



UNIVERSITAS INDONESIA

**RANCANG BANGUN ANTENA MULTIBAND UNTUK
APLIKASI RFID**

SKRIPSI

ILYAS SAFARI

0606073991

**DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA**

JUNI 2010



UNIVERSITAS INDONESIA

**RANCANG BANGUN ANTENA MULTIBAND UNTUK
APLIKASI RFID**

SKRIPSI

**Diajukan untuk melengkapi
sebagian persyaratan menjadi sarjana teknik**

ILYAS SAFARI

0606073991

**DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA**

JUNI 2010

i

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Ilyas Safari

NPM : 0606073991

Tanda Tangan :

Tanggal : 15 Juni 2010

HALAMAN PENGESAHAN

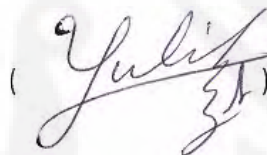
Skripsi ini diajukan oleh:

Nama : Ilyas Safari
NPM : 0606073991
Program Studi : Teknik Elektro
Judul Skripsi : Rancang Bangun Antena Multiband Untuk Aplikasi RFID.

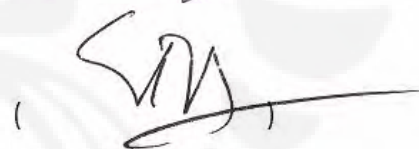
Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk mata kuliah Skripsi pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

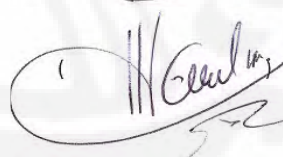
Pembimbing : Dr. Ir. Fitri Yuli Zulkifli, M.Sc.



Penguji : Prof. Ir. Eko Tjipto Rahardjo, MSc,
PhD



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



Ditetapkan di :

Tanggal :

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT, karena atas berkata dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi tugas mata kuliah Skripsi di Departemen Teknik Elektro pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada :

1. Dr. Fitri Yuli Zulkifi, ST, M.Sc, , selaku dosen pembimbing pertama yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini
2. Prof. Ir. Eko Tjipto Rahardjo, MSc, PhD, selaku dosen pembimbing kedua yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini.
3. Dr. Ir. Muhammad Asvial, M.Eng, selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini
4. Rekan-rekan AMRG yang selalu mendorong untuk kemajuan riset.
5. Orang tua dan keluarga yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral
6. Sahabat yang telah banyak membantu saya dalam menyelesaikan skripsi ini

Akhir kata, saya berharap Allah SWT berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, 15 Juni 2010

Penulis

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

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

Nama : Ilyas Safari
NPM : 0606073991
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 MULTIBAND UNTUK APLIKASI RFID

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan 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 Juni 2010

Yang menyatakan

(Ilyas Safari)

v

ABSTRACT

Name : Ilyas Safari
Study Program : Teknik Elektro
Title : Multiband Antena Design for RFID Application
Supervisor I : Dr. Fitri Yuli Zulkifli, ST, MSc
Supervisor II : Prof.Ir. Eko Tjipto Rahardjo, MSc, PhD.

Radio Frequency Identification (RFID) is one of identification technology which have rapidly been developed. One of its component is a reader. Reader is important to determine the performance of RFID system. Thus, a good antenna is needed to improve its performance. In this research, the design of a multiband antenna for RFID application was designed, simulated, fabricated, and measured. The overall dimension of the antenna is 155 x176 x1.6 mm and the substrate of the antenna is fr4 epoxy with dielectric constant of 4.3. The antenna uses direct coupled technique for the feed line and the width of the feed line is adjusted to get a good matching condition. From the measurement, the antenna can resonate at two frequencies. They are 13.56 MHz, 433 MHz, and 923MHz and have the bandwidth of 13,2-13,62 MHz and 429 – 446 MHz, and 911-925 MHz at VSWR < 2

Key words : RFID antenna , microstrip antenna, multiband antenna, slot, spiral antenna

ABSTRAK

Nama : Ilyas Safari
Program Studi : Teknik Elektro
Judul : Rancang Bangun Antena Multiband Untuk Aplikasi RFID
Pembimbing I : Dr. Fitri Yuli Zulkifli, ST, MSc
Pembimbing II : Prof.Ir. Eko Tjipto Rahardjo, MSc, PhD.

Radio Frequency Identification (RFID) adalah salah satu teknologi identifikasi yang begitu cepat perkembangannya. Salah satu komponen RFID adalah reader atau pembaca. Reader merupakan salah satu bagian pokok yang menentukan performansi dari sistem RFID sehingga diperlukan sebuah antena yang baik untuk meningkatkan performansinya. Dalam skripsi ini, antena multiband yang dapat bekerja pada aplikasi RFID telah dirancang, disimulasikan, difabrikasikan, dan diukur. Antena memiliki dua buah elemen peradiasi, yaitu sebuah elemen peradiasi segiempat dengan sebuah slot didalamnya dan sebuah elemen spiral. Dimensi keseluruhan antena 155 x 176 x 1,6 mm dengan bahan substrat terbuat dari fr4 epoxy yang memiliki konstanta dielektrik 4,3. Jenis pencatuan yang dipakai adalah pencatuan langsung dengan lebar saluran pencatu telah diatur 50 ohm agar mendapatkan kondisi matching yang baik. Frekuensi yang didapatkan setelah dilakukan pengukuran adalah 13.56 MHz, 433 MHz dan 923 MHz dengan bandwidth pada masing-masing frekuensi sebesar 13,2-13,62 MHz, 429 – 446 MHz, dan 911-925 MHz pada standar VSWR < 2.

Kata kunci: Antena RFID, antena mikrostrip, antena multiband, slot, antena spiral.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	v
ABSTRAK.....	vi
ABSTRACT.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR SINGKATAN.....	xiii
DAFTAR ISTILAH	xiv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan	4
1.3 Batasan Masalah	4
1.4 Sistematika Penulisan	4
BAB 2 LANDASAN TEORI	6
2.1 Kisaran Frekuensi RFID.....	6
2.2 Karakteristik Antena Mikrostrip	7
2.2.1 Karakteristik Dasar Antena Microstrip.....	7
2.2.2 Metode Pencatuan	10

2.3	Parameter Antena	15
2.3.1	Frekuensi Resonansi.....	15
2.3.2	Pola Radiasi.....	17
2.3.3	Bandwidth.....	17
2.3.4	Gain	18
2.3.5	Return Loss.....	19
2.4	Elemen Peradiasi HF.....	20
2.5	Teknik Pembuatan Antena Multiband.....	23
BAB 3	PERANCANGAN ANTENA MULTIBAND UNTUK RFID	26
3.1	Penentuan Jenis Substrat	28
3.2	Perancangan Lebar Feed Line	29
3.3	Karakterisasi Antena UHF	30
3.3.1	Karakterisasi Slot dan Patch.....	32
3.3.1.1	Karakterisasi Panjang Slot.....	33
3.3.1.2	Karakterisasi Lebar Slot	36
3.3.1.3	Karakterisasi Lebar Patch.....	38
3.3.1.4	Karakterisasi Panjang Patch	40
3.3.2	Karakterisasi Feed Line.....	42
3.3.2.1	Karakterisasi Posisi Feed Line	42
3.3.2.2	Karakterisasi Panjang Inset Feed Line	44
3.4	Karakterisasi Antena HF	46
3.5	Karakterisasi Patch Spiral	48
3.5.1	Karakterisasi Jumlah Putaran	49
3.5.2	Karakterisasi Posisi Elemen Spiral.....	50

3.5.3 Modifikasi Feed Line Patch Spiral dengan Quarter Transformer	52
3.6 Hasil Akhir Simulasi	54
BAB 4 PENGUKURAN ANTENA DAN ANALISA	58
4.1 Prosedur Pengukuran Antena.....	58
4.2 Pengukuran Port Tunggal	58
4.2.1 Hasil Pengukuran Return Loss dan VSWR.....	59
4.2.2 Hasil Pengukuran Impedansi Masukan	64
4.3 Pengukuran Pola Radiasi	65
4.4 Pengukuran Axial Ratio.....	68
4.5 Pengukuran Gain absolut	69
4.5 Analisa Hasil Pengukuran Return Loss	72
4.6 Analisa Hasil Pengukuran Pola Radiasi.....	73
4.7 Analisa Hasil Pengukuran Gain	74
BAB 5 KESIMPULAN	75
DAFTAR ACUAN	77
LAMPIRAN A.....	79
LAMPIRAN B.....	83

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Pembagian frekuensi RFID berdasarkan jangkauannya	6
Tabel 2.2	Pembagian frekuensi RFID berdasarkan aplikasinya	7
Tabel 2.3	Perbandingan induktansi hasil pengukuran dan metode perhitungan .	23
Tabel 3.1	Spesifikasi substrat yang digunakan	29
Tabel 3.2	Return loss dan frekuensi kerja antena frekuensi tunggal	32
Tabel 3.3	Return loss dan frekuensi kerja antena saat penambahan sebuah slot.....	33
Tabel 3.4	Return loss dan frekuensi kerja saat panjang slot 45.5 mm	36
Tabel 3.5	Return loss dan frekuensi kerja saat lebar slot 91mm.....	38
Tabel 3.6	Return loss dan frekuensi kerja saat panjang <i>patch</i> 134.47 mm	40
Tabel 3.7	Return loss dan frekuensi kerja saat lebar <i>patch</i> 70.4 mm.....	42
Tabel 3.8	Return loss dan frekuensi kerja saat posisi <i>feed line</i> -97 mm	44
Tabel 3.9	Return loss dan frekuensi kerja saat inset kanan dan kiri sebesar 31.67 mm dan 39.3 mm	46
Tabel 3.10	Dimensi panjang dan lebar antena 433, 923, dan 2450 MHz	48
Tabel 3.11	Return loss dan frekuensi kerja antena 433, 923, dan 2450 MHz.....	48
Tabel 3.12	Bandwidth dan frekuensi kerja antena 433, 923, dan 2450 MHz	48
Tabel 3.13	Dimensi panjang, lebar, dan posisi antena akhir rancangan	51
Tabel 3.14	Bandwidth dan frekuensi kerja simulasi akhir	53
Tabel 4.1	Bandwidth dan frekuensi kerja hasil pengukuran.....	61

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Gambar Antena [7]	3
Gambar 2.1	Antena mikrostrip[13]	8
Gambar 2.2	Modifikasi bentuk <i>patch</i> antena mikrostrip[14]	8
Gambar 2.3	Distribusi Muatan dan Kerapatan Arus Antena Mikrostrip[14].....	9
Gambar 2.4	<i>Gap-coupled patch</i> [16].....	11
Gambar 2.5	<i>Direct coupled patch</i> [16].....	11
Gambar 2.6	<i>Proximity-coupled arrays</i> [16]	12
Gambar 2.7	<i>Direct-coupled arrays</i> [16]	13
Gambar 2.8	Probe-coupled mikrostrip <i>patch</i> [16]	13
Gambar 2.9	Aperture-coupled <i>patch</i> antena [16]	14
Gambar 2.10	<i>Electromagnetically coupled patches</i> [16].....	15
Gambar 2.11	Pola radiasi antena[13]	17
Gambar 2.12	Konduktor spiral dengan 1 putaran [17]	21
Gambar 2.13	Teknik <i>orthogonal mode multi-frequency</i> [18]	24
Gambar 2.14	Teknik multi-patch multi-frequency [18]	25
Gambar 2.15	Teknik <i>reactively loaded</i> [18]	25
Gambar 3.1	Diagram alir proses perancangan antena multiband.....	27
Gambar 3.2	Antena frekuensi tunggal	31
Gambar 3.3	Return loss antena frekuensi tunggal	31
Gambar 3.4	Antena dengan penambahan sebuah slot di tengah <i>patch</i>	32
Gambar 3.5	Return loss saat penambahan sebuah slot.....	23

Gambar 3.6	Return loss saat panjang slot L_s divariasikan	34
Gambar 3.7	Return loss optimetric panjang slot.....	34
Gambar 3.8	Return loss saat panjang slot 45.5mm.....	35
Gambar 3.9	Return loss panjang slot 24.7, 68.9, 91, dan 127.8mm	36
Gambar 3.10	Return loss optimetric lebar slot	37
Gambar 3.11	Return loss saat lebar slot 91 mm	37
Gambar 3.12	Antena saat proses karakterisasi lebar <i>patch</i>	38
Gambar 3.13	Return loss optimetric lebar <i>patch</i>	39
Gambar 3.14	Return loss saat panjang <i>patch</i> 134.47mm	40
Gambar 3.15	Antena saat proses karakterisasi panjang <i>patch</i>	41
Gambar 3.16	Return loss optimetric panjang <i>patch</i>	41
Gambar 3.17	Return loss saat lebar <i>patch</i> 70.4 mm	42
Gambar 3.18	Antena saat proses karakterisasi posisi <i>feed line</i>	43
Gambar 3.19	Return loss optimetric posisi <i>feed line</i>	43
Gambar 3.20	Return loss saat posisi <i>feed line</i> -97 mm.....	44
Gambar 3.21	Antena saat proses karakterisasi panjang inset <i>feed line</i>	45
Gambar 3.22	Return loss optimetric panjang inset kanan dan kiri	45
Gambar 3.23	Return loss saat inset kanan dan kiri sebesar 31.67 dan 39.3mm....	46
Gambar 3.24	Return loss antena 433, 923, dan 2450 MHz.....	47
Gambar 3.25	Antena 433, 923, dan 2450 MHz.	48
Gambar 3.26	(a)antena dengan elemen spiral 15 putaran (b) antena dengan elemn spiral 26 putaran.....	49
Gambar 3.27	Return loss elemen spiral 15 dan 26 putaran	50

Gambar 3.28	Return loss optimetric posisi feed (a)pada kisaran frekuensi 5-30 MHz (b) pada kisaran frekuensi 300-2500 MHz.....	51
Gambar 3.29	Return loss optimetric posisi <i>feed line</i> pada frekuensi 433 MHz	51
Gambar 3.30	Gambar rangkaian ganti impedansi dengan transformer seperempat panjang gelombang.....	53
Gambar 3.31	Gambar antenna (kiri) dan return loss (kanan) simulasi (a) sebelum ditambahkan transformer (b) setelah ditambahkan transformer.	53
Gambar 3.32	Gambar rancangan antenna akhir secara keseluruhan(kiri) dan elemen spiralnya dengan 39 putaran (kanan)	55
Gambar 3.33	Return loss antenna multiband untuk aplikasi RFID (a)13,56 MHz (b) 433 MHz (c) 923 MHz	56
Gambar 4.1	Konfigurasi Pengukuran Port Tunggal.....	59
Gambar 4.2	Return loss hasil pengukuran (a)frekuensi 13.56 MHz (b)frekuensi 433 MHz(c) 923 MHz (d) 2450 MHz.	60
Gambar 4.3	VSWR hasil pengukuran (a)frekuensi 13,56 MHz (b) 433 MHz (c) 923 MHz.....	63
Gambar 4.4	Impedansi masukan hasil pengngukuran (a)frekuensi 13,56 MHz (b) frekuensi 433 MHz (c) 923 MHz.....	65
Gambar 4.5	Medan E co dan E cross frekuensi 13,56 MHz.....	66
Gambar 4.6	Medan E cross dan E co frekuensi 433 MHz.....	67
Gambar 4.7	Medan H cross dan H Co frekuensi 13.56 MHz.....	67
Gambar 4.8	Medan H cross dan H Co frekuensi 433 MHz.....	68
Gambar 4.9	Axial Ratio (a) frekuensi 13.54-13.58 MHz (b) frekuensi 432 -435 MHz	70
Gambar 4.10	Hasil pengukuran gain frekuensi (a)13,3-13,8 MHz (b)431-436 MHz...73	
Gambar 4.11	Perangkat lunak HFSS dalam keadaan <i>out of memory</i>	74

DAFTAR SINGKATAN

BW	Bandwidth
cm	centimeter
dB	Decibel
f	frequency
HFSS	High Frequency Structure Simulator
ISO	Internasional Standard Organizsation
mm	milimeter
PC	Personal Computer
PCAAD	Personal Computer Aided Antena Design
RFID	Radio Frequency Identification
VSWR	Voltage Standing Wave Ratio

DAFTAR ISTILAH

Z_{in}	Input Impedance
Z_o	Impedansi Saluran
Z_l	Impedansi Beban
V	Tegangan
I	Arus
f	Frekuensi
f_h	Frekuensi tertinggi
f_l	Frekuensi terendah
f_c	Frekuensi Tengah
U	Intensitas Radiasi
D	Directivity
λ	Panjang gelombang
λ_o	Panjang gelombang di ruang hampa
ϵ_r	Perimitivitas
$\tan \delta$	Dielectric loss tangent

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kemajuan teknologi yang berkembang pesat telah mampu mengantarkan manusia sampai pada suatu peradaban yang tinggi. Saat ini, hasil-hasil kemajuan teknologi telah banyak dinikmati dan telah mengisi hampir seluruh aspek kehidupan seseorang. Kenyataan ini menjadikan manusia merasa perlu untuk terus mengembangkan teknologi agar semakin memudahkan manusia dalam menjalani kehidupan.

Radio Frequency Identification (RFID) merupakan salah satu contoh produk teknologi yang sangat pesat perkembangannya. RFID merupakan suatu alat untuk mengidentifikasi dan merekam jejak (tracking) suatu objek dengan menggunakan transmisi frekuensi radio. Sebuah sistem RFID terdiri atas reader dan tag (transponder). Reader menggunakan sinyal radio untuk berkomunikasi dengan tag. Terdapat dua jenis tag RFID yaitu, *active tag (battery powered)* dan *passive tag (powered by the reader's signals)* [1]. Teknologi ini sudah diimplementasikan pada banyak aplikasi kehidupan manusia diantaranya, *inventory management, object tracking, retail checkout, access control* dan *theft detection*.

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

Kemajuan teknologi RFID sangat erat kaitannya dengan aspek ilmu pengetahuan yang ada di dalamnya. Salah satu objek pengetahuan yang turut berperan mendorong pengembangan sistem ini adalah pengetahuan tentang antena.

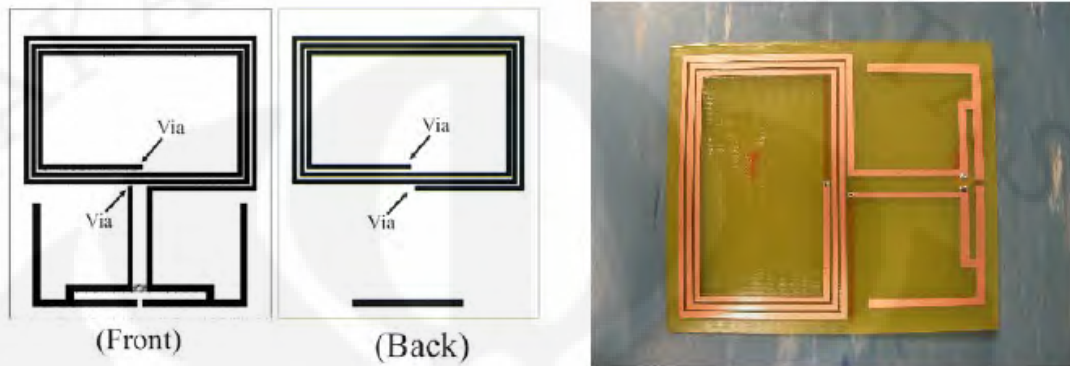
Antena merupakan salah satu komponen pokok yang terdapat dalam sebuah sistem RFID. Berbagai teori dan modifikasi pada antena RFID baru-baru ini dapat menjadikannya lebih sederhana, handal, efisien, dan memiliki daya guna yang lebih tinggi dari kondisi sebelumnya.

Kebutuhan terhadap antena yang memiliki *low profile* untuk berbagai aplikasi, khususnya RFID, sangatlah tinggi. Antena mikrostrip merupakan salah satu antena yang banyak diimplementasikan pada sistem RFID. Karakteristik geometrinya yang sederhana dan *compact* membuat antena ini menjadi salah satu jenis antena yang menarik perhatian dari berbagai pihak, baik kalangan akademisi maupun industri untuk terus mengembangkannya.

Salah satu objek penelitian yang masih gencar untuk dikembangkan saat ini adalah implementasi antena multiband. Penggunaan antena multiband pada sebuah sistem RFID dimaksudkan untuk meningkatkan efisiensi sistem tersebut secara ekonomi. Dengan pengimplementasian antena multiband pada sebuah sistem RFID, permasalahan yang timbul akibat perbedaan alokasi frekuensi RFID pada setiap negara dapat diatasi sehingga memudahkan produsen dalam melakukan pemasaran produknya. Selain itu, adanya antena yang dapat beroperasi pada banyak frekuensi dapat menghemat biaya produksi suatu sistem aplikasi. Hal ini dikarenakan seseorang tidak perlu untuk mengimplementasikan tiga buah antena yang berbeda frekuensi kerjanya untuk suatu aplikasi yang memerlukan tiga buah frekuensi kerja yang berbeda.

Penelitian terdahulu yang terkait dengan perancangan antena multiband sudah beberapa kali dilakukan. Teknik yang digunakan pun juga bermacam-macam seperti penggunaan dua buah stub koaksial [3], notch segiempat[4], pin[5], enam buah slot tambahan[6].. Pada [3]-[6], hanya didapatkan dua buah frekuensi yang sebagian besar hanya bekerja pada *Ultra High Frequency* (UHF). Akan tetapi, sedikit sekali penelitian antena multiband untuk aplikasi RFID yang bekerja pada kisaran HF dan UHF. Terdapat sebuah penelitian sebelumnya mengenai perancangan antena multiband untuk aplikasi RFID pada kisaran frekuensi HF dan UHF. Antena [7] ini pun hanya bekerja pada dua buah frekuensi saja, yaitu 13.56 dan 923

MHz. Perancangan antenna [7] dilakukan dengan menyusun antenna spiral pada sisi muka dan sisi belakang dan sebuah antenna dipol pada sisi muka. Berikut Gambar 1.1 yang menunjukkan rancangan antenna [7].



Gambar 1.1 antenna [7]

Berbeda dengan [7], pada skripsi ini Penulis menggunakan dua buah teknik untuk mendapatkan kondisi multiband, yaitu penggunaan sebuah slot tambahan dan penyusunan dua buah elemen peradiasi pada satu layer. Penggunaan kedua teknik, seperti yang akan dibahas berikutnya dalam skripsi ini, lebih sederhana dibandingkan dengan [1]-[7]. Selain cukup mudah dalam perancangannya, fabrikasi yang dilakukan untuk antenna yang dibahas dalam skripsi ini pun cukup mudah juga untuk dilakukan. Selain itu, perbedaan lainnya adalah pada banyaknya frekuensi yang ingin dicapai. Antena yang dibahas dalam skripsi ini, ditujukan agar dapat bekerja pada tiga buah frekuensi kerja, yaitu 13,56 , 433 dan 923 MHz.

Oleh karena itu, Penulis merasa tertarik untuk berperan dalam pengembangan teknologi ini untuk memenuhi kebutuhan-kebutuhan seperti yang telah disebutkan sebelumnya. Penulis berharap dengan adanya kegiatan penelitian ini dapat memberikan pengaruh yang besar dalam rangka pengembangan dan penerapan pengetahuan keteknikan khususnya pada hal pengembangan teknologi antenna mikrostrip.

1.2 Tujuan

Tujuan dari skripsi ini adalah melakukan rancang bangun antenna mikrostrip yang bekerja pada tiga frekuensi (*triple-band*) untuk standar RFID yaitu pada frekuensi 13,56, 433, dan 923 MHz dengan bandwidth pada masing-masing frekuensi 13,55 – 13,57 untuk frekuensi 13,56 MHz berdasarkan [8], 433.05 – 434,79 MHz untuk frekuensi 433 MHz berdasarkan IEEE 802.15.4f [9], dan 923 - 925 MHz untuk frekuensi 923 MHz berdasarkan KEPDIRJEN No. 221/DIRJEN/2007[10].

1.3 Batasan Masalah

Hasil yang ingin dicapai oleh Penulis dalam penelitian ini adalah didapatkannya sebuah antenna jenis mikrostrip yang dapat bekerja pada tiga frekuensi kerja yaitu 13,56, 433, dan 923 MHz dengan standar Return Loss < -10 dB.

1.4 Sistematika Penulisan

Penulis melakukan Penulisan skripsi ini dengan melakukan berbagai studi literatur yang terkait dengan pembahasan skripsi ini. Berikut sistematika yang dilakukan Penulis sampai pada Penulisan skripsi ini selesai:

BAB 1 PENDAHULUAN

Pada bab ini berisikan penjelasan mengenai latar belakang (termasuk tujuan) Penulis memilih tema dan judul Penulisan skripsi ini, pembatasan masalah, dan sistematika dari skripsi skripsi ini.

BAB 2 FREKUENSI RFID DAN ANTENA MIKROSTRIP

Pada bab ini, dijelaskan mengenai teori dasar yang melandasi Penulisan skripsi ini. Hal-hal tersebut diantaranya adalah kisaran frekuensi RFID, parameter-parameter suatu antenna, dan penjelasan mengenai teknik yang dapat dilakukan untuk membuat suatu antenna mikrostrip yang memiliki banyak frekuensi kerja.

BAB 3 PERANCANGAN ANTENA MULTIBAND RFID

Pada bagian ini akan dijelaskan proses perancangan antenna multiband yang beroperasi pada tiga buah frekuensi RFID, yaitu 13,56, 433, dan 923 MHz. Bagian ini

juga menjelaskan karakterisasi tiap parameter baik dimensi maupun posisinya yang disertai dengan proses perubahannya.

BAB 4 PENGUKURAN ANTENA DAN ANALISA

Bab ini akan dijelaskan mengenai hasil pengukuran terhadap rancangan antenna yang didapatkan oleh Penulis dan analisisnya terhadap hasil simulasi yang didapatkan

BAB 5 KESIMPULAN

Bab ini berisikan kesimpulan yang dapat diambil berdasarkan hasil analisa antenna yang dikaji berdasarkan pengukuran dan simulasi.

BAB 2

FREKUENSI RFID DAN ANTENA MIKROSTRIP

2.1 Kisaran Frekuensi RFID

Dalam perancangan sebuah antena, parameter yang paling utama untuk diperhatikan adalah frekuensi kerja dari antena tersebut. Antena yang akan dirancang harus memiliki suatu kisaran frekuensi tertentu yang menunjukkan bahwa antena tersebut bekerja atau hanya akan mengenali sinyal elektromagnetik dengan frekuensi kerja yang diinginkan tersebut. Pemilihan frekuensi kerja ini didasarkan pada suatu standar tertentu yang telah disepakati bersama secara internasional maupun berdasarkan regulasi negara tersebut, dan juga berdasarkan tujuan pembuatan antena tersebut. Standar regulasi yang terkait alokasi frekuensi sangat diperlukan agar tidak terjadi interferensi antar aplikasi yang berjalan. Namun demikian, kendala yang masih dihadapi sampai saat ini adalah adanya regulasi yang masih berbeda pada beberapa negara dalam penetapan standar frekuensi kerja untuk suatu aplikasi tertentu.

Jika dilihat berdasarkan jangkauan sinyal yang dapat ditransmisikan, pembagian frekuensi RFID ditunjukkan oleh Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Pembagian frekuensi RFID berdasarkan jangkauannya[11]

Jenis jangkauan	Frekuensi RFID	Jangkauan
Close-couplings	Frekuensi rendah s/d 30 MHz	0.01 meter
Remote-coupling	Kurang dari 135 KHz	1.5 meter
Remote-coupling	13,56 MHz (proximity)	0.1 meter
Remote-coupling	13,56 MHz (vicinity)	0.5 s/d 3 meter
Long-kisaran	433, 868 & 923 MHz	0.5 s/d 50 meter
Long-kisaran	2.45 GHz	10 s/d 100 meter
Long-kisaran	5.8 GHz	10 s/d 1,000 meter

Jika dilihat berdasarkan jenis aplikasi yang dijalankan, kisaran frekuensi yang dipakai ditunjukkan oleh Tabel 2.2

Tabel 2.2 Pembagian frekuensi RFID berdasarkan aplikasinya[12]

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 1RF		electronic product code
NFC ECMA 340		mobile near-field communications (smartcard payment)
ISO 18000-7	433 MHz	logistics
ISO 18000-6	860 to 960 MHz	logistics
EPC Class 1 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

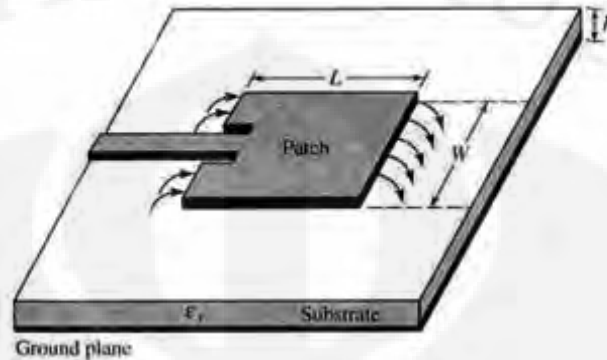
Terkait dengan frekuensi yang ingin dicapai pada perancangan antenna ini, berdasarkan Tabel 2.1 dan 2.2 frekuensi 13,56, 433 dan 923 MHz mempunyai jangkauan area sekitar 0,5 sampai 50 m dan banyak digunakan untuk keperluan logistik. Terlihat pada Tabel 2.2, pada frekuensi 13,56 sering dipakai untuk berbagai jenis aplikasi, seperti *smartcard paymen, electronic product code, proximity cards* dan keperluan logistik, dan pada frekuensi 433 dan 923 MHz sering dipakai untuk keperluan logistik.

2.2 Karakteristik Antena Mikrostrip

2.2.1 Karakteristik Dasar Antena Mikrostrip

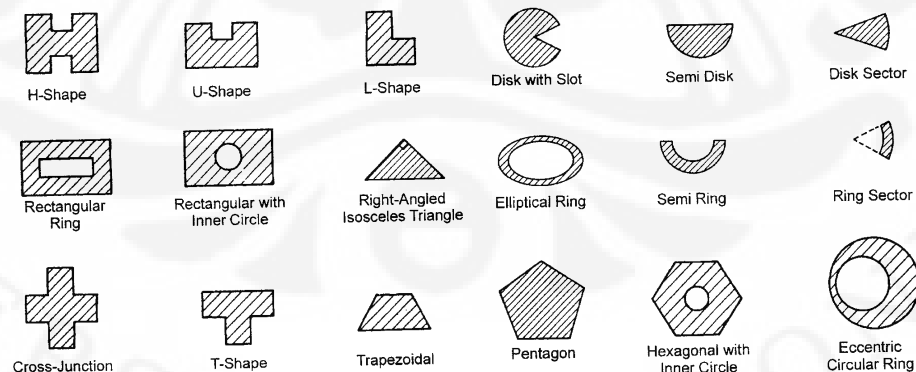
Perkembangan antenna mikrostrip didasarkan pada ide untuk mendapatkan teknologi *printed circuit* yang tidak hanya diterapkan pada komponen rangkaian dan

saluran transmisi tetapi juga untuk elemen peradiasi suatu sistem elektronik. Bentuk antenna mikrostrip secara umum ditunjukkan dengan Gambar 2.1 .



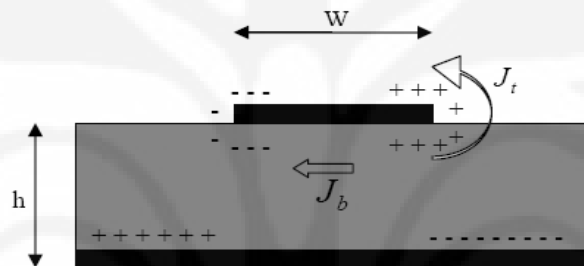
Gambar 2.1 Antena mikrostrip [13]

Terlihat pada Gambar 2.1 struktur dasar antenna mikrostrip yang terdiri atas lapisan dielektrik atau substrat dengan nilai permitivitas tertentu yang berada diantara dua lapisan konduktor pada lapisan bawah dan atasnya. Lapisan konduktor atas dinamakan *patch* yang berfungsi sebagai elemen peradiasi sedangkan lapisan konduktor bawah berfungsi sebagai *ground*. Bentuk dari *patch* dapat bermacam-macam, seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2.2 . *Patch* antenna terhubung dengan *feed line* yang berfungsi sebagai saluran pencatu antenna. Sama seperti *patch*, mekanisme pencatuan antenna mikrostrip juga bermacam-macam seperti yang akan dijelaskan pada subbab selanjutnya.



Gambar 2.2 Modifikasi bentuk *patch* antenna mikrostrip[14]

Radiasi dari sebuah saluran mikrostrip, sebuah struktur yang sama dengan antenna mikrostrip dapat tereduksi jika menggunakan substrat yang tipis dan konstanta dielektrik yang tinggi. Di lain pihak, radiasi dari antenna mikrostrip mendorong efisiensi radiasi yang lebih baik. Oleh karena itu, substrat yang tebal dengan permitivitas yang rendah umumnya digunakan dalam pembuatan antenna mikrostrip. Radiasi dari sebuah antenna mikrostrip dapat ditentukan dari distribusi medan antara *patch* peradiasi dan *ground plane* [15]. Dengan kata lain, radiasi pada antenna mikrostrip dapat digambarkan sebagai bentuk distribusi arus permukaan (surface current) pada metal *patch*.



Gambar 2.3. Distribusi Muatan dan Kerapatan Arus pada Antena Mikrostrip [14]

Dari Gambar 2.3 dapat kita asumsikan sebuah *patch* antenna mikrostrip yang telah dihubungkan dengan sebuah sumber. Pemberian daya pada *patch* akan menghasilkan sebuah distribusi muatan listrik pada permukaan atas dan bawah dari *patch*, muatan listrik tersebut sama baik kualitasnya dengan muatan pada *ground plane*. Distribusi muatan ini diatur dengan dua mekanisme yaitu mekanisme tarik menarik dan mekanisme tolak menolak. Gaya tolak menolak antara muatan di bawah *patch* peradiasi cenderung mendorong sebagian muatan di bawah *patch* mengelilingi tepi dari *patch* menuju permukaan *patch*. Pergerakan muatan ini menghasilkan hubungan kerapatan arus J_b dan J_t di bawah dan atas permukaan *patch* seperti ditunjukkan pada gambar di atas. Pada pembuatan antenna mikrostrip umumnya rasio h/w sangat kecil, sehingga gaya tarik menarik diantara muatan mendominasi dan hampir sebagian konsentrasi muatan dan aliran arus terdapat di bawah *patch* peradiasi. Sejumlah kecil arus terdapat di bagian tepi dari *patch* mengalir menuju permukaan dari *patch* dan menghasilkan medan magnet yang lemah, tangensial

terhadap tepi dari *patch*. Karena itu, dapat diambil pendekatan sederhana bahwa medan magnet tangensial adalah nol dan terdapat empat buah dinding magnet yang mengelilingi *patch* dari antena mikrostrip. Asumsi ini memiliki validitas yang cukup baik untuk substrat yang tipis dengan konstanta dielektrik yang besar. Begitu juga, ketika substrat yang digunakan sangat tipis dibandingkan dengan panjang gelombang ($h \ll \lambda$) di dalam dielektrik, variasi medan sepanjang h (*height*) dapat dianggap konstan dan medan listrik mendekati normal pada permukaan *patch* [13][15].

Seperti yang telah disebutkan sebelumnya, antena mikrostrip ini mempunyai beberapa keuntungan apabila dibandingkan dengan antena lainnya [13], yaitu diantaranya:

1. *low profile* (mempunyai ukuran yang kecil dan ringan)
2. sederhana dan tidak mahal dalam proses pembuatannya
3. secara mekanik lebih tahan terhadap permukaan yang keras
4. dapat dibuat untuk menghasilkan beberapa frekuensi resonansi, polarisasi, dan pola radiasi dengan mengatur bentuk dan dimensi dari *patch* dan pencatunya
5. dapat disesuaikan dalam bentuk permukaan yang planar atau nonplanar

Akan tetapi selain kelebihan-kelebihan yang telah disebutkan diatas, antena mikrostrip juga memiliki beberapa kekurangan[13], yaitu:

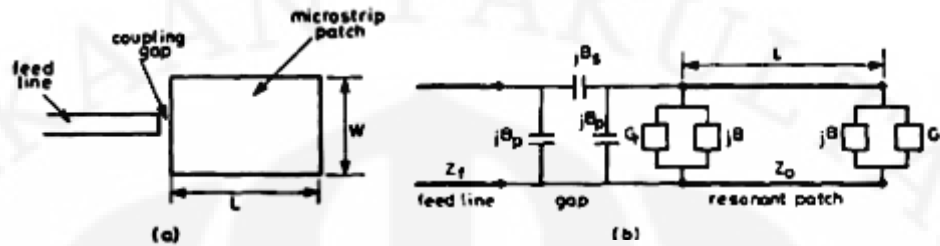
1. mempunyai efisiensi yang rendah
2. mempunyai daya yang rendah
3. dapat menimbulkan *surface wave*
4. memiliki bandwidth yang sempit
5. memiliki gain yang rendah

2.2.2 Metode Pencatuan

Terdapat berbagai metode pencatuan yang dapat diimplementasikan pada antena mikrostrip, diantaranya adalah

(a) *Co planar coupling to a single patch*

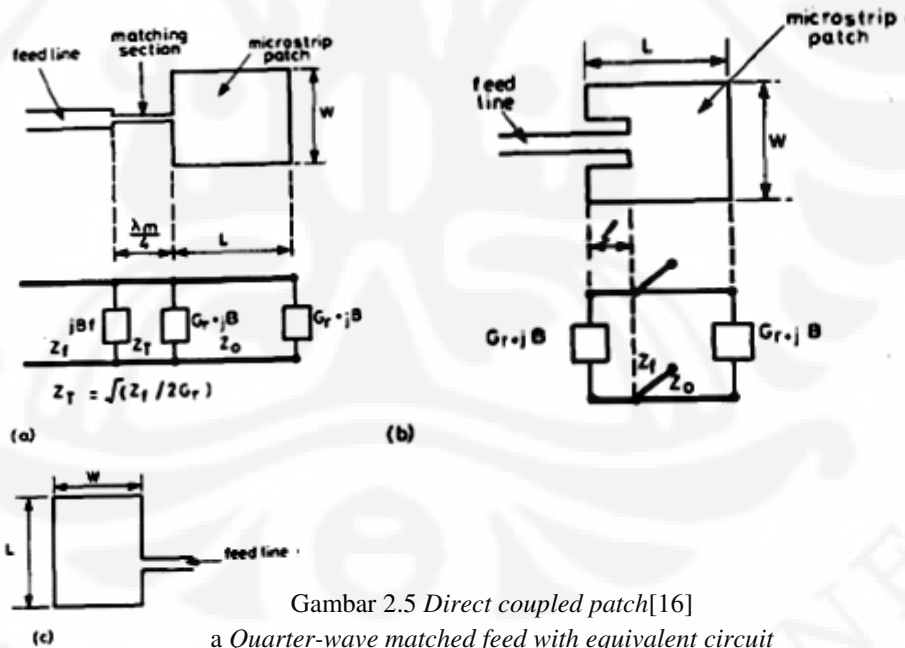
- o *Gap coupled patch*



Gambar 2.4 Gap-coupled patch[16]
 a Patch
 b Equivalent-circuit

Seperti yang terlihat pada Gambar 2.4(a), pencatuan jenis ini dilakukan dengan membuat suatu jarak (*gap*) antara saluran transmisi dan elemen peradiasi dari mikrostrip sehingga saluran transmisi akan terhubung secara elektromagnetik dengan elemen peradiasi. Gambar 2.4(b) menunjukkan rangkaian ganti jenis pencatuan ini.

- o *Direct coupled patch*



Gambar 2.5 Direct coupled patch[16]
 a *Quarter-wave matched feed with equivalent circuit*
 b *Inset feed with equivalent circuit*
 c *Non-radiating edge feed*

Terlihat pada Gambar 2.5 bahwa jenis pencatuan *direct coupled patch* cukup sederhana. Jika *feed line* terhubung secara langsung dengan *patch*, *critical coupling*

pada frekuensi resonansi dapat diperoleh dengan menggunakan salah satu konfigurasi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.5. Pada Gambar 2.5 (a) menunjukkan *transformer* seperempat gelombang impedansi Z_T antara *feed line* dan *patch* segiempat.

Pada Gambar 2.5(b) menunjukkan konfigurasi sebuah *inset feed*. Untuk *patch* segiempat setengah panjang gelombang, nilai impedansi masukan Z_{in} pada suatu jarak dari tepi *patch* dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (2.1) [16].

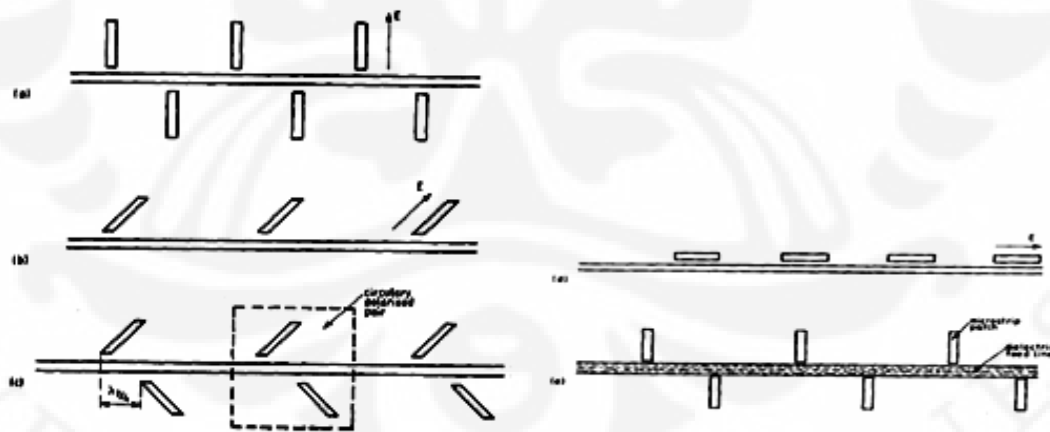
$$Z_{in} = \frac{R_r^2 + Z_o^2 \tan^2(\beta l)}{2R_r(1 + \tan^2(\beta l))} \quad (2.1)$$

$$\text{dengan, } \beta = \frac{2\pi}{\lambda_m} \quad (2.2)$$

Dimana R_r merupakan resistansi elemen peradiasi, Z_o merupakan impedansi karakteristik dari saluran transmisi, dan λ_m merupakan panjang gelombang dalam mikrostrip line.

(b) *Series array co planar coupling*

o *Proximity coupling*

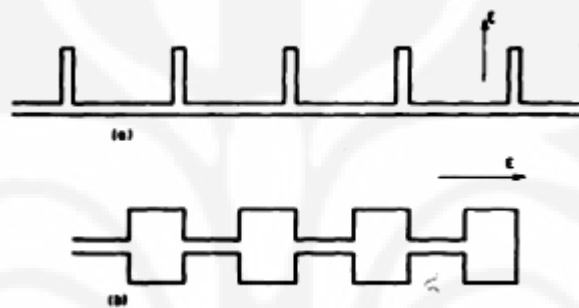


Gambar 2.6 *Proximity-coupled arrays*[16]

- a *End-coupled parasitic patches*
- b *45° inclined parasitic patches*
- c *Herringbone array of circularly polarized patch pairs*
- d *Edge-coupled parasitic patches*
- e *Mikrostrip patches coupled to dielectric insular guides*

Diantara jenis pencatuan yang dijelaskan pada tulisan ini, metode proximity coupling memiliki bandwidth yang paling besar (mencapai 13%). Karakteristik lain metode pencatuan ini adalah mudah dalam pemodelannya dan memiliki *spurious radiation* yang rendah, tetapi fabrikasinya cukup sulit untuk dilakukan. Pengaturan matchnya dapat dilakukan dengan mengatur panjang dari *feeding stub* dan mengatur rasio antara panjang dan lebar dari *patch*nya [13].

○ *Direct coupling*



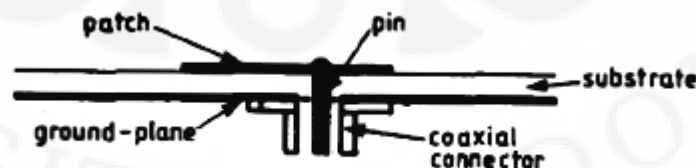
Gambar 2.7 *Direct-coupled arrays*[16]

a *Comb-line array*

b *Cascaded patch array*

Metode direct coupling menghubungkan secara langsung setiap elemen peradiasi yang tersusun seperti yang terlihat pada Gambar 2.7, yaitu tersusun membentuk *comb-line* (Gambar 2.7(a)) dan secara *cascade* (Gambar 2.7(b)). pada susunan *cascade* setiap elemen peradiasi yang berimpedansi rendah saling terhubung dengan *feed line* yang berimpedansi tinggi.

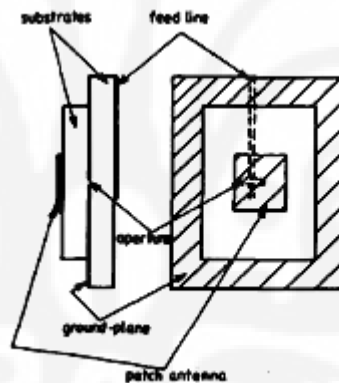
(c) *Probe coupling*



Gambar 2.8 Probe-coupled mikrostrip *patch*[16]

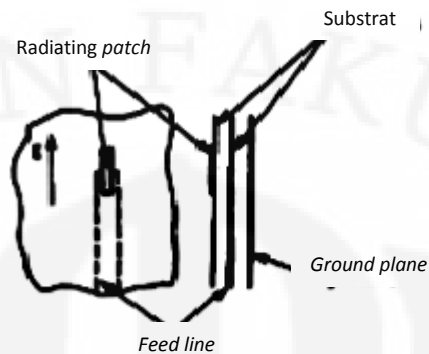
Metode pencatutan probe koaksial juga sering digunakan dalam disain antenna mikrostrip. Metode pencatutan jenis ini adalah dengan menghubungkan konduktor dalam pada kabel koaksial dengan *patch* antenna dan mengkoneksikan konduktor luar kabel koaksial dengan *ground plane* antenna. Pada metode ini energi elektromagnetik akan dipindahkan dari sumber pencatu ke daerah dibawah *patch*. Beberapa dari energi ini akan melewati batas *patch* untuk selanjutnya diradiasikan ke udara bebas. Beberapa karakteristik pencatutan jenis ini adalah kondisi *matching* dan fabrikasinya mudah, memiliki *spurious radiation* yang rendah, memiliki bandwidth yang sempit, dan pencatutan jenis ini lebih sulit untuk dimodelkan terutama untuk substrat yang tebal ($h > 0.02\lambda$).[13]

(d) *Aperture coupling*



Gambar 2.9 Aperture-coupled *patch* antenna[16]

Terlihat pada Gambar 2.9 bahwa *aperture coupling* terdiri atas dua buah substrat yang terpisahkan oleh sebuah *ground plane*. Pada dasar substrat yang bawah terdapat sebuah mikrostrip *feed line* yang memiliki energi terkopel dengan *patch* melalui suatu slot pada *ground plane* yang memisahkan kedua substrat tersebut. Mekanisme seperti ini akan memberikan optimisasi yang independen pada mekanisme pencatuannya dan elemen radiasinya. Diantara jenis pencatutan, *aperture coupling* merupakan jenis pencatutan yang paling sulit dalam hal fabrikasi.

(e) *Electromagnetic coupling*Gambar 2.10 *Electromagnetically coupled patches*[16]

Sama seperti pencatuan *aperture coupling*, jenis pencatuan *electromagnetic coupling* juga melibatkan dua lapisan substrat. Perbedaan struktur antara keduanya adalah susunan *ground*, elemen peradiasi dan *feed* nya. Seperti yang terlihat pada Gambar 2.10, elemen peradiasi terdapat pada lapisan paling atas, dan *ground* terletak pada lapisan paling bawah, sedangkan *feed*nya terdapat pada lapisan tengah antara kedua substrat.

Pada tulisan ini, Penulis menggunakan jenis pencatuan *series array coplanar coupling* dengan metode *direct coupling*. Pencatuan jenis ini dipandang relatif lebih mudah dibandingkan dengan metode pencatuan lainnya baik saat proses perancangan maupun saat proses fabrikasi.

2.3 Parameter Antena

Kinerja dari suatu antena terlihat pada parameter-parameter yang dimilikinya. Ada banyak parameter dari antena. Berikut akan dijelaskan beberapa parameter tersebut.

2.3.1 Frekuensi Resonansi

Frekuensi resonansi merupakan salah satu parameter terpenting yang menentukan kinerja dari suatu antena. Untuk sebuah antena mikrostrip seperti Gambar 2.1 dengan sebuah elemen peradiasi segiempat, frekuensi resonansi yang diinginkan bisa didapatkan dengan mengatur panjang dan lebar elemen peradiasi yang bersesuaian dengannya. Berikut proses perhitungannya:

Untuk mendapatkan lebar elemen peradiasi W_p digunakan Persamaan (2.3),

Universitas Indonesia

$$W_p = \frac{v_0}{2fr} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} \quad (2.3)$$

W_p merupakan lebar elemen peradiasi, f_r merupakan frekuensi resonansi antenna, v_0 merupakan kecepatan cahaya di ruang hampa, dan ϵ_r merupakan permitivitas dari bahan substrat.

Untuk mendapatkan panjang elemen peradiasi, terlebih dahulu dihitung nilai konstanta dielektrik efektif dan ΔL sebagai akibat dari adanya *fringing effect*, yaitu dengan menggunakan Persamaan (2.4) dan (2.5)

$$\epsilon_{\text{reff}} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[1 + 12 \frac{h}{W} \right]^{-\frac{1}{2}} \quad (2.4)$$

$$\Delta L = h \cdot 0,412 \cdot \frac{(\epsilon_{\text{reff}} + 0,3) \left(\frac{W}{h} + 0,264 \right)}{(\epsilon_{\text{reff}} + 0,3) \left(\frac{W}{h} + 0,8 \right)} \quad (2.5)$$

Dengan h merupakan ketinggian substrat dan W adalah lebar *patch*

Dengan demikian, panjang elemen peradiasi L_p dapat ditentukan dengan menggunakan Persamaan (2.6) sebagai berikut:

$$L_p = \frac{v_0}{2fr \sqrt{\epsilon_{\text{reff}}}} - 2\Delta L \quad (2.6)$$

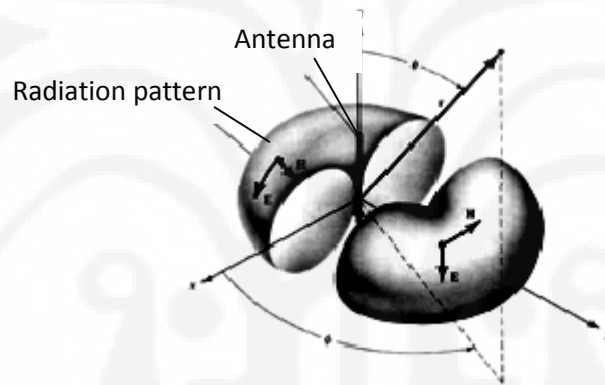
Dilihat dari Persamaan (2.3) dan (2.6) nilai dari frekuensi resonansi berbanding terbalik dengan nilai dari lebar dan panjang elemen peradiasi sehingga untuk mendapatkan frekuensi kerja yang rendah dibutuhkan luas elemen peradiasi yang lebih besar.

Rentang frekuensi kerja dari suatu antenna dapat dilihat dari grafik VSWR dan grafik return loss. Rentang frekuensi dari suatu antenna dapat diketahui dari grafik VSWR-nya (standar yang bisaanya dipakai adalah $VSWR \leq 2$). Sementara itu,

apabila menggunakan grafik return loss, rentang frekuensi kerja dari suatu antena dapat dilihat ketika nilai return lossnya $\leq -9,54$ dB.

2.3.2 Pola Radiasi

Pola radiasi adalah fungsi matematika atau representasi grafik dari sifat radiasi antena sebagai fungsi ruang [13]. 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. Contoh Gambar dari pola radiasi antena dapat dilihat dari Gambar 2.11.



Gambar 2.11 Pola radiasi antena[13]

2.3.3 Bandwidth

Bandwidth sebuah antena didefinisikan sebagai rentang frekuensi kerja dari suatu antena dengan memperhatikan beberapa kriteria yang mengacu pada suatu standar tertentu [13]. Nilai bandwidth antena dapat ditentukan dengan mengetahui batas frekuensi kerja bawah dan atas terlebih dahulu. Frekuensi kerja bawah adalah nilai frekuensi kerja awal dari frekuensi kerja antena, sedangkan frekuensi atas merupakan nilai frekuensi kerja akhir dari frekuensi kerja antena. Nilai bandwidth dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (2.7) sebagai berikut,

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

$$f_c = \frac{f_h + f_l}{2} \quad (2.7)$$

dimana: f_h = frekuensi atas (Hz)

f_l = frekuensi bawah (Hz)

f_c = frekuensi tengah (Hz)

Terdapat berbagai cara penulisan bandwidth sebuah antena. Untuk broadband antena, bandwidth bisaanya dinyatakan dengan rasio antara batas frekuensi atas dan bawah yang telah sesuai dengan batas standar VSWR atau return loss tertentu. Sebagai contoh, bandwidth 5:1 menunjukkan bahwa batas frekuensi atas lebih besar 5 kali dari frekuensi bawahnya. Untuk narrowband antena, bandwidth bisaanya dinyatakan dalam bentuk persentase. Sebagai contoh, 5% bandwidth menunjukkan bahwa selisih batas frekuensi kerja atas dan bawah besarnya 5% dari frekuensi tengahnya.

2.3.4 Gain

Parameter lainnya yang juga menggambarkan kinerja dari suatu antena adalah gain. Gain absolut dari suatu antena (dalam arah tertentu) didefinisikan sebagai rasio dari intensitasnya, dalam arah tertentu, terhadap intensitas radiasinya yang diperoleh jika daya yang diterima oleh antena diradiasikan secara isotropis, seperti yang ditunjukkan pada Persamaan (2.8) dan (2.9) [13]:

$$G = D\eta \quad (2.8)$$

Dengan: D = Directivity

η = Efisiensi radiasi antena

$$gain = 4\pi \frac{\text{Intensitas radiasi pada arah tertentu}}{\text{Intensitas radiasi yang diterima}} = 4\pi \frac{U(\theta, \phi)}{P_{in}} \quad (\text{dimensionless}) \quad (2.9)$$

2.3.5 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 diantara saluran transmisi dengan impedansi masukan beban (antena). Sehingga tidak semua daya diradiasikan melainkan ada yang dipantulkan kembali. Return loss dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (2.10)

$$\text{Return Loss} = 20 \log|\Gamma| \quad (2.10)$$

Nilai VSWR yang baik pada suatu antena adalah lebih kecil atau sama dengan 2, sehingga nilai return loss yang baik adalah sebesar lebih kecil atau sama dengan -9,54 dB. Maka dari itulah frekuensi kerja dari antena yang baik adalah ketika return loss-nya bernilai $\leq -9,54$ dB. Kedua standar ini, baik VSWR ≤ 2 dan Return Loss ≤ -9.54 dB, bernilai sama sehingga perancang antena dapat menentukan salah satu standar yang ingin dipakai. Hal ini dikarenakan hubungan antara kedua parameter tersebut seperti yang ditunjukkan dengan Persamaan (2.11) di bawah ini,

$$S = \frac{1+|\Gamma|}{1-|\Gamma|} \quad \Rightarrow \quad |\Gamma| = \frac{-S+1}{-S-1} \quad (2.11)$$

Dengan memasukkan nilai standar VSWR = 2

$$|\Gamma| = \frac{-2+1}{-2-1} = \frac{1}{3}$$

Dari nilai koefisien refleksi tersebut dapat dihitung Return Loss sebagai berikut,

$$\begin{aligned} \text{Return Loss} &= 20 \log|\Gamma| \\ &= 20 \log \frac{1}{3} \\ &= -20 \log 3 \\ &= -9.54 \text{ dB} \end{aligned}$$

2.4 Elemen Peradiasi HF

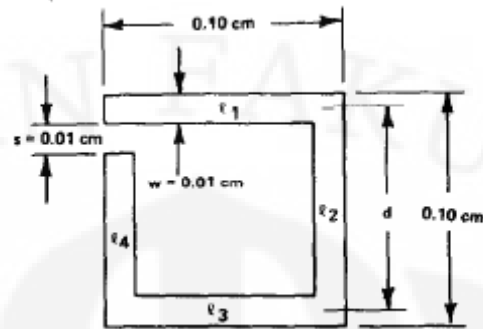
Kebanyakan perancangan antenna mikrostrip dilakukan untuk aplikasi (Ultra High Frekuensi) UHF atau frekuensi yang lebih tinggi. Berdasarkan Persamaan (2.3) dan (2.6) yang telah disebutkan sebelumnya, bahwa frekuensi kerja antenna terkait erat dengan dimensi elemen peradiasi dari antenna. Semakin rendah frekuensi kerja yang diinginkan, secara teori, dimensi antenna yang dibutuhkan juga akan semakin besar. Sebagai contoh, dengan menggunakan Persamaan (2.3) - (2.6) dimensi patch segiempat yang dibutuhkan agar antenna dengan tebal 1.6 mm dan menggunakan substrat fr4 ($\epsilon_r = 4,4$) dapat bekerja pada frekuensi 13.56 MHz (salah satu frekuensi HF yang ingin dicapai pada skripsi ini) adalah 673 x 527 cm. Tentu saja, ini merupakan ukuran yang terlalu besar untuk sebuah antenna mikrostrip.

Akan tetapi, seiring dengan kemajuan teknologi saat ini, hal ini dapat diatasi dengan berbagai teknik dan modifikasi yang dilakukan terhadap antenna mikrostrip. Salah satu cara yang dapat digunakan untuk menghasilkan antenna (dengan ukuran yang tidak terlalu besar) yang dapat beresonansi pada frekuensi HF ini adalah dengan menggunakan elemen peradiasi berupa konduktor spiral [8]. Prinsip yang digunakan pada [8] untuk mendapatkan frekuensi resonansi yang cukup rendah ini bersesuaian dengan Persamaan (2.12).

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (2.12)$$

Terlihat pada Persamaan (2.12), frekuensi resonansi antenna berbanding terbalik dengan nilai induktansi dari elemen peradiasi antenna. Dengan demikian, semakin rendah frekuensi resonansi yang ingin dicapai, maka nilai induktansi yang dibutuhkan juga semakin besar.

Terdapat berbagai metode perhitungan untuk mendapatkan nilai induktansi yang dibutuhkan pada suatu elemen konduktor spiral, seperti yang dijelaskan pada [17]. Bentuk elemen konduktor spiral ini ditunjukkan dengan Gambar 2.12.



Gambar 2.12 Konduktor spiral dengan 1 putaran [17]

Gambar 2.12 merupakan sebuah elemen konduktor spiral planar yang terdiri dari empat buah segmen (l) dan memiliki lebar *track* (w) sebesar 0,01 cm dan jarak antar *track* (s) sebesar 0,01 cm sedangkan dimensi terpanjang elemen spiral ini adalah 0,1 cm. Menurut [17], perhitungan nilai induktansi untuk elemen konduktor spiral seperti yang ditunjukkan dengan Gambar 2.12 dapat dilakukan dengan beragam metode, yaitu

1) *Expanded Grover Methode*

Perhitungan nilai induktansi untuk elemen spiral seperti Gambar 2.12 dilakukan dengan menggunakan Persamaan 2.13 sebagai berikut,

$$L_T = L_0 + M_+ - M_- \quad (2.13)$$

dimana $L_0 = L_1 + L_2 + L_3 + L_4$ dan nilai dari L_x dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 2.14

$$L_x = 2l_x \left\{ \ln \left[\frac{2l_x}{w+t} \right] + 0.50049 + \left[\frac{(w+t)}{3l_x} \right] \right\} \quad (2.14)$$

L_x merupakan induktansi diri dari tiap segment dalam nanohenri, l_x merupakan panjang tiap segmen dalam cm, w adalah lebar dari tiap segmen dalam cm dan t merupakan ketebalan dari tiap segmen dalam cm.

Nilai M_+ merupakan nilai mutual induktansi antara dua buah segmen yang memiliki vektor arus yang searah karena elemen spiral pada Gambar 2.12 tidak memiliki vector arus yang searah maka elemen spiral tersebut tidak mempunyai nilai M_+ , sebaliknya M_- merupakan nilai mutual induktansi antara dua buah segmen yang

memiliki vektor arus yang berlawanan arah, sebagai contoh $M_{1,3}$ yang merupakan mutual induktansi yang timbul akibat segmen 1 dan 3 dan disebabkan oleh segmen 1 terhadap segmen 3. Nilai mutual induktansi ini dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (2.15) – (2.17) sebagai berikut,

$$M = 2lQ \quad (2.15)$$

dengan

$$Q = \ln \left\{ \left(\frac{l}{(GMD)} \right) + \left[1 + \left(\frac{l^2}{(GMD)^2} \right) \right]^{\frac{1}{2}} \right\} - \left[1 + \left(\frac{(GMD)^2}{l^2} \right) \right]^{\frac{1}{2}} + \left(\frac{(GMD)}{l} \right)$$

$$(2.16) \ln GMD = \ln d - \left\{ \left[\frac{1}{12(d/w)^2} \right] + \left[\frac{1}{60(d/w)^4} \right] + \left[\frac{1}{168(d/w)^6} \right] + \left[\frac{1}{360(d/w)^8} \right] + \left[\frac{1}{660(d/w)^{10}} \right] + \dots \right\} \quad (2.17)$$

dimana l merupakan panjang segemen dalam cm, d merupakan jarak antar pusat *track*, dan w merupakan lebar *track*.

2) Bryan Methode

Berbeda dengan metode perhitungan Expanded Grover, metode Bryan ini lebih sederhana secara perhitungan. Besarnya induktansi elemen konduktor spiral ini dapat langsung dihitung dengan menggunakan Persamaan (2.18)

$$L = 0,0241 a n^{5/3} \ln[8(a/c)] \quad (2.18)$$

dimana a merupakan jumlah diameter dalam dan luar elemen spiral dibagi dengan 4, c merupakan selisih diameter dalam dan luar elemen spiral dibagi dengan 2, dan n merupakan jumlah putaran dari elemen spiral.

3) Therman Methode

Sama seperti Metode Bryan, Metode Therman ini juga cukup sederhana secara perhitungan untuk mendapatkan nilai induktansi dari suatu elemen konduktor spiral planar. Perhitungan induktansi untuk sejumlah putaran yang menggunakan metode Therman dilakukan dengan menggunakan Persamaan (2.19)

$$L = 0,0467Sn^2 \left\{ \log \left[2S^2 / (t + w) \right] - \log 2,414S \right\} + 0,02032Sn^2 \left\{ 0,914 + \left[0,2235(t + w) / S \right] \right\} \quad (2.19)$$

dimana S merupakan dimensi maksimum panjang sisi elemen spiral, w merupakan lebar dari konduktor spiral, dan t merupakan ketebalan dari konduktor spiral.

Berdasarkan perbandingan antara hasil pengukuran dan semua metode yang dijelaskan pada [17] didapatkan nilai induktansi untuk beberapa macam koil seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.3

Tabel 2.3 Perbandingan induktansi hasil pengukuran dan metode perhitungan[17]

Metode perhitungan induktansi	Induktansi (nanohenries)			
	Koil A	Koil B	Koil C	Koil D
<i>Bryan Calculation</i>	35.6	71.4	111.4	207.3
<i>Terman Calculation</i>	67.13	111.7	447.6	636.2
<i>Expanded Grover Calculation</i>	28.33	56.84	106.68	197.88
<i>Experimental Measurement</i>	23.2	51.8	98.9	211.9

Terlihat pada Tabel 2.3, metode perhitungan nilai induktansi yang paling mendekati dengan hasil pengukuran adalah Metode *Expanded Grover*. Metode *Expanded Grover* ini menghasilkan selisih nilai induktansi yang tidak terlalu jauh bila dibandingkan dengan ketiga metode lainnya.

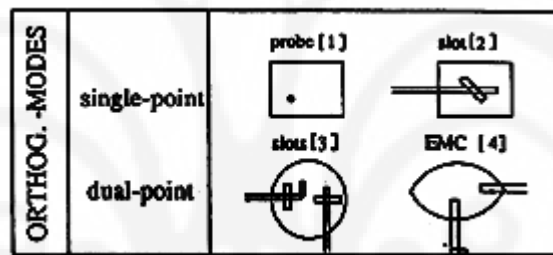
2.5 Teknik Pembuatan Antena *Multiband*

Seperti yang sudah dijelaskan pada bagian pendahuluan sebelumnya, bahwa untuk membuat sebuah antena jenis mikrostrip yang memiliki banyak frekuensi kerja dapat menggunakan beberapa cara [18], diantaranya adalah:

1) *Orthogonal mode multi frequency antena*

Dengan menggunakan teknik ini, antena akan dapat bekerja pada banyak frekuensi dan memiliki polarisasi orthogonal. Salah satu keunggulan antena yang menggunakan teknik ini adalah kemampuannya dalam mendapatkan kondisi

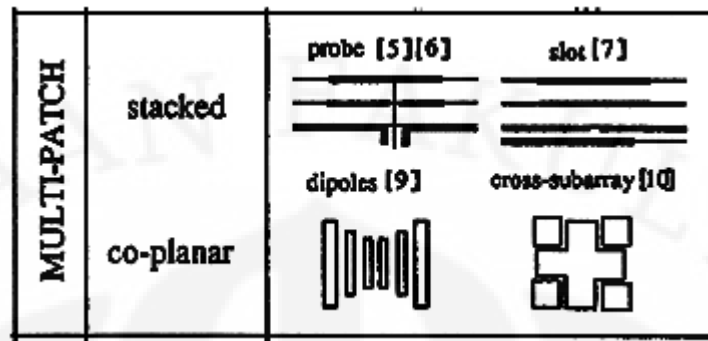
matching pada dua frekuensi hanya dengan menggunakan sebuah struktur *feed*. Konfigurasi teknik orthogonal mode dengan menggunakan sebuah feed ditunjukkan dengan Gambar 2.13 (*single point*). Terlihat pada gambar 2.13, salah satu cara untuk menghasilkan lebih dari satu frekuensi resonansi menggunakan teknik ini adalah dengan menempatkan pencatu pada satu buah elemen peradiasi sedemikian sehingga pada posisi tersebut *mematchingkan* dua buah frekuensi. Hal ini dapat dilakukan dengan menggunakan teknik pencatuan probe dan dengan cara pencatuan *line* akan tetapi diberikan *slot* yang arahnya condong ke arah pencatu. Cara lain untuk menghasilkan lebih dari satu frekuensi resonansi menggunakan teknik ini adalah dengan menggunakan pencatuan ganda, yaitu dengan menggunakan dua buah pencatu pada suatu elemen peradiasi seperti yang terlihat pada Gambar 2.13 (*dual-point*).[18]



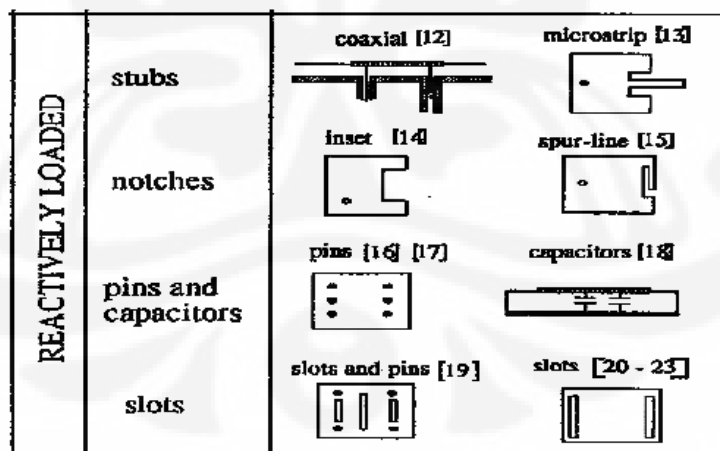
Gambar 2.13 Teknik *orthogonal mode multi-frequency* [18]

2) *Multi patch multi frequency antenna*

Pada struktur antenna yang menggunakan teknik ini, lebih dari satu buah frekuensi dapat tercapai dengan menggunakan lebih dari satu buah elemen peradiasi. Setiap elemen peradiasi meradiasikan pada masing-masing frekuensi resonansinya. Terdapat dua jenis metode pada struktur antenna ini, yaitu multi layer stacked *patch* dan single layer coplanar *patch*. Metode yang pertama dilakukan dengan menyusun secara menumpuk setiap elemen peradiasi yang menghasilkan frekuensi resonansi yang berbeda-beda sedangkan pada metode yang kedua dilakukan dengan menyusun setiap elemen peradiasi yang menghasilkan frekuensi resonansi yang berbeda-beda pada lapisan yang sama [18]. Gambaran mengenai teknik ini dapat dilihat pada Gambar 2.14

Gambar 2.14 Teknik *multi-patch multi-frequency* [18]3) *Reactively loaded multi frequency antenna*

Cara *reactively-loaded* ini adalah cara untuk menghasilkan multi frekuensi dengan menambahkan beban pada antenna. Beban yang dimaksud disini bisa berupa stub [6], slot [9], pin[11] dan lainnya. Teknik ini adalah teknik yang paling populer digunakan untuk menghasilkan antenna yang dapat bekerja lebih dari satu frekuensi. Beban reaktif tersebut ditambahkan secara khusus pada tepi peradiasi (*radiating edge*) untuk menghasilkan panjang resonansi yang lebih jauh, dimana panjang resonansi ini berkaitan dengan pembangkitan frekuensi yang lainnya [18]. Gambar 2.15 menunjukkan beragam cara yang termasuk dalam teknik *reactively loaded*.

Gambar 2.15 Teknik *reactively loaded* [18]

BAB 3

PERANCANGAN ANTENA *MULTIBAND* UNTUK RFID

Dalam perancangan antenna diperlukan langkah-langkah yang tepat agar didapatkan hasil sesuai dengan yang diinginkan. Tidak hanya itu, proses perancangan yang baik akan mempercepat waktu proses perancangan antenna. Hal ini dikarenakan perancang sudah memiliki acuan sebelumnya.

Adapun perangkat yang digunakan untuk menunjang proses perancangan antenna ini adalah sebagai berikut,

a. Perangkat Keras

Perangkat keras yang digunakan dalam perancangan antara lain :

- Personal Computer (PC)
- Network analyzer Hewlett Packard 8753E
- Kabel Koaxial 50 ohm dan connector SMA 50
- Substrat FR4, solder, dan timah.

b. Perangkat Lunak

Sedangkan perangkat lunak yang digunakan dalam perancangan antara lain

1. PCAAAD 5.0

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

2. Perangkat lunak HFSS v 11.1.1

Untuk proses simulasi antenna yang sudah dirancang

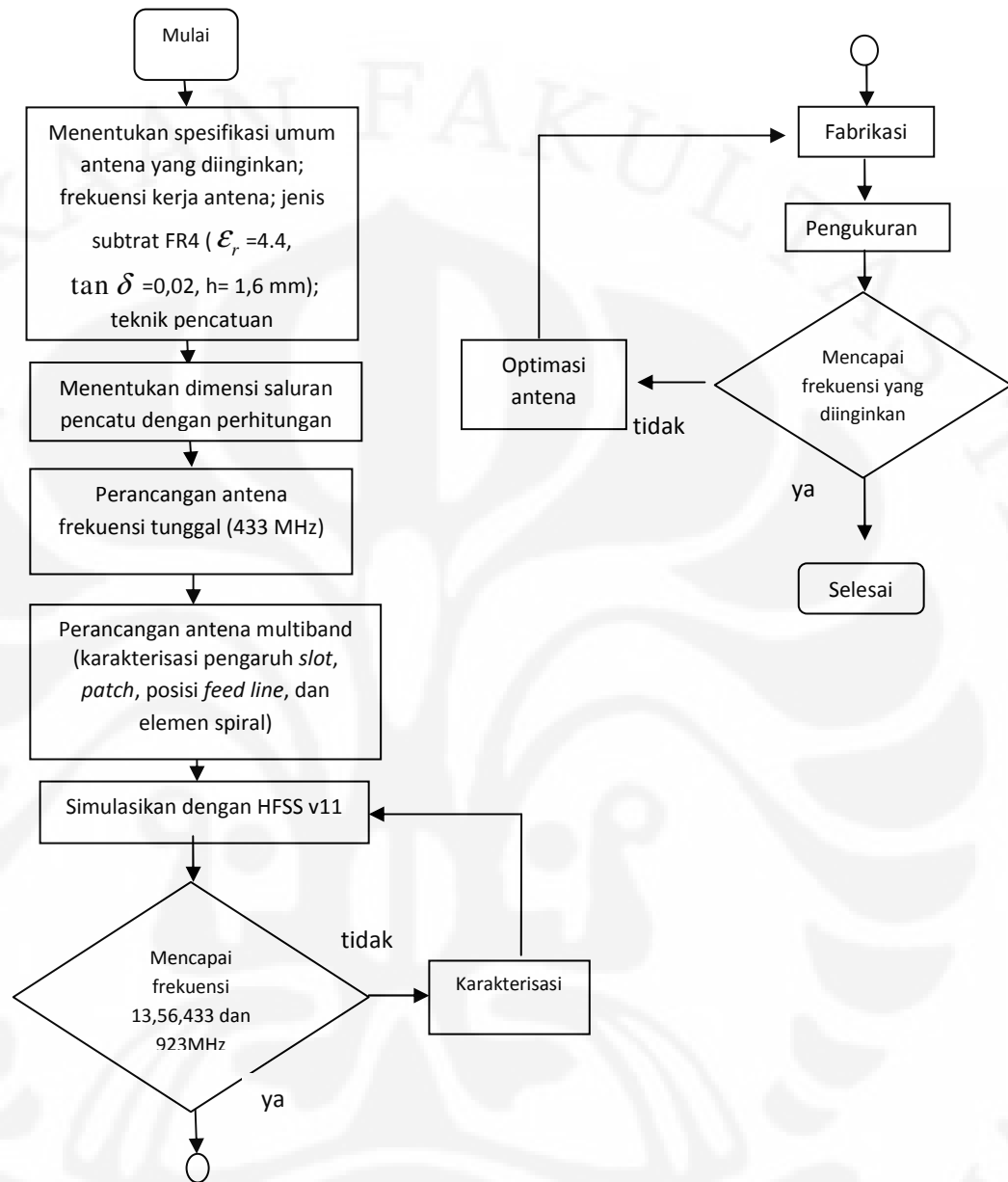
3. Microsoft Excel 2007

Perangkat lunak ini digunakan untuk mengolah data.

4. Microsoft Visio 2003

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

Prosedur perancangan antenna pada tulisan ini digambarkan pada Gambar 3.1,



Gambar 3.1 Diagram alir proses perancangan antenna multiband

Secara garis besar tahapan perancangan antenna multiband ini adalah sebagai berikut. Perancangan antenna dilakukan pertama kali dengan membuat antenna *patch* segiempat yang bekerja pada frekuensi 433 MHz. Pemilihan frekuensi kerja 433 MHz pada awal perancangan didasarkan pada kenyataan bahwa bila dibandingkan dengan frekuensi kerja yang lebih besar (923MHz), dimensi antenna dengan *patch* segiempat

terbesar terjadi pada frekuensi 433 MHz. Setelah mendapatkan hasil yang cukup baik pada frekuensi kerja sekitar 433 MHz, tahap selanjutnya adalah melakukan penambahan sebuah *slot*. Penambahan sebuah *slot* ini bertujuan agar antenna dapat bekerja pada lebih dari satu frekuensi. Sesuai dengan teori yang telah disebutkan sebelumnya bahwa penambahan beban reaktif (*slot*) akan mempengaruhi frekuensi resonansi lainnya. Dengan penambahan sebuah *slot* ini diharapkan antenna dapat bekerja pada frekuensi kerja sekitar 433 dan 923 MHz. Kemudian tahapan selanjutnya adalah penggunaan teknik *offset feed line*, yaitu dengan menempatkan *feed line* sampai pada posisi tertentu sedemikian sehingga pada posisi tersebut antenna dapat bekerja pada frekuensi 2450 MHz. Dengan demikian sampai pada proses ini, antenna akan bekerja pada frekuensi kerja sekitar 433, 923, dan 2450 MHz. Proses perancangan berikutnya adalah penambahan *patch* berbentuk spiral yang bertujuan agar antenna ini juga dapat bekerja pada frekuensi 13,56 MHz. *Patch* spiral ini disusun dengan menggunakan metode *serries array coplanar coupling* dengan pencatuannya *direct coupling*. Modifikasi terakhir yang Penulis lakukan untuk mendapatkan antenna multiband ini adalah dengan mengimplementasikan transformer seperempat panjang gelombang ke line penghubung *patch* spiral dan *patch* segiempat dengan *slot* di dalamnya. Langkah terakhir dalam proses perancangan ini adalah dengan mengatur kembali panjang dan lebar *inset feed line* antenna agar kondisi *matching* pada tiap frekuensi yang diinginkan dapat tercapai.

3.1 Penentuan Jenis Substrat

Langkah pertama untuk dalam perancangan sebuah antenna adalah pemilihan substrat dielektrik dengan konstanta dielektrik (ϵ_r), *loss tangent* ($\tan \delta$), dan ketebalan yang sesuai. Selain secara mekanik lebih kuat, substrat yang semakin tebal akan meningkatkan daya yang diradiasikan, mengurangi *conductor loss*, dan memperbaiki *impedance bandwidth*. Akan tetapi, hal ini juga akan menambah berat secara fisik, dielectric loss, dan *surface wave loss* [13]. Nilai konstanta dielektrik substrat juga memiliki pengaruh yang sama dengan ketebalan substrat. Nilai

konstanta dielektrik yang semakin kecil akan meningkatkan *fringing field* pada tepi *patch* dan juga daya yang teradiasi. Hubungan antara pengaruh konstanta dielektrik dan ketebalan substrat adalah berbanding terbalik sehingga kenaikan ketebalan substrat akan memiliki pengaruh yang sama dengan penurunan nilai konstanta dielektrik substrat [13]. Selain pertimbangan faktor-faktor tersebut, pemilihan substrat juga harus memperhatikan kualitas, ketersediaan, dan biaya yang harus dikeluarkan.

Pada tulisan ini akan digunakan substrat FR4 (epoxy) dengan spesifikasi lebih lengkapnya pada Tabel 3.1

Tabel 3.1 Spesifikasi Substrat Yang Digunakan

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

3.2 Perancangan Lebar *Feed Line*

Dalam mekanisme saluran transmisi, lebar saluran transmisi pada disain mikrostrip harus disesuaikan dengan besarnya impedansi karakteristik dari saluran transmisi tersebut. Hal ini bertujuan agar tercapai kondisi selaras pada saluran transmisi.

Pada perancangan antenna ini, Penulis menggunakan saluran transmisi dengan impedansi karakteristik sebesar 50 ohm. Perhitungan lebar saluran transmisi untuk suatu nilai impedansi karakteristik Z_0 dan konstanta dielektrik substrat ϵ_r , rasio lebar saluran transmisi dan ketebalan substrat dapat ditentukan dengan menggunakan Persamaan (3.1) dan (3.2)

$$\frac{W}{d} = \begin{cases} \frac{8e^A}{e^{2A-2}} & \frac{W}{d} < 2 \\ \frac{2}{\pi} \left[B-1 - \ln(2B-1) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} \left\{ \ln(B-1) + 0.39 - \frac{0.61}{\epsilon_r} \right\} \right] & \frac{W}{d} > 2 \end{cases} \quad (3.1)$$

Dengan

$$A = \frac{Z_0}{60} \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2}} + \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1} \left(0.23 + \frac{0.11}{\epsilon_r} \right) \quad \text{dan} \quad B = \frac{377\pi}{2Z_0\sqrt{\epsilon_r}} \quad (3.2)$$

Untuk mendapatkan lebar saluran transmisi pada perancangan antena ini, Penulis menetapkan beberapa parameter sebagai berikut,

$$Z_0 = 50 \text{ ohm,}$$

$$d = 1.6 \text{ mm,}$$

$$\epsilon_r = 4.4$$

dengan asumsi $W/d < 2$ sehingga, persamaan yang digunakan adalah

$$\begin{aligned} A &= \frac{Z_0}{60} \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2}} + \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1} \left(0.23 + \frac{0.11}{\epsilon_r} \right) & \frac{W}{d} &= \frac{8e^A}{e^{2A-2}} \\ &= \frac{50}{60} \sqrt{\frac{4.4+1}{2}} + \frac{4.4-1}{4.4+1} \left(0.23 + \frac{0.11}{4.4} \right) & &= \frac{e^{1.53}}{e^{2(1.53)-2}} \\ &= 1.3693 + 0.6296(0.255) & &= \frac{36.9454}{e^{3.06-2}} \\ &= 1.53 & \frac{W}{d} &= 1.91154 \\ & & W &= 3.0584 \text{ mm} \end{aligned}$$

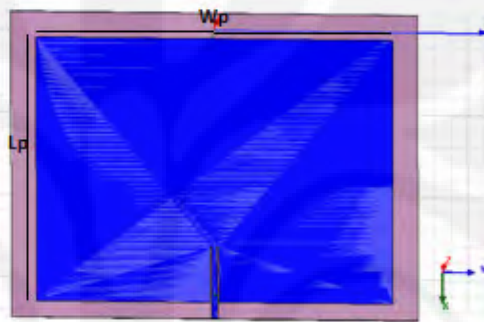
3.3 Karakterisasi Antena UHF

Penulis mengawali perancangan antena ini dengan pembuatan antena mikrostrip dengan *patch* segiempat yang bekerja pada frekuensi 433 MHz. Karakterisasi antena yang bekerja pada frekuensi 433 MHz diawali dengan perhitungan nilai lebar dan panjang elemen peradiasi. Lebar dan panjang elemen

Universitas Indonesia

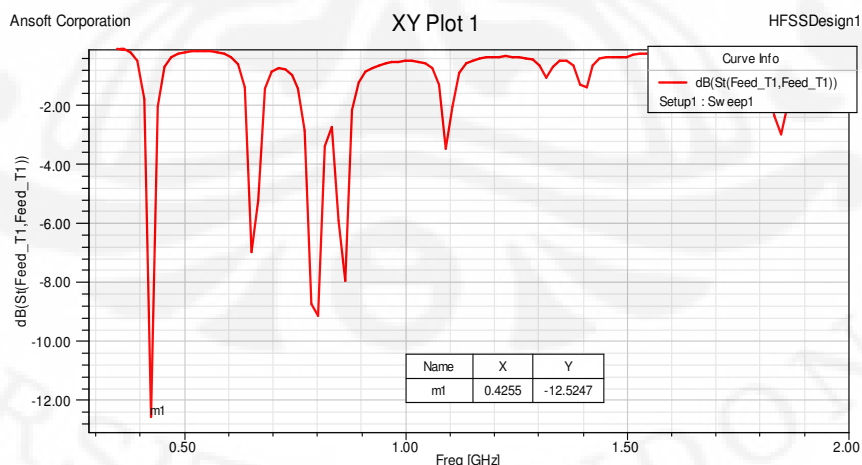
peradiasi antenna yang bekerja pada frekuensi 433 MHz dapat ditentukan dengan menggunakan Persamaan (2.3) - (2.6). Hasil perhitungan menunjukkan bahwa elemen peradiasi antenna dapat bekerja pada frekuensi resonansi 433 MHz jika memiliki ukuran panjang patch (L_p) sebesar 160 mm dan lebar patch (W_p) sebesar 210 mm seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.2.

Penambahan *inset feed line* pada antenna frekuensi tunggal ini dilakukan untuk memberikan kondisi *matching impedance* yang lebih baik pada antenna. Posisi *feed line* pada proses awal ini masih terletak di tengah antenna.



Gambar 3.2 Antena frekuensi tunggal

Setelah dilakukan simulasi dengan menggunakan perangkat lunak HFSS v.11, untuk dimensi *patch* yang disesuaikan dengan hasil perhitungan, didapatkan hasil return lossnya seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Return loss antenna frekuensi tunggal

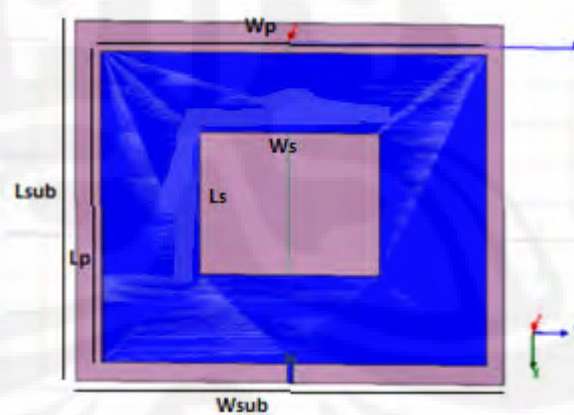
Tabel 3.2 Return loss dan frekuensi kerja antenna frekuensi tunggal

Frekuensi Kerja (MHz)	425
Return Loss (dB)	-12.5

Gambar 3.3 menunjukkan hasil frekuensi resonansi yang tidak sesuai dengan harapan yaitu 433 MHz. Frekuensi resonansinya bergeser menjadi 425 MHz pada return loss -12 dB. Pergeseran ini dapat disebabkan karena faktor pembulatan pada saat perhitungan dan simulasi. Meskipun demikian, karena frekuensi resonansi hasil simulasi sudah mendekati frekuensi resonansi yang diharapkan Penulis yaitu pada 433 MHz, hasil seperti ini dirasakan cukup untuk melangkah ke proses selanjutnya.

3.3.1 Karakterisasi *Slot dan Patch*

Proses berikutnya adalah *slot* dan *patch* antenna. Awal dari proses karakterisasi ini adalah dilihat bagaimana pengaruh pemberian sebuah *slot* pada antenna frekuensi tunggal sebelumnya. Gambar 3.4 merupakan gambar *patch* dengan sebuah *slot* ditengahnya.

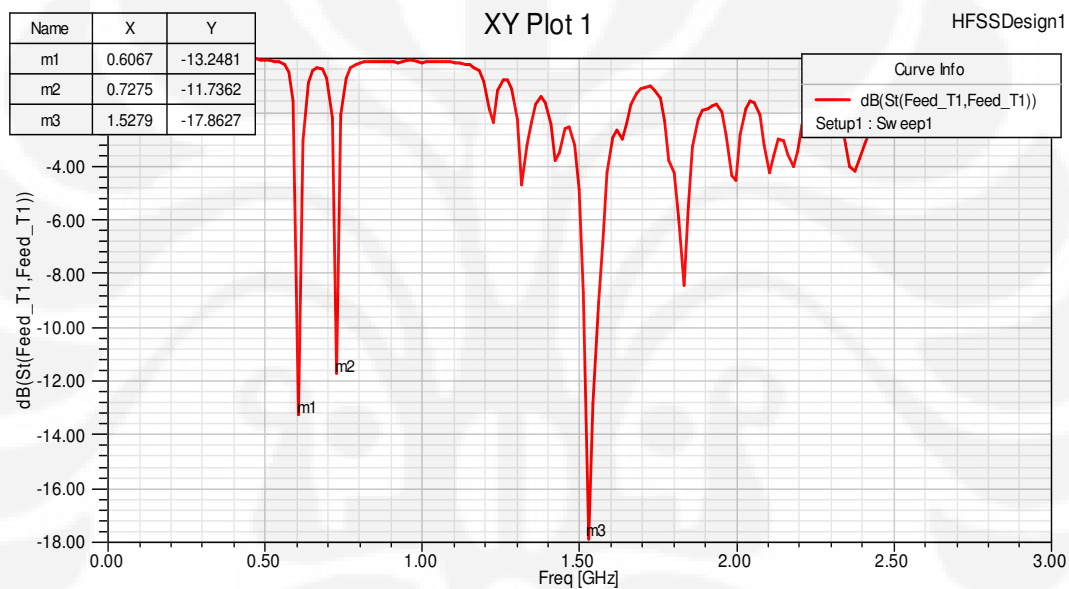
Gambar 3.4 Antena dengan penambahan sebuah *slot* di tengah *patch*

Pada awal proses kedua ini, Penulis ingin melihat efek penambahan *slot* pada *patch*. Pengaruh pemberian slot ini dilakukakan dengan menempatkan slot di tengah *patch* dengan dimensi panjang slot (L_s) sebesar 73,5 mm dan lebar slot (W_s) sebesar 101,4 mm dan diposisikan di tengah *patch*, yaitu dengan jarak 55 mm dari tepi kiri

Universitas Indonesia

patch dan 41,3 mm dari tepi atas patch, sedangkan dimensi *patch* dibuat sama seperti sebelumnya, yaitu L_p dan W_p

Seperti yang ditunjukkan Gambar 3.5, penambahan sebuah *slot* pada *patch* antenna dapat menimbulkan efek multiband. Setelah penambahan sebuah *slot* ini, Penulis mendapatkan tiga buah frekuensi resonansi dengan $RL < -10$ dB seperti yang ditunjukkan dengan Tabel 3.3. Pada gambar 3.5 terlihat bahwa saat penambahan sebuah *slot* antenna menjadi dapat beresonansi pada tiga buah frekuensi kerja dengan standar $VSWR < 2$, yaitu 606, 727, 1527, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.3



Gambar 3.5 Return loss saat penambahan sebuah *slot*

Tabel 3.3 Return loss dan frekuensi kerja antenna saat penambahan sebuah *slot*

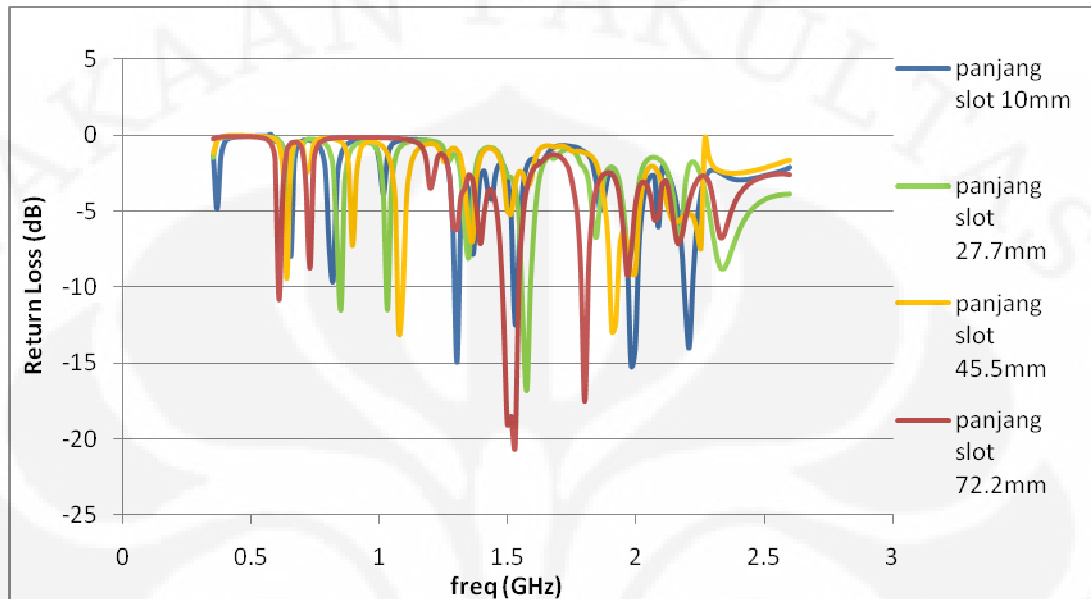
Frekuensi Kerja (MHz)	606	727	1527
Return Loss (dB)	-13.2	-11.7	-17.8

Proses berikutnya adalah karakterisasi panjang, lebar dan dimensi *slot*.

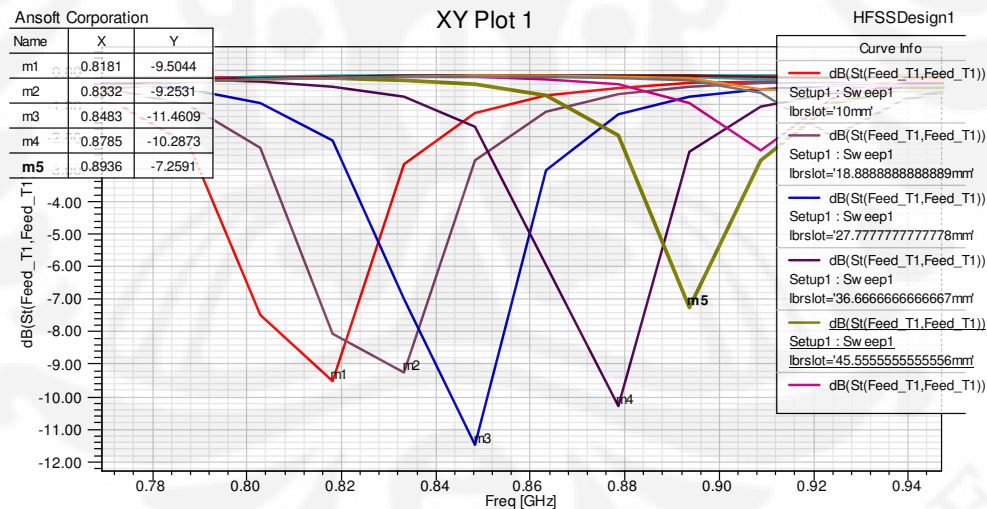
3.3.1.1 Karakterisasi Panjang *Slot*

Karakterisasi panjang *slot* ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh perubahan panjang *slot* terhadap frekuensi resonansi. Parameter yang divariasikan

dalam proses ini hanya panjang slot atau L_s . Optimetric pada simulasi dilakukan dengan memvariasikan panjang slot.



Gambar 3.6 Return loss saat panjang slot L_s divariasikan



Gambar 3.7 Return loss optimetric panjang slot

Gambar 3.6 menunjukkan hasil simulasi untuk panjang slot 10mm, 27.7mm, 45.5mm, dan 72.2mm. Terlihat pada grafik, terjadi pergeseran frekuensi kerja. Frekuensi resonansi yang diharapkan, yaitu 433 MHz, 923 MHz, dan 2.45 GHz, masih belum muncul. Parameter yang paling mendekati frekuensi kerja yang

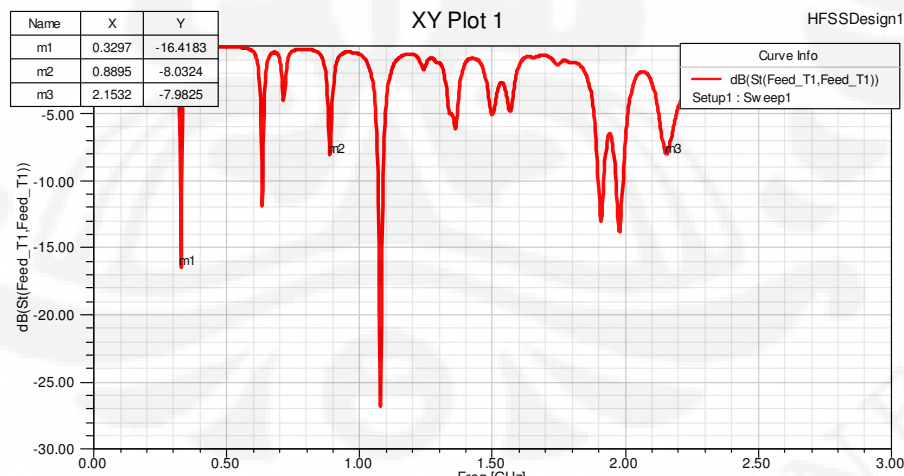
Universitas Indonesia

diharapkan adalah saat panjang slot 45.5mm. Dengan demikian penulis menetapkan parameter panjang slot yang paling sesuai untuk diterapkan pada optimasi berikutnya adalah lebar slot 45,5mm.

Berdasarkan hasil simulasi ini juga dapat dikatakan bahwa panjang slot berpengaruh pada pergeseran frekuensi kerja antenna, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.7. Terlihat jelas bahwa saat dimensi panjang slot semakin besar, frekuensi kerja antenna akan semakin besar sehingga dapat dikatakan bahwa parameter panjang slot ini akan berpengaruh pada pergeseran frekuensi resonansi.

Gambar 3.8 merupakan hasil simulasi dengan parameter panjang slot 45.5 mm. Berdasarkan grafik ini didapatkan frekuensi resonansi dengan $RL < -10\text{dB}$ terdapat pada frekuensi 329 MHz. Sementara itu, frekuensi yang mendekati frekuensi tujuan skripsi ini ditunjukkan oleh Tabel 3.4

Pada Gambar 3.8 terlihat bahwa saat panjang slot antenna menjadi 45,5 mm frekuensi resonansi terdekat dengan frekuensi yang diharapkan terjadi pada 329, 889, dan 2153 dengan nilai return loss seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.4. Dengan demikian, panjang slot yang digunakan pada proses karakterisasi selanjutnya adalah sebesar 45,5mm



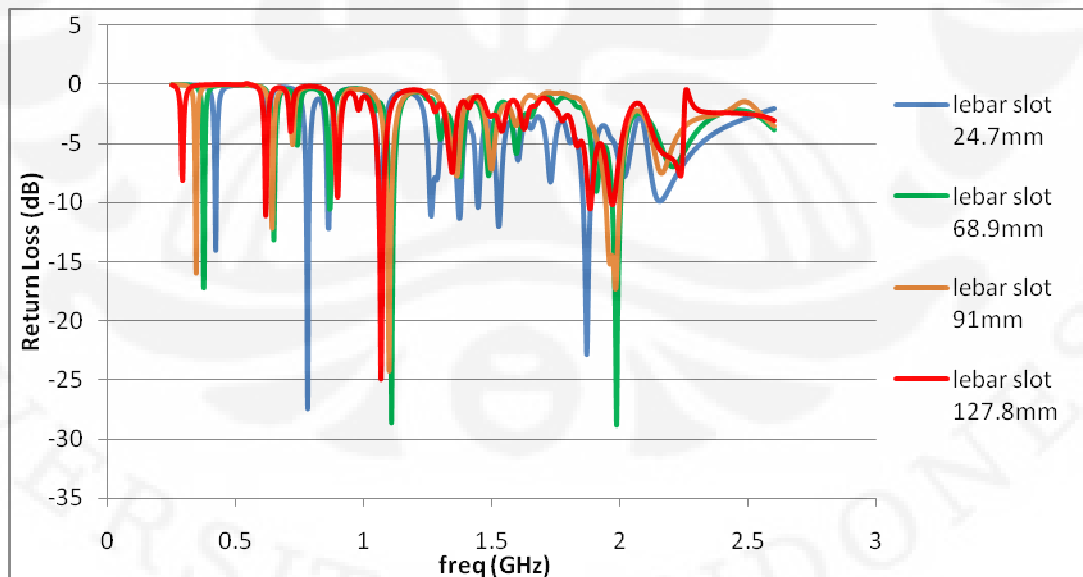
Gambar 3.8 Return loss saat panjang slot 45.5mm

Tabel 3.4 Return loss dan frekuensi kerja saat panjang slot 45.5mm

Frekuensi Kerja (MHz)	329	889	2153
Return Loss (dB)	-16.4	-8	-7.9

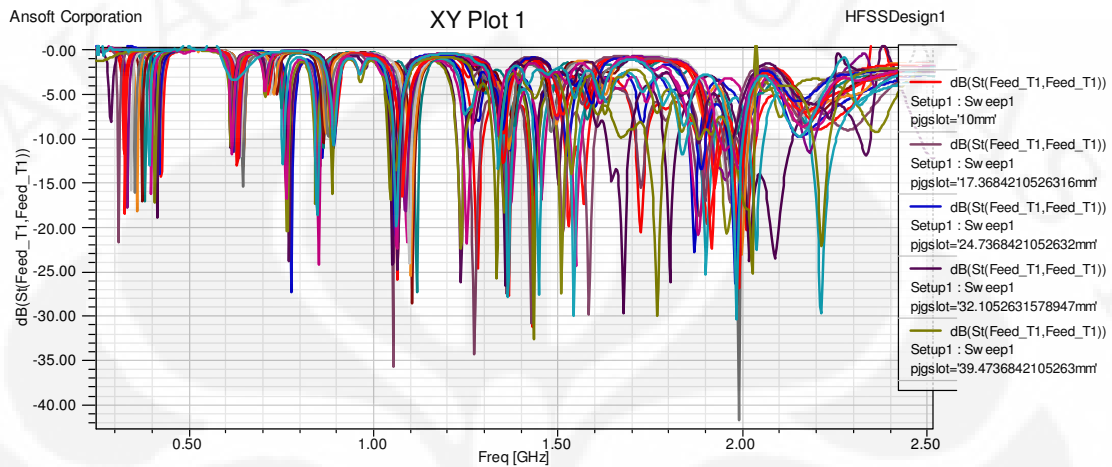
3.3.1.2 Karakterisasi Lebar Slot

Karakterisasi lebar slot ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh perubahan lebar slot terhadap frekuensi resonansi. Parameter yang divariasikan dalam proses ini adalah lebar slot. Optimetric pada simulasi dilakukan dengan memvariasikan lebar slot. Hasil simulasi karakterisasi perubahan lebar slot ditunjukkan dengan Gambar 3.10. Berdasarkan Gambar 3.9, terlihat kondisi yang paling baik terdapat pada lebar slot 91 mm karena pada nilai ini, terjadi kondisi resonansi paling mendekati 923 MHz, yaitu terjadi di frekuensi 885 MHz. selain itu hasil kurva hasil optimetric ini juga menunjukkan pengaruh perubahan lebar slot terhadap rasio frekuensi sekitar 433MHz dan sekitar frekuensi 923 MHz. Terlihat bahwa jika semakin besar dimensi lebar slot, rasio antara keduanya akan semakin kecil. Pengaruh seperti ini sangat berguna dalam perancangan saat diperlukan perubahan rasio tertentu antara dua buah frekuensi yang terpisah.



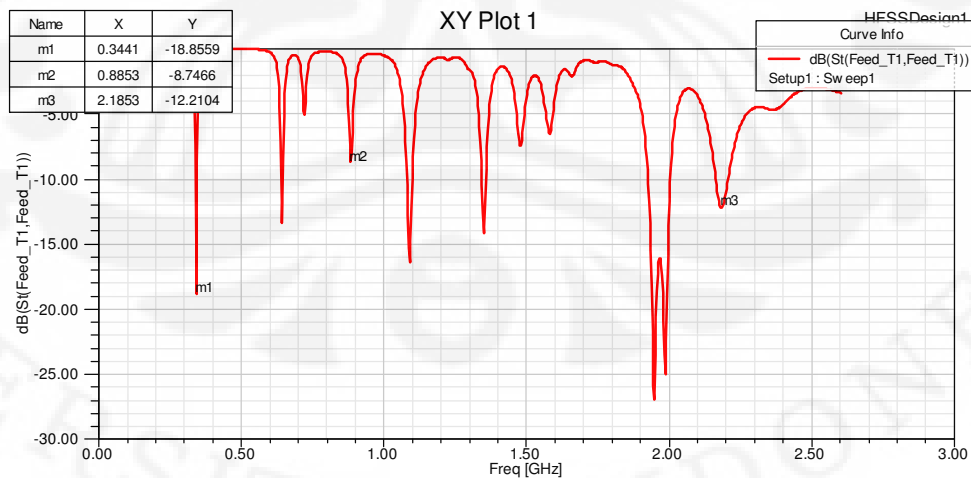
Gambar 3.9 Return loss lebar slot 24.7, 68.9, 91, dan 127.8mm

Terlihat pada grafik bahwa dimensi lebar slot cukup banyak mempengaruhi frekuensi resonansi sekitar 433 dan 923 MHz, sebaliknya perubahan parameter ini tidak terlalu berpengaruh pada frekuensi resonansi sekitar 2.45 GHz



Gambar 3.10 Return loss optimetric lebar slot

Hasil terbaik karakterisasi lebar slot didapatkan pada saat dimensi slot antenna ini berukuran 91 mm. Dengan demikian, hasil sementara yang didapatkan sampai pada proses karakterisasi lebar slot adalah seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.11 dan Tabel 3.5. Pada Gambar 3.11 terlihat bahwa saat lebar slot antenna menjadi 91 mm dapat beresonansi pada tiga buah frekuensi kerja dengan standar VSWR < 2, yaitu 344 dan 2185 MHz, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.5.



Gambar 3.11 Return loss saat lebar slot 91mm

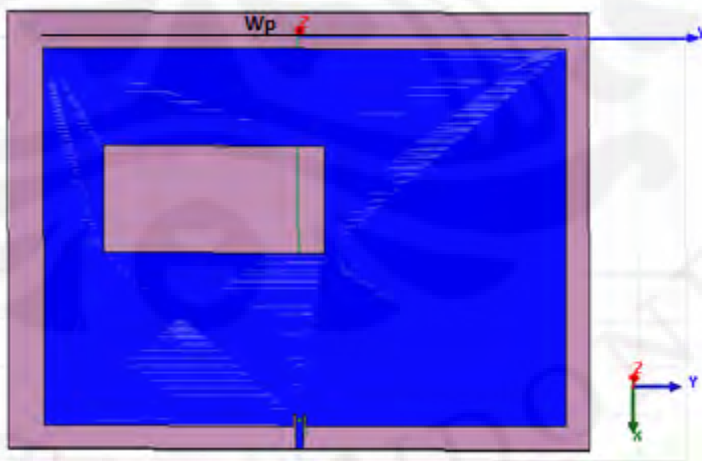
Tabel 3.5 Return loss dan frekuensi kerja saat lebar slot 91mm

Frekuensi Kerja (MHz)	344	885	2185
Return Loss (dB)	-18.4	-8.7	-12.21

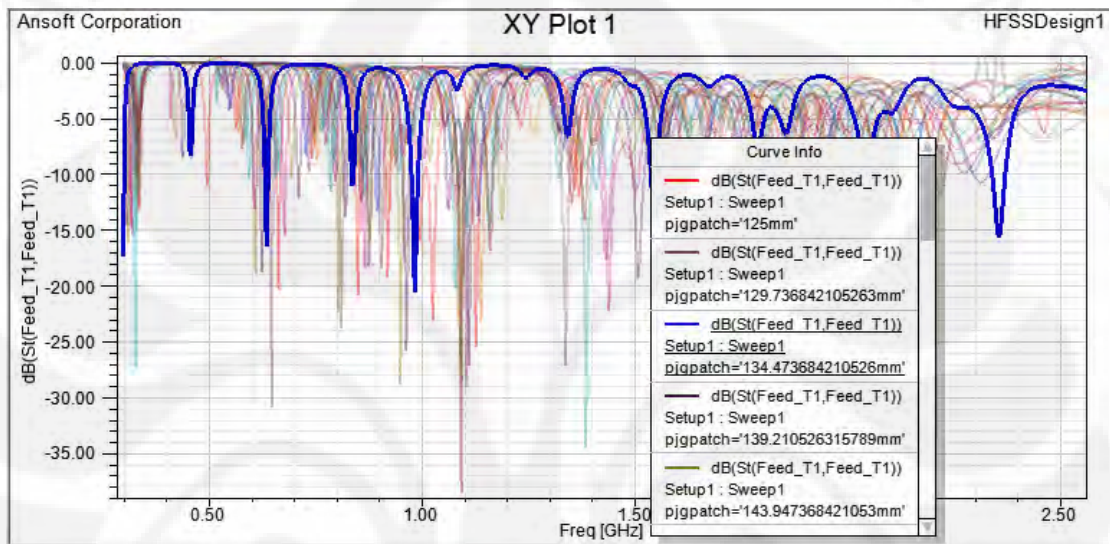
Dari Tabel 3.4 dan Tabel 3.5, kondisi return loss pada proses karakterisasi ini menjadi lebih baik dari kondisi sebelumnya. Hal ini ditunjukkan dengan adanya pergeseran frekuensi resonansi menuju frekuensi resonansi yang diharapkan. Dengan demikian, lebar slot yang digunakan pada proses karakterisasi selanjutnya adalah sebesar 91mm

3.3.1.3 Karakterisasi Lebar Patch

Karakterisasi lebar *patch* ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh perubahan lebar *patch* terhadap frekuensi resonansi. Parameter yang divariasikan dalam proses ini adalah hanya lebar *patch* atau W_p . Optimetric pada simulasi dilakukan dengan memvariasikan lebar *patch*. Slot antenna yang disimulasikan pada tahapan ini dipindahkan posisinya berjarak 25 mm dari tepi kiri *patch* sehingga dapat dilakukan karakterisasi lebar *patch*. Pemilihan jarak ini dilakukan secara acak dengan tetap memperhatikan batas tepi *patch* terhadap slot (tidak terlalu pinggir). Berikut Gambar 3.12 yang menunjukkan antenna yang disimulasikan dalam proses karakterisasi ini,

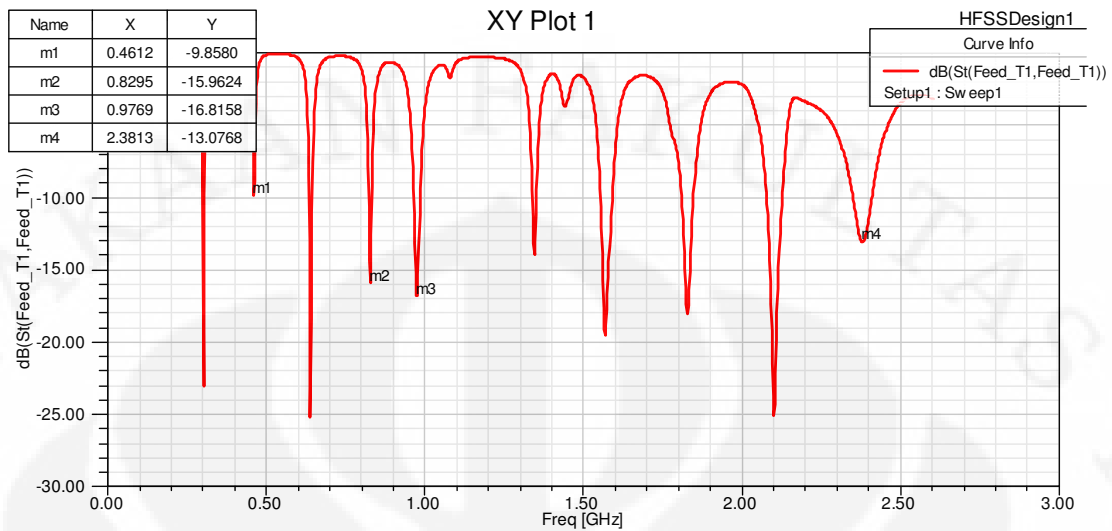
Gambar 3.12 Antena saat proses karakterisasi lebar *patch*

Hasil simulasi karakterisasi perubahan lebar *patch* ditunjukkan dengan Gambar 3.15. Terlihat jelas bahwa perubahan dimensi *patch* sangat mempengaruhi frekuensi sekitar 433 dan 923 MHz tetapi tidak banyak berpengaruh pada frekuensi sekitar 2.45 GHz.



Gambar 3.13 Return loss optimetric lebar *patch*

Berdasarkan hasil *optimetric* pada proses karakterisasi ini, kondisi terbaik sementara yang dicapai sampai pada tahapan ini adalah pada saat lebar *patch* 134.47 mm. Hal ini dikarenakan hasil return loss terbaik yang didapatkan pada frekuensi sekitar 2.45 GHz tercapai saat antenna memiliki lebar *patch* sebesar 134.47 mm. Hasil return loss ini ditunjukkan dengan Gambar 3.16 dan Tabel 3.6.

Gambar 3.14 Return loss saat panjang *patch* 134.47mmTabel 3.6 Return loss dan frekuensi kerja saat panjang *patch* 134.47mm

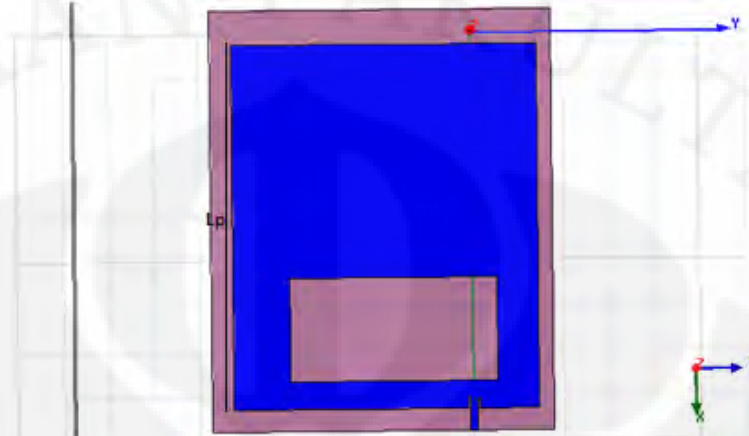
Frekuensi Kerja (MHz)	461	829	976	2381
Return Loss (dB)	-9.8	-15	-16	-13

Dari Tabel 3.5 dan Tabel 3.6, kondisi return loss pada proses karakterisasi ini menjadi lebih baik dari kondisi sebelumnya. Hal ini ditunjukkan dengan adanya pergeseran frekuensi resonansi menuju frekuensi resonansi yang diharapkan. Dengan demikian, lebar *patch* yang digunakan pada proses karakterisasi selanjutnya adalah sebesar 134.47mm

3.3.1.4 Karakterisasi Panjang *Patch*

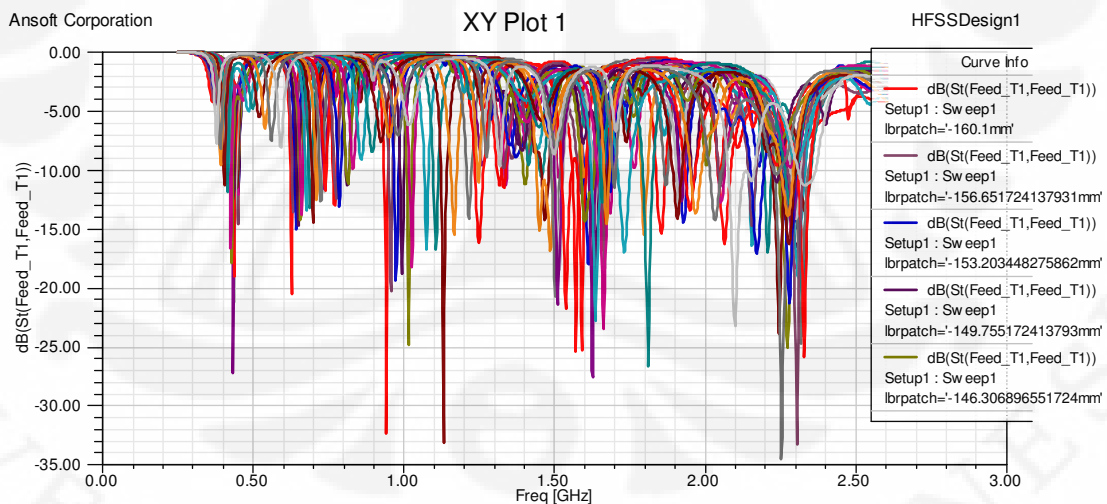
Karakterisasi panjang *patch* ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh perubahan panjang *patch* terhadap frekuensi resonansi. Parameter yang divariasikan dalam proses ini adalah hanya panjang *patch*. Sama seperti proses karakterisasi sebelumnya, posisi slot terlebih dahulu diatur sedemikian hingga dapat dilakukan proses optimetric untuk panjang *patch*. Posisi slot terletak 12 mm dari tepi bawah *patch*. Optimetric pada simulasi dilakukan dengan memvariasikan panjang *patch* atau L_p seperti yang

ditunjukkan pada gambar 3.15. Berikut gambar kondisi antenna awal yang disimulasikan dalam proses karakterisasi ini,



Gambar 3.15 Antena saat proses karakterisasi panjang *patch*

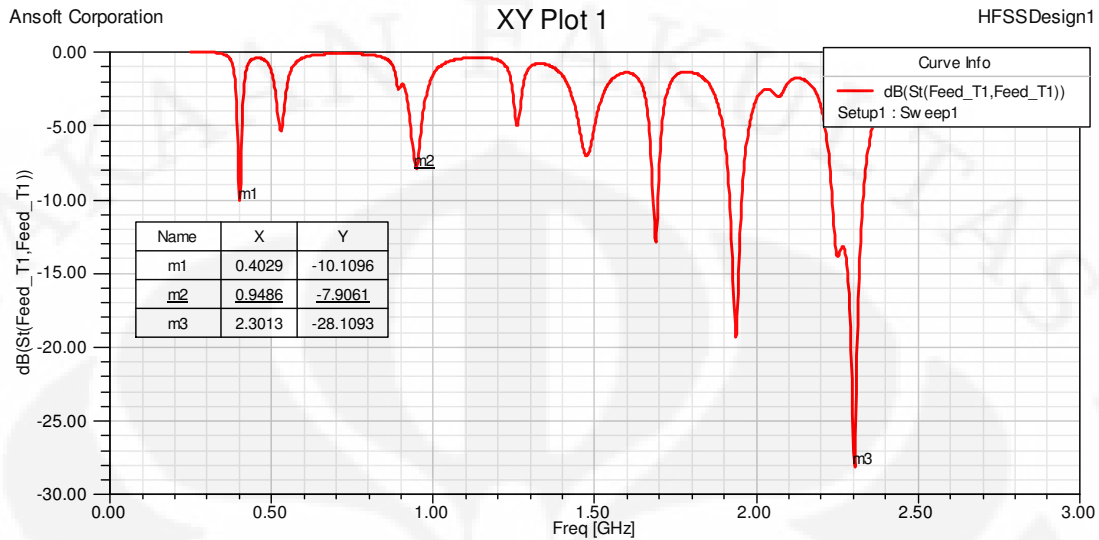
Hasil simulasi karakterisasi perubahan panjang *patch* ditunjukkan dengan Gambar 3.16. Terlihat pengaruh lebar *patch* yang sangat dominan pada semua frekuensi (sekitar 433, 923 2450 MHz). Hal ini bersesuaian dengan teori yang sebelumnya telah disampaikan dalam Persamaan 2.3, bahwa parameter panjang *patch* ini sangat mempengaruhi frekuensi resonansi antenna.



Gambar 3.16 Return loss optimetric panjang *patch*

Kondisi terbaik yang dicapai pada simulasi karakterisasi panjang *patch* ini adalah saat antenna memiliki dimensi panjang *patch* 70.4 mm. Gambar 3.17 dan Tabel

3.7 menunjukkan hasil simulasi untuk dimensi panjang *patch* 70.4 mm,



Gambar 3.17 Return loss saat lebar *patch* 70.4mm

Tabel 3.7 Return loss dan frekuensi kerja saat lebar *patch* 70.4mm

Frekuensi Kerja (MHz)	402	948	2301
Return Loss (dB)	-10.1	-7.9	-28

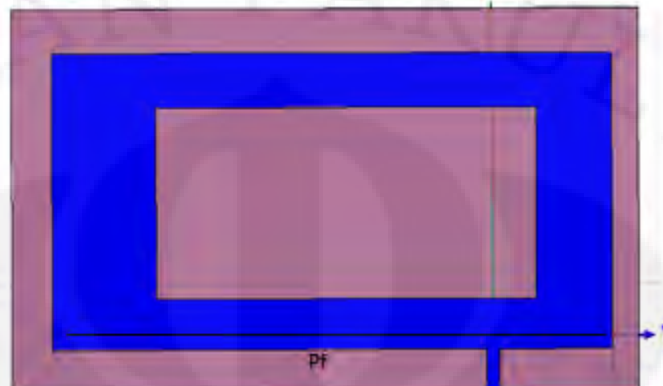
Dari Tabel 3.6 dan Tabel 3.7, kondisi return loss pada proses karakterisasi ini menjadi lebih baik dari kondisi sebelumnya. Hal ini ditunjukkan dengan adanya pergeseran frekuensi resonansi menuju frekuensi resonansi yang diharapkan, kecuali pada frekuensi atas (2450 MHz). Pada frekuensi atas, frekuensi atas bergeser menjadi lebih kecil dari karakterisasi sebelumnya. Dengan demikian, panjang *patch* yang digunakan pada proses karakterisasi selanjutnya adalah sebesar 70,4 mm

3.3.2 Karakterisasi *Feed Line*

3.3.2.1 Karakterisasi Posisi *Feed Line*

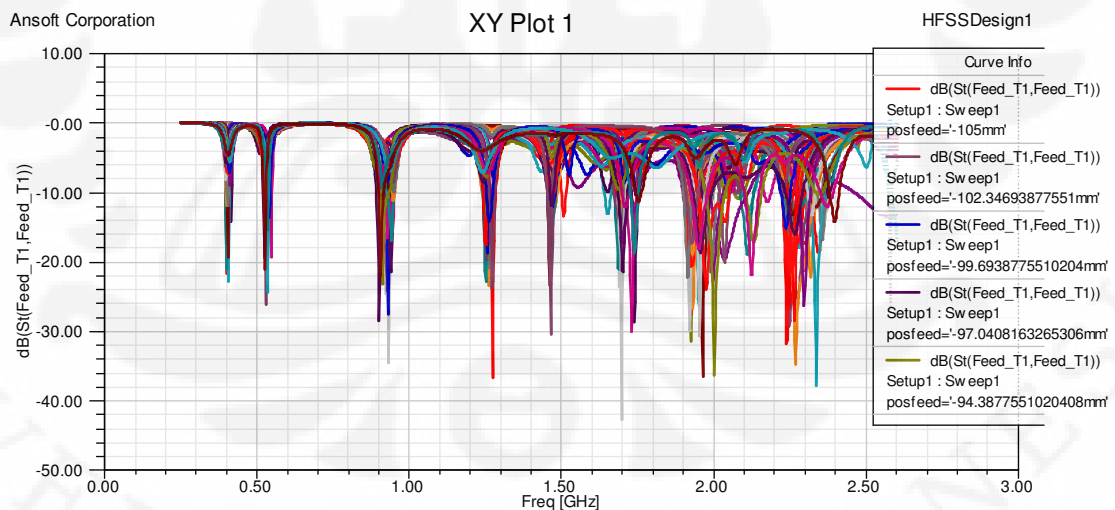
Karakterisasi posisi *feed line* ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh perubahan posisi *feed line* terhadap frekuensi resonansi. Parameter yang divariasikan dalam proses ini adalah posisi *feed line* atau Pf. Optimetric pada simulasi dilakukan dengan menggeser posisi *feed line*. Penggeseran *feed line* ini dilakukan dengan

menempatkan posisi *feed line* dari kiri ke kanan sedemikian sehingga mendapatkan hasil yang cukup baik



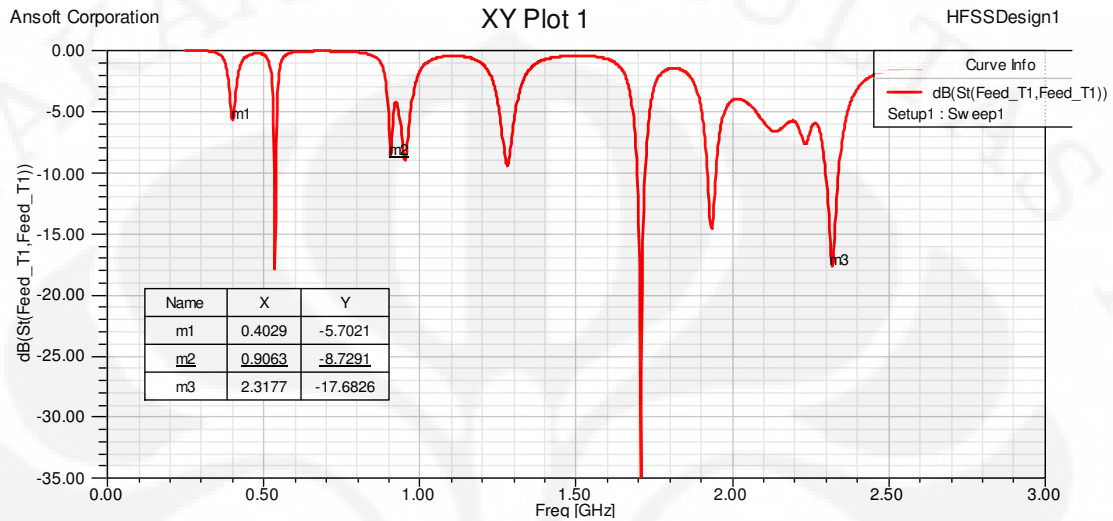
Gambar 3.18 Antena saat proses karakterisasi posisi *feed line*

Hasil simulasi karakterisasi posisi *feed line* ditunjukkan dengan Gambar 3.19. Terlihat bahwa pengaruh perubahan posisi *feed* hanya dominan pada frekuensi yang lebih tinggi (sekitar 2.45 GHz). Dengan demikian dapat dikatakan bahwa pergeseran frekuensi resonansi sekitar 2.45 GHz ini akan sangat dipengaruhi oleh posisi *feed line*. Sementara itu, posisi *feed line* ini hanya mempengaruhi kondisi *matching* dari frekuensi resonansi sekitar 433 dan 923 MHz.



Gambar 3.19 Return loss optimetric posisi *feed line*

Berdasarkan hasil simulasi tersebut, kondisi terbaik dicapai pada saat posisi *feed line* sebesar -97 mm sebelah kiri sumbu koordinat. Berikut hasil simulasi saat posisi *feed line* -97 mm sebelah kiri sumbu koordinat x.



Gambar 3.20 Return loss saat posisi *feed line* -97 mm

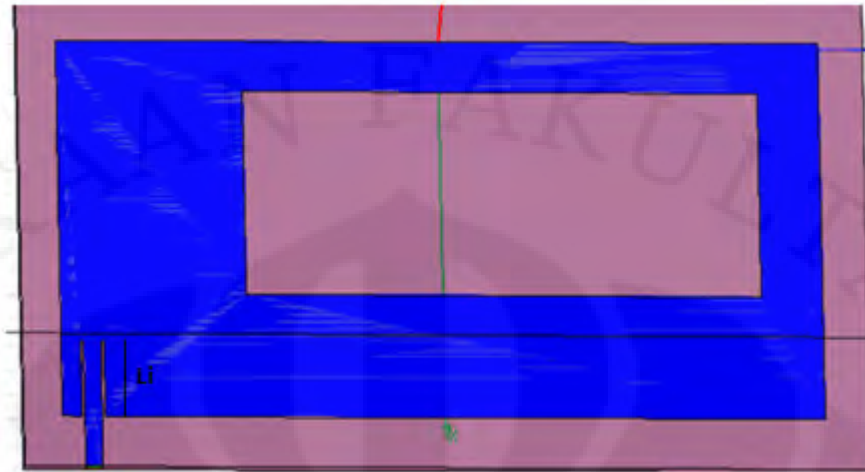
Tabel 3.8 Return loss dan frekuensi kerja saat posisi *feed line* -97 mm

Frekuensi Kerja (MHz)	402	906	2317
Return Loss (dB)	-5.7	-8.7	-17

Dari Tabel 3.7 dan Tabel 3.8, kondisi return loss pada proses karakterisasi ini menjadi lebih baik dari kondisi sebelumnya. Hal ini ditunjukkan dengan adanya pergeseran frekuensi resonansi menuju frekuensi resonansi yang diharapkan

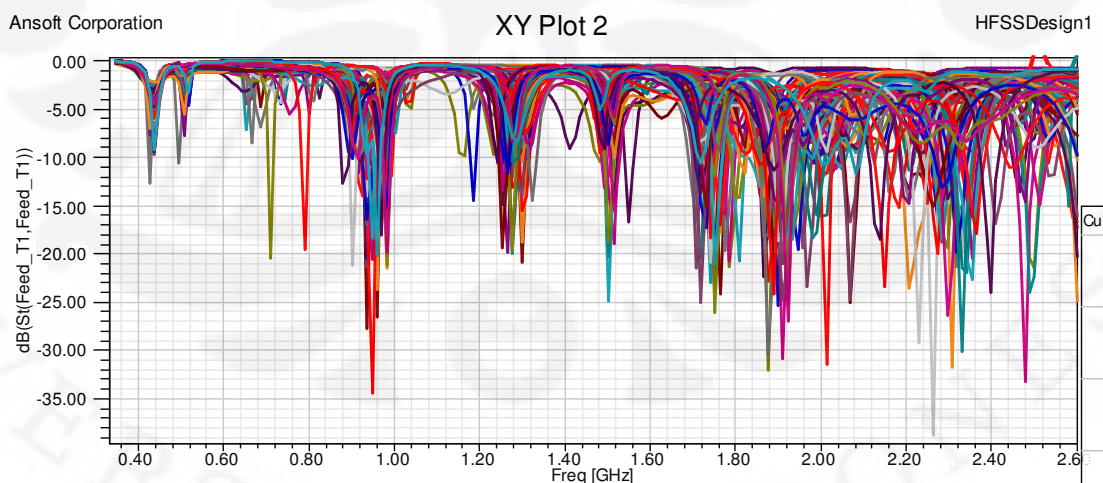
3.3.2.2 Karakterisasi Panjang *Inset Feed Line*

Karakterisasi panjang inset feed line ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh perubahan panjang inset feed line terhadap frekuensi resonansi. Parameter yang divariasikan dalam proses ini adalah panjang inset feed line atau L_i . Pada karakterisasi panjang inset feed line ini, variasi parameter panjang inset feed line kanan dan kiri tidak hanya dibuat sama, tetapi juga dibuat berbeda. Optimetric pada simulasi dilakukan dengan memvariasikan panjang inset feed line



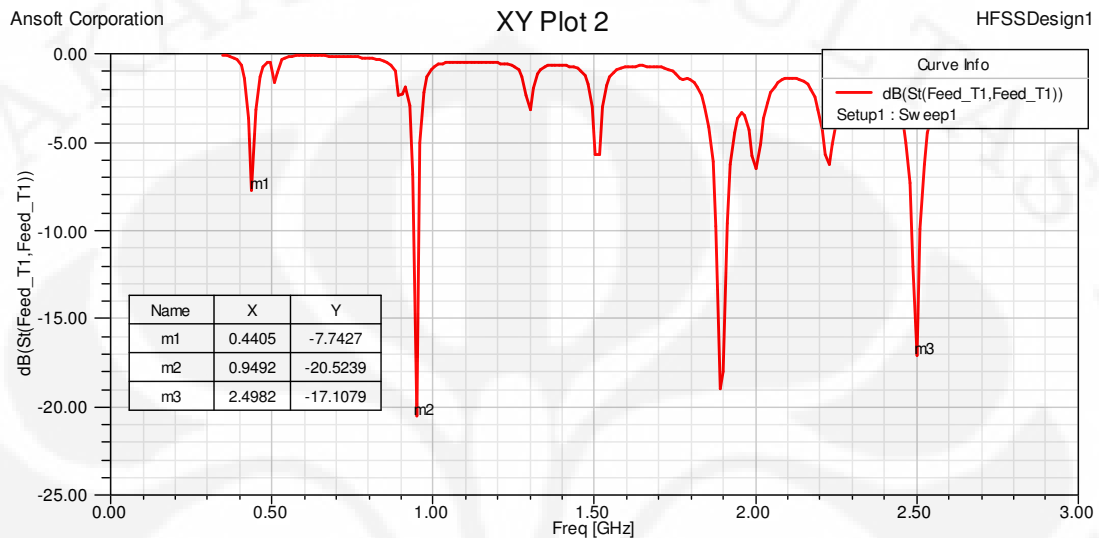
Gambar 3.21 Antena saat proses karakterisasi panjang *inset feed line*

Hasil simulasi karakterisasi perubahan panjang *inset feed line* ditunjukkan dengan Gambar 3.22. Berdasarkan hasil simulasi, dapat diketahui bahwa panjang *inset feed line* ini memiliki pengaruh yang hampir sama seperti posisi *feed line*, yaitu pada frekuensi sekitar 433 dan 923 MHz, panjang *inset feed line* hanya berpengaruh besar pada kondisi *matching*nya saja sedangkan pada frekuensi sekitar 2450 MHz, panjang *inset feed line* berpengaruh pada pergeseran frekuensinya.



Gambar 3.22 Return loss optometric panjang *inset* kanan dan kiri

Berdasarkan hasil simulasi tersebut didapatkan kondisi optimum pada saat panjang *inset* kanan sebesar 31.67mm dan *inset* kiri sebesar 39.3mm.



Gambar 3.23 Return loss saat *inset* kanan dan kiri sebesar 31.67mm dan 39.3mm

Tabel 3.9 Return loss dan frekuensi kerja saat *inset* kanan dan kiri sebesar 31.67mm dan 39.3mm

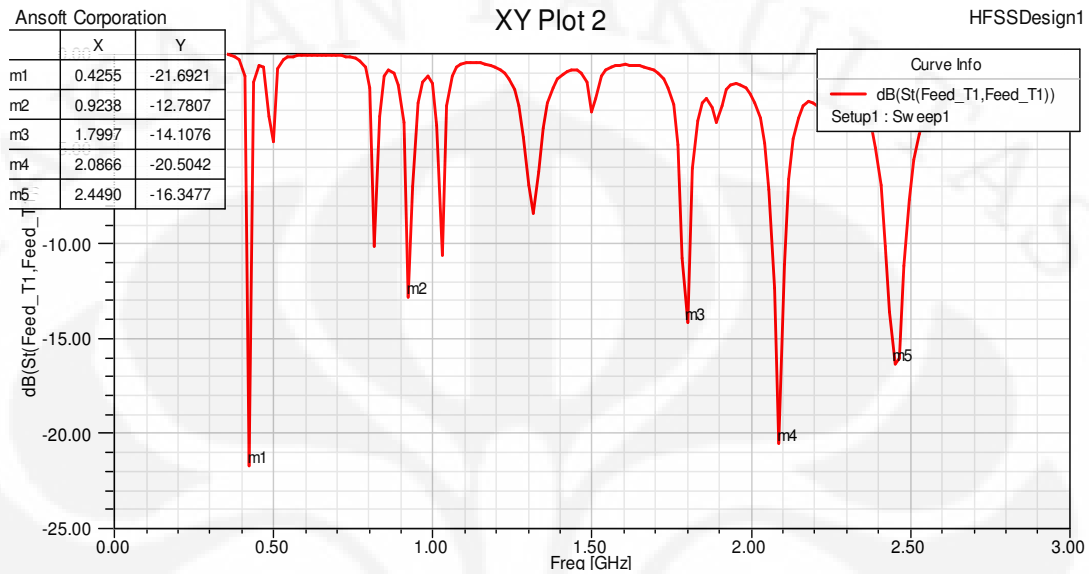
Frekuensi Kerja (MHz)	440	949	2498
Return Loss (dB)	-7.7	-20.5	-17

Berdasarkan hasil akhir proses karakterisasi panjang *inset feed line* ini, terlihat hasil yang lebih baik dari kondisi return loss sebelumnya pada frekuensi yang diinginkan (433, 923, 2450 MHz).

3.4 Karakterisasi antena 433, 923, 2450 MHz

Setelah proses karakterisasi slot, *patch*, dan *inset feed line* selesai, Penulis melakukan optimasi parameter-parameter tersebut kembali dengan melihat pengaruh yang ditimbulkan oleh setiap parameter tersebut sedemikian sehingga hasil terbaik yang dicapai sampai proses ini adalah seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 3.24. Gambar 3.25 merupakan gambar rancangan antena sementara yang dapat bekerja

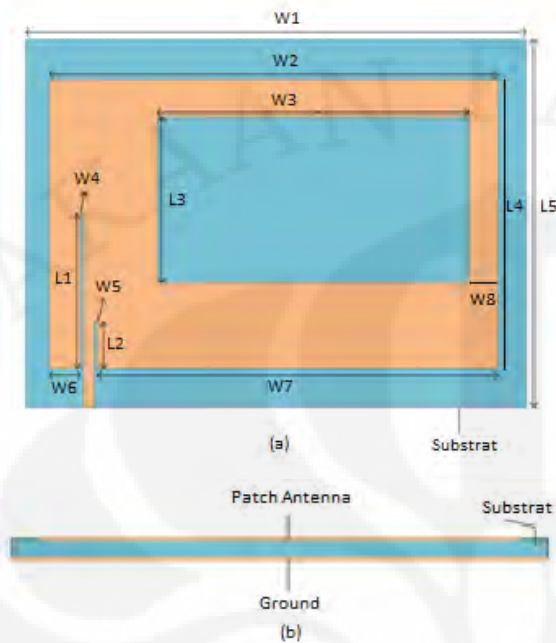
pada frekuensi 433 923, dan 2450 MHz untuk aplikasi RFID dengan besar dimensinya ditunjukkan oleh Tabel 3.10.



Gambar 3.24 Return loss antenna 433, 923, dan 2450 MHz

Gambar 3.24 merupakan grafik return loss dari hasil simulasi antenna dengan dimensi masing-masing parameter ditunjukkan dengan Gambar 3.27 dan Tabel 3.11.

Hasil simulasi ini menunjukkan hasil yang cukup baik dengan terpenuhinya besar bandwidth yang diperlukan pada ketiga frekuensi yang diharapkan dan dengan dimensi keseluruhan antenna yang tidak terlalu besar seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.12.



Tabel 3.10 Dimensi panjang dan lebar antenna 433, 923, dan 2450 MHz

Panjang	Dimensi (mm)	Lebar	Dimensi (mm)
L1	40	W1	150
L2	12.1	W2	134.5
L3	42.9	W3	93.3
L4	75	W4 & W5	1
L5	95.4	W6	10.5
		W7	120.9
		W8	8.7

Gambar 3.25 Antena 433, 923, dan 2450 MHz

Tabel 3.11 Return loss dan frekuensi kerja antenna 433, 923, dan 2450 MHz

Frekuensi Kerja (MHz)	425	923	2449
Return Loss (dB)	-7.7	-20.5	-17

Tabel 3.12 Bandwidth dan frekuensi kerja antenna 433, 923, dan 2450 MHz

Frekuensi Kerja dalam MHz	Bandwidth (VSWR<2) dalam MHz
425.5	417-434 (4%)
923.8	919-931 (1.3%)
2449	2418-2484 (2.7%)

3.5 Karakterisasi Patch Spiral

Setelah mendapatkan hasil yang cukup baik untuk ketiga frekuensi kerja sebelumnya, Penulis melakukan modifikasi kembali terhadap *patch* antenna yaitu dengan penambahan elemen konduktor spiral. Penambahan elemen ini bertujuan

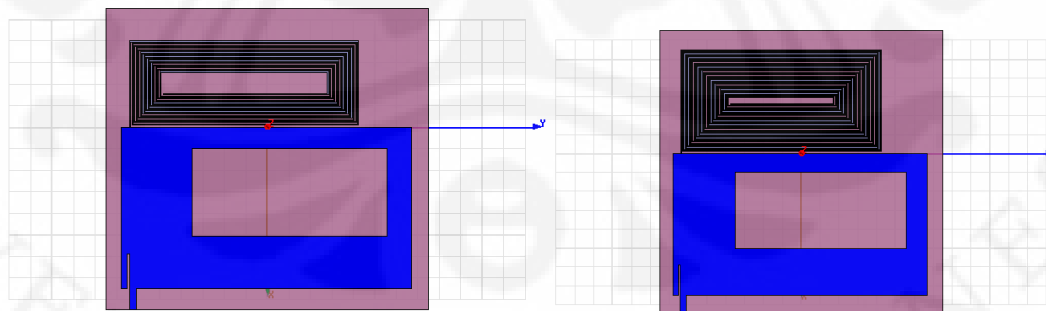
Universitas Indonesia

untuk mendapatkan frekuensi kerja yang cukup rendah, yakni 13,56 MHz. Elemen spiral ini ditujukan agar antenna memiliki nilai induktansi yang cukup besar sehingga mampu untuk beresonansi pada frekuensi HF. Secara teori, hubungan antara frekuensi resonansi dan nilai induktansi ini adalah berbanding terbalik seperti yang terdapat pada Persamaan (2.13), sehingga untuk mendapatkan frekuensi resonansi yang cukup rendah maka diperlukan nilai induktansi yang cukup besar. Dengan mengacu pada Persamaan (2.15) – (2.20), terdapat beberapa parameter yang sangat mempengaruhi nilai induktansi elemen spiral ini, diantaranya adalah jumlah putaran, lebar *track*, panjang tiap segmen spiral, dan ketebalan dari konduktor.

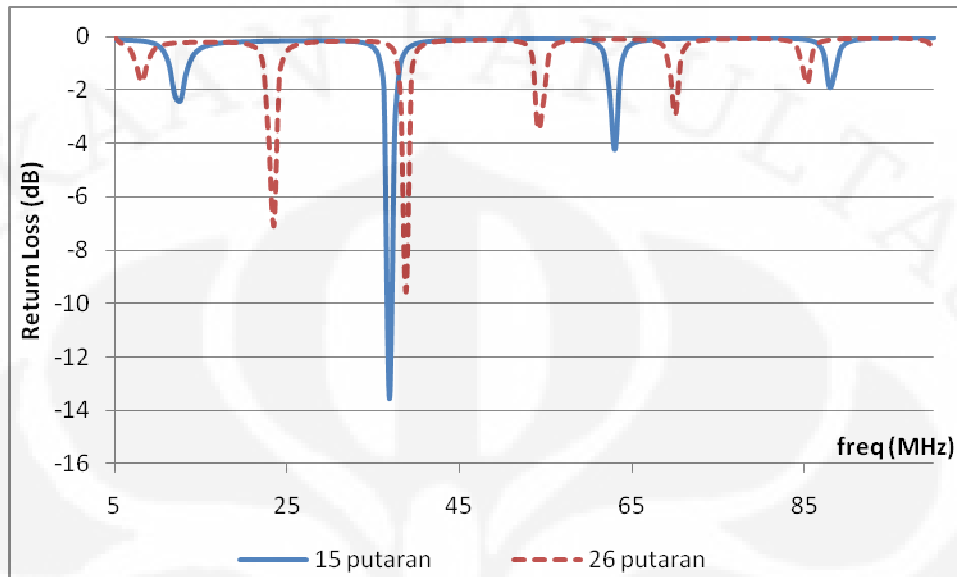
Dengan demikian, terdapat beberapa parameter yang cukup berpengaruh untuk mendapatkan frekuensi kerja 13,56 MHz, diantaranya:

3.5.1 Karakterisasi Jumlah Putaran

Berdasarkan hasil simulasi yang ditunjukkan dengan Gambar 3.27, dapat disimpulkan bahwa penambahan jumlah putaran akan menggeser frekuensi resonansi antenna menuju frekuensi resonansi yang lebih rendah. Hal ini bersesuaian dengan Persamaan 2.14, karena dengan bertambahnya jumlah putaran akan mengakibatkan semakin bertambahnya nilai induktansi sehingga akan didapatkan frekuensi resonansi yang lebih rendah pada jumlah putaran yang lebih banyak [16].



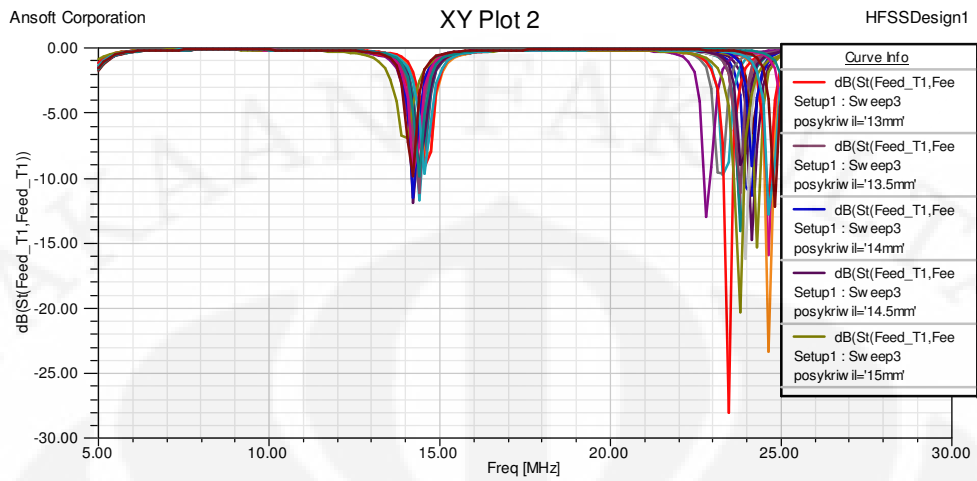
Gambar 3.26 (a) antenna dengan elemen spiral 15 putaran (b) antenna dengan elemn spiral 26 putaran



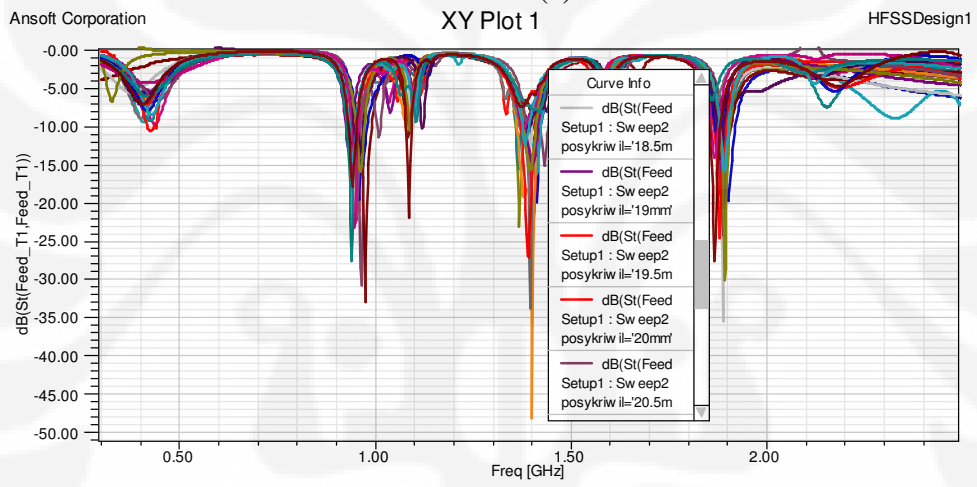
Gambar 3.27 Return loss elemen spiral 15 dan 26 putaran

3.5.2 Karakterisasi Posisi Elemen Spiral

Proses berikutnya adalah proses karakterisasi posisi elemen spiral. Pada proses karakterisasi ini, akan dilihat pengaruh posisi elemen spiral dengan menggeser posisi spiral dari kiri ke kanan. Gambar 3.28 menunjukkan pengaruh yang diberikan oleh posisi elemen spiral. Gambar 3.28(b) tersebut menunjukkan bahwa perubahan posisi elemen spiral tidak begitu berpengaruh pada pergeseran frekuensi yang lebih tinggi. Terlihat pada frekuensi 2450 MHz tidak menunjukkan adanya resonansi, sebaliknya Gambar 2.8(a) menunjukkan hasil return loss yang baik untuk frekuensi 923 MHz, pada frekuensi 433 MHz nilai return loss terbaik didapatkan pada saat posisi elemen spiral 19,55 mm dari tepi kiri sebagaimana yang terlihat pada Gambar 3.29, dan pada frekuensi 13,56 MHz belum menunjukkan nilai return loss yang diinginkan.

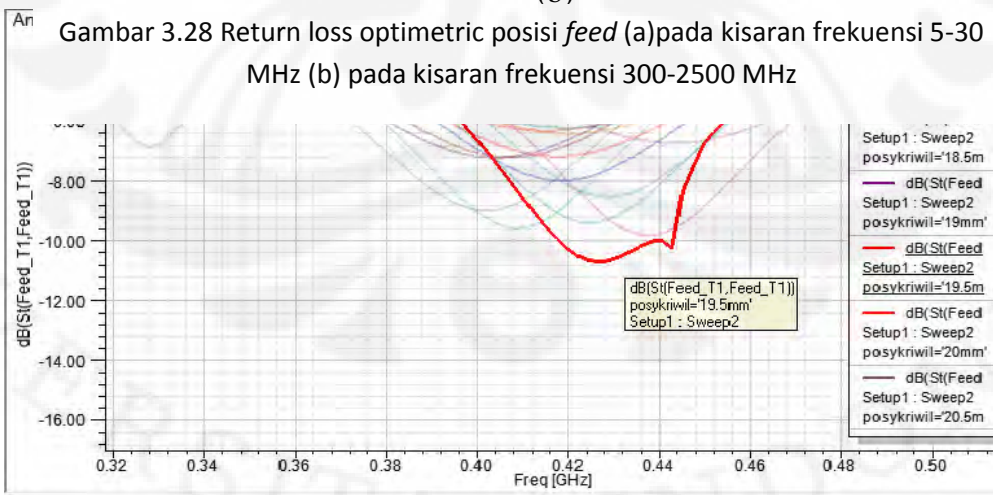


(a)



(b)

Gambar 3.28 Return loss optimetric posisi *feed* (a) pada kisaran frekuensi 5-30 MHz (b) pada kisaran frekuensi 300-2500 MHz



Gambar 3.29 Return loss optimetric posisi *feed line* pada frekuensi 433 MHz

Hasil terbaik untuk simulasi karakterisasi posisi elemen spiral ini didapatkan pada posisi elemen spiral 19.5 mm yang berarti jarak ini sama dengan 40mm dari tepi *patch* sebelah kiri.

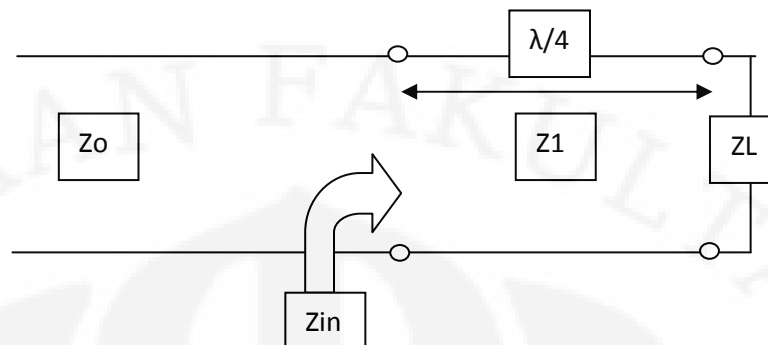
3.5.3 Modifikasi *Feed Line* Patch Spiral dengan Quarter Transformer

Proses selanjutnya adalah proses untuk mendapatkan kondisi *matching* antenna pada frekuensi resonansi 13,56 MHz. terdapat berbagai teknik yang dapat dilakukan untuk mendapatkan kondisi *matching*, salah satu diantaranya adalah teknik quarter transformer. Dibandingkan dengan teknik impedance *matching* lainnya seperti stub, binomial transformer, dan chebyshev transformer[13], teknik quarter transformer merupakan teknik impedance *matching* yang lebih sederhana dan lebih mudah dalam proses perancangannya.

Dalam implementasinya, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.30 , impedansi beban dan impedansi karakteristik *feed line*, keduanya bernilai real dan diketahui nilainya terlebih dahulu. Pada skripsi ini, Penulis menggunakan perangkat lunak PCAAD (Personal Aided Antena Design) v. 5.0 untuk mendapatkan nilai impedansi beban dari lebar line yang ditetapkan pada antenna spiral ini, yaitu $L_{kriwil} = 0.5$ mm. Untuk lebar line 0.5 mm didapatkan impedansi beban sebesar 115.5 ohm sedangkan impedansi karakteristik transmission line yang diinginkan sebesar 50 ohm. Kedua komponen ini, yaitu Z_L dan Z_o terhubung dengan sebuah saluran transmisi yang memiliki impedansi Z_1 dan dengan panjang $\lambda/4$. Impedansi Z_1 dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan dan didapatkan nilai Z_1 sebesar 75 ohm

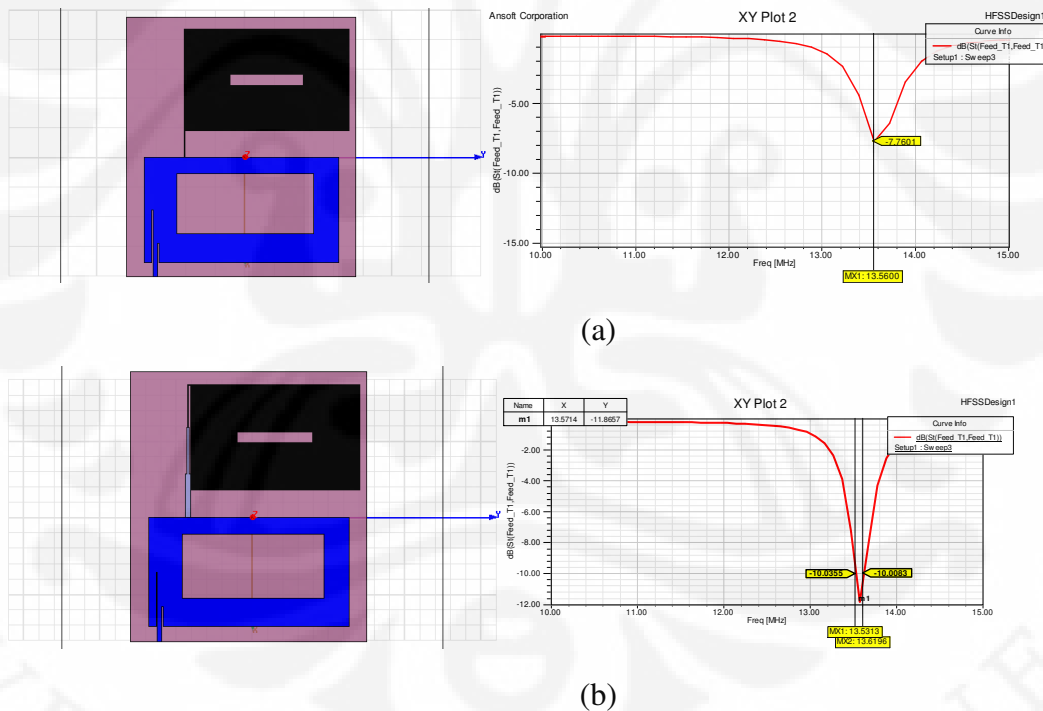
$$Z_1 = \sqrt{Z_o \cdot Z_L} \quad (3.3)$$

Setelah mendapatkan nilai impedansi Z_1 , dengan menggunakan PCCAD dihitung kembali lebar line yang bersesuaian dengan nilai Z_1 tersebut. Hasil perhitungan menunjukkan lebar line yang sesuai untuk impedansi 75 ohm adalah sebesar 1.43 mm. Berikut adalah gambaran rangkaian ganti dari transformer seperempat panjang gelombang,



Gambar 3.30 Gambar rangkaian ganti impedansi dengan transformer seperempat panjang gelombang

Gambar 3.31 menunjukkan perbandingan antara antenna yang tidak menggunakan transformer seperempat panjang gelombang dan antenna yang sudah menggunakan transformer seperempat panjang gelombang.



Gambar 3.31 Gambar antenna (kiri) dan return loss (kanan) simulasi (a) sebelum ditambahkan transformer (b) setelah ditambahkan transformer

Berdasarkan hasil simulasi yang ditunjukkan dengan Gambar 3.31 (a) dan (b), dapat disimpulkan bahwa dengan penggunaan teknik transformasi seperempat

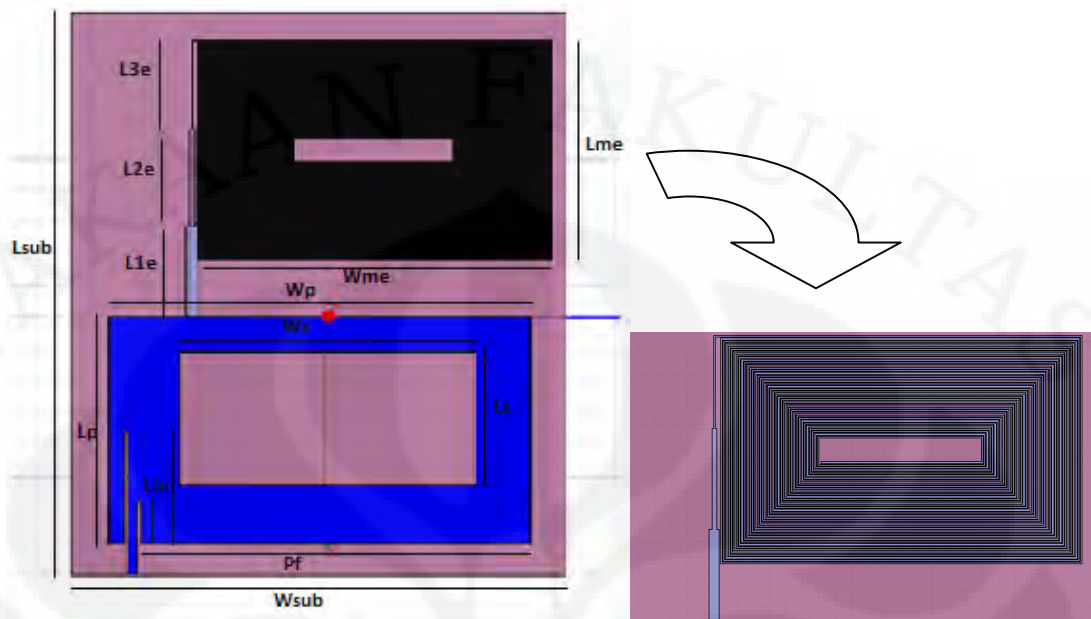
panjang gelombang akan berpengaruh pada kondisi *matching* dari antenna pada frekuensi resonansi 13,56 MHz. Pada frekuensi resonansi sekitar 13,56 MHz, saat belum ditambahkan transformer, didapatkan nilai return loss sebesar -7.7 dB, sedangkan saat sudah ditambahkan transformer didapatkan nilai return loss -11.86 dB. Hasil ini menunjukkan adanya perbaikan nilai return loss setelah dilakukannya penambahan transformer seperempat panjang gelombang.

3.6 Hasil Akhir Simulasi

Setelah dilakukan penambahan transformer dan didapatkan frekuensi 13,56 MHz. Penulis kembali mengatur baik dimensi maupun posisi dari *patch*, slot maupun *feed line* dengan mengacu pada karakterisasi yang sebelumnya telah dilakukan sampai didapatkan frekuensi resonansi yang diinginkan. Gambar 3.32 menunjukkan rancangan akhir antenna multiband dan dimensi antenna ini ditunjukkan dengan Tabel 3.13.

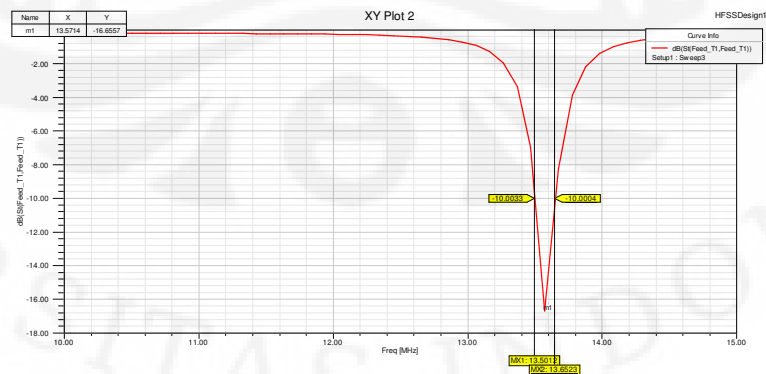
Tabel 3.13 Dimensi panjang, lebar, dan posisi antenna akhir rancangan

Length	Dimension (mm)	Width	Dimension (mm)
Lsub (panjang substrat)	176	Wsub (lebar substrat)	155
Lp (panjang <i>patch</i>)	71	Wp (lebar <i>patch</i>)	131.68
Ls (panjang slot)	41.8	Ws (lebar slot)	93.2
Lme (p.jg. max elemen spiral)	111.8	Wme (lebar max elemen spiral)	69
L1e	28.4		
L2e	30.6		
L3e	28		
Lin (panjang <i>inset</i>)	35.2 (kiri) 13 (kanan)	Pf (posisi <i>feed</i>)	125 (dari tepi kanan)

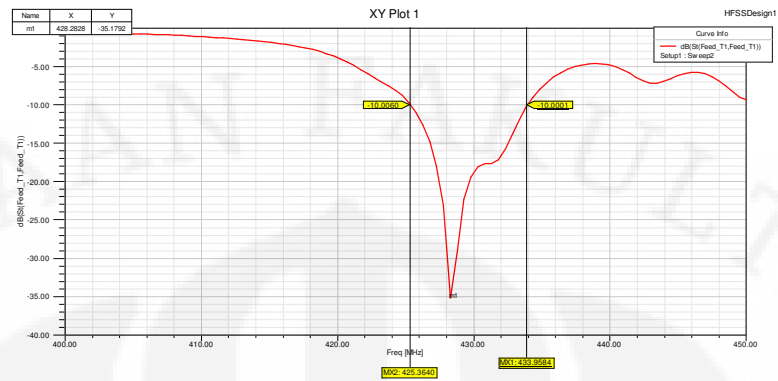


Gambar 3.32 Gambar rancangan antenna akhir secara keseluruhan(kiri) dan elemen spiralnya dengan 39 putaran (kanan)

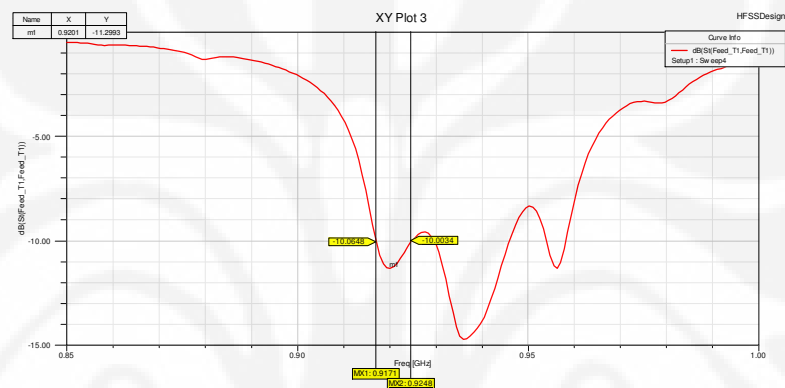
Gambar 3.33 menunjukkan grafik return loss yang didapatkan oleh Penulis sampai dilakukannya Penulisan skripsi ini. Berdasarkan Gambar tersebut, secara simulasi, antenna dapat beresonansi pada tiga buah frekuensi untuk aplikasi RFID. Ketiga frekuensi resonansi yang didapatkan adalah 13,56, 433, dan 923 MHz. seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.33. Keterangan lebih jelas mengenai hasil simulasi terakhir ini ditunjukkan dengan Tabel 3.13.



(a)



(b)



(c)

Gambar 3.33 Return loss antenna multiband untuk aplikasi RFID (A) 13,56 MHz (B) 433 MHz, (C) 923 MHz

Tabel 3.13 Bandwidth dan frekuensi kerja simulasi akhir

Frekuensi kerja tujuan (dB)	Frekuensi kerja simulasi (MHz)	Return loss (dB)	Bandwidth (VSWR<2)
13,56	13.57	-16	13.50-13.65 (1.1%)
433	428	-35	425-434 (2.1%)
923	920	-11	917-925 (0.9%)

Tabel 3.13 menunjukkan keterangan hasil simulasi terakhir yang didapatkan Penulis sampai saat skripsi ini dibuat. Terlihat bahwa secara simulasi, antenna ini sudah dapat beresonansi pada kisaran frekuensi RFID dengan bandwidth yang sesuai dengan standar seperti yang telah disebutkan pada Bab 1. Akan tetapi Penulis hanya mendapatkan tiga buah frekuensi kerja saja, yaitu 13,56, 433, dan 923. Hasil simulasi yang didapatkan ini sudah bersesuaian dengan tujuan dari Penulisan skripsi ini seperti yang telah disebutkan pada Bab 1 yaitu agar didapatkan antenna multiband yang dapat bekerja pada tiga buah frekuensi kerja RFID dengan standar return loss < -10 dB, yaitu 13,56, 433, dan 923 MHz.

BAB 4

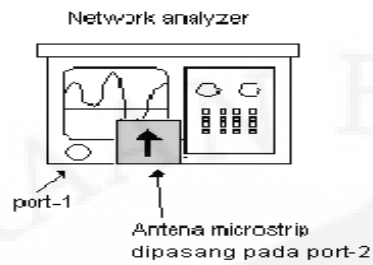
PENGUKURAN ANTENA DAN ANALISA

4.1 Prosedur Pengukuran Antena

Antena yang akan diukur dalam skripsi ini adalah rancangan akhir antena multiband yang telah difabrikasi. Setelah desain antena selesai dibuat dan disimulasikan dengan menggunakan perangkat lunak HFSS v.11, Antena kemudian difabrikasi. Setelah itu, antena hasil fabrikasi diukur pada ruang *anechoic chamber* dengan metode pengukuran seperti yang dijelaskan pada subbab selanjutnya. Ada 5 parameter antena yang diukur pada penelitian ini, yaitu return loss, VSWR, impedansi masukan, pola radiasi, dan gain. Kelima parameter tersebut dibagi ke dalam 3 kelompok pengukuran, yaitu pengukuran port tunggal (untuk mengukur return loss, VSWR, dan impedansi masukan), pengukuran port ganda (untuk mengukur pola radiasi), dan pengukuran gain dengan metode 3 antena.

4.2 Pengukuran Port Tunggal

Pengukuran port tunggal merupakan pengukuran tanpa melibatkan antena yang lain. Pada pengukuran port tunggal ini, antena yang telah difabrikasi diukur dengan menggunakan Network Analyzer. Antena 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 4.1.



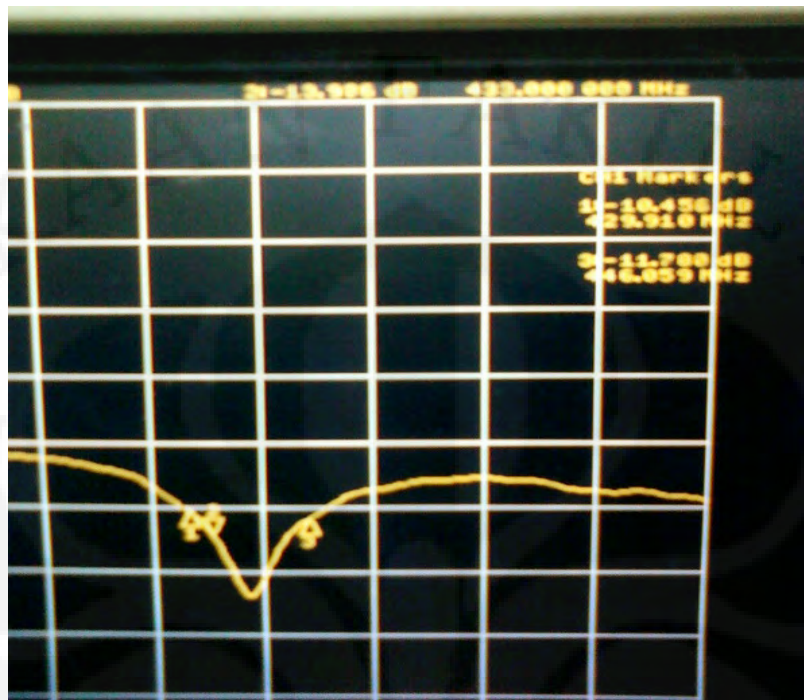
Gambar 4.1 Konfigurasi Pengukuran Port Tunggal

4.2.1 Hasil Pengukuran Return Loss dan VSWR

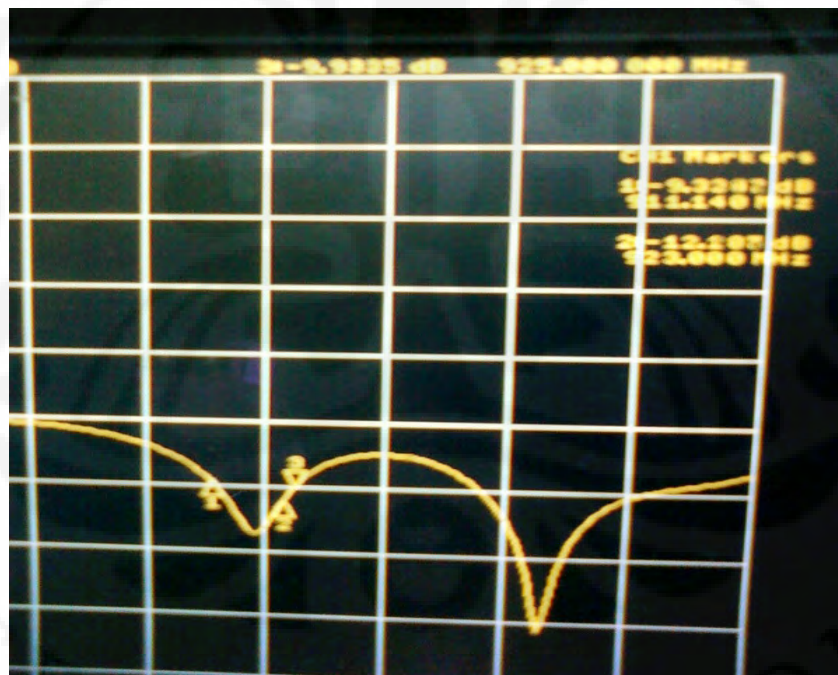
Pada pengukuran Return Loss dan VSWR ini, Penulis mendapatkan hasil pengukuran seperti yang ditunjukkan dengan gambar 4.2



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.2 Return loss hasil pengukuran (a) frekuensi 13.56 MHz (b) frekuensi 433 MHz (c) 923 MHz

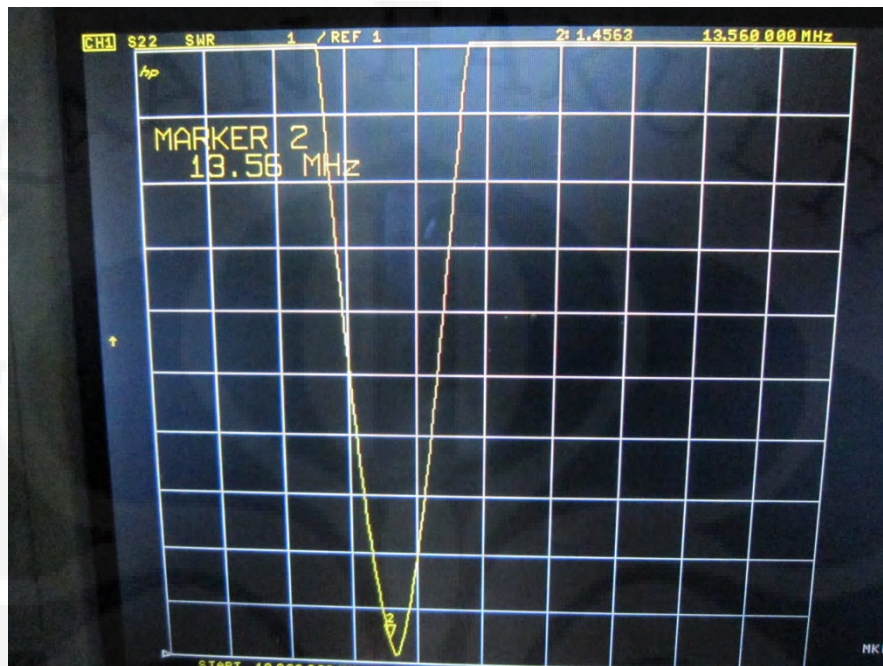
Berdasarkan hasil pengukuran tersebut, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.2 didapatkan, bahwa rancangan antenna dalam skripsi ini dapat beresonansi pada tiga buah frekuensi kerja RFID, yaitu 13,56, 433 dan 923 MHz dengan bandwidth masing-masing sebesar 0,42, 17, dan 14 MHz. Pada Gambar 4.2 di atas, m_2 merupakan frekuensi resonansi dari antenna. Keterangan lebih jelas mengenai hasil pengukuran yang didapatkan oleh Penulis ditunjukkan pada Tabel 4.1

Tabel 4.1 Bandwidth dan frekuensi kerja hasil pengukuran

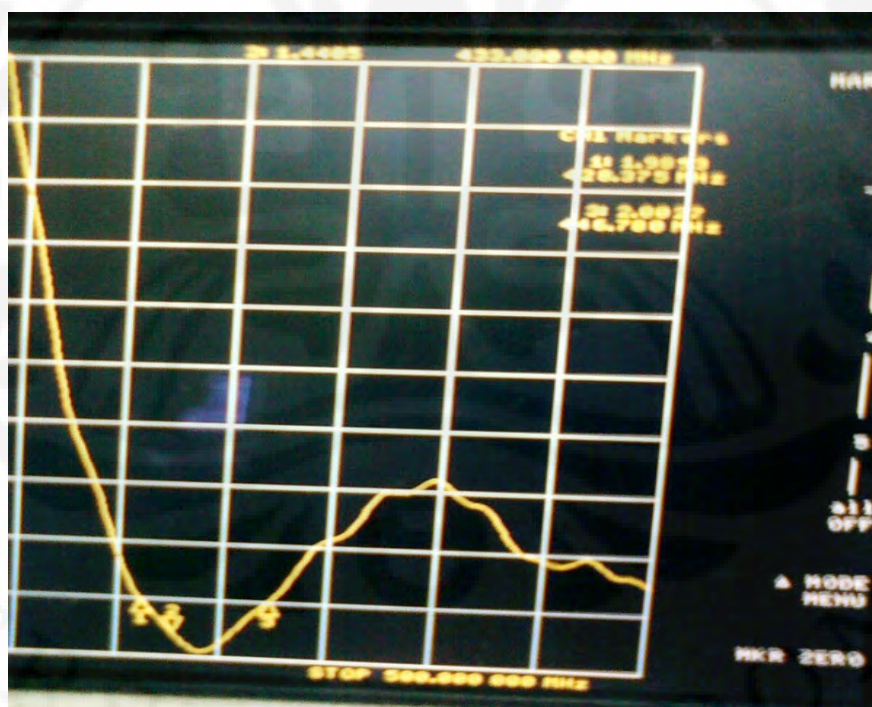
Frekuensi tujuan (dB)	Frekuensi kerja pengukuran (MHz)	Return loss frek. tujuan (dB)	Bandwidth frekuensi pengukuran (RL < -10 dB)
13,56	13,4	-13	13,2 - 13,62 (3,36%)
433	433	-13	429 - 446 (4,16%)
923	950	-12	911 - 925 (1,05%)

Berdasarkan Tabel 4.1, antenna yang dirancang dalam skripsi ini telah berhasil difabrikasi dan menghasilkan return loss pada tiga buah frekuensi kerja RFID (*dual band*) yang diinginkan dengan bandwidth yang telah sesuai dengan standar yang ada, yaitu pada frekuensi kerja 13,56 MHz, 433, dan 923 MHz. Frekuensi 13,56 MHz berada pada nilai return loss -13 dB dengan bandwidth terjadi dari 13,2 – 13,62 MHz atau sebesar 0,42 MHz, frekuensi 433 MHz berada pada nilai return loss -13 dB dengan bandwidth terjadi pada 429 – 446. MHz atau sebesar 17 MHz, frekuensi 923 MHz berada pada nilai return loss -12 dB dengan bandwidth terjadi pada 911-925 MHz atau sebesar 14 dB. Hasil ini merupakan pengukuran terbaik yang dilakukan setelah beberapa kali dilakukan optimasi pada antenna fabrikasi.

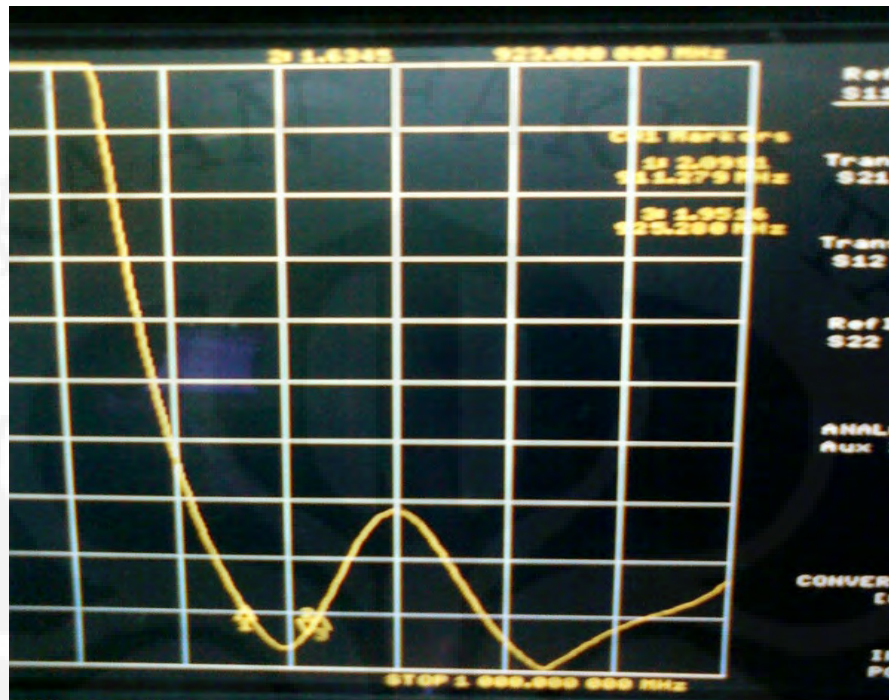
Jika dilihat dengan parameter VSWR frekuensi kerja 13,56, 433 dan 923 MHz berada pada nilai VSWR = 1,4 untuk frekuensi 13,56 MHz, VSWR = 1,4 untuk frekuensi 433 MHz, dan VSWR = 1,6 untuk frekuensi 923 MHz, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.3



(a)



(b)

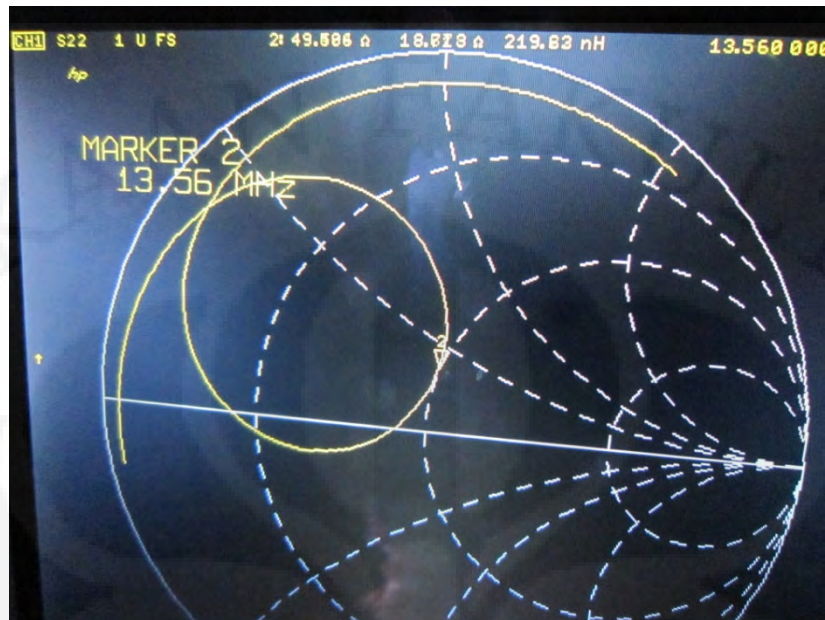


(c)

Gambar 4.3 VSWR hasil pengukuran (a) 13,56 MHz (b) 433 MHz (c) 923 MHz

4.2.2 Hasil Pengukuran Impedansi Masukan

Impedansi masukan antenna dapat dilihat dari Gambar 4.4. Dari Gambar 4.4, tersebut diketahui bahwa pada frekuensi 13,56 MHz memiliki impedansi masukan $49.5 + j18.5 \Omega$, sedangkan pada frekuensi 433 MHz memiliki impedansi masukan $43.7 + j 9.1 \Omega$, dan pada frekuensi 923 MHz memiliki impedansi masukan $60 + j20.6 \Omega$



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.4 Impedansi masukan hasil pengukuran (a) frekuensi 13,56 MHz (b) frekuensi 433 MHz (c) 923 MHz

4.3 Pengukuran Pola Radiasi

Pola radiasi merupakan visualisasi radiasi dan penerimaan antenna dalam koordinat sumbu. Medan radiasi antenna terdiri dari medan jauh (*far field*) dan medan dekat (*near-field*). Jarak minimum medan jauh antara antenna pengirim dan antenna 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)

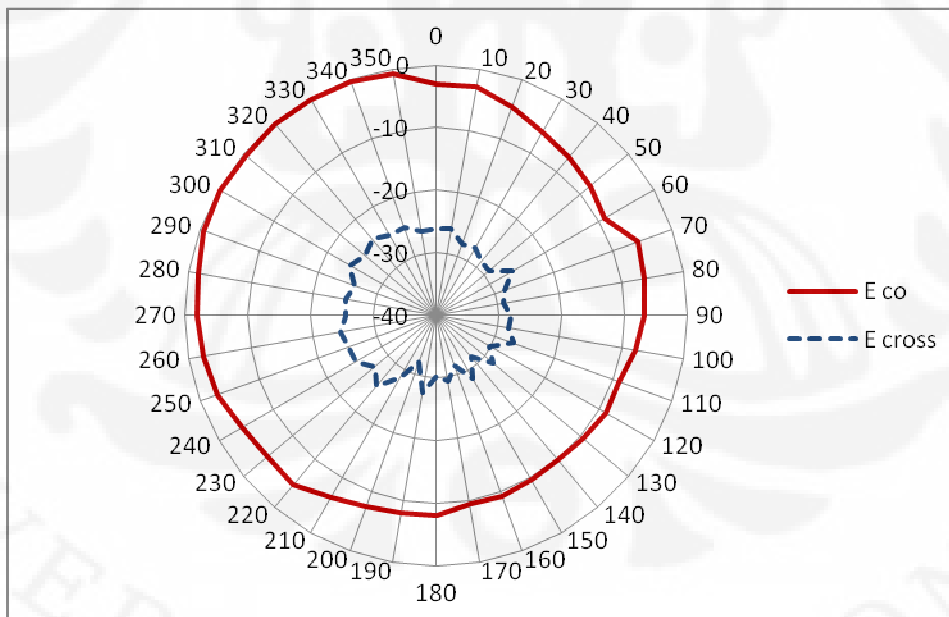
Pada skripsi ini, rancangan antenna memiliki dimensi terbesar sebesar $D = 12,5$ cm dengan panjang gelombang pada frekuensi 13,56 MHz adalah $\lambda = 2200$ cm sehingga diperoleh jarak minimum $r_{\min} = 0,14$ cm dengan jarak pisah sejauh 70 cm.

Universitas Indonesia

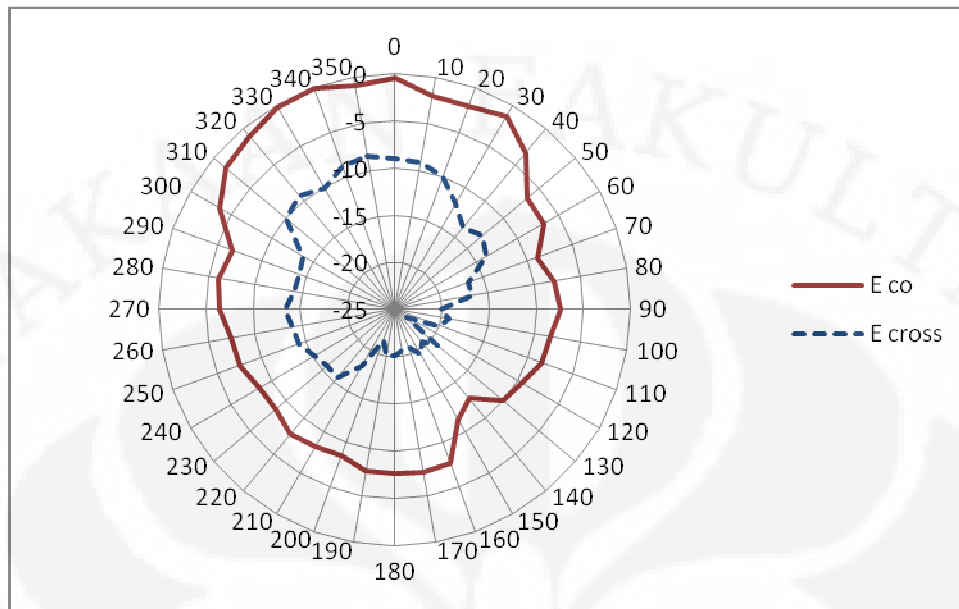
Sementara itu panjang gelombang pada frekuensi 433 MHz adalah $\lambda = 69$ cm sehingga diperoleh jarak minimum $r_{\min} = 4,52$ cm dengan jarak pisah sejauh 70 cm. Format pengukuran digunakan parameter S12 yang artinya antenna pemancar dihubungkan dengan port 2 dan antenna penerima dihubungkan dengan port 1. Antenna pemancar menggunakan antenna yang memiliki frekuensi kerja yang sama dengan antenna yang akan diukur.

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 medan-E dan medan-H.

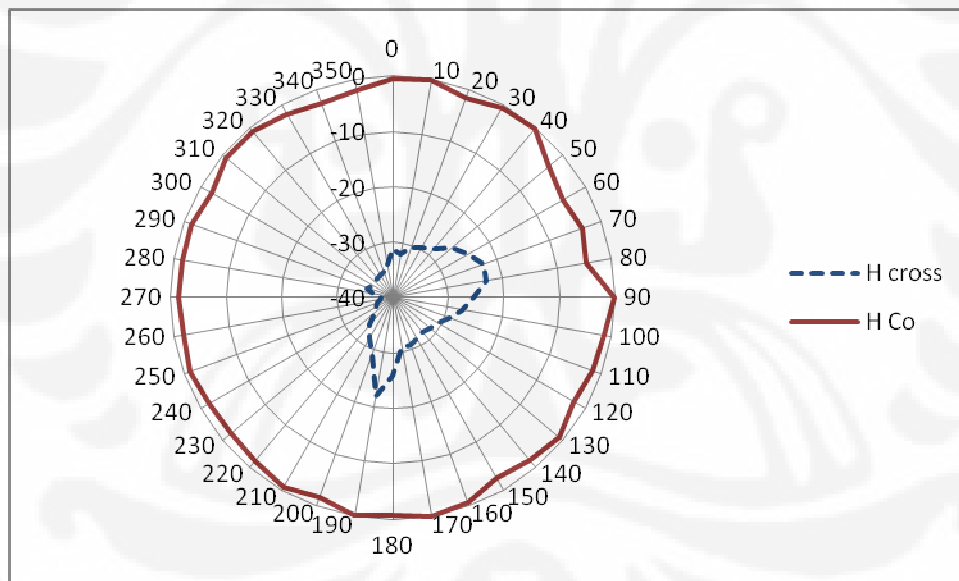
Setelah melakukan pengukuran pola radiasi pada rancangan antenna yang dibahas pada skripsi ini, hasil pengukuran pola radiasi didapatkan sebagai berikut,



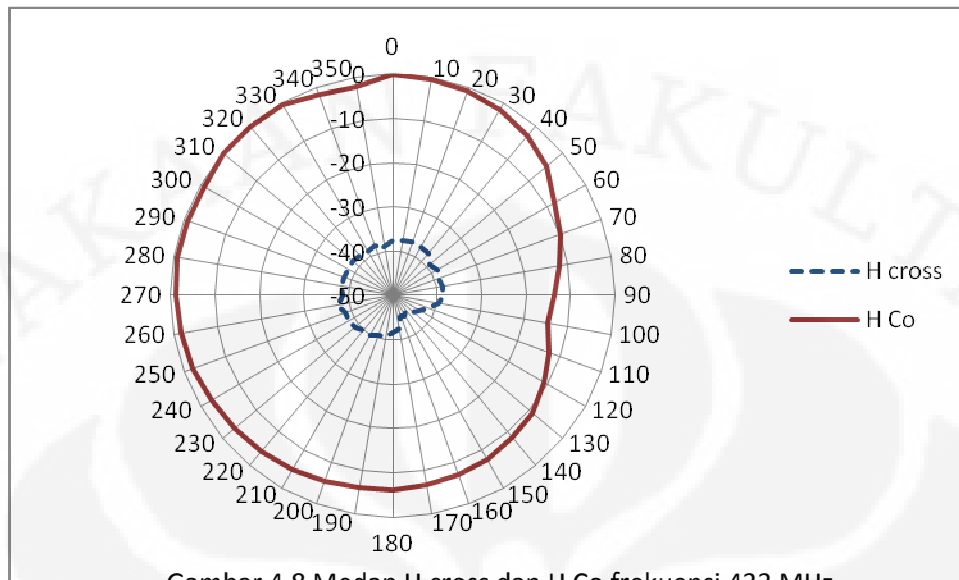
Gambar 4.5 Medan E co dan E cross frekuensi 13,56 MHz



Gambar 4.6 Medan E cross dan E co frekuensi 433 MHz



Gambar 4.7 Medan H cross dan H Co frekuensi 13.56 MHz



Gambar 4.5 – 4.8 merupakan representasi grafik 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 antena tegak pada sudut 0° atau kedua antena ukur berada pada posisi yang sama polarisasinya (*Co-polarized*) dan 90° atau kedua antena 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 24,3 dB untuk pola radiasi medan E pada frekuensi 13.56 MHz, 8,5 dB untuk pola radiasi medan E pada frekuensi 13,56 MHz, 21,9 dB untuk pola radiasi medan H pada frekuensi 13.56 MHz, 37,2 dB untuk pola radiasi medan E pada frekuensi 13,56 MHz. Hasil seperti ini menunjukkan bahwa polarisasi yang dimiliki antena tidak terpolarisasi linear (polarisasi linear didasarkan pada hasil pengukuran axial ratio pada subbab selanjutnya) secara murni.

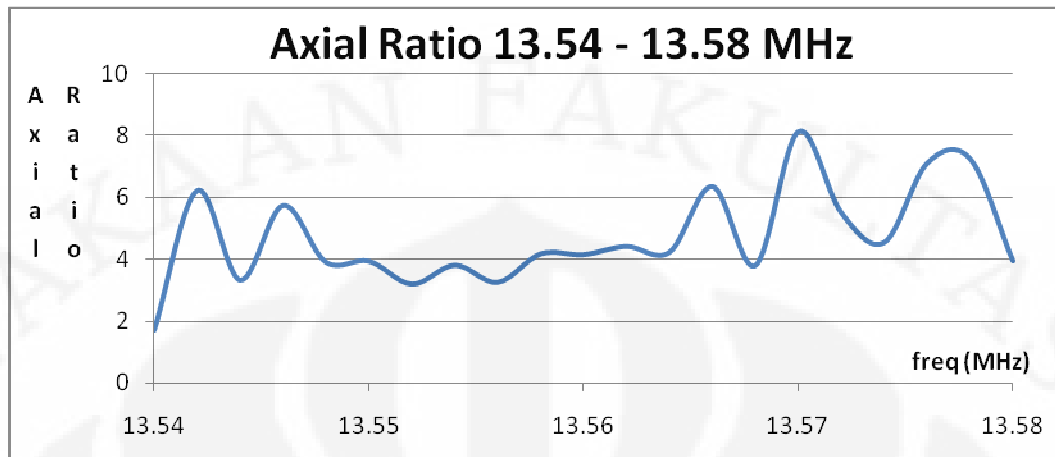
Berdasarkan hasil pengukuran didapatkan bahwa pola radiasi antena pada frekuensi 13,56 menunjukkan bentuk pola radiasi *directional* untuk pengukuran medan E dan H. Untuk pola radiasi frekuensi 13,56 MHz, sesuai dengan Gambar 4.5

Universitas Indonesia

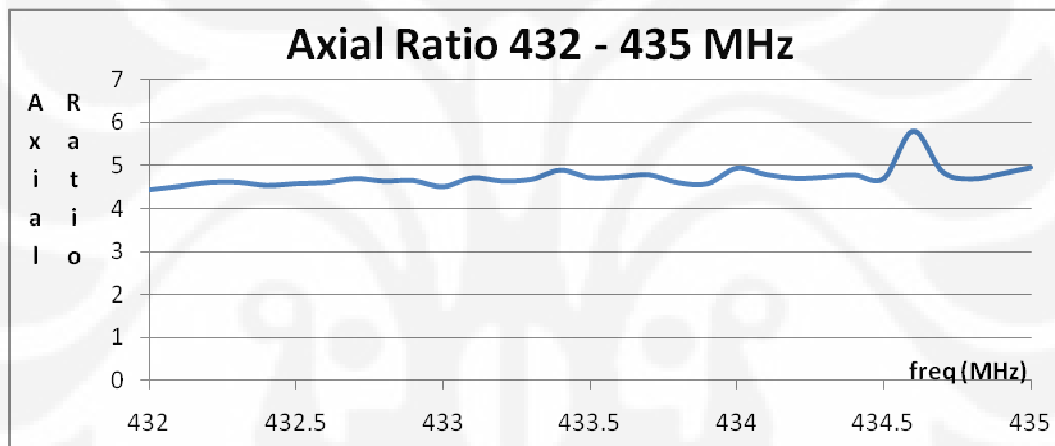
dan Gambar 4.7, lobe maksimum untuk E Co dan E Cross mengarah ke sudut yang sama yaitu 320° , sedangkan lobe maksimum H Co dan H Cross berturut-turut menghadap ke arah 170° dan 190° . Bentuk pola radiasi *directional* juga terjadi pada frekuensi 433 MHz. Untuk pola radiasi 433 MHz, sesuai dengan Gambar 4.6 dan Gambar 4.8, lobe maksimum untuk E Co dan E Cross mengarah ke sudut yang sama, yaitu sudut 340° , sedangkan lobe maksimum H Co dan H Cross menghadap ke arah yang sama juga, yaitu sudut 0° .

4.4 Pengukuran Axial Ratio

Proses berikutnya adalah pengukuran nilai *axial ratio*. Nilai axial ratio ini perlu diketahui untuk menentukan polarisasi suatu antenna. Metode yang dilakukan dalam pengukuran axial ratio ini hamper sama dengan pengukuran pola radiasi. Perbedaannya adalah pada pengukuran axial ratio antenna tidak diputar 360° , tetapi medan E dan H antenna diukur dalam kondisi antenna diam (tidak diputar) dan parameter yang divariasikan dalam pengukuran ini adalah frekuensi kerja yang terdapat pada sekitar bandwidth antenna yang diinginkan. Nilai axial ratio dapat diketahui dari selisih amplitude antara medan E dengan medan H. Nilai axial ratio antenna yang kurang dari 3 dB pada rentang frekuensi tertentu menunjukkan bahwa antenna memiliki polarisasi melingkar pada rentang frekuensi tersebut. Jika nilai axial ratio lebih dari 3 dB, maka antenna memiliki polarisasi linear. Nilai axial ratio antenna pada skripsi ini diperlihatkan dari Gambar 4.9. Dari gambar tersebut diketahui bahwa antenna memiliki axial ratio ≥ 3 dB baik pada rentang frekuensi 13,55-13,57 MHz atau pada rentang frekuensi 433- 434 GHz. Dengan demikian, antenna memiliki polarisasi linear pada kedua frekuensi kerja tersebut. Akan tetapi, melihat pengukuran pola radiasi sebelumnya yaitu dengan hasil cross polarization yang tidak tertekan penuh, maka dapat disimpulkan bahwa rancangan antenna pada penelitian ini tidak murni polarisasi secara linear dan hal ini berarti bahwa orientasi vektor medannya tidak memiliki magnitudo yang sama. Dengan demikian polarisasi yang dihasilkan oleh antenna ini adalah polarisasi linear yang tidak murni (polarisasi elips).



(a)



(b)

Gambar 4.9 Axial Ratio (a) frekuensi 13.54-13.58 MHz (b) frekuensi 432-435 MHz

4.5 Pengukuran Gain Absolut

Proses pengukuran berikutnya adalah pengukuran gain. Secara umum terdapat dua metode yang dapat digunakan untuk mengukur gain dari elemen peradiasi elektromagnetik, yaitu absolute-gain dan gain-transfer. Dalam skripsi ini akan digunakan pengukuran dengan metode absolute-gain dengan menggunakan metode tiga-antena. Pengukuran gain menggunakan *network analyzer* dan *power meter*. *Network analyzer* digunakan untuk menghasilkan gelombang dengan frekuensi 13,56, 433, dan 923 MHz. *Power meter* digunakan untuk mengukur daya antenna pengirim dan penerima.

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

Antena pengirim 1 dan penerima 2

Antena pengirim 1 dan penerima 3

Antena pengirim 2 dan penerima 3

Perhitungan gain ini didasarkan pada Persamaan Friis. Secara umum Persamaan Friis dinyatakan pada Persamaan 3.2 sebagai berikut (dalam dB):

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

Sehingga ketiga Persamaan untuk masing-masing kombinasi adalah:

kombinasi 1-2

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

kombinasi 1-3

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

kombinasi 2-3

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

dimana:

G = gain absolut (dB);

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

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

Pt = daya pengirim (Watt);

Pr = 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:

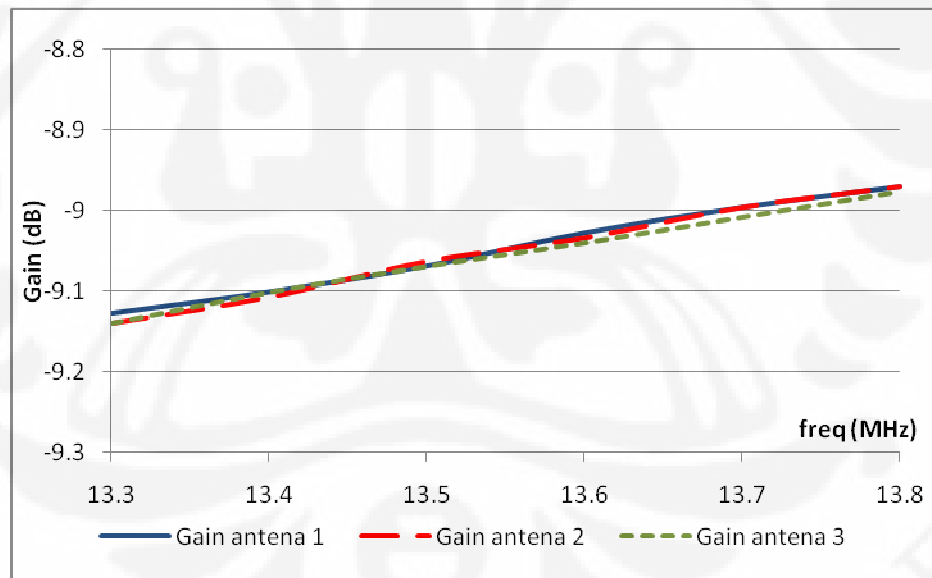
$$G_1(\text{dB}) = \frac{1}{2}(A + B - C) \quad (4.9)$$

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

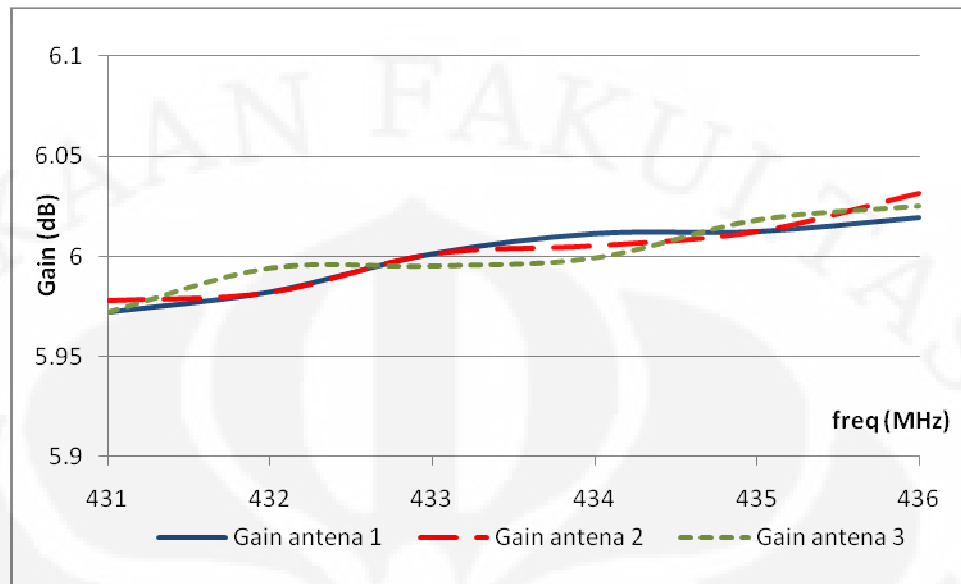
$$G_3(\text{dB}) = \frac{1}{2}(-A + B + C) \quad (4.11)$$

Untuk menghindari kesalahan dalam proses pengukuran perlu diperhatikan beberapa hal, diantaranya antenna pengirim dan penerima saling berhadapan, jarak pengukuran antenna memenuhi kriteria medan jauh, semua komponen dalam kondisi *matching*.

Hasil pengukuran gain pada ketiga antenna ditunjukkan dengan grafik pengukuran gain pada Gambar 4.10.



(a)



(b)

Gambar 4.10 Hasil pengukuran gain frekuensi (a)13,3-13,8 MHz (b)431-436 MHz

Berdasarkan Gambar 4.10 yang menunjukkan grafik hasil pengukuran dan perhitungan gain dengan menggunakan persamaan Friss yang dilakukan Penulis, didapatkan nilai gain antena yang dirancang sebesar -9 dB untuk frekuensi 13,55-13,57 MHz dan 6 dB untuk frekuensi 433 - 434 MHz.

4.6 Analisa Hasil Pengukuran Return Loss

Berdasarkan hasil pengukuran return loss, didapatkan kondisi yang berbeda dengan hasil simulasi. Hal ini bisa disebabkan karena beberapa hal, diantaranya:

- Proses fabrikasi yang tidak sesuai dengan disain sehingga perubahan nilai panjang dan lebar elemen peradiasi dapat memberikan pengaruh cukup besar pada frekuensi kerja, khususnya pada frekuensi tinggi yang lebih rentan dibandingkan dengan frekuensi rendah. Hal ini terbukti saat proses pemesanan antena dimana pihak produsen antena menyatakan bahwa lebar track elemen spiral antena yang dipesan tidak 0.5 mm tetapi 0.561 mm (disain yang seharusnya 0.5 mm)
- Penyolderan yang tidak sesuai

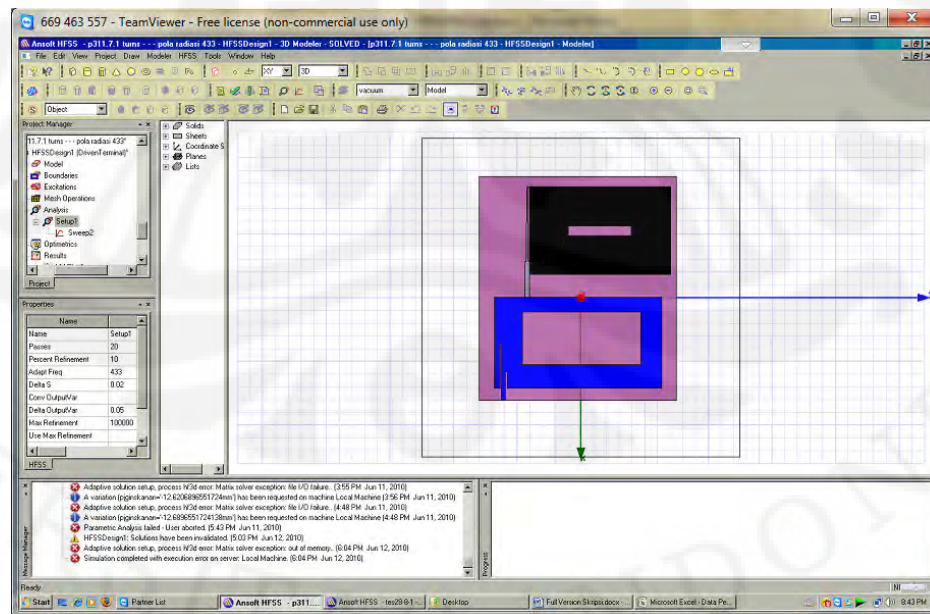
c. Terdapat rugi-rugi pada port konektor.

4.7 Analisa Hasil Pengukuran Pola Radiasi

Berdasarkan hasil pengukuran pola radiasi, didapatkan kondisi yang agak berbeda dengan simulasi. Hal ini bisa disebabkan karena beberapa hal diantaranya:

- Faktor mekanis yang sangat sulit untuk mengatur antenna berada pada arah yang sesuai dikarenakan gaya tarik dari kabel yang memaksa antenna untuk berputar sendiri.
- Adanya rugi-rugi pada kabel penghubung, konektor baik pada antenna maupun pada network analyzer.

Pada skripsi ini, perbandingan pola radiasi hasil pengukuran dan simulasi hanya dapat dilakukan pada frekuensi 13,56 MHz saja dikarenakan keterbatasan kemampuan perangkat lunak yang senantiasa berada dalam keadaan *out of memory* sewaktu simulasi dilakukan pada frekuensi tinggi (433 MHz dan 923 MHz). Untuk mengatasi hal ini, mungkin pergantian perangkat lunak dalam proses perancangan antenna yang memiliki bentuk 'kompleks' sangat diperlukan. Gambar 4.9 menunjukkan keadaan perangkat lunak dalam kondisi *out of memory*. Pada gambar tersebut simulasi dilakukan pada frekuensi 433 MHz.



Gambar 4.9 Perangkat lunak HFSS dalam keadaan *out of memory*

4.8 Analisa Hasil Pengukuran Gain

Hasil pengukuran didapatkan nilai gain yang negatif pada frekuensi 13,56 MHz. Hal ini mungkin disebabkan oleh penggunaan bahan substrat yang cukup buruk kualitasnya, rugi-rugi bahan, dan desain antena yang kurang efektif. Gain yang bernilai negatif dapat juga dikatakan sebagai rugi-rugi. Gain yang bernilai negatif dapat menunjukkan bahwa antena tidak dapat meradiasi secara efektif. Untuk mengatasi hal ini, pada proses perancangan sebaiknya menggunakan bahan substrat dengan nilai konstanta dielektrik yang lebih rendah yang lebih baik secara kualitas dan untuk menunjang antena pembaca RFID yang memiliki gain negatif diperlukan antena tag RFID aktif atau semi aktif. Pemilihan bahan dengan konstanta dielektrik yang lebih rendah didasarkan pada keterkaitan antara rugi-rugi yang terjadi dengan nilai konstanta dielektrik dari substrat. Secara teori, dengan nilai rasio h/λ sama, semakin besar nilai konstanta dielektrik bahan semakin besar pula rugi-rugi yang dihasilkan[20]

BAB 5

KESIMPULAN

Berdasarkan proses perancangan (secara simulasi) yang dilakukan oleh Penulis dalam skripsi ini, telah didapatkan rancangan antenna yang dapat bekerja pada tiga buah frekuensi kerja untuk aplikasi RFID. Terkait dengan proses perancangan yang telah dijelaskan sebelumnya dapat ditarik beberapa kesimpulan, diantaranya:

1. Sesuai dengan tujuan yang ingin dicapai Penulis, rancangan antenna yang diajukan dalam skripsi ini mampu beresonansi pada tiga buah frekuensi kerja untuk aplikasi RFID, yaitu 13.56 MHz (dengan bandwidth 13.50-13.65 MHz), 433 MHz (dengan bandwidth 425-434 MHz), dan 923 MHz (dengan bandwidth 917-925 MHz).
2. Sesuai dengan teori, penambahan sebuah slot, pengaturan posisi *feed line* dan penyusunan dua buah patch dalam satu lapisan substrat, dapat menimbulkan karakteristik multiband.
3. Dimensi panjang dan lebar dari *patch* dan slot mempengaruhi pergeseran frekuensi resonansi 433 dan 923 MHz. Pada bagian *feed line*, inset *feed line* berpengaruh pada return loss. Jumlah putaran elemen spiral mempengaruhi pergeseran frekuensi 13,56 MHz
4. Dengan tambahan transformer seperempat panjang gelombang, didapatkan kondisi *matching* yang cukup baik pada frekuensi 13,56 MHz

Berdasarkan hasil pengukuran rancangan antenna yang telah difabrikasi, antenna dapat bekerja pada tiga buah frekuensi kerja untuk aplikasi RFID. Terkait dengan hasil pengukuran antenna dan analisa hasil pengukurannya dapat ditarik beberapa kesimpulan, diantaranya:

1. Antena dapat bekerja pada tiga buah frekuensi RFID (*triple-band*) yaitu pada frekuensi 13,56 MHz (dengan bandwidth 13,2-13,62 MHz), 433 MHz (dengan bandwidth 429 – 446 MHz), dan 923 MHz (dengan bandwidth 911-925 MHz) . Ketiga rentang frekuensi tersebut memiliki *return loss* ≤ -10 dB

atau $VSWR \leq 2$. Perbedaan yang didapatkan ini dapat disebabkan oleh beberapa hal seperti yang telah disebutkan pada bagian analisa hasil pengukuran.

2. Antena memiliki impedansi masukan sebesar $49.5 + j18.5 \Omega$ pada frekuensi 13,56 MHz, $43,7 + j 9,1 \Omega$ pada frekuensi 433 MHz, dan $60 + j26 \Omega$ pada frekuensi 923 MHz.
3. *Gain* antena yang didapat pada skripsi ini berdasarkan hasil pengukuran adalah -9 dB pada frekuensi 13.56 MHz dan 6 dB pada frekuensi 433 MHz.
4. Berdasarkan pengukuran nilai *axial ratio*, antena memiliki polarisasi linear tak murni (polarisasi elips) pada rentang frekuensi kerjanya (bandwidth).

DAFTAR ACUAN

- [1] Pete Sorrells, "passive RFID basic" Microchip Technology Inc,1998
- [2] Abu Zairi, Tomy, "Perancangan Sistem Parkir Otomatis Menggunakan Teknologi RFID", Skripsi, Program Sarjana Departemen Teknik Elektro Universitas Indonesia,2009
- [3] Richards, W. F., S. E. Davidson, and S. A. Long, "Dual band reactively loaded microstrip antenna," IEEE Trans. Ant. Prop., Vol. AP-33, No. 5, 556–561, 1985
- [4] Nakano, H. and K. Vichien, "Dual frequency square patch antenna with rectangular notch," Elec. Letters, Vol. 25, No. 16, 1067–1068, 1989
- [5] Zhong, S. S. and Y. T. Lo, "Single element rectangular microstrip antenna for dual-frequency operation," Elec. Letters, Vol. 19, No. 8, 298–300, 1983.
- [6] Heidari, A. A. Heyrani, M. and Nakhkash, M, "A dual band circularly polarized stub loaded microstrip patch antenna for GPS applications," Progr. Electromagn. Res. vol. PIER 92, pp. 195–208, 2009
- [7] Leong K.S, "A Simple Dual Frequency Antenna Design for RFID Tag,"Auto-ID Lab White Paper
- [8] <http://rfid-handbook.de/rfid/frequencies.html>
- [9] <https://mentor.ieee.org/.../15-09-0500-00-004f-433-mhz-phy-and-mac-for-tg4f-preliminary-proposal.ppt> (diakses 20 Juni 2010)
- [10] <http://typeapproval.biz/the-applicable-standard-for-rfid-device-in-indonesia.html> (diakses 20 Juni 2010)
- [11] http://www.tis-gdv.de/tis_e/verpack/rfid/rfid.htm (diakses 20 Juni 2010)
- [12] http://www2.rohde-schwarz.com/en/technologies/Wireless_Connectivity/rfid/information/ (diakses 20 Juni 2010)
- [13] C.A. Balanis, "Antenna Theory," 2nd Ed., Wiley, 1997
- [14] James JR and Hall PS,"Handbook of Microstrip Antennas,"Peter Peregrinus Ltd., London, 1989

- [15] Garg, R., Bhartia, P, Bahl, I., dan Ittipiboon, A., "Microstrip Design Handbook", Artech House Inc., Norwood, MA, 2001.
- [16] Owens, RP, " Chapter 14 Microstrip Antenna Feeds," in Handbook of Microstrip Antennas, Vol. 2, JR James and PS Hall (Eds.), Peter Peregrinus, London, UK, 1989
- [17] H. Greenhouse, "Design of Planar Rectangular Microelectronic Inductors," Parts, Hybrids, and Packaging, IEEE Transactions on, vol. 10, no. 2, pp.101-109, 1974
- [18] S. Maci and G. Bifji Gentili Dual-Frequency Patch Antenas
- [19] David M. Pozar, "Microwave Engineering, "2nd Ed.,John Wiley & Sons, 2003
- [20] Bartia.Prakash, Inder Bahl, K.C Gupta "Microstrip Line and Slot Line," 2nd Ed.Artech House, London, 1996

Lampiran A
Data Hasil Pengukuran Pola Radiasi

Tabel Lampiran A.1 Intensitas Relatif untuk Bidang E Frekuensi 13,56 MHz
(Normalisasi Terhadap E Co)

Sudut	Data Rata Rata E Co	Data Rata Rata E Cross	Normalisasi E Co	Normalisasi E Cross
0	-80.513	-103.76	-2.983	-26.23
10	-80.4	-103.54	-2.87	-26.01
20	-82.215	-105.47	-4.685	-27.94
30	-83.663	-105.19	-6.133	-27.66
40	-84.544	-106.37	-7.014	-28.84
50	-85.381	-106.53	-7.851	-29
60	-86.614	-103.55	-9.084	-26.02
70	-83.326	-105.95	-5.796	-28.42
80	-83.745	-106.69	-6.215	-29.16
90	-84.363	-105.67	-6.833	-28.14
100	-85.274	-105.88	-7.744	-28.35
110	-86.5	-104.49	-8.97	-26.96
120	-86.297	-107.65	-8.767	-30.12
130	-86.95	-105.8	-9.42	-28.27
140	-87.355	-108.89	-9.825	-31.36
150	-87.167	-105.85	-9.637	-28.32
160	-86.746	-108.96	-9.216	-31.43
170	-86.955	-106.82	-9.425	-29.29
180	-85.552	-107.76	-8.022	-30.23
190	-85.571	-105.1	-8.041	-27.57
200	-84.961	-109.53	-7.431	-32
210	-84.004	-106.07	-6.474	-28.54
220	-82.076	-102.81	-4.546	-25.28
230	-82.439	-104.76	-4.909	-27.23
240	-81.671	-102.69	-4.141	-25.16
250	-80.377	-102.69	-2.847	-25.16
260	-79.844	-102.12	-2.314	-24.59
270	-79.397	-102.99	-1.867	-25.46
280	-78.972	-102.97	-1.442	-25.44
290	-78.055	-103.7	-0.525	-26.17
300	-77.651	-101.56	-0.121	-24.03
310	-77.851	-102.59	-0.321	-25.06
320	-77.53	-101.71	0	-24.18
330	-77.777	-102.72	-0.247	-25.19
340	-77.771	-102.56	-0.241	-25.03
350	-78.264	-103.81	-0.734	-26.28

Universitas Indonesia

Tabel Lampiran A.2 Intensitas Relatif untuk Bidang H Frekuensi 13,56 MHz
(Normalisasi Terhadap H Co)

Sudut	Data Rata Rata H Co	Data Rata Rata H Cross	Normalisasi H Co	Normalisasi H Cross
0	-89.476	-57.576	-0.569	-31.331
10	-89.071	-56.856	-0.164	-32.051
20	-90.502	-58.417	-1.595	-30.49
30	-89.474	-59.282	-0.567	-29.625
40	-89.103	-60.342	-0.196	-28.565
50	-92.308	-62.837	-3.401	-26.07
60	-93.606	-64.7	-4.699	-24.207
70	-92.643	-66.234	-3.736	-22.673
80	-93.447	-66.049	-4.54	-22.858
90	-89.117	-63.341	-0.21	-25.566
100	-90.157	-61.549	-1.25	-27.358
110	-90.524	-59.594	-1.617	-29.313
120	-91.227	-58.326	-2.32	-30.581
130	-89.753	-57.657	-0.846	-31.25
140	-90.514	-57.163	-1.607	-31.744
150	-91.357	-57.435	-2.45	-31.472
160	-89.476	-57.977	-0.569	-30.93
170	-88.907	-58.102	0	-30.805
180	-89.561	-62.923	-0.654	-25.984
190	-89.142	-66.926	-0.235	-21.981
200	-90.513	-59.759	-1.606	-29.148
210	-89.387	-57.422	-0.48	-31.485
220	-90.476	-55.261	-1.569	-33.646
230	-90.772	-53.06	-1.865	-35.847
240	-90.774	-52.493	-1.867	-36.414
250	-90.037	-51.855	-1.13	-37.052
260	-90.754	-51.203	-1.847	-37.704
270	-90.351	-50.917	-1.444	-37.99
280	-90.413	-52.506	-1.506	-36.401
290	-90.372	-53.824	-1.465	-35.083
300	-91.145	-53.103	-2.238	-35.804
310	-89.672	-53.127	-0.765	-35.78
320	-89.712	-53.302	-0.805	-35.605
330	-90.682	-53.459	-1.775	-35.448
340	-91.443	-53.907	-2.536	-35
350	-91.006	-54.954	-2.099	-33.953

Tabel Lampiran A.3 Intensitas Relatif untuk Bidang E Frekuensi 433MHz
(Normalisasi Terhadap E Co)

Sudut	Data Rata Rata E Co	Data Rata Rata E Cross	Normalisasi E Co	Normalisasi E Cross
0	-60.145	-68.793	-0.377	-9.025
10	-61.739	-68.981	-1.971	-9.213
20	-61.823	-69.735	-2.055	-9.967
30	-61.159	-71.832	-1.391	-12.064
40	-63.181	-73.524	-3.413	-13.756
50	-66.498	-72.635	-6.73	-12.867
60	-66.573	-73.512	-6.805	-13.744
70	-68.732	-76.506	-8.964	-16.738
80	-67.674	-76.453	-7.906	-16.685
90	-67.254	-79.986	-7.486	-20.218
100	-67.997	-78.984	-8.229	-19.216
110	-68.204	-79.743	-8.436	-19.975
120	-69.241	-83.238	-9.473	-23.47
130	-69.794	-78.84	-10.026	-19.072
140	-72.486	-80.347	-12.718	-20.579
150	-71.215	-79.326	-11.447	-19.558
160	-67.377	-80.578	-7.609	-20.81
170	-67.229	-80.349	-7.461	-20.581
180	-67.431	-79.874	-7.663	-20.106
190	-67.336	-79.855	-7.568	-20.087
200	-68.251	-81.322	-8.483	-21.554
210	-68.003	-77.875	-8.235	-18.107
220	-67.554	-75.346	-7.786	-15.578
230	-68.348	-75.436	-8.58	-15.668
240	-68.252	-75.036	-8.484	-15.268
250	-67.343	-73.974	-7.575	-14.206
260	-67.164	-73.784	-7.396	-14.016
270	-66.247	-73.095	-6.479	-13.327
280	-65.74	-73.964	-5.972	-14.196
290	-66.542	-73.985	-6.774	-14.217
300	-63.314	-73.627	-3.546	-13.859
310	-61.42	-69.728	-1.652	-9.96
320	-60.845	-69.082	-1.077	-9.314
330	-60.023	-69.864	-0.255	-10.096
340	-59.768	-68.587	0	-8.819
350	-60.635	-68.285	-0.867	-8.517

Tabel Lampiran A.4 Intensitas Relatif untuk Bidang H Frekuensi 433 MHz
(Normalisasi Terhadap H Co)

Sudut	Data Rata Rata H Co	Data Rata Rata H Cross	Normalisasi H Co	Normalisasi H Cross
0	-46.829	-84.42	0	-37.591
10	-47.321	-84.097	-0.492	-37.268
20	-47.694	-84.077	-0.865	-37.248
30	-48.594	-84.232	-1.765	-37.403
40	-49.858	-84.365	-3.029	-37.536
50	-51.677	-85.97	-4.848	-39.141
60	-54.857	-85.091	-8.028	-38.262
70	-56.752	-85.702	-9.923	-38.873
80	-58.723	-85.512	-11.894	-38.683
90	-60.641	-85.705	-13.812	-38.876
100	-61.542	-86.271	-14.713	-39.442
110	-59.268	-88.484	-12.439	-41.655
120	-57.479	-90.157	-10.65	-43.328
130	-55.66	-91.143	-8.831	-44.314
140	-55.166	-92.257	-8.337	-45.428
150	-54.172	-91.505	-7.343	-44.676
160	-53.781	-91.946	-6.952	-45.117
170	-53.377	-89.206	-6.548	-42.377
180	-53.099	-88.456	-6.27	-41.627
190	-52.771	-87.513	-5.942	-40.684
200	-52.277	-87.374	-5.448	-40.545
210	-51.589	-86.393	-4.76	-39.564
220	-50.931	-86.502	-4.102	-39.673
230	-50.255	-85.724	-3.426	-38.895
240	-49.746	-85.432	-2.917	-38.603
250	-48.928	-85.441	-2.099	-38.612
260	-48.347	-84.181	-1.518	-37.352
270	-47.995	-85.442	-1.166	-38.613
280	-47.692	-84.913	-0.863	-38.084
290	-47.551	-85.219	-0.722	-38.39
300	-47.716	-85.063	-0.887	-38.234
310	-47.132	-84.922	-0.303	-38.093
320	-46.995	-85.212	-0.166	-38.383
330	-47.156	-85.405	-0.327	-38.576
340	-48.532	-84.923	-1.703	-38.094
350	-49.177	-85.563	-2.348	-38.734

Lampiran B

Data Hasil Pengukuran Gain

Berikut adalah tabel hasil pengukuran gain dan hasil pengolahannya dengan menggunakan persamaan Friss[8]

Tabel Lampiran B.1 Data Pengukuran *Gain* Antena pada freq 431-436 MHz

Freq(MHz)	lambda	komb. 1&2	komb. 1&3	komb. 2&3
431000000	0.696055684	72.6	72.5	72.6
432000000	0.694444444	72.5	72.7	72.7
433000000	0.692840647	72.8	72.7	72.7
434000000	0.69124424	72.7	72.6	72.5
435000000	0.689655172	72.5	72.6	72.6
436000000	0.688073394	72.6	72.5	72.7

Tabel Lampiran B.2 Hasil Perhitungan *Gain* Antena pada frek. 431-436 MHz

Freq(MHz)	G1	G2	G3
431	5.972170629	5.97815677	5.972170629
432	5.982235396	5.982235396	5.994199438
433	6.001243755	6.001243755	5.99527407
434	6.011270315	6.005284173	5.999306272
435	6.012290497	6.012290497	6.018276638
436	6.019273869	6.031237912	6.025251771

Tabel Lampiran B.3 Data Pengukuran *Gain* Antena pada frek. 13,3-13,8 MHz

Freq(MHz)	lambda	komb. 1&2	komb. 1&3	komb. 2&3
13300000	22.55639098	72.5	72.5	72.3
13400000	22.3880597	72.4	72.5	72.4
13500000	22.22222222	72.6	72.5	72.6
13600000	22.05882353	72.7	72.6	72.5
13700000	21.89781022	72.8	72.6	72.6
13800000	21.73913043	72.6	72.5	72.5

Tabel Lampiran B.4 Hasil Perhitungan *Gain* Antena pada frek. 13,3-13,8 MHz

freq	G1	G2	G3
13.3	-9.128087117	-9.140084209	-9.140084209
13.4	-9.101554089	-9.107548493	-9.101554089
13.5	-9.069264388	-9.063278246	-9.069264388
13.6	-9.028237897	-9.034224038	-9.04020194
13.7	-8.996429537	-8.996429537	-9.008377123
13.8	-8.970818138	-8.970818138	-8.976804279