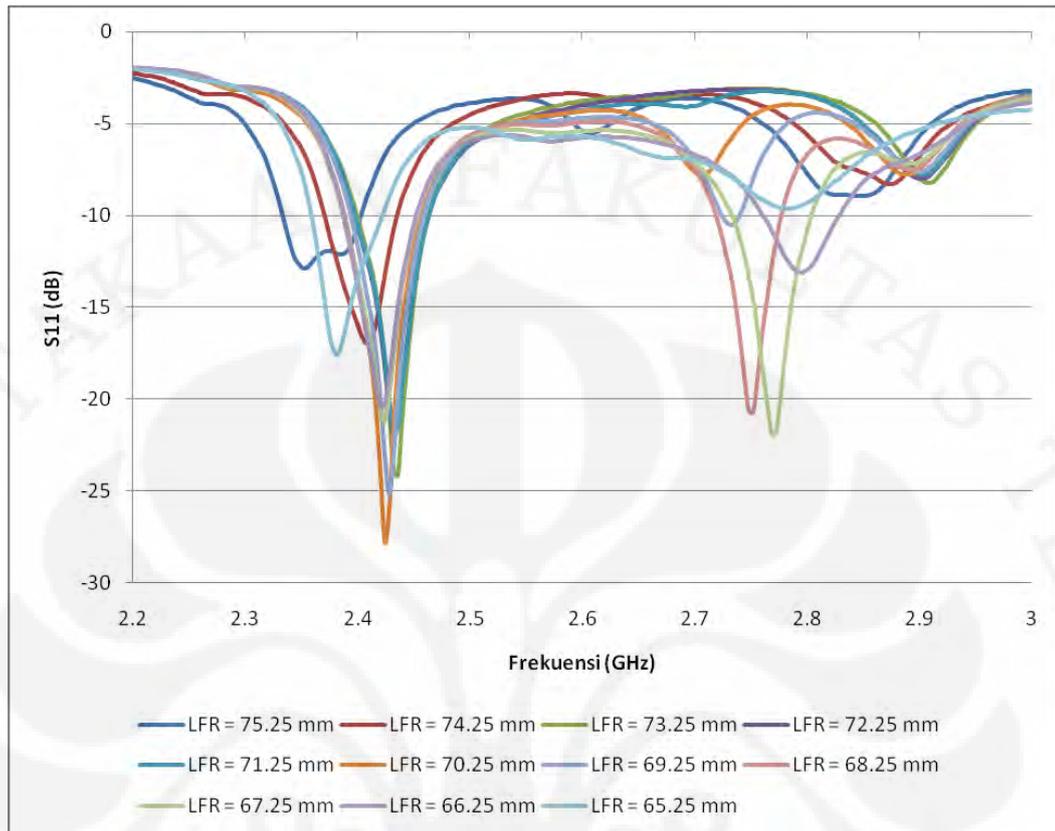


Gambar 3.37 Hasil Karakterisasi Perubahan Panjang LFR.

Gambar 3.37 merupakan hasil dari karakterisasi perubahan panjang LFR. Pada Gambar tersebut dapat diambil kesimpulan bahwa terjadi pergeseran frekuensi ke arah frekuensi yang lebih rendah serta terjadi pula perubahan impedansi *matching*.

Hasil terbaik untuk frekuensi 923 - 925 MHz adalah pada saat posisi LFR = -49,5 pada sumbu X atau pada saat panjang LFR = 70,25 mm.

- Frekuensi 2,45 GHz



Gambar 3.38 Hasil Karakterisasi Perubahan Panjang LFR.

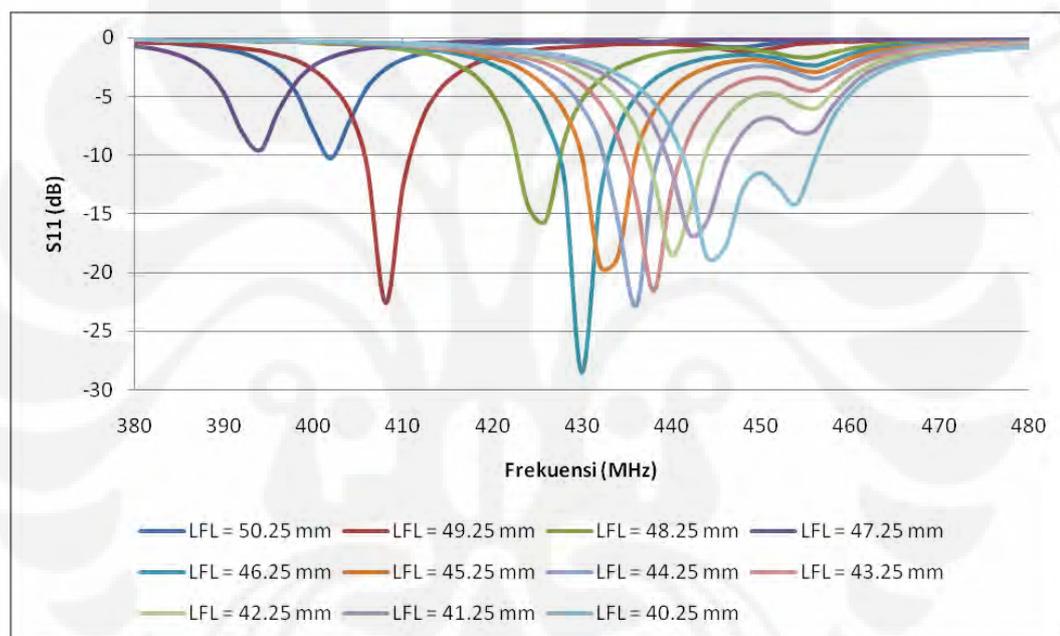
Gambar 3.38 merupakan hasil dari karakterisasi perubahan panjang LFR. Pada Gambar tersebut dapat diambil kesimpulan bahwa terjadi pergeseran frekuensi ke arah frekuensi yang lebih tinggi serta terjadi pula perubahan impedansi *matching*. Tetapi terdapat pergeseran frekuensi yang tidak beraturan yaitu pergeseran frekuensi ke arah yang lebih rendah yaitu pada saat posisi LFR = -44,5 atau saat panjang LFR = 65,25 mm.

Hasil terbaik untuk frekuensi 2,446 – 2,454 GHz adalah pada saat posisi LFR = -49,5 pada sumbu X atau pada saat panjang LFR = 70,25 mm.

3.9.4. Karakterisasi Perubahan Panjang *Feed* Vertikal Kiri (LFL)

Karakterisasi perubahan panjang *feed* vertikal kiri merupakan parameter keempat yang dilakukan sepanjang sumbu X. Karakterisasi perubahan panjang LFL tersebut dimulai dari titik focus LFL yaitu (-24,5, 25). Karakterisasi perubahan panjang LFL dimulai dari LFL = -29,5 sampai -19,5 pada sumbu X atau pada saat panjang LFL = 50,25 mm sampai 40,25 mm. Hasil dari karakterisasi tersebut dapat dilihat pada setiap gambar frekuensi dibawah ini :

- Frekuensi 433 - 434 MHz

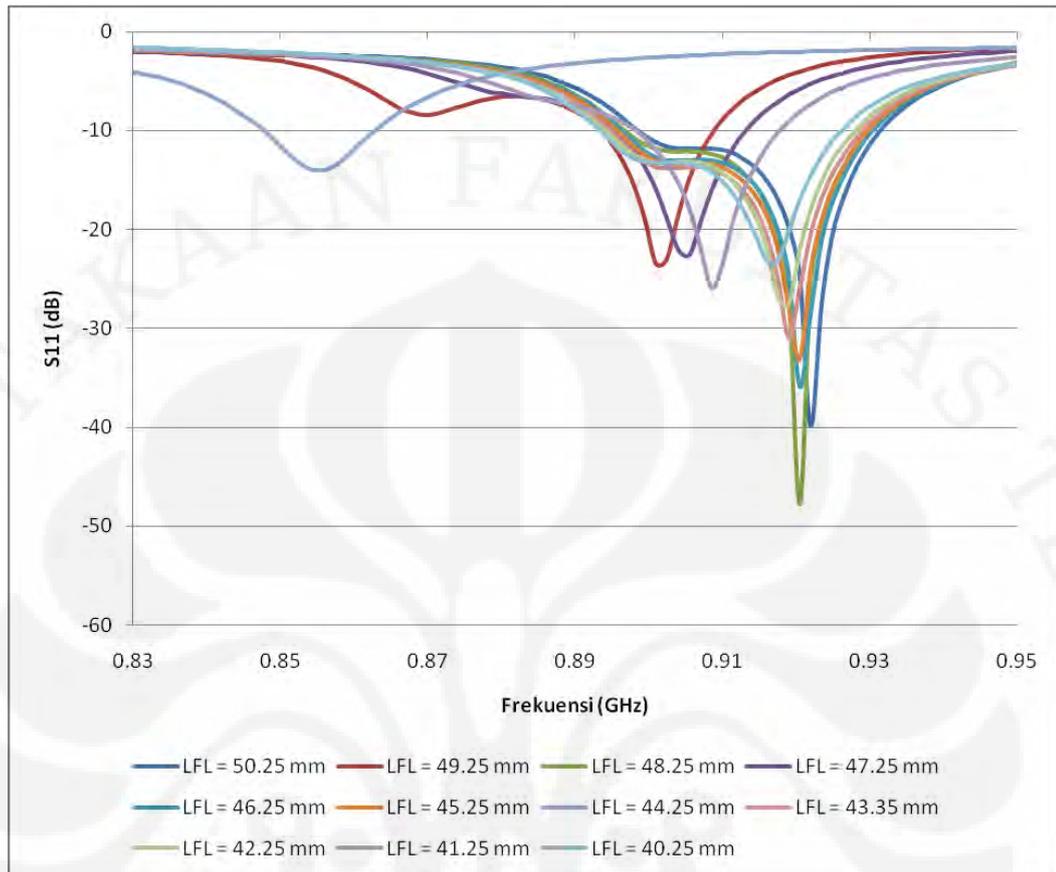


Gambar 3.39 Hasil Karakterisasi Perubahan Panjang LFL.

Gambar 3.39 merupakan hasil dari karakterisasi perubahan panjang LFL. Pada gambar tersebut dapat diambil kesimpulan bahwa terjadi pergeseran frekuensi ke arah frekuensi yang lebih tinggi serta terjadi pula perubahan impedansi *matching*. Tetapi terdapat pergeseran frekuensi yang tidak beraturan yaitu pergeseran frekuensi ke arah yang lebih rendah yaitu pada saat posisi LFL = -26,5 atau saat panjang LFL = 47,25 mm.

Hasil terbaik untuk frekuensi 433 - 434 MHz adalah pada saat posisi LFL = -24,5 pada sumbu X atau pada saat panjang LFL = 45,25 mm.

- Frekuensi 923 - 925 MHz

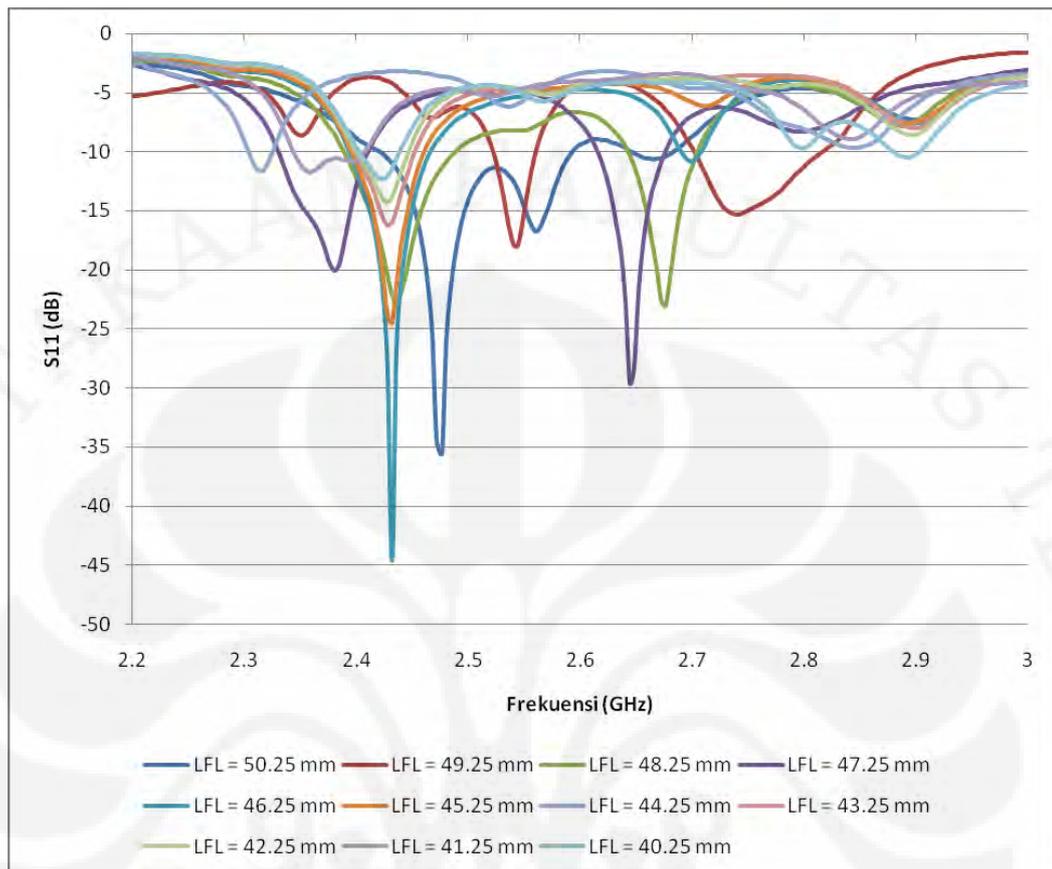


Gambar 3.40 Hasil Karakterisasi Perubahan Panjang LFL.

Gambar 3.40 merupakan hasil dari karakterisasi perubahan panjang LFL. Pada gambar tersebut dapat diambil kesimpulan bahwa terjadi pergeseran frekuensi ke arah frekuensi yang lebih tinggi serta terjadi pula perubahan impedansi *matching*.

Hasil terbaik untuk frekuensi 923 - 925 MHz adalah pada saat posisi LFL = -24,5 pada sumbu X atau pada saat panjang LFL = 45,25 mm.

- Frekuensi 2,45 GHz



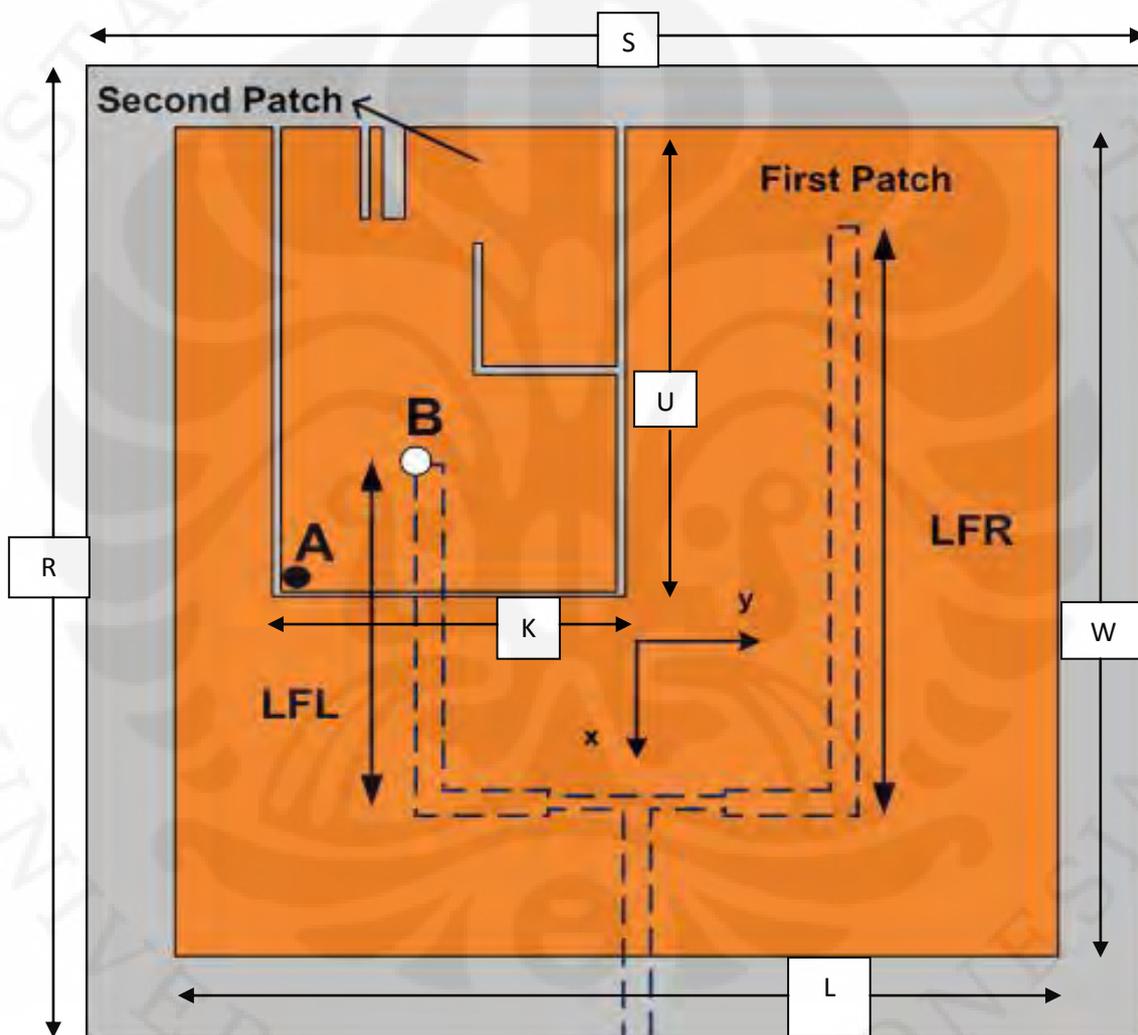
Gambar 3.41 Hasil Karakterisasi Perubahan Panjang LFL.

Gambar 3.41 merupakan hasil dari karakterisasi perubahan panjang LFL. Pada gambar tersebut dapat diambil kesimpulan bahwa terjadi pergeseran frekuensi ke arah frekuensi yang lebih rendah serta terjadi pula perubahan impedansi *matching*.

Hasil terbaik untuk frekuensi 2,446 – 2,454 GHz adalah pada saat posisi LFL = -24,5 pada sumbu X atau pada saat panjang LFL = 45,25 mm.

3.10 Hasil Simulasi dan Pembahasan

Setelah dilakukan berbagai karakterisasi di atas, seperti pergeseran letak *patch* 2, pergeseran *feed*, perubahan panjang *feed* kanan, dan perubahan panjang *feed* kiri. Didapatkan hasil akhir perancangan antenna multiband untuk aplikasi RFID pada rentang frekuensi 433 - 434 MHz, 923 - 925 MHz dan 2,446 – 2,454 GHz [20]. Desain akhir antenna tersebut dapat dilihat dari Gambar 3.42



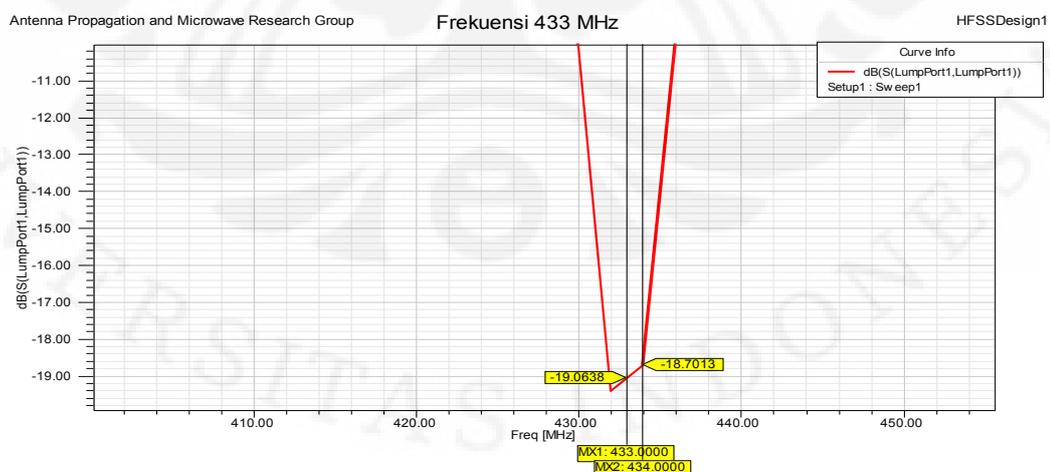
Gambar 3.42 Desain Akhir Antena Multiband

Dimensi	Nilai (mm)
Lebar Substrat (R)	118
Panjang Substrat (S)	120
Lebar <i>First Patch</i> (W)	98
Panjang <i>First Patch</i> (L)	100
Lebar <i>Second Patch</i> (K)	38
Panjang <i>Second Patch</i> (U)	57
Panjang <i>Feed</i> Kanan (LFR)	70,25
Panjang <i>Feed</i> Kiri (LFL)	45,25
Posisi <i>Feed</i> (B)	-1,505
Posisi <i>Patch 2</i> (A)	-38

Gambar 3.43 Dimensi Hasil Akhir Desain Antena

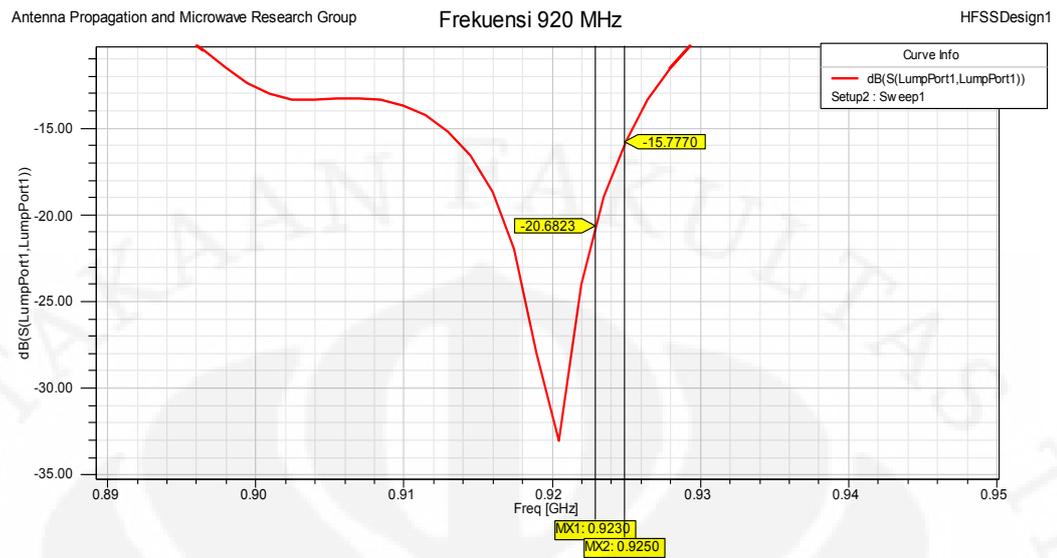
Gambar 3.43 merupakan dimensi hasil akhir desain antena yang optimal yang telah dilakukan optimasi sebelumnya. Pada Gambar 3.45, 3.46, dan 3.47 menunjukkan tiga frekuensi yang dicari telah didapatkan dengan *return loss* -19,3, -32,8 , dan -24,4 pada frekuensi kerja 431,67 MHz, 920 MHz, serta 2,43 GHz, berturut-turut bandwidth untuk frekuensi kerja pertama dimulai dari frekuensi 429,98 MHz – 435,98 MHz, untuk frekuensi kerja kedua dimulai dari frekuensi 896 MHz – 929 MHz, serta untuk frekuensi kerja ketiga dimulai dari frekuensi 2,39 GHz – 2,46 GHz.

- **Frekuensi 433 - 434 MHz**



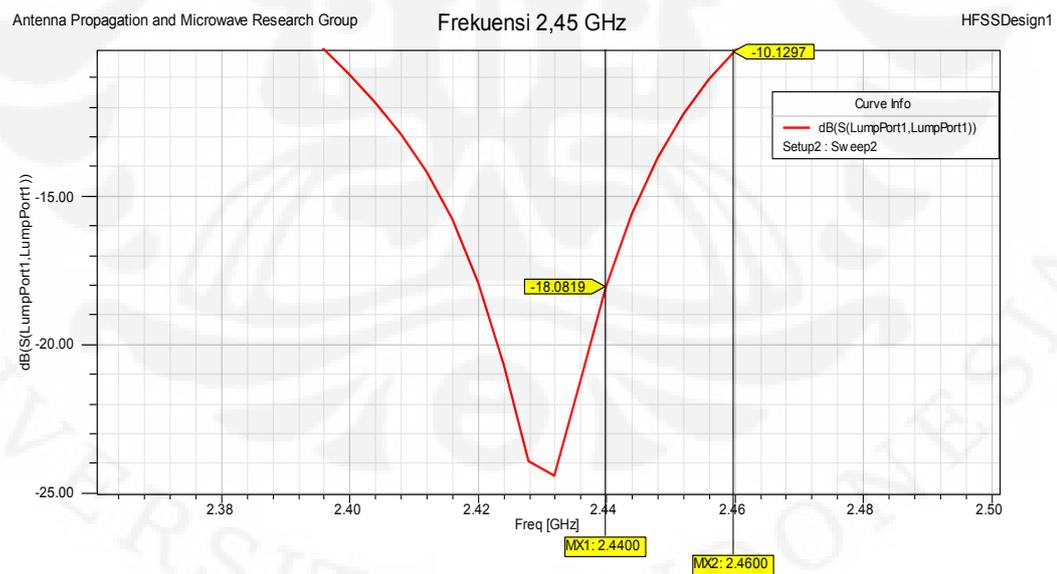
Gambar 3.44 Frekuensi 433 MHz hasil dari desain Gambar 3.42

- **Frekuensi 923 - 925 MHz**



Gambar 3.45 Frekuensi 920 MHz hasil dari desain Gambar 3.42

- **Frekuensi 2,446 – 2,454 GHz**



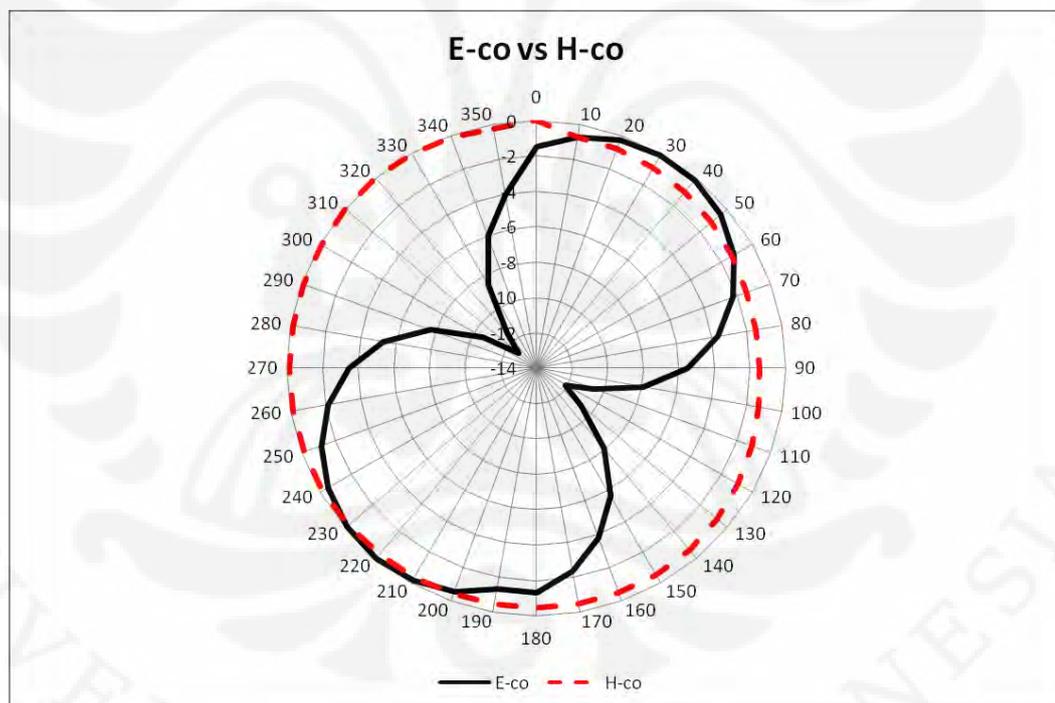
Gambar 3.46 Frekuensi 2,446 – 2,454 GHz hasil desain Gambar 3.42

Frekuensi Kerja	Bandwidth
Frekuensi 433 - 434 MHz RL \leq -10 dB	429,98 – 435,98 MHz (6 MHz = 1,4 %)
Frekuensi 923 - 925 MHz RL \leq -10 dB	896 – 929 MHz (33 MHz = 3,6 %)
Frekuensi 2,45 GHz RL \leq -10 dB	2,39 – 2,46 GHz (0,07 GHz = 2,9%)

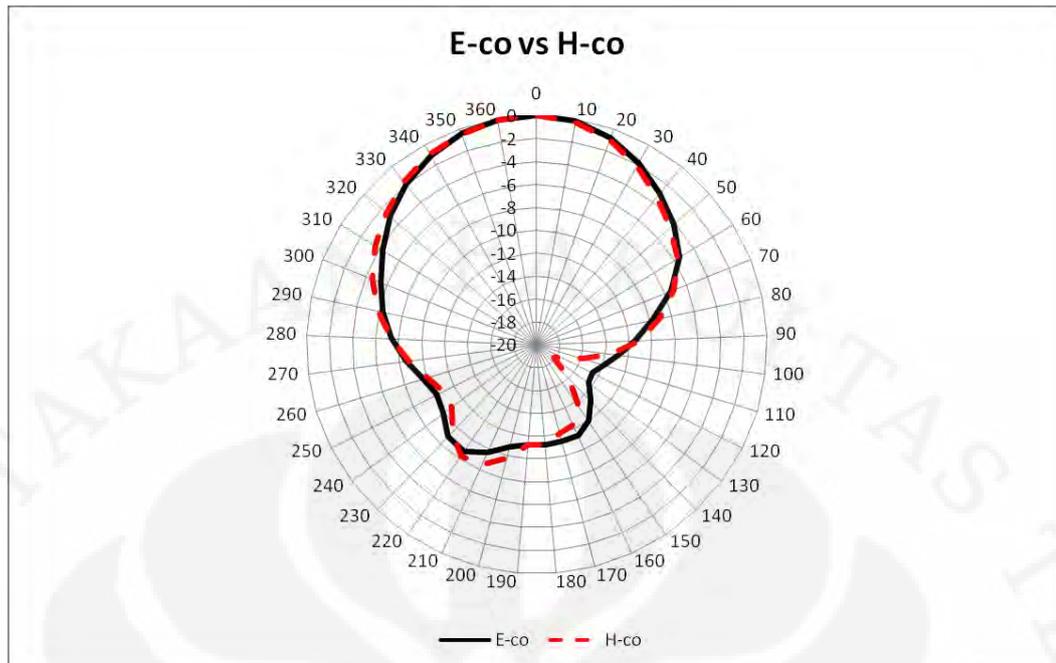
Gambar 3.47 Hasil akhir dari antenna yang telah di karakterisasi

- **Pola Radiasi Antena**

Pola radiasi 2 dimensi dari simulasi antenna dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



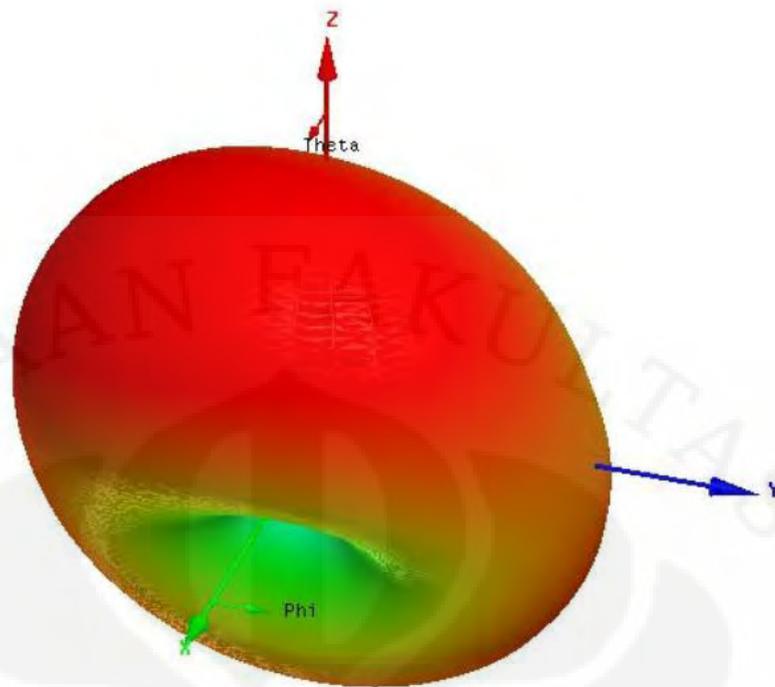
(a)



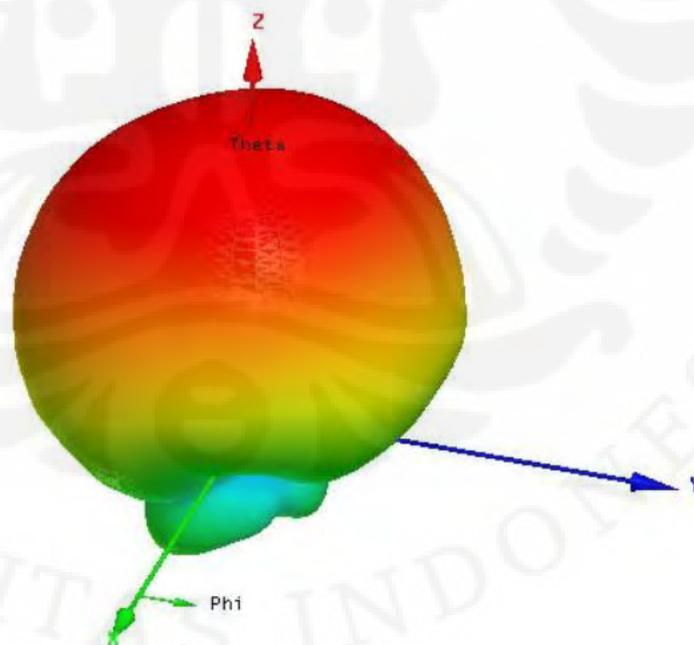
(b)

Gambar 3.48 Pola Radiasi 2 Dimensi Antena Multiband (a) frekuensi 433 - 434 MHz (b) frekuensi 923 – 925 MHz

Gambar 3.48 merupakan hasil pola radiasi 2 dimensi dari simulasi antena multiband yang dirancang untuk bekerja pada frekuensi kerja pembaca RFID. Pada Gambar 3.48 (a) merupakan gambar pola radiasi 2 dimensi untuk frekuensi 433 – 434 MHz dan pada Gambar 3.48 (b) merupakan gambar pola radiasi 2 dimensi untuk frekuensi 923 -925 MHz, sedangkan pola radiasi untuk frekuensi 2,446 – 2,454 GHz tidak dapat ditampilkan dikarenakan simulasi pada *software* HFSS untuk frekuensi 2,45 GHz selalu mengalami *out of memory*. Garis putus-putus menunjukkan perpotongan pola radiasi dengan bidang XZ, sedangkan garis yang tidak putus-putus adalah perpotongan pola radiasi antenna terhadap bidang YZ. Pola radiasi 3 dimensi dari simulasi antenna multiband dapat dilihat pada Gambar 3.49 pada halaman berikut.



(a)



(b)

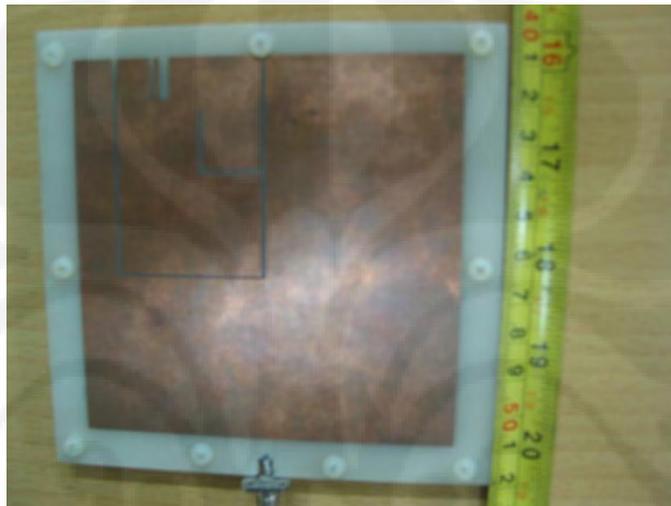
Gambar 3.49 Pola Radiasi 3 Dimensi Antena Multiband (a) frekuensi 433 – 434 MHz (b) frekuensi 923 – 925 MHz

BAB 4

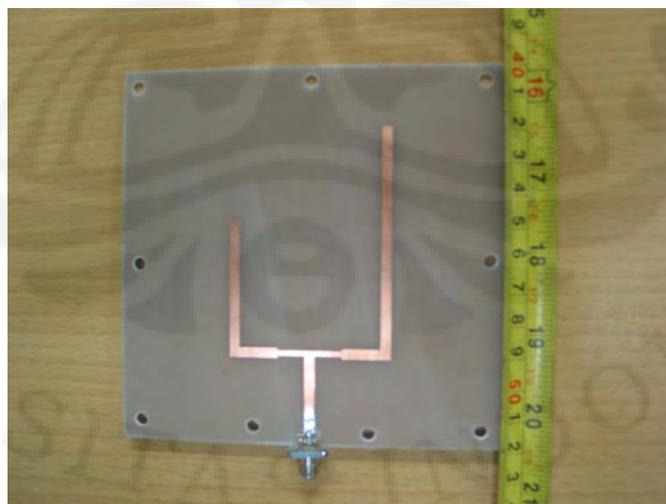
HASIL PENGUKURAN DAN ANALISIS ANTENA

4.1 Pengukuran Antena

Perancangan serta simulasi antena telah dilakukan. Maka selanjutnya dilakukan fabrikasi dari rancangan antena yang telah dibuat. Gambar 4.1 dibawah ini merupakan hasil fabrikasi antena.



(a)



(b)

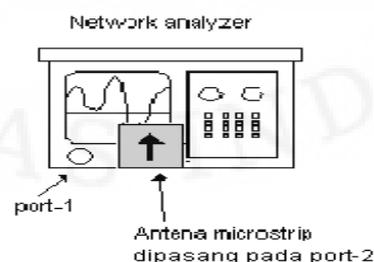
Gambar 4.1. Hasil Fabrikasi Antena (a) Antena secara keseluruhan (b) *FEED* antena

Pada Gambar 4.1 terdapat selotip kertas dan speser pada tepi-tepi antenna. Selotip kertas dan speser tersebut berfungsi untuk merekatkan dua buah substrat. Hal ini dilakukan karena teknik yang digunakan untuk pencatutan antenna adalah teknik *electromagnetic coupled* sehingga digunakan dua buah substrat.

Setelah itu hasil fabrikasi antenna dilanjutkan dengan pengukuran. Pengukuran antenna dilakukan di ruang *Anechoic Chamber* (ruang anti gema) yang berada di Departemen Teknik Elektro FTUI. Pengukuran antenna dilakukan terhadap beberapa parameter yaitu pengukuran *Return loss*, *VSWR*, dan impedansi masukan dari antenna. Parameter lain yang diukur adalah pola radiasi, *gain*, dan *axial ratio*. Kelima parameter tersebut dibagi ke dalam tiga kelompok pengukuran, yaitu pengukuran *port* tunggal (untuk mengukur *return loss*, *VSWR*, impedansi masukan, frekuensi resonansi, dan *bandwidth*), pengukuran *port* ganda (untuk mengukur pola radiasi dan *axial ratio*), dan pengukuran *gain* dengan metode tiga antenna.

4.2 Pengukuran S_{11} atau Pengukuran *Port* Tunggal

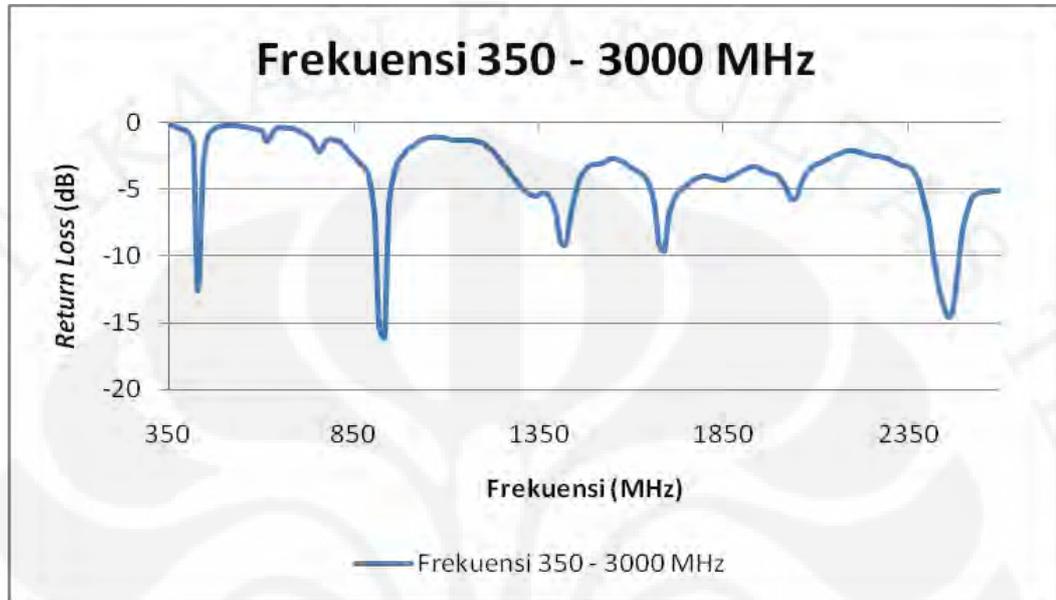
Pengukuran *port* tunggal merupakan pengukuran tanpa melibatkan antenna yang lain oleh karena itu pengukuran hanya menggunakan antenna yang diukur. Pada pengukuran *port* tunggal ini, antenna yang telah difabrikasi diukur dengan menggunakan *Network Analyzer* yang baru. Antenna dipasang pada salah satu *port*, *port 1* atau *port 2*, kemudian ditentukan dengan format pengukuran S_{11} atau S_{22} dengan memanggil register yang telah dikalibrasi sebelumnya. Parameter-parameter yang dapat diketahui dari hasil pengukuran *port* tunggal ini antara lain *VSWR*, *return loss*, frekuensi resonansi, *bandwidth*, dan impedansi masukan. Konfigurasi pengukuran *port* tunggal dapat dilihat pada Gambar 4.2.



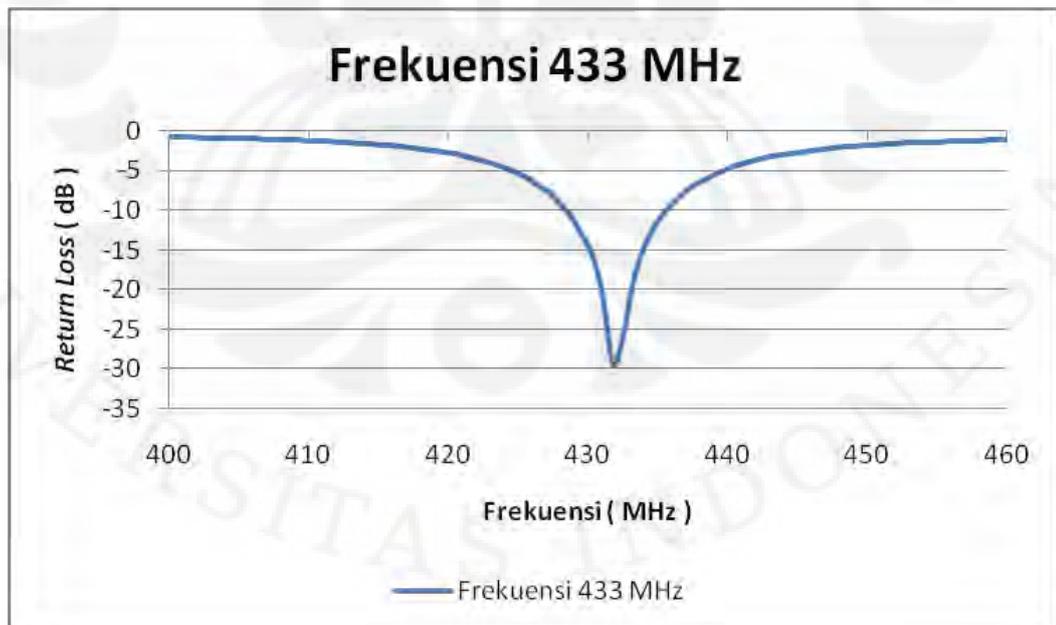
Gambar 4.2 Konfigurasi Pengukuran *Port* Tunggal

4.2.1 Hasil Pengukuran *Return Loss* dan VSWR

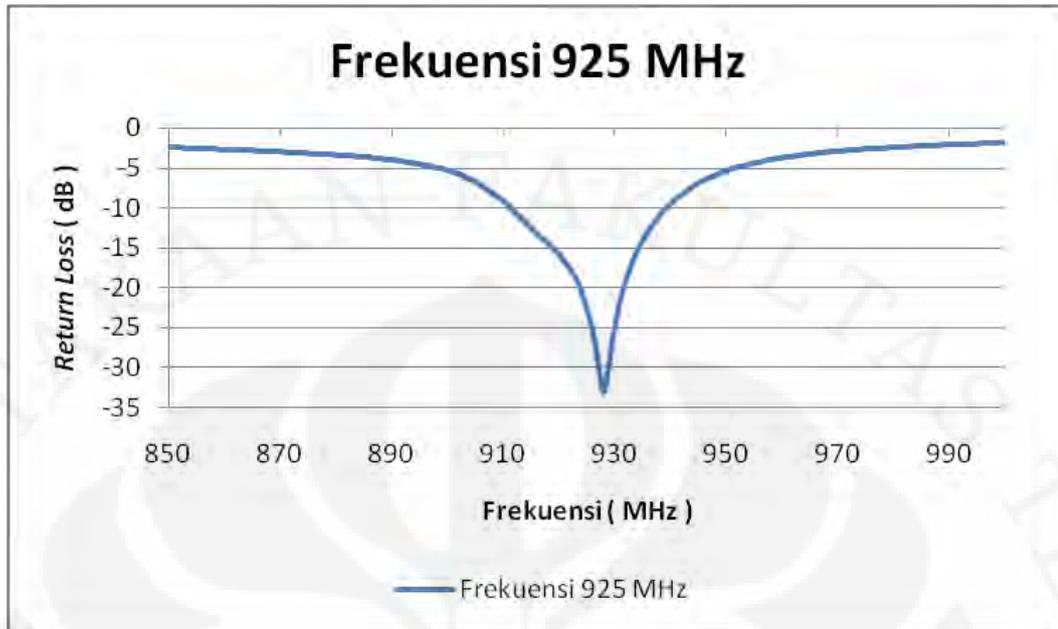
Pengukuran yang dilakukan pertama kali adalah pengukuran *return loss*. Hasil dari pengukuran tersebut dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



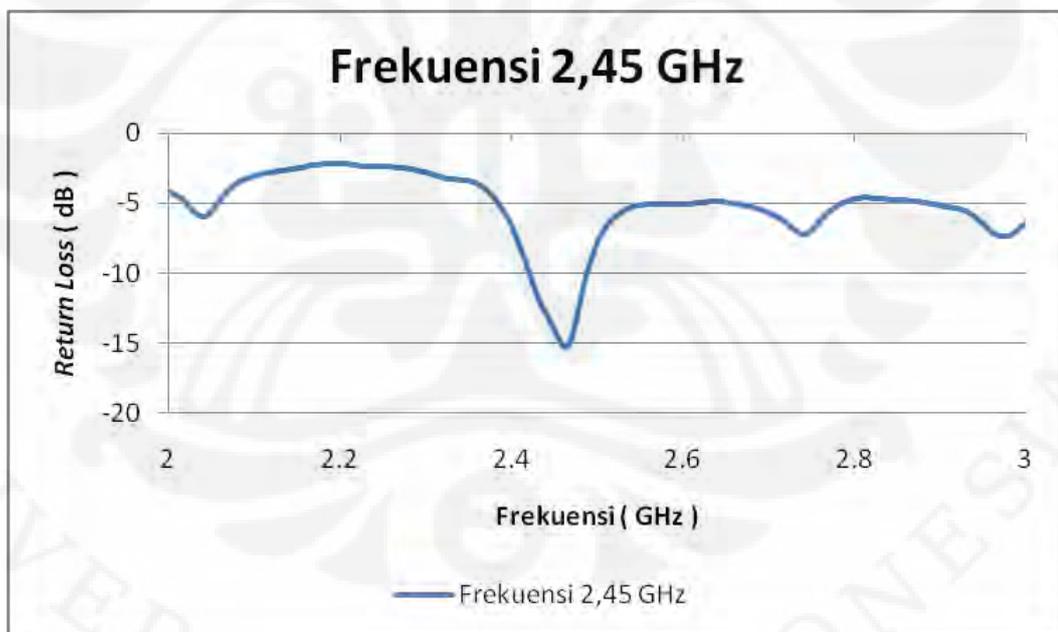
(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 4.3 *Return loss* hasil pengukuran (a). Frekuensi 350 – 3000 MHz (b). Frekuensi 433 MHz (c). Frekuensi 925 MHz (d). Frekuensi 2,45 GHz

Pada Gambar 4.3 di atas dapat ditunjukkan bahwa rancangan antenna pada skripsi ini dapat beresonansi pada tiga buah frekuensi kerja RFID yaitu 433 MHz, 925 MHz, dan 2,45 GHz dengan keterangan lebih lanjut dapat dilihat pada gambar di dibawah ini.

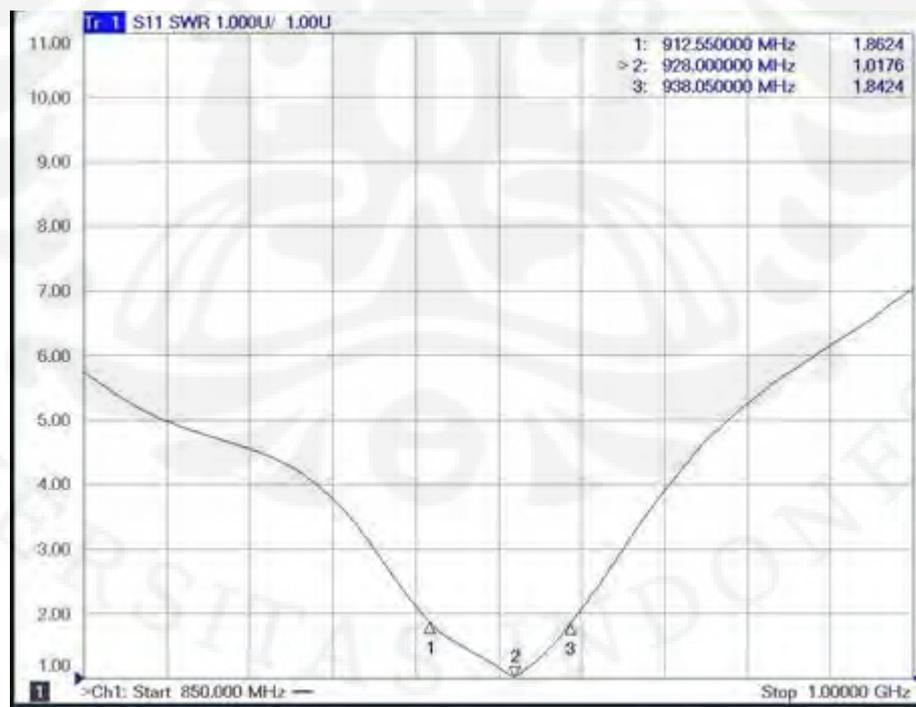
Frekuensi Tujuan	Frekuensi Kerja Pengukuran (f_c)	Return Loss Frekuensi Tujuan (dB)	Bandwidth Frekuensi Pengukuran (RL < -10 dB) $\left(\frac{f_2 - f_1}{f_c} \times 100\%\right)$
433 MHz	431,75 MHz	-22	428,45 – 435,5 (1,63 %)
925 MHz	928 MHz	-20	911,8 – 939,1 (2,94 %)
2,45 GHz	2,46 GHz	-14	2,42 – 2,487 (2,72 %)

Gambar 4.4 *Bandwidth* dan Frekuensi Kerja Hasil Pengukuran

Berdasarkan Gambar 4.4, antenna yang dirancang dalam skripsi ini telah berhasil menghasilkan *return loss* pada tiga buah frekuensi kerja RFID (*triple band*) yang diinginkan dengan *bandwidth* yang telah sesuai dengan standar yang ada, yaitu pada frekuensi kerja 433 MHz, 925 MHz, dan 2,45 GHz. Frekuensi 433 MHz berada pada nilai *return loss* -22 dB dengan *bandwidth* terjadi dari 428,45 – 435,5 MHz atau sebesar 7,05 MHz. Hal ini sudah mencakupi frekuensi kerja RFID yaitu pada 433 – 434 MHz. Frekuensi 925 MHz berada pada nilai *return loss* -20 dB dengan *bandwidth* terjadi pada 911,8 – 939,1 MHz atau sebesar 27,3 MHz. Hal ini sudah mencakupi frekuensi kerja RFID yaitu pada 923 – 925 MHz yang sesuai dengan standar DEPKOMINFO. Frekuensi 2,45 GHz berada pada nilai *return loss* -14 dB dengan *bandwidth* terjadi pada 2,42 – 2,487 GHz atau sebesar 0,067 GHz. Hal ini sudah mencakupi frekuensi kerja RFID yaitu pada 2,446 – 2,454 GHz. Hasil ini merupakan pengukuran terbaik yang dilakukan setelah beberapa kali dilakukan optimasi pada antenna fabrikasi. Selain dari hasil *return loss* yang dapat ditunjukkan terdapat juga hasil dari VSWR untuk masing-masing frekuensi yang dapat dilihat pada Gambar 4.5.



(a)



(b)



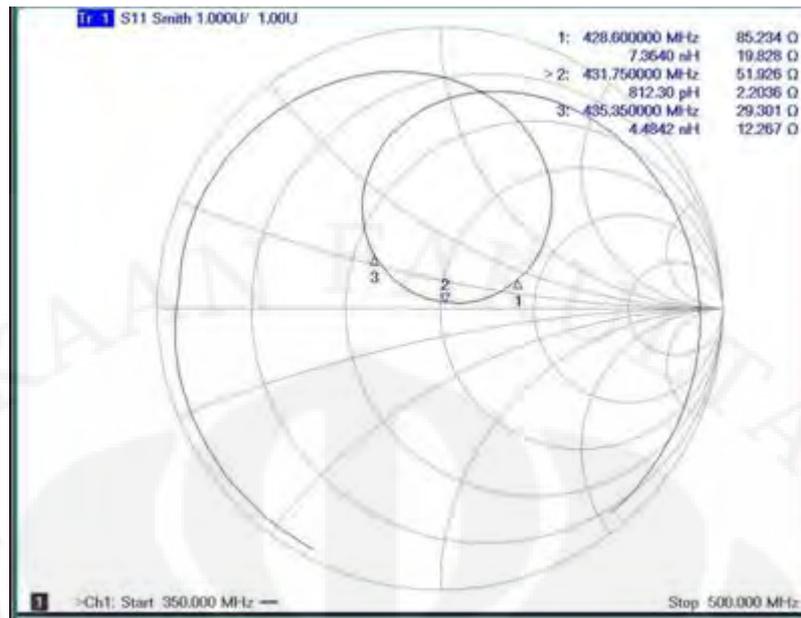
(c)

Gambar 4.5 VSWR hasil pengukuran (a). frekuensi 433 MHz (b). frekuensi 925 MHz (c). frekuensi 2,45 GHz

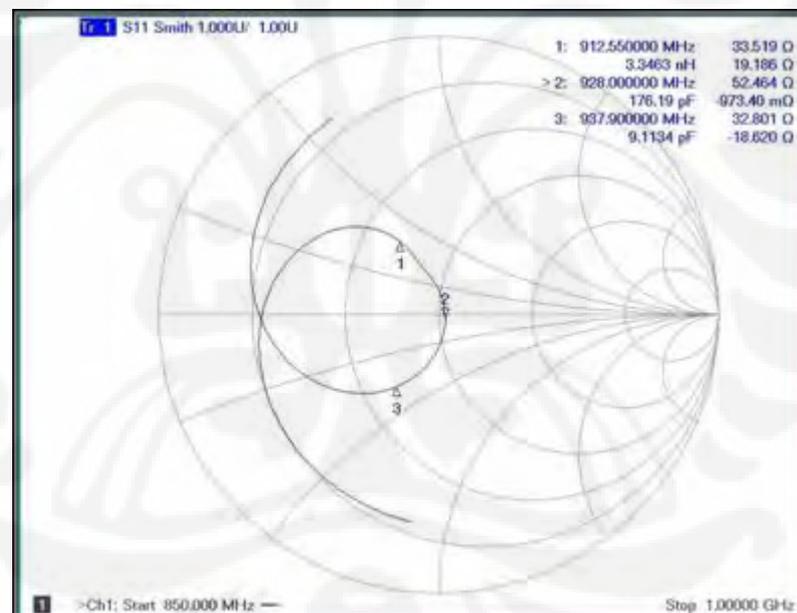
Jika dilihat pada Gambar 4.5, pada frekuensi kerja 433 MHz memiliki VSWR = 1,16. Untuk frekuensi 925 MHz memiliki VSWR = 1,19 sedangkan untuk frekuensi 2,45 GHz memiliki VSWR = 1,47.

4.2.2 Hasil Pengukuran Impedansi Masukan

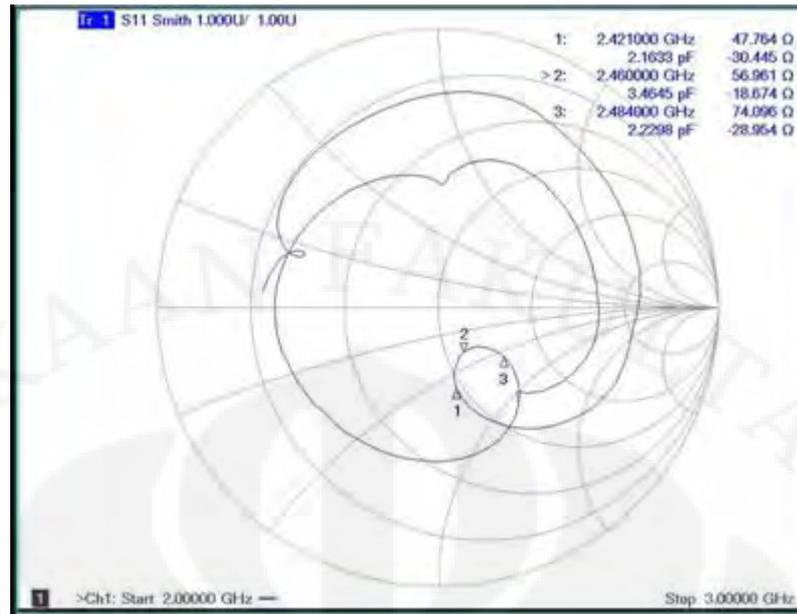
Pengukuran impedansi masukan dari antenna yang telah difabrikasi dapat dilihat pada gambar 4.6.



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.6 Impedansi masukan hasil pengukuran (a) frekuensi 433 MHz (b) frekuensi 925 MHz (c) frekuensi 2,45 GHz

Dari Gambar 4.6, tersebut diketahui bahwa pada frekuensi 433 MHz memiliki impedansi masukan 42,4 Ω, sedangkan pada frekuensi 925 MHz memiliki impedansi masukan 50,2Ω, dan pada frekuensi 2,45 GHz memiliki impedansi masukan 56,9 Ω.

4.3 Pengukuran Pola Radiasi

Pola radiasi adalah visualisasi radiasi dari AUT (*Antenna Under Test*) dalam koordinat sumbu. Pengukuran pola radiasi menggunakan *port 1* dan *port 2* pada *Network Analyzer*. *Port 2* dihubungkan ke antena pemancar sedangkan *port 1* dihubungkan dengan antena penerima kedua antena yang dipasang pada kedua *port* menggunakan kabel penyambung. Medan radiasi antena terdiri dari medan jauh (*far field*) dan medan dekat (*near-field*). 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 antenna (cm)
 λ = panjang gelombang (cm)

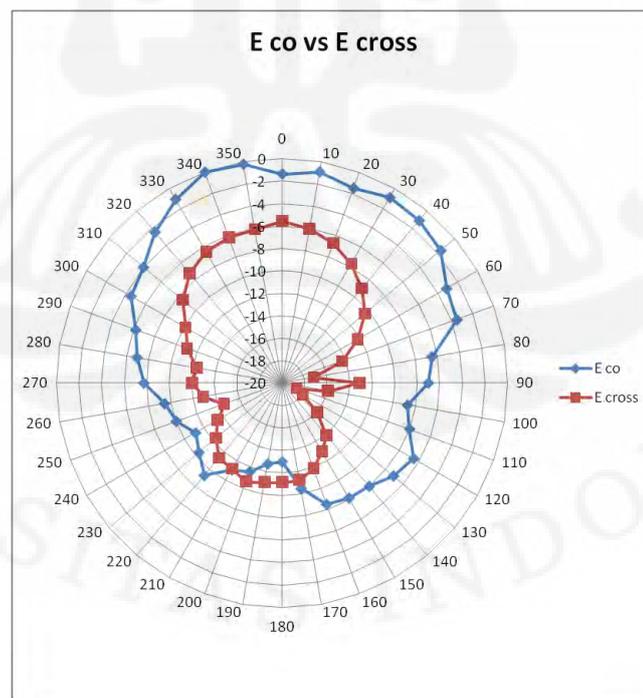
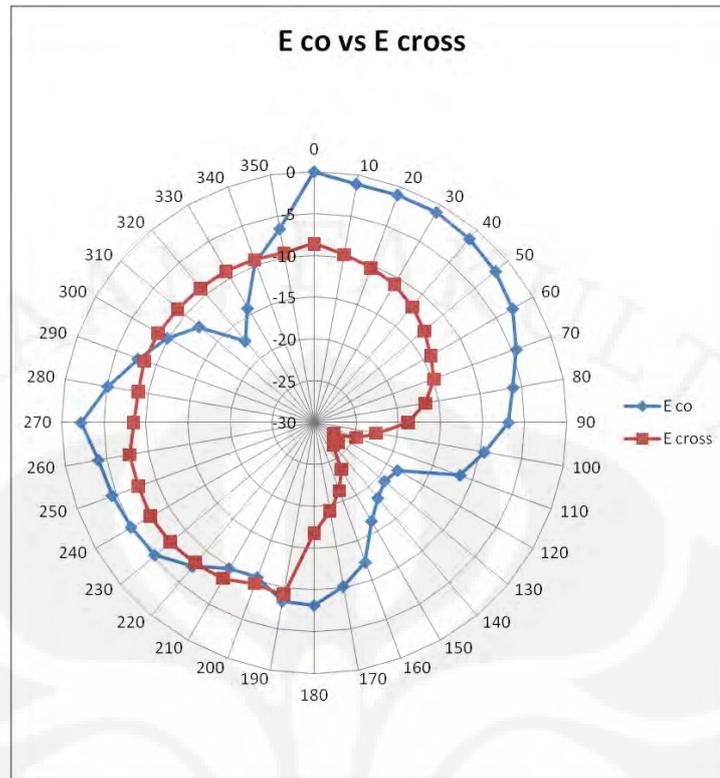
Pada skripsi ini, rancangan antenna memiliki dimensi terbesar sebesar $D = 12$ cm dengan panjang gelombang pada frekuensi 433 - 434 MHz adalah $\lambda = 69,3$ cm sehingga diperoleh jarak minimum $r_{\min} = 5$ cm dengan jarak pisah sejauh 73 cm. Sementara itu panjang gelombang pada frekuensi 923 - 925 MHz adalah $\lambda = 32,5$ cm sehingga diperoleh jarak minimum $r_{\min} = 9$ cm. Sedangkan panjang gelombang untuk frekuensi 2,446 – 2,454 GHz adalah $\lambda = 12,24$ cm dengan jarak pisah sejauh 40 cm dengan $r_{\min} = 23,6$ cm. Format pengukuran digunakan parameter S_{12} yang artinya antenna pemancar dihubungkan dengan *port* 2 dan antenna penerima dihubungkan dengan *port* 1. Antenna pemancar menggunakan antenna yang memiliki frekuensi kerja yang sama dengan antenna yang akan diukur.

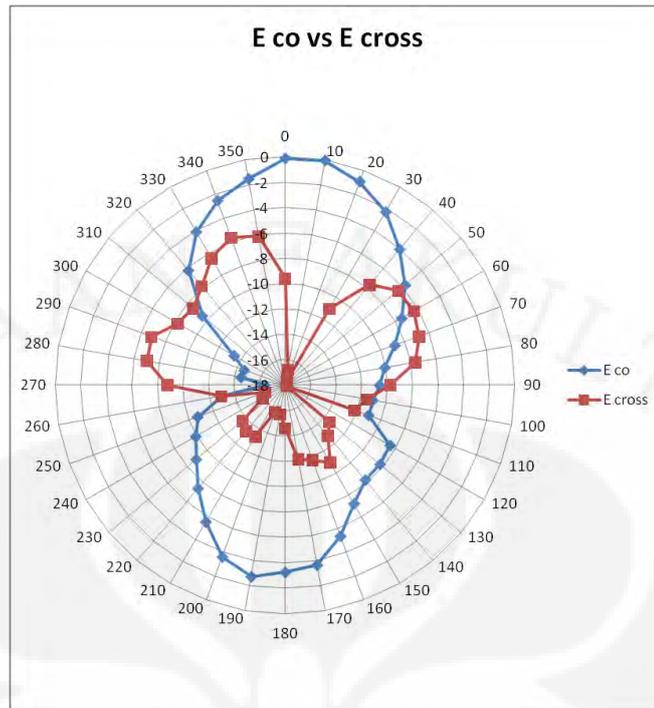
Frekuensi Kerja	D (m)	λ (m)	r_{\min} (m)
433 - 434 MHz	0,12	0,693	5×10^{-2}
923 - 925 MHz		0,325	9×10^{-2}
2,44 - 2,454 GHz		0,122	$23,6 \times 10^{-2}$

Gambar 4.7 Besaran Pengukuran Pola Radiasi

Pengukuran pola radiasi dilakukan di dalam ruangan *anechoic chamber* yang dindingnya bersifat menyerap gelombang elektromagnet, untuk mengurangi pantulan dan interferensi. Jarak antar antenna pemancar dan antenna yang akan diukur harus memenuhi jarak minimum untuk mengatur medan jauh. 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 masing-masing medan-E dan medan-H.

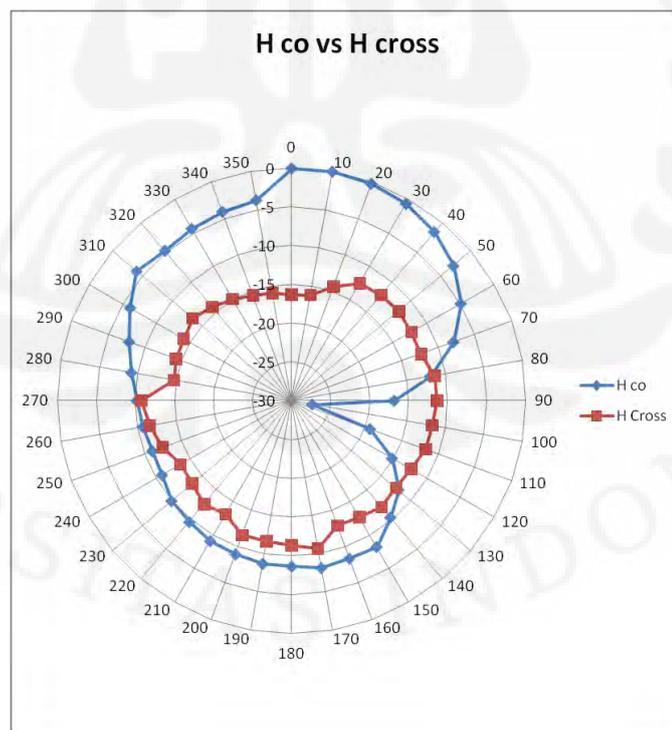
Setelah melakukan pengukuran pola radiasi pada rancangan antenna yang dibahas pada skripsi ini, hasil pengukuran pola radiasi didapatkan sebagai berikut:



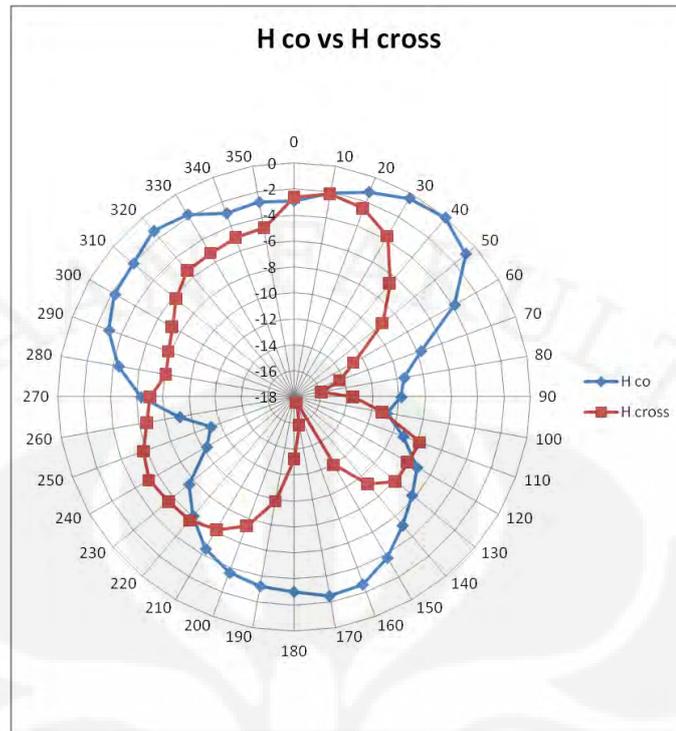


(c)

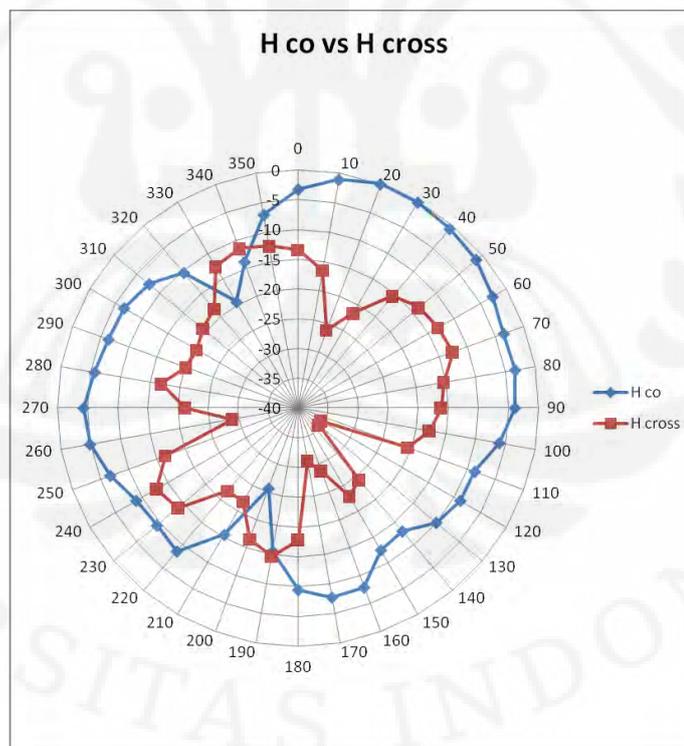
Gambar 4.8 Medan Radiasi E-co dan E-cross (a) frekuensi 433 - 434 MHz (b) frekuensi 923 - 925 MHz (c) frekuensi 2,446 - 2,454 GHz



(a)



(b)



(c)

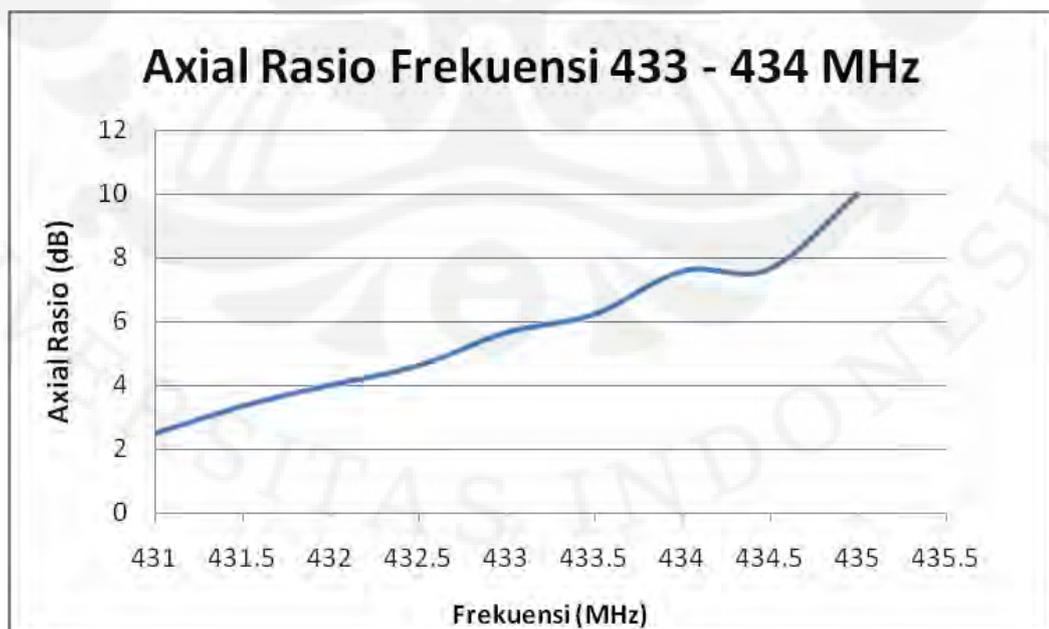
Gambar 4.9 Medan Radiasi H-co dan H-cross (a) frekuensi 433 - 434 MHz (b) frekuensi 923 - 925 MHz (c) frekuensi 2,446 - 2,454 GHz

Gambar 4.8 – 4.9 merupakan representasi gambar hasil pengukuran pola radiasi dengan jarak ukur berada pada daerah far field seperti yang telah disebutkan sebelumnya. Pengukuran pola radiasi dilakukan pada medan H dan medan E dengan dua keadaan, yaitu saat antenna tegak pada sudut 0° atau kedua antenna ukur berada pada posisi yang sama polarsisasinya (*Co-polarized*) dan 90° atau kedua antenna ukur berada pada posisi yang berbeda tegak lurus polarisasinya (*Cross-polarized*). Pada gambar-gambar tersebut, garis berwarna biru merupakan pola radiasi untuk medan Co sedangkan garis berwarna merah untuk medan Cross. Hasil pola radiasi seperti ini, menunjukkan bahwa medan cross telah berhasil tertekan cukup baik dengan selisihnya terhadap medan Co hingga 11,6 dB untuk pola radiasi medan E pada frekuensi 433 -434 MHz, 6 dB untuk pola radiasi medan E pada frekuensi 923 - 925 MHz, 5,6 dB untuk pola radiasi medan E pada frekuensi 2,446 – 2,454 GHz, 10,6 dB untuk pola radiasi medan H pada frekuensi 433 - 434 MHz, 2,2 dB untuk pola radiasi medan H pada frekuensi 923 – 925 MHz, dan 11,5 dB untuk pola radiasi medan H pada frekuensi 2,446 – 2,454 GHz. Hasil seperti ini menunjukkan bahwa polarisasi yang dimiliki antenna tidak terpolarisasi linear (polarisasi linear didasarkan pada hasil pengukuran axial ratio pada subbab selanjutnya) secara murni.

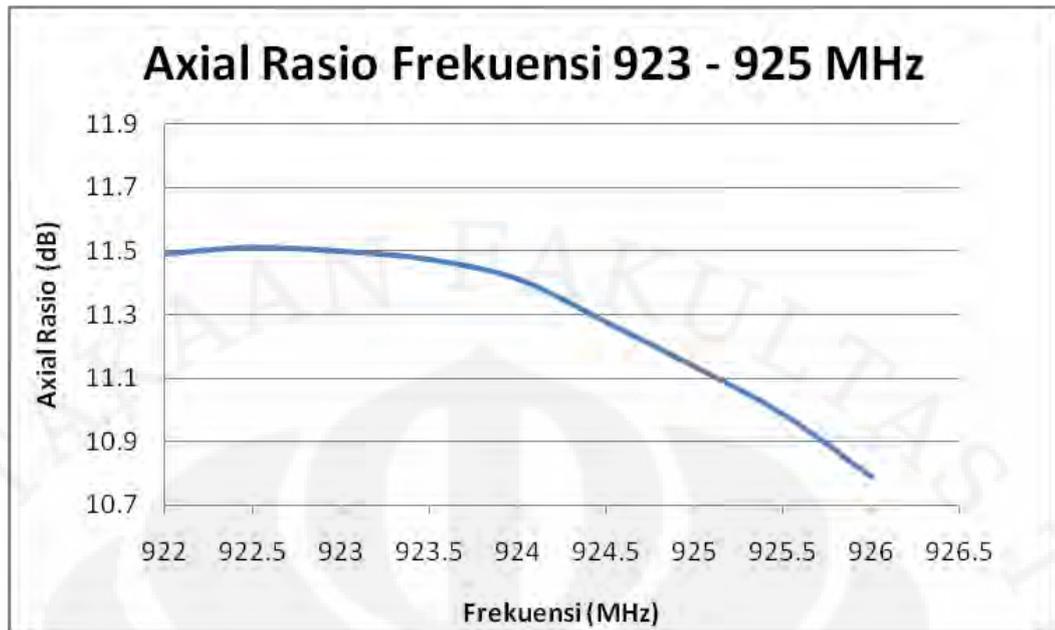
Berdasarkan hasil pengukuran didapatkan bahwa pola radiasi antenna pada frekuensi 433 – 434 MHz menunjukkan bentuk pola radiasi *directional* untuk pengukuran medan E dan H. Untuk pola radiasi frekuensi 433 - 434 MHz, sesuai dengan Gambar 4.8 dan Gambar 4.9, *lobe* maksimum untuk E-Co mengarah ke sudut 0° dan E-Cross mengarah ke sudut 260° , sedangkan *lobe* maksimum H-Co dan H-Cross berturut-turut mengarah ke sudut 0° dan 270° . Bentuk pola radiasi *directional* juga terjadi pada frekuensi 923 - 925 MHz. Untuk pola radiasi 923 - 925 MHz, sesuai dengan Gambar 4.8 dan Gambar 4.9, *lobe* maksimum untuk E-Co mengarah ke sudut 340° dan E -cross mengarah ke sudut 0° , sedangkan *lobe* maksimum H-Co dan H-Cross berturut-turut mengarah ke sudut 40° dan 10° . Pola radiasi 2,446 – 2,454 GHz, *lobe* maksimum pada E-co mengarah ke sudut 10° dan *lobe* maksimum E-cross mengarah ke sudut 340° , sedangkan untuk *lobe* maksimum H-co dan H-cross masing-masing secara berturut-turut mengarah ke sudut 30° dan 340° .

4.4 Pengukuran Axial Rasio

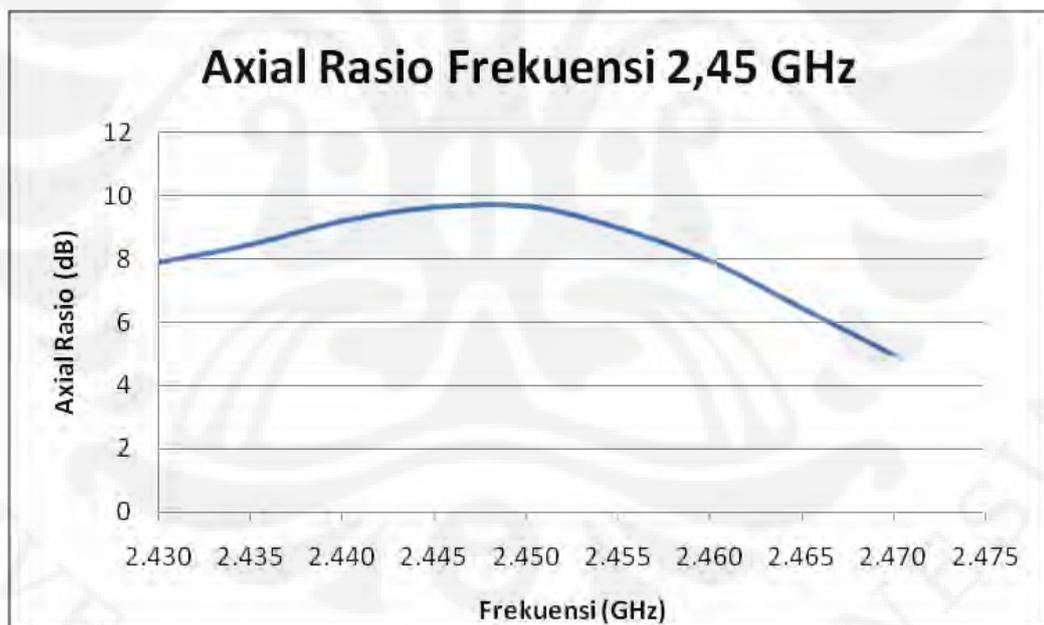
Nilai axial rasio perlu diketahui untuk menentukan polarisasi suatu antenna. Pengukuran axial rasio tidak dilakukan dengan cara memvariasikan frekuensi. Nilai axial rasio dapat diketahui dari selisih amplitude antara medan E dengan medan H. Nilai axial rasio antenna 1 ($= 0$ dB) pada rentang frekuensi tertentu menunjukkan bahwa antenna memiliki polarisasi melingkar pada rentang frekuensi tersebut. Jika nilai axial rasio lebih dari 3 dB, maka antenna memiliki polarisasi linear. Akan tetapi jika nilai axial rasio lebih dari 1 (> 0 dB) maka antenna memiliki polarisasi elips. Nilai axial rasio antenna pada skripsi ini diperlihatkan dari Gambar 4.10. Dari gambar tersebut diketahui bahwa antenna memiliki axial rasio ≥ 3 dB baik pada rentang frekuensi 433 – 434 MHz, rentang frekuensi 923 - 925 MHz atau pada rentang frekuensi 2,446 - 2,454 GHz. Untuk frekuensi kerja 433 – 434 MHz hasil yang didapat cenderung merupakan polarisasi linear tidak sempurna dikarenakan nilai axial rasio yang didapat pada frekuensi tersebut memiliki nilai yang tidak terlalu jauh dari 3 dB. Sedangkan untuk rentang frekuensi kerja 923 – 925 MHz dan juga pada rentang frekuensi 2,446 – 2,454 GHz hasil yang didapat merupakan polarisasi linear dikarenakan nilai axial rasio yang didapat pada frekuensi tersebut memiliki nilai yang jauh di atas 3 dB.



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.10 Hasil Pengukuran Antena (a) Axial Rasio Frekuensi 433 – 434 MHz
 (b) Axial Rasio Frekuensi 923 – 925 MHz (c) Axial Rasio Frekuensi 2,446 –
 2,454 GHz

4.5 Pengukuran Gain

Pengukuran *gain* dengan menggunakan metode tiga antenna tidak memperhitungkan apakah antenna tersebut sebagai pengirim atau penerima. Dalam hal ini yang perlu diperhitungkan adalah pasangan kombinasi antenna yaitu kombinasi antenna 1 terhadap antenna 2, kombinasi antenna 2 terhadap antenna 3, dan kombinasi antenna 3 terhadap antenna 1. Perhitungan *gain* ini didasarkan pada persamaan *Friis*. Secara umum persamaan *Friis* dinyatakan pada Persamaan 4.2 sebagai berikut (dalam dB):

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

Sehingga ketiga persamaan untuk masing-masing kombinasi adalah:

a. kombinasi 1-2

$$(G_1)_{dB} + (G_2)_{dB} = 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi R}{\lambda} \right) + 10 \log_{10} \left(\frac{P_{r_2}}{P_{t_1}} \right) \quad (4.3)$$

b. kombinasi 1-3

$$(G_1)_{dB} + (G_3)_{dB} = 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi R}{\lambda} \right) + 10 \log_{10} \left(\frac{P_{r_3}}{P_{t_1}} \right) \quad (4.4)$$

c. kombinasi 2-3

$$(G_2)_{dB} + (G_3)_{dB} = 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi R}{\lambda} \right) + 10 \log_{10} \left(\frac{P_{r_3}}{P_{t_2}} \right) \quad (4.5)$$

dimana:

- G = *gain* absolut (dB);
- R = jarak pisah antara antenna 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:

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

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

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

Dengan demikian penyelesaian untuk ketiga persamaan di atas adalah:

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

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

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

Hal-hal yang harus diperhatikan dalam pengukuran *gain* antenna 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*

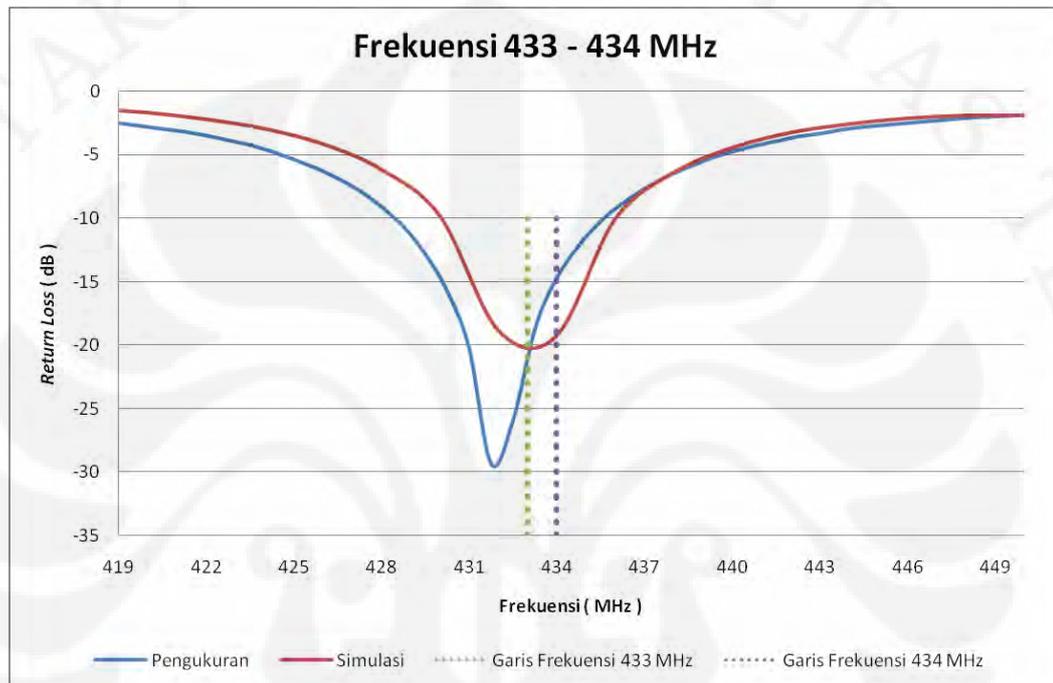
Pengukuran *gain* menggunakan *network analyzer* dan *power meter*. *Network analyzer* digunakan untuk menghasilkan gelombang dengan frekuensi disekitar frekuensi resonansi antenna. *Power meter* digunakan untuk mengukur daya pengirim dan penerima. Pengukuran *gain* antenna ini, digunakan tiga buah antenna yang memiliki frekuensi kerja yang sama. Data keseluruhan mengenai hasil pengukuran *gain* antenna dapat dilihat pada **Lampiran C**.

Dengan mengolah data hasil pengukuran menggunakan Persamaan 4.2 – 4.11, maka didapatkan besar *gain* dari masing-masing antenna yang digunakan. *Gain* diukur dari masing-masing frekuensi kerja yang diinginkan. *Gain* yang diperoleh pada frekuensi 433 - 434 MHz adalah -5,996 dB, frekuensi 923 - 925 MHz adalah -2,78 dB, dan pada frekuensi 2,446 – 2,454 GHz diperoleh *gain* sebesar 1,53 dB.

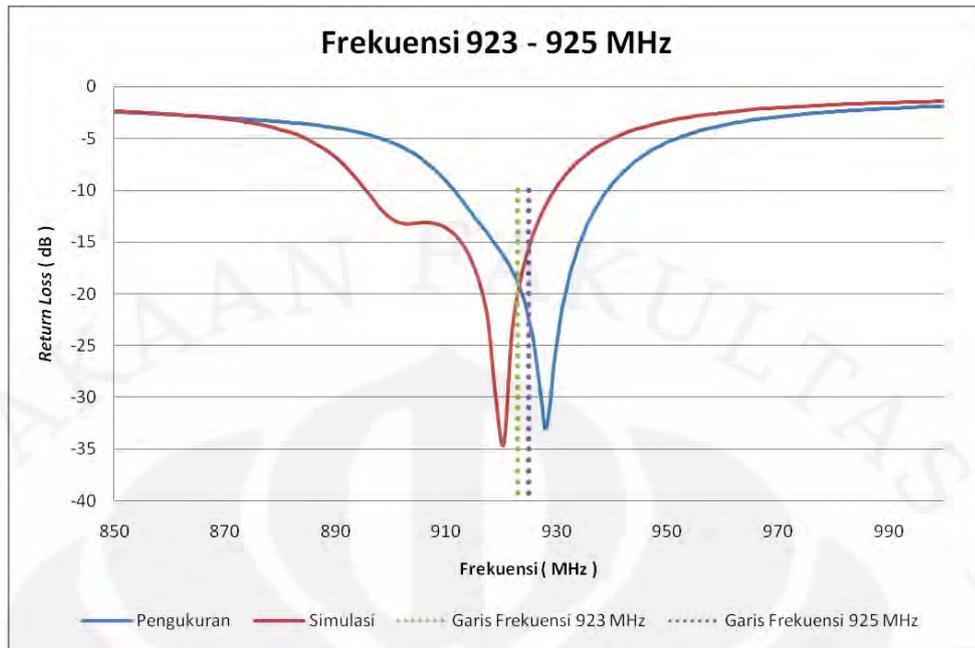
4.6 Analisis Pengukuran Parameter Antena

4.6.1 Analisis Hasil Pengukuran *Return Loss*

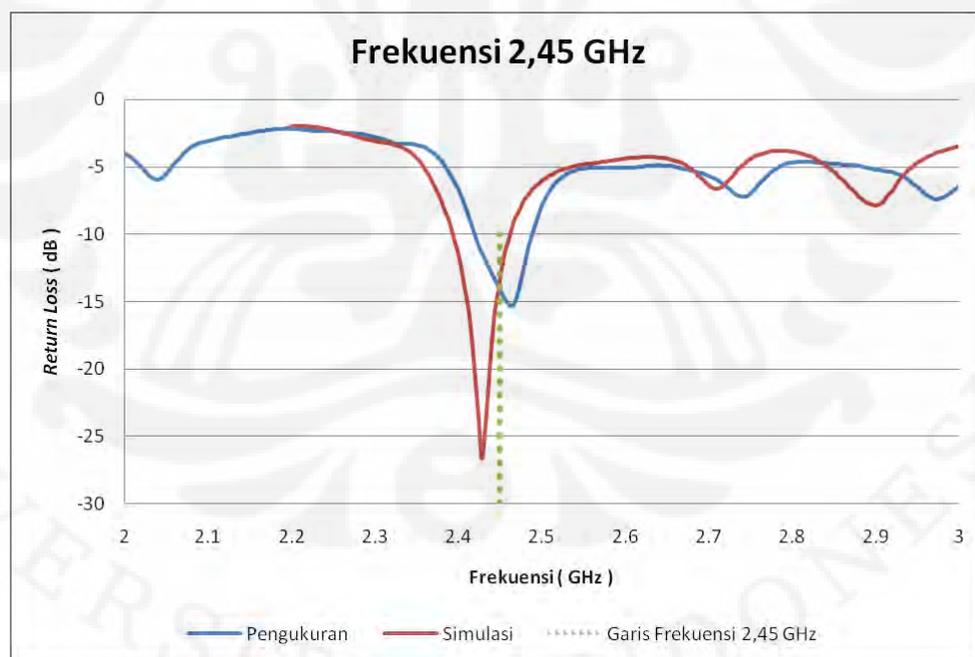
Berdasarkan hasil pengukuran parameter antena yaitu *return loss* didapatkan suatu kondisi dimana hasil pengukuran berbeda dengan hasil simulasi. Hal ini dapat dilihat pada gambar 4.11.



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.11 Perbandingan Hasil Simulasi Antena dengan Hasil Pengukuran Antena (a) Frekuensi 433 – 434 MHz (b) frekuensi 923 – 925 MHz (c) frekuensi 2,446 – 2,454 GHz

Dari gambar 4.11 dapat dilihat bahwa adanya perbedaan antara hasil pengukuran dengan hasil simulasi. Perbedaan tersebut adalah pergeseran frekuensi yang secara langsung berpengaruh terhadap *return loss*. Untuk frekuensi kerja 433 - 434 MHz, frekuensi hasil pengukuran bergeser ke arah kiri dari hasil simulasi. Frekuensi kerja 923 – 925 MHz, frekuensi hasil pengukuran bergeser ke arah kanan dari hasil simulasi. Sedangkan frekuensi kerja 2, 446 – 2,454 GHz, frekuensi hasil pengukuran juga bergeser ke arah kanan dari hasil simulasi.

PERBANDINGAN					
Range Frekuensi Hasil Simulasi	Frekuensi Resonansi	Return Loss (dB)	Range Frekuensi Hasil Pengukuran	Frekuensi Resonansi	Return Loss (dB)
429,98-435,98 MHz (1,39 %)	431,7 MHz	-19,3	428,45 –435,5 MHz (1,63 %)	431,75 MHz	-29,33
896–929 MHz (3,59 %)	920 MHz	-32,8	911,8 – 939,1 MHz (2,94 %)	928 MHz	-33,27
2,39–2,46 GHz (2,88 %)	2,43 GHz	-24,4	2,42–2,487 GHz (2,72 %)	2,46 GHz	-15,02

Gambar 4.12 Perbandingan Hasil Simulasi Antena dengan Hasil Pengukuran Antena

Dari gambar 4.12 menunjukkan bahwa pada range frekuensi kerja RFID yang dicari yaitu 433 - 434 MHz, terjadi pergeseran batas kiri frekuensi yaitu dari frekuensi 429,98 MHz untuk hasil simulasi menjadi 428,45 MHz untuk hasil pengukuran antenna, sedangkan untuk batas kanan frekuensi hanya berubah 0,48 MHz lebih kecil dari hasil simulasi. *Return loss* untuk range frekuensi 433 MHz hasil pengukuran berubah pula menjadi -29,33 db dari hasil simulasi -19,3 dB.

Pada range frekuensi kerja RFID yang dicari yaitu 923 – 925 MHz, terjadi pergeseran batas kiri yaitu dari frekuensi 896 MHz untuk hasil simulasi menjadi

911,8 MHz untuk hasil pengukuran. Untuk batas kanan frekuensi juga ikut berubah yaitu dari 929 MHz untuk hasil simulasi menjadi 939,1 MHz untuk hasil pengukuran. Hal dapat dikatakan terjadi pergeseran frekuensi ke arah kanan. Perubahan *return loss* juga terjadi yaitu dari -32,8 dB menjadi -33,27 dB.

Pada range frekuensi kerja RFID yang dicari yaitu 2,446 – 2,454 GHz, terjadi pergeseran batas kiri yaitu dari frekuensi 2,39 GHz untuk hasil simulasi menjadi 2,42 GHz untuk hasil pengukuran. Untuk batas kanan frekuensi juga ikut berubah yaitu dari 2,46 GHz untuk hasil simulasi menjadi 2,487 GHz untuk hasil pengukuran. Hal dapat dikatakan terjadi pergeseran frekuensi ke arah kanan. Perubahan *return loss* juga terjadi yaitu dari -24,4 dB menjadi -15,02 dB.

Terdapat beberapa faktor yang menyebabkan terjadinya pergeseran frekuensi atau dengan kata lain hasil pengukuran antenna tidak sesuai dengan hasil simulasi antenna, faktor tersebut antara lain:

1. Adanya pengaruh udara yang masuk ke celah diantara dua substrat dikarenakan rancangan antenna menggunakan dua substrat FR-4 epoxy dengan menerapkan teknik pencatutan *electromagnetic coupling*
2. Penyolderan yang kurang bagus
3. Hasil fabrikasi yang kurang akurat dengan ukuran simulasi

Untuk persentase error dari hasil fabrikasi adalah sebagai berikut :

- Untuk frekuensi kerja bawah 433 - 434 MHz:

$$\begin{aligned} \text{Error} &= \left| \frac{f_{\text{fabrikasi}} - f_{\text{simulasi}}}{f_{\text{simulasi}}} \right| \times 100\% \\ &= \left| \frac{428,45 - 429,98}{429,98} \right| \times 100\% = 0,36\% \end{aligned}$$

Frekuensi kerja atas 433 – 434 MHz:

$$\text{Error} = \left| \frac{435,5 - 435,98}{435,98} \right| \times 100\% = 0,11\%$$

- ✓ Frekuensi kerja bawah 923 – 925 MHz:

$$Error = \left| \frac{911,8 - 896}{896} \right| \times 100\% = 1,76\%$$

Frekuensi kerja atas 923 – 925 MHz:

$$Error = \left| \frac{939,1 - 929}{929} \right| \times 100\% = 1,08\%$$

- ❖ Frekuensi kerja bawah 2,446 GHz:

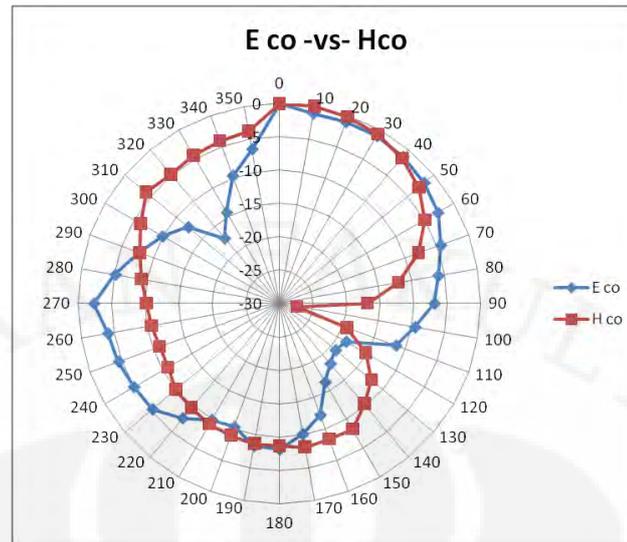
$$Error = \left| \frac{2,42 - 2,39}{2,39} \right| \times 100\% = 1,26\%$$

Frekuensi kerja atas 2,454 GHz:

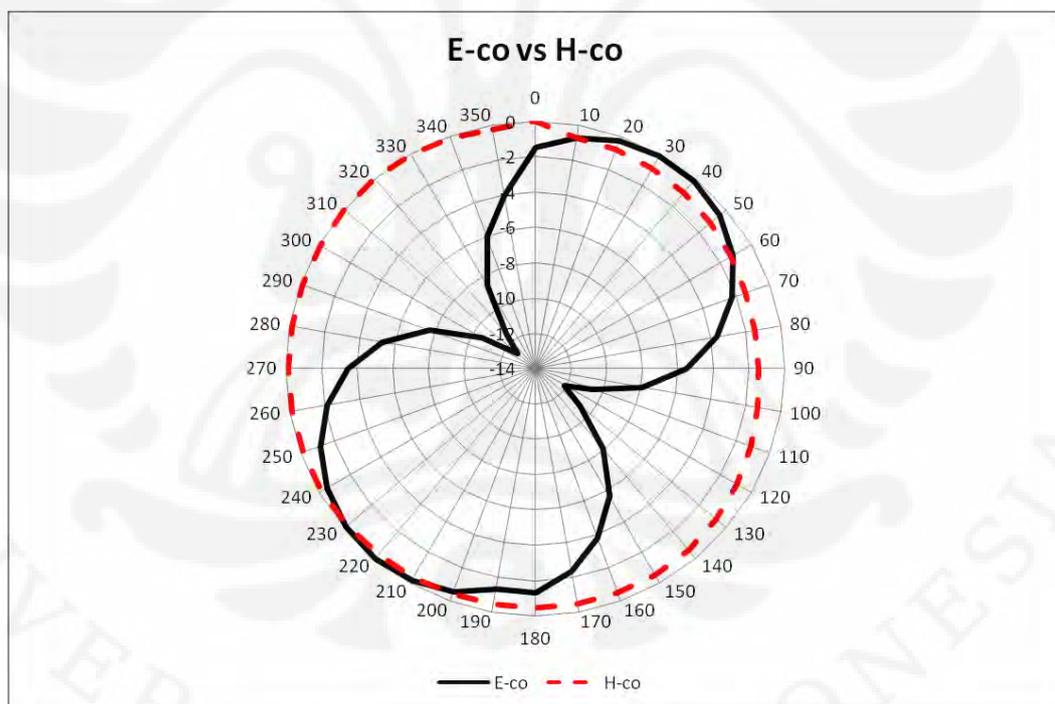
$$Error = \left| \frac{2,487 - 2,46}{2,46} \right| \times 100\% = 0,01\%$$

4.6.2 Analisa Hasil Pengukuran Pola Radiasi

Dari hasil pengukuran pada saat antena tegak lurus pada sudut 0° (Co) secara umum memiliki nilai intensitas yang lebih besar dari saat antena tegak lurus pada sudut 90° (Cross). Hal ini karena pada saat pengukuran, pada posisi kedua antena saling tegak lurus pada sudut 0° (Co), kedua antena saling berhadapan sempurna. Sedangkan pada posisi kedua antena saling tegak lurus pada sudut 90° (Cross), kedua antena tidak berhadapan secara sempurna. Gambar 4.13 dan Gambar 4.14 menunjukkan perbandingan pola radiasi antara hasil simulasi dan pengukuran. Perbandingan ini hanya pada arah dan bentuk pola radiasinya saja.

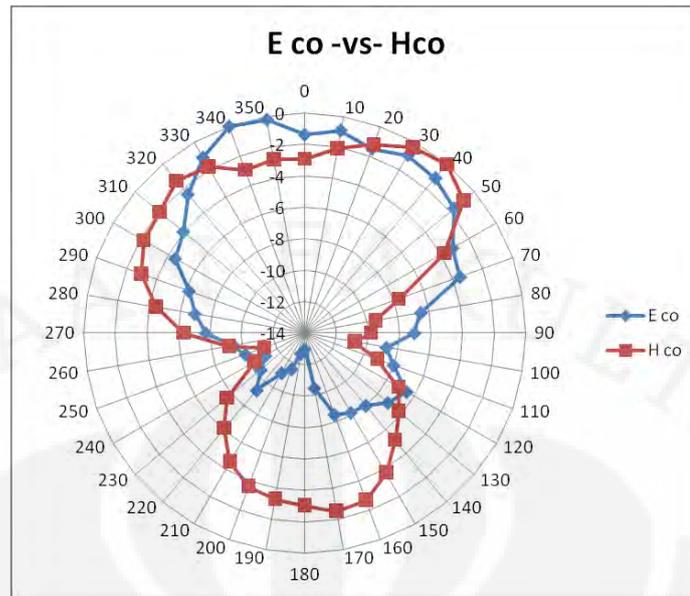


(a)

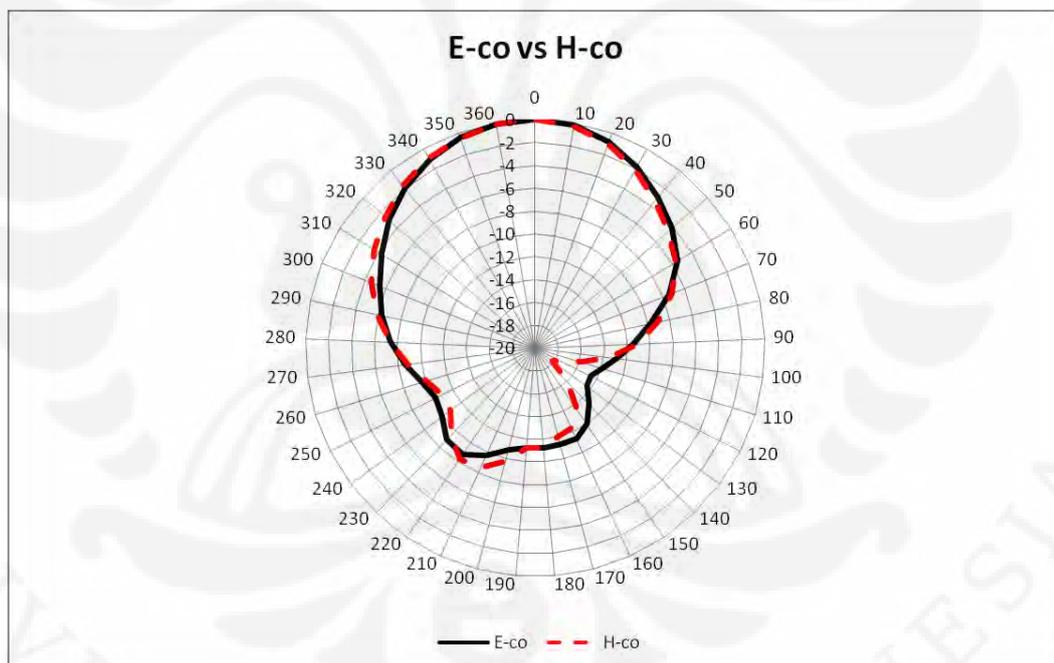


(b)

Gambar 4.13 Perbandingan Pola Radiasi Medan E dan Medan H untuk Frekuensi 433 – 434 MHz (a) Hasil Pengukuran (b) Hasil Simulasi



(a)



(b)

Gambar 4.14 Perbandingan Pola Radiasi Medan E dan Medan H untuk Frekuensi 923 – 925 MHz (a) Hasil Pengukuran (b) Hasil Simulasi

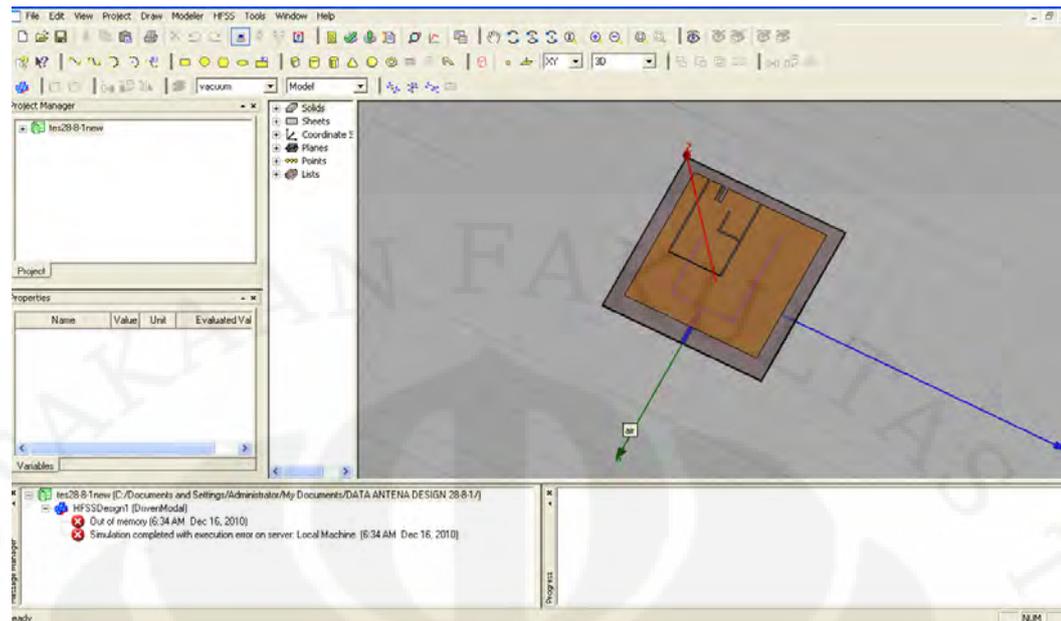
Dari Gambar 4.13 Hasil pengukuran pola radiasi untuk frekuensi 433 – 434 MHz untuk medan E menunjukkan bentuk pola radiasi yang relatif sama

dengan bentuk pola radiasi hasil simulasi. Namun hasil pengukuran medan H relatif berbeda dari hasil simulasi. Sedangkan dari Gambar 4.14 hasil pengukuran pola radiasi untuk frekuensi 923 – 925 MHz untuk medan E menunjukkan bentuk pola radiasi yang relatif sama dengan bentuk pola radiasi hasil simulasi. Namun hasil pengukuran medan H relatif berbeda dari hasil simulasi. Pada saat pengukuran, kondisi ideal sulit tercapai karena terkendala masalah mekanika. Dengan perlengkapan yang ada sulit untuk mengatur kedua antena agar tegak lurus satu sama lain. Kondisi tersebut dapat menyebabkan hasil pengukuran tidak akurat sehingga memberikan hasil yang berbeda dari hasil simulasi.

Kondisi yang agak berbeda dengan simulasi bisa disebabkan karena beberapa hal diantaranya:

- a. Faktor mekanis, dikarenakan gaya tarik dari kabel yang memaksa antena untuk berputar sendiri.
- b. Adanya rugi-rugi pada kabel penghubung seperti kabel yang ikut melilit dikarenakan kabel ikut berputar pula dan konektor baik pada antena maupun pada *network analyzer*.
- c. Keadaan saat pengambilan data yang kurang ideal.

Pada skripsi ini, perbandingan pola radiasi hasil pengukuran dan simulasi hanya dapat dilakukan pada frekuensi 433 - 434 MHz dan 923 – 925 MHz saja, dikarenakan keterbatasan kemampuan perangkat lunak yang senantiasa berada dalam keadaan *out of memory* yang dapat dilihat pada gambar 4.15 di bawah ini sewaktu simulasi dilakukan pada frekuensi tinggi (2,446 – 2,454 GHz). Untuk mengatasi hal ini, diperlukan pergantian perangkat lunak dalam proses perancangan antena.



Gambar 4.15 Keadaan HFSS out of memory

4.6.3 Analisa Hasil Pengukuran Axial Rasio

Pengukuran *axial ratio* dilakukan untuk mengetahui jenis polarisasi dari antenna yang dibuat. Untuk antenna yang mensyaratkan terjadinya polarisasi melingkar, maka *axial ratio* antenna harus bernilai 1 ($= 0$ dB). Hal ini dikarenakan, besarnya *log magnitude* antara bidang E dan bidang H untuk rentang frekuensi tertentu adalah sama besar. Nilai *axial ratio* untuk polarisasi elips adalah > 1 (> 0 dB) dan nilai *axial ratio* liner adalah > 3 dB sedangkan untuk polarisasi linear murni, nilai *axial ratio*nya adalah tak terhingga karena salah satu dari 2 komponen medan yang saling tegak lurus harus bernilai nol. Namun, bila salah satu komponen medan relatif sangat besar dibandingkan dengan medan tegak lurus, maka dapat dikatakan bahwa polarisasi tersebut adalah linear meskipun tidak linear sempurna [22].

Axial ratio yang didapat pada rentang frekuensi kerja 433 – 434 MHz adalah linear tidak sempurna dengan rentang nilai $3 < \text{axial ratio} \leq 10$. Hal ini dikarenakan hasil pengukuran pola radiasi sebelumnya yaitu cross polarization yang tidak tertekan penuh, maka dapat disimpulkan bahwa pada frekuensi 433 – 434 MHz ini tidak murni terpolarisasi secara linear. Berarti bahwa orientasi vektor medannya tidak memiliki magnitude yang sama. Dengan demikian polarisasi yang

dihasilkan oleh antenna ini adalah polarisasi linear yang tidak murni. Sedangkan untuk frekuensi kerja 923 – 925 MHz dan 2,446 – 2,454 GHz adalah linear dengan rentang nilai axial ratio ≥ 10 .

4.6.4 Analisa Hasil Pengukuran *Gain*

Gain yang didapatkan pada hasil pengukuran untuk frekuensi 433 – 434 MHz, 923 - 925 MHz dan 2,446 – 2,454 GHz secara berturut-turut adalah, -5,996 dB, -2,78 dB, dan 1,53 dB. *Gain* yang bernilai negatif dapat juga dikatakan sebagai rugi-rugi. *Gain* yang bernilai negatif dapat menunjukkan bahwa antenna tidak meradiasi secara efektif. *Gain* negatif dapat dikarenakan beberapa hal antara lain rugi-rugi bahan dan desain antenna yang kurang efektif. Untuk menunjang antenna pembaca RFID yang memiliki *gain* negatif diperlukan antenna *tag* RFID aktif atau semi aktif.

BAB 5

KESIMPULAN

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

1. Penambahan beberapa slot pada antena *patch* segi empat kedua dapat membentuk dual frekuensi yaitu frekuensi 920 MHz serta frekuensi 2,45 GHz hal ini mendekati range tujuan frekuensi kerja RFID yaitu 923 – 925 MHz dan 2,446 – 2,454 GHz.
2. Bentuk *feed* didesain sedemikian rupa untuk meng*coupling* daerah kedua *patch* atau *multi-patch* dapat ter*coupling* semua sehingga *range* tujuan frekuensi kerja RFID dapat di peroleh.
3. Karakterisasi antena yang dapat mempengaruhi frekuensi kerja RFID yang dicari yaitu letak atau posisi *patch* kedua terhadap *patch* pertama, pergeseran *feed*, perubahan panjang *feed* vertikal kanan (LFR), dan perubahan panjang *feed* vertikal kiri (LFL).
4. Antena dapat menghasilkan tiga frekuensi (*triple-band*) yang mencakup tiga frekuensi kerja pembaca RFID. Untuk frekuensi kerja 433-434 MHz, hasil pengukuran antena didapatkan *bandwidth* 428,45 – 435,5 MHz. Untuk frekuensi kerja 923 – 925 MHz, hasil pengukuran antena didapatkan *bandwidth* 911,8 – 939,1 MHz dan untuk frekuensi kerja 2,446 – 2,454 GHz, hasil pengukuran antena didapatkan *bandwidth* 2,42 – 2,487 GHz.

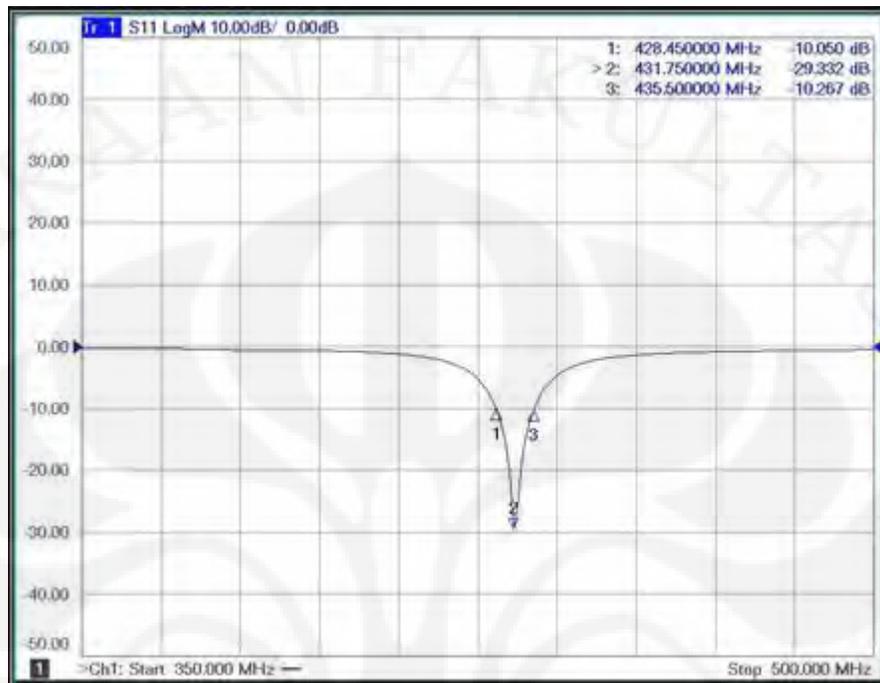
Daftar Acuan

- [1] <http://elfri.wordpress.com/2009/02/20/sekilas-teknologi-rfid/> diakses pada tanggal 28 April 2010
- [2] [http:// Radio-frequency_identification.htm.com](http://Radio-frequency_identification.htm.com) diakses pada tanggal 25 Januari 2010
- [3] Jeong-Seok Kim, Wonkyu Choi, Gil Young-Choi, Cheol Sig-Pyo, and Jong Suk-Chae." **Shorted Mikrostrip Patch Antena Using Inductively Couple Feed For UHF RFID TAG**". ETRI.
- [4] [http://Information \(Rohde & Schwarz International-Technologies-Wireless Connectivity - RFID _ NFC\).htm.com](http://Information (Rohde & Schwarz International-Technologies-Wireless Connectivity - RFID _ NFC).htm.com) diakses tanggal 5 Februari 2010
- [5] N.Ghassemi, J.Rashed-Mohassel, M. H. Neshati and S. Tavakoli, M. Ghassemi." **A High Gain Dual Stacked Aperture Coupled Mikrostrip Antena for Wideband Applications**". PIER B, vol .9, 127-135,2008.
- [6] Dincer Nalbantoglu, Ali Yanik," **A Multi-band Rectangular Patch Antena For Wireless Communications**". Antenas and Propagation. Sabanci University. Spring 2004.
- [7] LATIF, S. I., SHAFAI, L., SHARMA, S. K." **Bandwidth enhancement and size reduction of mikrostrip slot antenas**". *IEEE Transactions on Antenas and Propagation*. 2005, vol. 53, no. 3, p. 994 to 1003.
- [8] Fitri Yuli Zulkifli, Hilman Halim, Eko Tjipto Rahardjo," **A Compact Multiband Mikrostrip Antena Using U And S slots**". Proceeding of ISAP, 2007.
- [9] A. Ali Babar, L. Ukkonen, L. Sydanheimo, "Miniaturized Multipurpose Dual UHF RFID Band Antenna". <http://galayaa.com/EUCAP/data/1842055.pdf> diakses pada tanggal 10 Desember 2010.
- [10] Yudha Dwi Prasetya, Fitri Yuli Zulkifli and Eko Tjipto Rahardjo, "A Dualband Microstrip Antenna for RFID Application". IMMAC 2010.
- [11] Balanis,C.A., "**Antenna Theory Analysis and Design**", John Wiley & Sons, Inc.,Singapore, 1982.
- [12] David M. Pozar, "**A Review of Bandwidth Enhancement Techniques for Microstrip Antenna** ", (New York : IEEE Press, 1995).
- [13] Bahl, Inder, Apisak I., P. Bhartia dan R. Garg, "**Microstrip Antenna Design Handbook**", Artech House. Inc, Norwood, MA, 2001.

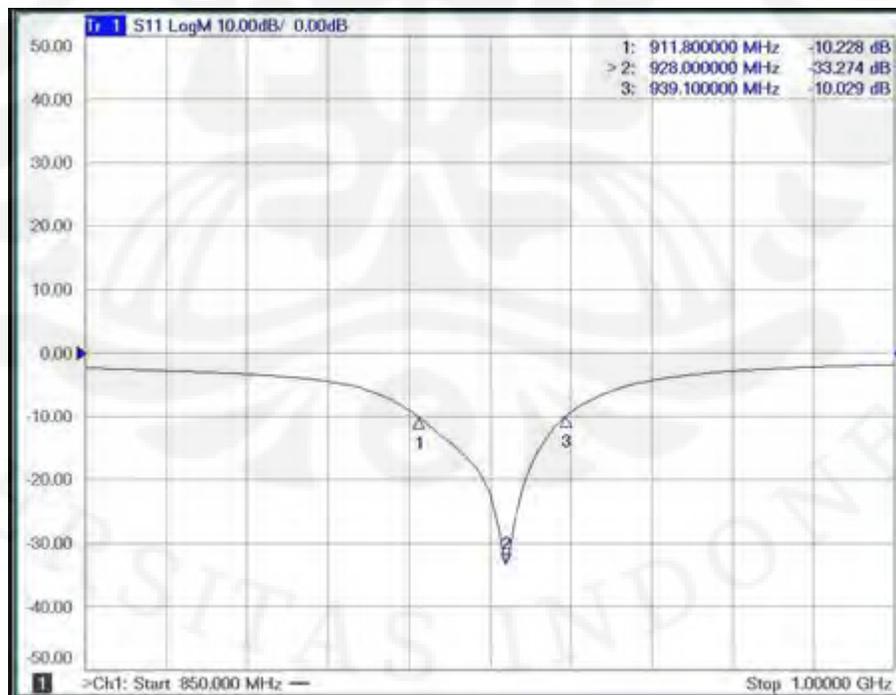
- [14] B. L. Ooi, X. D. Xu, dan Irene Ang, "Triple-band Slot Antenna with Spiral EBG Feed", *IEEE International Workshop on Antenna Technology*, 2005.
- [15] F. Croq, D. Pozar, "Multifrequency Operation of Microstrip Antennas Using Aperture Coupled Parallel Resonators," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, AP-40, 11, November 1992, pp. 1367-1374.
- [16] Fitri Yuli Zulkifli, Hilman Halim, Eko Tjipto Rahardjo, "A Compact Multiband Microstrip Antenna Using U And S slots". Proceeding of ISAP, 2007.
- [17] Stutzman, W.L., dan Gary, A.T., "Antenna Theory and Design", 2nd edition, John Wiley & Sons, 1998.
- [18] David M. Pozar, *Microwave Engineering*, John Willey and Sons, 1997
- [19] <http://typeapproval.biz/the-applicable-standard-for-rfid-device-in-indonesia.html> diakses pada tanggal 25 Februari 2010.
- [20] <http://rfid-handbook.de/rfid/frequencies.html> diakses pada tanggal 25 Februari 2010.
- [21] Maci, S. dan G. Biffi Gentili, "Dual-Frequency Patch Antennas", *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, Vol. 39, No. 6, Desember 1997.
- [22] <http://www.antenna-theory.com/definitions/axial.php> diakses pada tanggal 6 januari 2011

LAMPIRAN A

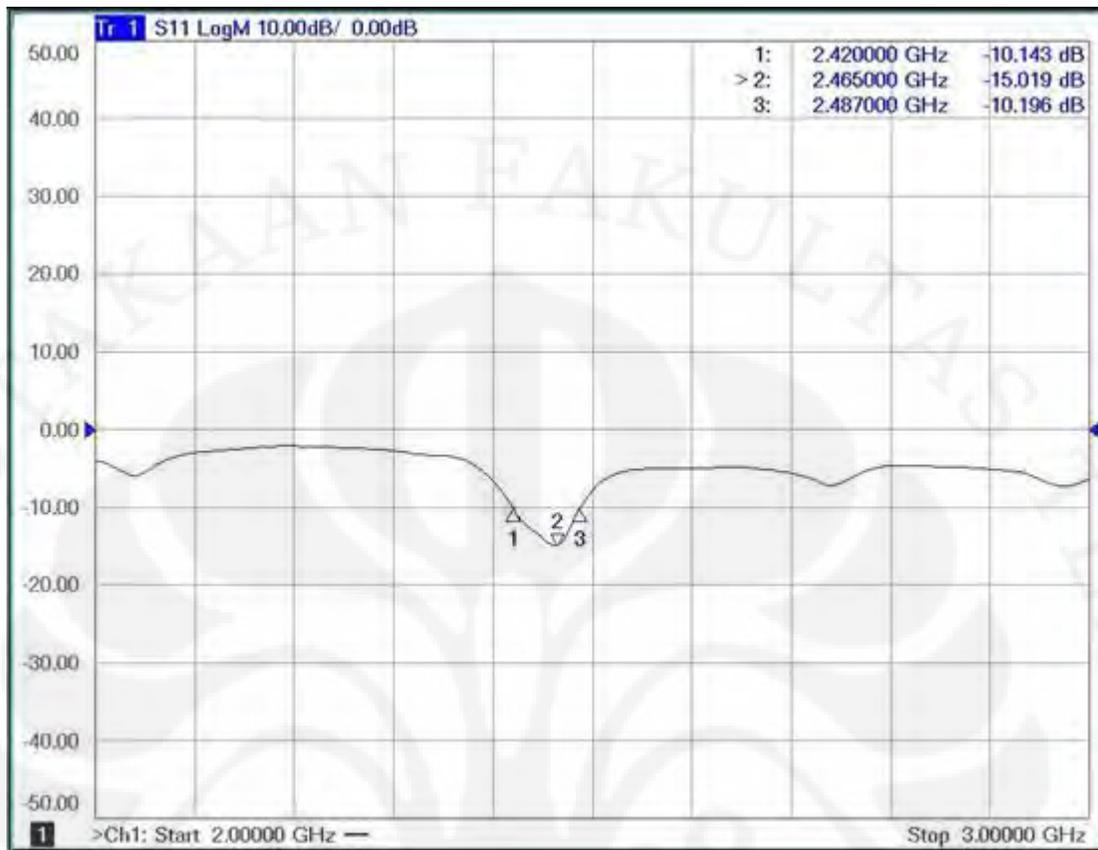
Gambar Hasil Pengukuran Return Loss



Gambar Lampiran A.1 Return loss Antena Frekuensi 433 - 434 MHz



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



Gambar Lampiran A.3 *Return loss* Antena Frekuensi 2,45 GHz

LAMPIRAN B

Data Hasil Pengukuran Pola Radiasi

Tabel Lampiran B.1 Intensitas Daya Relatif untuk Bidang E Frekuensi 433 - 434 MHz

Sudut (o)	E co (db)	E co (normalisasi)	E cross (db)	E cross (normalisasi)
0	-62.969	0	-71.541	-0.999
10	-64.007	-1.038	-72.517	-1.975
20	-64.002	-1.033	-73.25	-2.708
30	-63.943	-0.974	-73.869	-3.327
40	-64.291	-1.322	-74.872	-4.33
50	-64.85	-1.881	-75.911	-5.369
60	-65.748	-2.779	-76.959	-6.417
70	-67.428	-4.459	-77.822	-7.28
80	-68.979	-6.01	-79.566	-9.024
90	-69.904	-6.935	-81.855	-11.313
100	-72.471	-9.502	-85.524	-14.982
110	-74.513	-11.544	-87.672	-17.13
120	-81.499	-18.53	-90.306	-19.764
130	-82.07	-19.101	-89.251	-18.709
140	-81.174	-18.205	-89.453	-18.911
150	-79.341	-16.372	-86.478	-15.936
160	-75.175	-12.206	-84.266	-13.724
170	-73.059	-10.09	-82.212	-11.67
180	-71.082	-8.113	-79.721	-9.179
190	-71.27	-8.301	-72.046	-1.504
200	-73.267	-10.298	-72.426	-1.884
210	-72.812	-9.843	-71.38	-0.838
220	-70.504	-7.535	-71.057	-0.515
230	-68.277	-5.308	-70.69	-0.148
240	-67.909	-4.94	-70.542	0
250	-67.474	-4.505	-70.731	-0.189
260	-67.022	-4.053	-70.706	-0.164
270	-65.342	-2.373	-71.521	-0.979
280	-68.134	-5.165	-71.778	-1.236
290	-70.742	-7.773	-71.498	-0.956
300	-72.84	-9.871	-71.562	-1.02
310	-75.177	-12.208	-71.83	-1.288
320	-80.249	-17.28	-71.987	-1.445
330	-77.214	-14.245	-72.054	-1.512
340	-72.591	-9.622	-72.228	-1.686
350	-69.461	-6.492	-72.384	-1.842

Tabel Lampiran B.2 Intensitas Daya Relatif untuk Bidang H Frekuensi 433 - 434 MHz

Sudut (o)	H co (db)	H co (normalisasi)	H cross (dB)	H cross (normalisasi)
0	-64.413	-0.021	-80.719	-5.708
10	-64.392	0	-80.538	-5.527
20	-64.605	-0.213	-78.749	-3.738
30	-65.052	-0.66	-76.889	-1.878
40	-65.972	-1.58	-76.589	-1.578
50	-67.312	-2.92	-76.476	-1.465
60	-69.358	-4.966	-76.662	-1.651
70	-72.33	-7.938	-76.735	-1.724
80	-76.385	-11.993	-75.779	-0.768
90	-81.272	-16.88	-75.759	-0.748
100	-91.727	-27.335	-76.121	-1.11
110	-83.714	-19.322	-76.136	-1.125
120	-79.534	-15.142	-76.75	-1.739
130	-76.494	-12.102	-76.909	-1.898
140	-74.734	-10.342	-76.462	-1.451
150	-72.617	-8.225	-77.013	-2.002
160	-72.73	-8.338	-77.232	-2.221
170	-72.491	-8.099	-75.011	0
180	-73.011	-8.619	-75.764	-0.753
190	-73.041	-8.649	-75.999	-0.988
200	-73.319	-8.927	-75.942	-0.931
210	-73.487	-9.095	-77.473	-2.462
220	-73.967	-9.575	-76.958	-1.947
230	-74.261	-9.869	-77.784	-2.773
240	-75.195	-10.803	-77.937	-2.926
250	-75.371	-10.979	-76.797	-1.786
260	-75.011	-10.619	-75.943	-0.932
270	-74.529	-10.137	-75.116	-0.105
280	-73.51	-9.118	-79.109	-4.098
290	-72.197	-7.805	-78.66	-3.649
300	-70.476	-6.084	-78.452	-3.441
310	-68.431	-4.039	-77.832	-2.821
320	-69.132	-4.74	-78.6	-3.589
330	-68.771	-4.379	-79.24	-4.229
340	-68.445	-4.053	-79.94	-4.929
350	-68.132	-3.74	-80.256	-5.245

Tabel Lampiran B.3 Intensitas Daya Relatif untuk Bidang E Frekuensi 923 - 925 MHz

Sudut (o)	E co (db)	E co (normalisasi)	E cross (db)	E cross (normalisasi)
0	-43.862	-1.367	-48.041	0
10	-43.386	-0.891	-48.547	-0.506
20	-44.011	-1.516	-49.222	-1.181
30	-43.416	-0.921	-50.226	-2.185
40	-43.608	-1.113	-51.474	-3.433
50	-44.128	-1.633	-52.892	-4.851
60	-45.683	-3.188	-54.757	-6.716
70	-46.021	-3.526	-56.837	-8.796
80	-49.022	-6.527	-59.67	-11.629
90	-49.553	-7.058	-55.627	-7.586
100	-51.235	-8.74	-58.362	-10.321
110	-50.503	-8.008	-61.144	-13.103
120	-49.039	-6.544	-60.373	-12.332
130	-49.626	-7.131	-58.437	-10.396
140	-50.492	-7.997	-56.374	-8.333
150	-50.663	-8.168	-55.44	-7.399
160	-50.986	-8.491	-54.377	-6.336
170	-52.945	-10.45	-53.695	-5.654
180	-55.476	-12.981	-53.622	-5.581
190	-55.177	-12.682	-53.499	-5.458
200	-54.071	-11.576	-53.13	-5.089
210	-53.566	-11.071	-53.638	-5.597
220	-51.755	-9.26	-53.74	-5.699
230	-52.866	-10.371	-54.836	-6.795
240	-53.621	-11.126	-55.848	-7.807
250	-52.511	-10.016	-56.999	-8.958
260	-51.921	-9.426	-55.386	-7.345
270	-50.237	-7.742	-54.471	-6.43
280	-49.437	-6.942	-54.799	-6.758
290	-48.693	-6.198	-53.494	-5.453
300	-47.017	-4.522	-52.571	-4.53
310	-46.454	-3.959	-50.951	-2.91
320	-44.96	-2.465	-49.739	-1.698
330	-43.59	-1.095	-48.993	-0.952
340	-42.495	0	-48.657	-0.616
350	-42.699	-0.204	-48.574	-0.533

Tabel Lampiran B.6 Intensitas Daya Relatif untuk Bidang H Frekuensi 923 - 925 MHz

Sudut (o)	H co (db)	H co (normalisasi)	H cross (dB)	H cross (normalisasi)
0	-44.7	-2.93	-44.451	-0.505
10	-43.835	-2.065	-43.946	0
20	-43.01	-1.24	-44.397	-0.451
30	-42.122	-0.352	-45.548	-1.602
40	-41.77	0	-48.4	-4.454
50	-42.649	-0.879	-50.962	-7.016
60	-45.602	-3.832	-54.527	-10.581
70	-49.444	-7.674	-56.075	-12.129
80	-51.22	-9.45	-57.651	-13.705
90	-51.575	-9.805	-55.247	-11.301
100	-52.555	-10.785	-52.932	-8.986
110	-50.891	-9.121	-49.549	-5.603
120	-48.917	-7.147	-49.749	-5.803
130	-48.011	-6.241	-49.676	-5.73
140	-46.884	-5.114	-51.047	-7.101
150	-45.5	-3.73	-53.742	-9.796
160	-44.45	-2.68	-59.272	-15.326
170	-44.25	-2.48	-57.576	-13.63
180	-44.802	-3.032	-54.997	-11.051
190	-45.019	-3.249	-51.647	-7.701
200	-45.399	-3.629	-49.233	-5.287
210	-46.307	-4.537	-47.973	-4.027
220	-47.846	-6.076	-47.379	-3.433
230	-49.333	-7.563	-47.276	-3.33
240	-52.093	-10.323	-46.977	-3.031
250	-53.04	-11.27	-47.53	-3.584
260	-50.922	-9.152	-48.347	-4.401
270	-48.103	-6.333	-48.771	-4.825
280	-46.2	-4.43	-49.841	-5.895
290	-44.752	-2.982	-49.56	-5.614
300	-43.999	-2.229	-49.029	-5.083
310	-43.8	-2.03	-48.02	-4.074
320	-43.124	-1.354	-47.115	-3.169
330	-43.567	-1.797	-47.036	-3.09
340	-44.739	-2.969	-46.768	-2.822
350	-44.55	-2.78	-46.587	-2.641

Tabel Lampiran B.7 Intensitas Daya Relatif untuk Bidang E Frekuensi 2,45 GHz

Sudut (o)	E co (db)	E co (normalisasi)	E cross (db)	E cross (normalisasi)
0	-43.956	-0.115	-53.427	-3.96
10	-43.841	0	-60.61	-11.143
20	-44.756	-0.915	-61.431	-11.964
30	-46.076	-2.235	-54.875	-5.408
40	-47.866	-4.025	-51.522	-2.055
50	-49.577	-5.736	-50.27	-0.803
60	-51.308	-7.467	-50.172	-0.705
70	-52.7	-8.859	-50.653	-1.186
80	-53.919	-10.078	-51.509	-2.042
90	-54.452	-10.611	-53.593	-4.126
100	-54.881	-11.04	-55.343	-5.876
110	-54.884	-11.043	-56.05	-6.583
120	-52.35	-8.509	-61.725	-12.258
130	-52.135	-8.294	-57.325	-7.858
140	-52.073	-8.232	-56.645	-7.178
150	-51.05	-7.209	-54.797	-5.33
160	-49.171	-5.33	-55.571	-6.104
170	-47.441	-3.6	-55.912	-6.445
180	-47.081	-3.24	-58.422	-8.955
190	-46.508	-2.667	-59.516	-10.049
200	-47.427	-3.586	-59.607	-10.14
210	-49.391	-5.55	-57.181	-7.714
220	-51.212	-7.371	-57.103	-7.636
230	-52.724	-8.883	-57.466	-7.999
240	-53.725	-9.884	-59.781	-10.314
250	-54.527	-10.686	-60.17	-10.703
260	-56.755	-12.914	-56.77	-7.303
270	-60.226	-16.385	-52.628	-3.161
280	-58.318	-14.477	-50.83	-1.363
290	-58.426	-14.585	-50.682	-1.215
300	-57.212	-13.371	-52.123	-2.656
310	-53.354	-9.513	-52.411	-2.944
320	-50.04	-6.199	-51.646	-2.179
330	-47.888	-4.047	-50.277	-0.81
340	-46.351	-2.51	-49.467	0
350	-45.324	-1.483	-49.922	-0.455

Tabel Lampiran B.8 Intensitas Daya Relatif untuk Bidang H Frekuensi 2,45 GHz

Sudut (o)	H co (db)	H co (normalisasi)	H cross (dB)	H cross (normalisasi)
0	-42.178	-3.304	-52.333	-1.921
10	-39.953	-1.079	-55.402	-4.99
20	-38.874	0	-65.027	-14.615
30	-39.027	-0.153	-60.531	-10.119
40	-39.651	-0.777	-54.381	-3.969
50	-40.181	-1.307	-52.661	-2.249
60	-41.495	-2.621	-51.93	-1.518
70	-42.424	-3.55	-51.47	-1.058
80	-42.197	-3.323	-54.221	-3.809
90	-42.778	-3.904	-55.09	-4.678
100	-44.882	-6.008	-56.633	-6.221
110	-47.573	-8.699	-59.447	-9.035
120	-47.702	-8.828	-74.447	-24.035
130	-48.884	-10.01	-74.402	-23.99
140	-51.843	-12.969	-63.1	-12.688
150	-51.272	-12.398	-61.703	-11.291
160	-46.793	-7.919	-67.615	-17.203
170	-46.556	-7.682	-69.801	-19.389
180	-48.325	-9.451	-56.739	-6.327
190	-54.42	-15.546	-53.54	-3.128
200	-64.462	-25.588	-55.369	-4.957
210	-54.285	-15.411	-60.68	-10.268
220	-47.433	-8.559	-60.616	-10.204
230	-48.168	-9.294	-52.755	-2.343
240	-47.73	-8.856	-51.642	-1.23
250	-45.568	-6.694	-55.325	-4.913
260	-43.673	-4.799	-67.745	-17.333
270	-43.124	-4.25	-60.077	-9.665
280	-44.447	-5.573	-55.702	-5.29
290	-45.275	-6.401	-58.984	-8.572
300	-45.402	-6.528	-59.395	-8.983
310	-46.511	-7.637	-58.185	-7.773
320	-49.253	-10.379	-57.169	-6.757
330	-58.321	-19.447	-51.447	-1.035
340	-52.776	-13.902	-50.412	0
350	-45.957	-7.083	-51.266	-0.854

LAMPIRAN C
Data Pengukuran Gain

Tabel Lampiran C.5 Data Pengukuran *Gain* Antena 1 dan Antena 2 Frekuensi 433 MHz

Frekuensi (GHz)	λ (cm)	R (cm)	KOMBINASI 1-2				G1+G2 (dB)
			Daya Pemancar (mW)	Daya penerima (μ W)		Rata-rata	
				1	2		
0.431	69.606	100	0.739	0.141	0.141	0.141	-12.063
0.432	69.444	100	0.739	0.141	0.142	0.1415	-12.027
0.433	69.284	100	0.739	0.142	0.141	0.1415	-12.007
0.434	69.124	100	0.739	0.142	0.142	0.142	-11.972
0.435	68.966	100	0.739	0.142	0.141	0.1415	-11.967

Tabel Lampiran C.6 Data Pengukuran *Gain* Antena 2 dan Antena 3 Frekuensi 433 MHz

Frekuensi (GHz)	λ (cm)	R (cm)	KOMBINASI 2-3				G2+G3 (dB)
			Daya Pemancar (mW)	Daya penerima (μ W)		Rata-rata	
				1	2		
0.431	69.606	100	0.739	0.142	0.142	0.142	-12.032
0.432	69.444	100	0.739	0.142	0.142	0.142	-12.012
0.433	69.284	100	0.739	0.142	0.142	0.142	-11.992
0.434	69.124	100	0.739	0.142	0.142	0.142	-11.972
0.435	68.966	100	0.739	0.142	0.142	0.142	-11.952

Tabel Lampiran C.7 Data Pengukuran *Gain* Antena 1 dan Antena 3 Frekuensi 433 MHz

KOMBINASI 1-3							
Frekuensi (GHz)	λ (cm)	R (cm)	Daya Pemancar (mW)	Daya penerima (μ W)			G1+G3 (dB)
				1	2	Rata-rata	
0.431	69.606	100	0.739	0.142	0.142	0.142	-12.032
0.432	69.444	100	0.739	0.142	0.142	0.142	-12.012
0.433	69.284	100	0.739	0.143	0.142	0.1425	-11.977
0.434	69.124	100	0.739	0.142	0.142	0.142	-11.972
0.435	68.966	100	0.739	0.142	0.142	0.142	-11.952

Tabel Lampiran C.8 *Gain* Ketiga Antena Frekuensi 433 MHz

Frekuensi (GHz)	G1 (dB)	G2 (dB)	G3 (dB)
0.431	-6.031	-6.031	-6.001
0.432	-6.014	-6.014	-5.998
0.433	-5.996	-6.011	-5.981
0.434	-5.986	-5.986	-5.986
0.435	-5.984	-5.984	-5.968

Tabel Lampiran C.9 Data Pengukuran *Gain* Antena 1 dan Antena 2 Frekuensi 924 MHz

Frekuensi (GHz)	λ (cm)	R (cm)	KOMBINASI 1-2				G1+G2 (dB)
			Daya Pemancar (mW)	Daya penerima (μ W)			
				1	2	Rata-rata	
0.922	32.538	100	0.739	0.147	0.147	0.147	-5.277
0.9225	32.520	100	0.739	0.146	0.147	0.1465	-5.287
0.923	32.503	100	0.739	0.146	0.146	0.146	-5.297
0.9235	32.485	100	0.739	0.145	0.145	0.145	-5.322
0.924	32.468	100	0.739	0.145	0.144	0.1445	-5.333
0.9245	32.450	100	0.739	0.144	0.144	0.144	-5.343
0.925	32.432	100	0.739	0.143	0.143	0.143	-5.368
0.9255	32.415	100	0.739	0.143	0.143	0.143	-5.364
0.926	32.397	100	0.739	0.142	0.142	0.142	-5.390

Tabel Lampiran C.10 Data Pengukuran *Gain* Antena 2 dan Antena 3 Frekuensi 924 MHz

Frekuensi (GHz)	λ (cm)	R (cm)	KOMBINASI 2-3				G2+G3 (dB)
			Daya Pemancar (mW)	Daya penerima (μ W)			
				1	2	Rata-rata	
0.922	32.538	100	0.739	0.155	0.154	0.1545	-5.061
0.9225	32.520	100	0.739	0.154	0.154	0.154	-5.070
0.923	32.503	100	0.739	0.154	0.154	0.154	-5.065
0.9235	32.485	100	0.739	0.153	0.153	0.153	-5.089
0.924	32.468	100	0.739	0.152	0.152	0.152	-5.113
0.9245	32.450	100	0.739	0.151	0.152	0.1515	-5.122
0.925	32.432	100	0.739	0.15	0.15	0.15	-5.161
0.9255	32.415	100	0.739	0.15	0.15	0.15	-5.156
0.926	32.397	100	0.739	0.15	0.149	0.1495	-5.166

Tabel Lampiran C.11 Data Pengukuran *Gain* Antena 1 dan Antena 3 Frekuensi 924 MHz

Frekuensi (GHz)	λ (cm)	R (cm)	KOMBINASI 1-3				G1+G3 (dB)
			Daya Pemancar (mW)	Daya penerima (μ W)			
				1	2	Rata-rata	
0.922	32.538	100	0.739	0.145	0.145	0.145	-5.336
0.9225	32.520	100	0.739	0.144	0.144	0.144	-5.362
0.923	32.503	100	0.739	0.144	0.144	0.144	-5.357
0.9235	32.485	100	0.739	0.144	0.143	0.1435	-5.367
0.924	32.468	100	0.739	0.143	0.143	0.143	-5.378
0.9245	32.450	100	0.739	0.143	0.143	0.143	-5.373
0.925	32.432	100	0.739	0.143	0.143	0.143	-5.368
0.9255	32.415	100	0.739	0.142	0.142	0.142	-5.394
0.926	32.397	100	0.739	0.142	0.14	0.141	-5.420

Tabel Lampiran C.12 *Gain* Ketiga Antena Frekuensi 924 MHz

Frekuensi (GHz)	G1 (dB)	G2 (dB)	G3 (dB)
0.922	-2.776	-2.501	-2.560
0.9225	-2.789	-2.498	-2.572
0.923	-2.794	-2.503	-2.563
0.9235	-2.800	-2.522	-2.567
0.924	-2.799	-2.534	-2.579
0.9245	-2.797	-2.546	-2.576
0.925	-2.788	-2.580	-2.580
0.9255	-2.801	-2.563	-2.593
0.926	-2.822	-2.568	-2.598

Tabel Lampiran C.13 Data Pengukuran *Gain* Antena 1 dan Antena 2 Frekuensi 2,45 GHz

KOMBINASI 1-2							
Frekuensi (GHz)	λ (cm)	R (cm)	Daya Pemancar (mW)	Daya penerima (μ W)			G1+G2 (dB)
				1	2	Rata-rata	
2.43	12.346	100	0.739	0.147	0.147	0.147	3.141
2.44	12.295	100	0.739	0.146	0.146	0.146	3.147
2.45	12.245	100	0.739	0.145	0.145	0.145	3.152
2.46	12.195	100	0.739	0.144	0.144	0.144	3.158
2.47	12.146	100	0.739	0.143	0.143	0.143	3.163

Tabel Lampiran C.14 Data Pengukuran *Gain* Antena 2 dan Antena 3 Frekuensi 2,45 GHz

KOMBINASI 2-3							
Frekuensi (GHz)	λ (cm)	R (cm)	Daya Pemancar (mW)	Daya penerima (μ W)			G2+G3 (dB)
				1	2	Rata-rata	
2.43	12.346	100	0.739	0.143	0.143	0.143	3.021
2.44	12.295	100	0.739	0.143	0.147	0.145	3.117
2.45	12.245	100	0.739	0.144	0.148	0.146	3.182
2.46	12.195	100	0.739	0.143	0.151	0.147	3.247
2.47	12.146	100	0.739	0.142	0.142	0.142	3.132

Tabel Lampiran C.15 Data Pengukuran *Gain* Antena 1 dan Antena 3 Frekuensi 2,45 GHz

Frekuensi (GHz)	λ (cm)	R (cm)	KOMBINASI 1-3				G1+G3 (dB)
			Daya Pemancar (mW)	Daya penerima (μ W)			
				1	2	Rata-rata	
2.43	12.346	100	0.739	0.143	0.142	0.1425	3.006
2.44	12.295	100	0.739	0.143	0.143	0.143	3.056
2.45	12.245	100	0.739	0.143	0.143	0.143	3.092
2.46	12.195	100	0.739	0.142	0.142	0.142	3.097
2.47	12.146	100	0.739	0.143	0.143	0.143	3.163

Tabel Lampiran C.16 *Gain* Ketiga Antena Frekuensi 2,45 GHz

Frekuensi (GHz)	G1 (dB)	G2 (dB)	G3 (dB)
2.43	1.563	1.578	1.443
2.44	1.543	1.603	1.513
2.45	1.531	1.621	1.561
2.46	1.504	1.654	1.593
2.47	1.597	1.566	1.566

Karakterisasi Perubahan Letak Patch 2**Frekuensi 433 - 434 MHz**

Perubahan Letak Patch 2	Frekuensi Kerja (MHz)	Return Loss (dB)	Bandwidth (MHz)
-5 mm	435	-25	429 – 436
-4 mm	435	-26	430 – 437
-3 mm	435	-24	429 – 436
-2 mm	435	-24	429 – 436
-1 mm	435	-22	429 – 437
0 mm	435	-19	429 – 435
1 mm	432	-25	429 – 436
2 mm	432	-26	428 – 435
3 mm	431	-17	427 – 434
4 mm	429	-16	427 – 431
5 mm	428	-13	426 – 430

Frekuensi 923 – 925 MHz

Perubahan Letak Patch 2	Frekuensi Kerja (MHz)	Return Loss (dB)	Bandwidth (MHz)
-5 mm	918	-17	908 – 927
-4 mm	919	-18	907 – 927
-3 mm	913	-19	903 – 921
-2 mm	918	-25	898 – 929
-1 mm	910	-20	898 – 918
0 mm	919	-35	895 – 929
1 mm	921	-24	895 – 930
2 mm	922	-21	894 – 930
3 mm	874	-19	867 – 881
4 mm	910	-26	883 – 918
5 mm	900	-24	891 – 930

Frekuensi 2,45 GHz

Perubahan Letak <i>Patch</i> 2	Frekuensi Kerja (GHz)	<i>Return Loss</i> (dB)	<i>Bandwidth</i> (GHz)
-5 mm	-	-	-
-4 mm	-	-	-
-3 mm	2,4	-22	2,35 – 2,42
-2 mm	-	-	-
-1 mm	2,4	-20	2,35 – 2,43
0 mm	2,43	-27	2,39 – 2,46
1 mm	2,43	-22	2,39 – 2,46
2 mm	2,42	-18	2,39 – 2,456
3 mm	2,39	-11	2,37 – 2,4
4 mm	2,4	-13	2,38 – 2,42
5 mm	2,43	-18	2,39 – 2,45

Karakterisasi Pergeseran Feed

Frekuensi 433 - 434 MHz

Pergeseran Feed	Frekuensi Kerja (MHz)	Return Loss (dB)	Bandwidth (MHz)
-5 mm	431,21	-37,5	428,28 – 434,63
-4 mm	415,60	-18,5	413,65 - 419
-3 mm	431,21	-29,6	428,7 – 435,12
-2 mm	431,21	-23,7	428,8 – 435,12
-1 mm	-	-	-
0 mm	431,21	-20,4	428,29 – 435,12
1 mm	434,63	-20,7	428,78 – 435,12
2 mm	434,63	-20,6	429,6 – 435,6
3 mm	434,63	-24,6	429,8 – 435,6
4 mm	434,63	-26,9	429,8 – 436,6
5 mm	434,63	-29,8	429,3 - 437

Frekuensi 923 - 925 MHz

Pergeseran Feed	Frekuensi Kerja (MHz)	Return Loss (dB)	Bandwidth (MHz)
-5 mm	919	-23,3	902 - 930
-4 mm	920	-27,8	900 - 930
-3 mm	920	-28,6	899 - 929
-2 mm	920	-36,3	897 - 929
-1 mm	920	-36,6	896 - 929
0 mm	920	-33,6	896 - 929
1 mm	920	-30	894 - 929
2 mm	920	-24,3	892 - 929
3 mm	920	-23,6	893 - 929
4 mm	920	-21	892 - 929
5 mm	910	-33,7	899 - 918

Frekuensi 2,45 GHz

<i>Pergeseran Feed</i>	<i>Frekuensi Kerja (GHz)</i>	<i>Return Loss (dB)</i>	<i>Bandwidth (GHz)</i>
-5 mm	-	-	-
-4 mm	-	-	-
-3 mm	2,43	-34	2,4 – 2,46
-2 mm	-	-	-
-1 mm	-	-	-
0 mm	2,43	-26,5	2,39 – 2,46
1 mm	-	-	-
2 mm	2,42	-20,5	2,38 – 2,45
3 mm	-	-	-
4 mm	-	-	-
5 mm	2,36	-16,5	2,33 – 2,4

Karakterisasi Perubahan Panjang *Feed* Kanan

Frekuensi 433 - 434 MHz

Perubahan Panjang <i>Feed</i> Kanan	Frekuensi Kerja (MHz)	<i>Return Loss</i> (dB)	<i>Bandwidth</i> (MHz)
75,25 mm	419,5	-14	417 - 423
74,25 mm	423	-15,6	419 - 425
73,25 mm	407	-15,3	403 - 410
72,25 mm	427	-20	424 - 431
71,25 mm	430	-20	427 - 434
70,25 mm	434	-20	430 - 437
69,25 mm	435	-21	431 - 438
68,25 mm	438	-19	434 - 439
67,25 mm	439	-15	436 - 441
66,25 mm	440	-12	438 - 442
65,25 mm	440	-10	440 - 444

Frekuensi 923 – 925 MHz

Perubahan Panjang <i>Feed</i> Kanan	Frekuensi Kerja (MHz)	<i>Return Loss</i> (dB)	<i>Bandwidth</i> (MHz)
75,25 mm	910	-18	902 - 915
74,25 mm	915	-25	907 - 923
73,25 mm	922	-19	899 - 930
72,25 mm	922	-23	898 - 929
71,25 mm	922	-27	896 - 929
70,25 mm	919	-42	895 - 928
69,25 mm	919	-35	894 - 927
68,25 mm	917	-30	893 - 928
67,25 mm	917	-33	892 - 926
66,25 mm	916	-33	892 - 927
65,25 mm	906	-21	886 - 917

Frekuensi 2,45 GHz

Perubahan Panjang <i>Feed Kanan</i>	Frekuensi Kerja (GHz)	<i>Return Loss</i> (dB)	<i>Bandwidth</i> (GHz)
75,25 mm	2,35	-13	2,33 – 2,4
74,25 mm	2,4	-17	2,36 – 2,43
73,25 mm	2,43	-24	2,39 – 2,46
72,25 mm	2,43	-22	2,39 – 2,46
71,25 mm	2,43	-22	2,39 – 2,46
70,25 mm	2,42	-28	2,38 – 2,46
69,25 mm	2,43	-26	2,39 – 2,46
68,25 mm	2,42	-21	2,38 – 2,452
67,25 mm	2,42	-21	2,38 – 2,44
66,25 mm	2,419	-20	2,38 – 2,45
65,25 mm	2,38	-18	2,36 – 2,42

Karakterisasi Perubahan Panjang Feed Kiri

Frekuensi 433 - 434 MHz

Perubahan Panjang <i>Feed Kiri</i>	Frekuensi Kerja (MHz)	<i>Return Loss</i> (dB)	<i>Bandwidth</i> (MHz)
50,25 mm	406	-14	403 – 408
49,25 mm	-	-	-
48,25 mm	410	-23	406 – 411
47,25 mm	428	-22	424 – 430
46,25 mm	430	-29	426 – 432
45,25 mm	435	-19	430 – 436
44,25 mm	-	-	-
43,25 mm	439	-22	434 – 441
42,25 mm	-	-	-
41,25 mm	442	-16	439 – 446
40,25 mm	444	-18	441 – 456

Frekuensi 923 – 925 MHz

Perubahan Panjang <i>Feed Kiri</i>	Frekuensi Kerja (MHz)	<i>Return Loss</i> (dB)	<i>Bandwidth</i> (MHz)
50,25 mm	922	-36	899 – 929
49,25 mm	900	-24	893 – 908
48,25 mm	920	-35	896 – 929
47,25 mm	-	-	-
46,25 mm	-	-	-
45,25 mm	919	-42	895 – 928
44,25 mm	855	-14	847 – 862
43,25 mm	919	-31	895 – 927
42,25 mm	-	-	-
41,25 mm	913	-36	896 – 924
40,25 mm	918	-21	892 – 927

Frekuensi 2,45 GHz

Perubahan Panjang <i>Feed</i> Kiri	Frekuensi Kerja (GHz)	<i>Return Loss</i> (dB)	<i>Bandwidth</i> (GHz)
50,25 mm	2,48	-38	2,43 – 2,59
49,25 mm	2,54	-18	2,52 – 2,56
48,25 mm	2,43	-21	2,39 – 2,48
47,25 mm	-	-	-
46,25 mm	-	-	-
45,25 mm	2,42	-28	2,39 – 2,455
44,25 mm	2,31	-12	2,3 – 2,32
43,25 mm	2,43	-16	2,4 – 2,455
42,25 mm	-	-	-
41,25 mm	2,38	-12	2,37 – 2,42
40,25 mm	2,42	-12	2,4 – 2,44