



TUGAS AKHIR - TE 091399

**PERANCANGAN DAN OPTIMASI KINERJA ANTENA
PLANAR ULTRA WIDEBAND BERBASIS
METAMATERIAL MENGGUNAKAN SUBSTRAT FR-4**

**ADITYA HERDIYAN PRATAMA
NRP 2210 100 016**

Dosen Pembimbing
Eko Setijadi, S.T., M.T., Ph.D.
Prasetyono Hari Mukti, S.T., M.T., M.Sc.

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2014**



FINAL PROJECT - TE 091399

***DESIGN AND PERFORMANCE OPTIMIZATION OF A
PLANAR ULTRA WIDEBAND ANTENNA BASED ON
METAMATERIAL USING FR-4 SUBSTRATE***

**ADITYA HERDIYAN PRATAMA
NRP 2210 100 016**

**Supervisor
Eko Setijadi, S.T., M.T., Ph.D.
Prasetyono Hari Mukti, S.T., M.T., M.Sc.**

**DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Technology Institute
Surabaya 2014**

Perancangan dan Optimasi Kinerja Antena *Planar Ultra Wideband* Berbasis *Metamaterial* Menggunakan Substrat FR-4

Aditya Herdiyan Pratama
2210100016

Dosen Pembimbing I : Eko Setijadi S.T., M.T., Ph.D.

Dosen Pembimbing II : Prasetyono Hari Mukti S.T., M.T., M.Sc.

Abstrak :

Dalam beberapa tahun terakhir ini kebutuhan akan perangkat nirkabel semakin meningkat drastis. Hal ini mengharuskan perangkat nirkabel tersebut memiliki perangkat transmisi sinyal yang baik dan ukurannya kecil. Perangkat transmisi atau antena tersebut harus memiliki efisiensi tenaga yang baik mengingat antena tersebut akan ditanam pada perangkat *mobile*. Hal ini juga harus diimbangi dengan bandwidth yang lebar pula. Namun, antena dengan ukuran kecil memiliki kekurangan dimana antena tersebut memiliki bandwidth sempit dan efisiensi daya rendah. Hal ini dapat diselesaikan dengan penambahan sel metamaterial pada antena. Oleh karena hal itu, pada tugas akhir ini akan dilakukan perancangan dan optimasi antena planar metamaterial pada substrat FR-4 dengan pelebaran bandwidth pada frekuensi Ultra Wideband (UWB). Optimasi dilakukan dengan tuning dimensi antena untuk menemukan respon frekuensi antena terhadap dimensi bagian tertentu. Antena yang telah dirancang akan disimulasikan serta dibandingkan hasil simulasi awal dengan hasil simulasi antena yang sudah dioptimasi. Antena hasil optimasi memberikan hasil simulasi yang cukup baik dimana didapatkan satu bandwidth yang sangat lebar pada frekuensi 3.65 – 9.59 GHz. Pada pengukuran hasil fabrikasi akhir alat didapatkan hasil yang kurang sesuai dari sisi return loss. Hal ini mungkin dikarenakan perubahan impedansi antena akibat kesalahan fabrikasi.

Kata Kunci : Antena *Planar*, *Ultra Wide Band*, *Metamaterial*, FR-4



Halaman ini sengaja dikosongkan

Design and Optimization of A Planar Ultra Wideband Antenna Performance Based on Metamaterial Using FR-4 Substrate

Aditya Herdiyan Pratama
2210100016

Supervisor I : Eko Setijadi S.T., M.T., Ph.D.
Supervisor II : Prasetiyono Hari Mukti S.T., M.T., M.Sc.

Abstract :

These past few years the needs for wireless devices have risen significantly. These devices are required to have high performance and compact sized signal transmission device. These transmission device or the antenna must be energy efficient considering it will be used in a mobile device. It also has to have a wide bandwidth. However, small antennas have some major flaws. Among which are very narrow bandwidth and low energy efficiency. This can be solved by adding metamaterial cell to the antenna. Basing on that premise, this final project will design and optimize planar metamaterial antenna using FR-4 substrate with bandwidth enhancement within the ultra wideband (UWB) frequency range. Optimization will be done by tuning the dimension of the various parts of the antenna to discover it's effect on the frequencies response. The designed antenna will be simulated and comparison between the initial design and the optimized design will be done. The simulation result of the optimized antenna gives a very good result with a very wide bandwidth spanning from 3.65 – 9.59 GHz. During the measurement of the fabricated antenna, a slight disagreement between the simulated and the measured result has been found concerning the return loss level. This may have been caused by impedance changes due to fabrication error.

Keywords : Planar antenna, Ultra Wideband, Metamaterial, FR-4



Halaman ini sengaja dikosongkan

**PERANCANGAN DAN OPTIMASI KINERJA ANTENA PLANAR
ULTRA WIDEBAND BERBASIS METAMATERIAL
MENGUNAKAN SUBSTRAT FR-4**


TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan Untuk
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Elektro
Pada
Bidang Studi Telekomunikasi Multimedia
Jurusan Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Menyetujui

Dosen Pembimbing I,

Dosen Pembimbing II,


Eko Setijadi S.T., M.T., Ph.D.
NIP. 197210012003121002


Prasetyono Hari Mukti S.T., M.T., M.Sc.
NIP. 198409132012121002



KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT karena atas rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan penulisan buku Tugas Akhir dengan judul :

“Perancangan dan Optimasi Kinerja Antena *Planar Ultra Wideband* Berbasis *Metamaterial*”


Tugas akhir yang mempunyai beban 4 SKS (Satuan Kredit Semester) ini merupakan salah satu syarat yang harus dipenuhi untuk menyelesaikan program studi Strata-1 pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Melalui kegiatan ini mahasiswa dapat melakukan kegiatan laporan yang bersifat penelitian ilmiah dan menghubungkannya dengan teori yang telah diperoleh dalam perkuliahan.

Dalam penyusunan laporan tugas akhir ini penulis menyadari masih adanya kekurangan-kekurangan baik dalam penyusunan maupun pembahasan masalah karena keterbatasan pengetahuan penulis. Untuk itu penulis mengharapkan kritik dan saran membangun dari semua pihak agar lebih baik di masa yang akan datang.

Besar harapan penulis bahwa buku Tugas Akhir ini dapat memberikan informasi dan manfaat bagi pembaca pada umumnya dan mahasiswa Jurusan Teknik Elektro bidang Studi Telekomunikasi Multimedia pada khususnya.

Dalam kesempatan ini penulis menyampaikan penghargaan dan rasa terima kasih kepada pihak yang telah mendukung serta membantu penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini, khususnya kepada:

1. Allah SWT
2. Kedua orang tua penulis, Bapak Jusuf Heri Sutrisno dan Ibu Prima Yunika Diyan Ruswati tercinta dan segenap keluarga besar penulis Hanif Herdiyan Cahyo Utomo dan Shafira Herdiyan Maritza Salsabila yang selalu memberikan semangat, dukungan, kasih sayang, dan doa kepada penulis.
3. Bapak Eko Setijadi S.T., M.T., Ph.D. dan Bapak Prasetyono Hari Mukti S.T., M.T., M.Sc. selaku Dosen Pembimbing atas segala bantuan, perhatian, arahan dan kesabarannya dalam



memberikan bimbingan serta masukan – masukan selama mengerjakan Tugas Akhir ini.

4. Bapak Dr. Tri Arief Sardjono, ST., MT. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri ITS Surabaya.
5. Bapak dan Ibu dosen Teknik Elektro ITS yang telah banyak memberikan ilmu dan pengetahuan yang bermanfaat bagi penulis.
6. Novita yang selalu sabar mendengarkan keluhan saya. Terima kasih pula untuk motivasi, dukungan dan semangat yang diberikan selama pengerjaan tugas akhir.
7. Rekan-rekan e50 khususnya rekan-rekan bidang studi telekomunikasi multimedia yang bersama-sama berjuang mengerjakan tugas akhir
8. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang selalu memberi saya dukungan sehingga pengerjaan tugas akhir dapat berjalan dengan baik.

Semoga Allah SWT senantiasa membalas segala perbuatan baik mereka yang telah membantu dalam menyelesaikan penyusunan laporan tugas akhir ini hingga dapat terselesaikan dengan baik.

Surabaya, Juni 2014

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
JUDUL	i
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	iii
LEMBAR PENGESAHAN	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xxi
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan	2
1.5 Metodologi	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	6
1.7 Relevansi.....	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Antena	9
2.1.1 Antena Mikrostrip	9
2.1.1.1 <i>Patch</i>	10
2.1.1.2 <i>Substrat</i>	10
2.1.1.3 <i>Ground</i>	10
2.1.2 Parameter Umum Antena Mikrostrip.....	11
2.1.2.1 <i>Pola Radiasi</i>	11
2.1.2.2 <i>Gain</i>	11
2.1.2.3 <i>S-Parameters</i>	12
2.1.2.4 <i>Return Loss</i>	13
2.1.2.5 <i>VSWR</i>	13
2.1.2.6 <i>Directivity</i>	14
2.1.2.7 <i>Return Loss Bandwidth</i>	14
2.1.2.8 <i>Current Density</i>	15
2.2 Ultra Wideband	15
2.3 Metamaterial Elektromagnetik.....	16

2.3.1	<i>Left Handed Metamaterial</i>	16
2.3.2	<i>Composite Right/Left Handed Metamaterial</i>	17
2.3.2.1	<i>Interdigital Capacitor</i>	18
2.3.2.2	<i>Shunt Inductor</i>	19
2.3.3	Antena Metamaterial.....	20
2.3.4	Antena <i>Meander Line</i>	20

BAB III PERANCANGAN DAN OPTIMASI ANTENA

3.1	Alur Perancangan Antena Planar Metamaterial pada Substrat FR-4.....	23
3.2	Desain Awal Antena Planar Metamaterial.....	24
3.3	Implementasi Antena Planar Metamaterial pada FR-4.....	27
3.4	Analisa Pengaruh Elemen Metamaterial pada Antena.....	34
3.5	<i>Parameter Sweep</i> Antena Pada Substrat FR-4.....	36
3.5.1	Panjang Lengan 1 Antena.....	36
3.5.2	Panjang Lengan 2 Antena.....	37
3.5.3	Panjang Lengan 3 Antena.....	39
3.5.4	Lebar Lengan Antena.....	40
3.5.5	Panjang <i>Transmission Line</i> dan Lebar <i>Ground</i>	41
3.5.6	Panjang <i>Transmission Line</i> dan <i>Shunt Inductor</i>	44
3.5.7	Lebar <i>Transmission Line</i>	46
3.5.8	Panjang <i>Interdigital Capacitor</i>	48
3.5.9	Jarak Antara Konduktor <i>Interdigital Capacitor</i>	49
3.5.10	Panjang Induktor.....	51
3.5.11	Lebar Induktor.....	52
3.5.12	Panjang <i>Ground</i>	54
3.6	Optimasi Antena pada Substrat FR-4.....	55
3.6.1	Implementasi Hasil <i>Parameter Sweep</i> FR-4 pada Antena.....	55
3.6.2	Perbandingan Hasil Simulasi S11 (<i>Return loss</i>) Antena yang Sudah Dioptimasi dengan Desain Awal.....	60

BAB IV FABRIKASI ANTENA DAN ANALISIS HASIL PENGUKURAN

4.1	Fabrikasi Antena.....	63
4.2	Pengukuran Antena.....	64
4.2.1	Prosedur Pengukuran Antena Menggunakan VNAAgilent N9923A.....	65

4.2.2	Prosedur Pengukuran Antena Menggunakan VNA Advantest R3770	65
4.3	Analisis Hasil Pengukuran	66
4.3.1	Analisis Pengukuran S11 (<i>Return Loss</i>) Menggunakan Agilent N9923A	66
4.3.2	Analisis Pengukuran S11 (<i>Return Loss</i>) Menggunakan Advantest R3770.....	67
4.3.3	Analisis Pengukuran Pola Radiasi Antena	68
4.3.4	Perbandingan S Parameter (<i>Return Loss</i>) Hasil Pengukuran Menggunakan Agilent N9923A dengan Hasil Simulasi.....	68
4.3.5	Perbandingan S Parameter (<i>Return Loss</i>) Hasil Pengukuran Menggunakan Advantest R3770 dengan Hasil Simulasi.....	70
4.3.6	Perbandingan Pola Radiasi Hasil Pengukuran dengan Hasil Simulasi.....	71
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		
5.1	Kesimpulan	73
5.2	Saran	74
DAFTAR PUSTAKA		75
LAMPIRAN A.....		77
LAMPIRAN B.....		79
LAMPIRAN C.....		81
RIWAYAT PENULIS.....		83



Halaman ini sengaja dikosongkan



DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Dimensi Antena planar pada substrat FR4	28
Tabel 3.2	Ringkasan hasil <i>parameter sweep</i>	55
Tabel 3.3	Perubahan dimensi antena	56

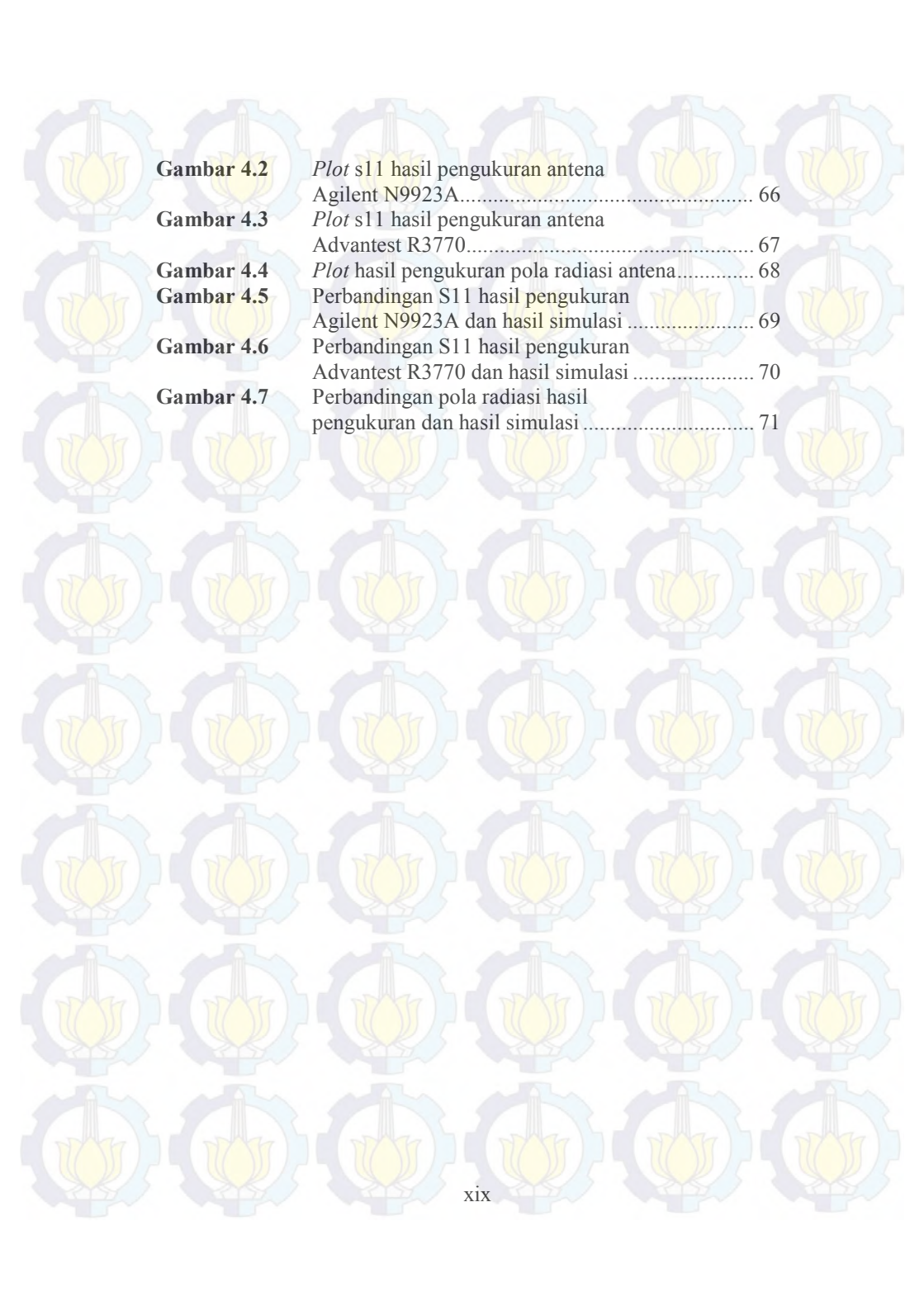


Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Diagram alur pelaksanaan kegiatan	4
Gambar 2.1	Struktur antena mikrostrip	10
Gambar 2.2	Rangkaian yang digunakan pada analisa <i>S-Parameter</i> jaringan 2 port	12
Gambar 2.3	<i>Return Loss Bandwidth</i> ditandai dengan penanda pada tingkat <i>return loss</i> -10 dB.....	15
Gambar 2.4	Diagram Permittivitas (ϵ) – Permeabilitas (μ) dan Indeks Bias (n)	17
Gambar 2.5	Saluran transmisi <i>right handed</i> (kiri) dan <i>left handed</i> (kanan).....	18
Gambar 2.6	Struktur dasar <i>Interdigital Capacitor</i>	19
Gambar 2.7	Implementasi <i>Inductor Shunt</i> pada Antena Mikrostrip.....	20
Gambar 2.8	(a) Struktur dasar <i>meander line</i> dan (b) model ekivalen meander line.....	21
Gambar 3.1	Alur perancangan antena planar metamaterial <i>ultra wideband</i> pada substrat FR-4	23
Gambar 3.2	(a) Desain antena metamaterial beserta dimensi awalnya, dan (b) foto hasil fabrikasi antena	24
Gambar 3.3	(a) Struktur antena <i>meander line</i> awal dan (b) rangkaian ekivalennya	25
Gambar 3.4	Perbandingan (a) pola distribusi arus dan (b) grafik <i>return loss</i> antena konvensional (hijau) dengan antena dengan penambahan elemen metamaterial (merah).....	25
Gambar 3.5	(a) <i>SMA connector PCB mount</i> , (b) <i>SMA connector panel mount</i>	27
Gambar 3.6	(a) depan, (b) belakang desain antena setelah diimplementasikan pada substrat FR-4	29
Gambar 3.7	Bentuk antena pada <i>software</i> simulasi <i>CST</i> <i>Studio Suite 2011</i>	30
Gambar 3.8	Hasil simulasi rancangan awal antena pada substrat FR-4	31
Gambar 3.9	Pola radiasi pada sisi (a) θ dan (b) ϕ pada frekuensi 5.26 GHz serta pada sisi	

	(c) θ dan (d) ϕ pada frekuensi 8.53 GHz menggunakan substrat FR-4.....	32
Gambar 3.10	Hasil desain antenna tanpa metamaterial (a) sisi depan dan (b) sisi belakang	34
Gambar 3.11	Perbandingan hasil simulasi S11 antenna dengan dan tanpa sel metamaterial	35
Gambar 3.12	<i>Parameter sweep</i> Lengan 1	37
Gambar 3.13	<i>Parameter sweep</i> Lengan 2	38
Gambar 3.14	<i>Parameter sweep</i> Lengan 3	39
Gambar 3.15	<i>Parameter sweep</i> Lebar Lengan Antena.....	41
Gambar 3.16	Antena (a) sebelum dan (b) setelah diperpanjang <i>transmission line</i> dan <i>groundnya</i>	42
Gambar 3.17	<i>Parameter sweep transmission line</i> dan <i>ground</i>	43
Gambar 3.18	Perubahan antenna (a) sebelum dan (b) setelah diperpanjang <i>transmission line</i> dan <i>shunt inductor</i> nya	45
Gambar 3.19	<i>Parameter sweep</i> panjang <i>transmission line</i> dan <i>shunt inductor</i>	46
Gambar 3.20	<i>Parameter sweep</i> lebar <i>transmission line</i>	47
Gambar 3.21	<i>Parameter sweep</i> panjang <i>interdigital capacitor</i>	48
Gambar 3.22	<i>Parameter sweep</i> jarak antara konduktor <i>interdigital capacitor</i>	50
Gambar 3.23	<i>Parameter sweep</i> panjang induktor	51
Gambar 3.24	<i>Parameter sweep</i> lebar induktor	53
Gambar 3.25	<i>Parameter sweep</i> panjang <i>ground</i>	54
Gambar 3.26	Bagian (a) depan dan (b) belakang hasil simulasi antenna dengan dimensi baru hasil optimasi.....	57
Gambar 3.27	<i>S parameter</i> hasil simulasi antenna hasil optimasi.....	58
Gambar 3.28	Pola radiasi dan <i>gain</i> pada sisi (a) θ dan (b) ϕ antenna yang sudah dioptimasi pada substrat FR-4	59
Gambar 3.29	Distribusi arus antenna	60
Gambar 3.30	<i>S parameter</i> hasil simulasi antenna desain awal dan antenna hasil optimasi	61
Gambar 4.1	Hasil akhir fabrikasi antenna (a) sisi depan dan (b) sisi belakang	63



Gambar 4.2	<i>Plot s11 hasil pengukuran antenna Agilent N9923A.....</i>	66
Gambar 4.3	<i>Plot s11 hasil pengukuran antenna Advantest R3770.....</i>	67
Gambar 4.4	<i>Plot hasil pengukuran pola radiasi antenna.....</i>	68
Gambar 4.5	<i>Perbandingan S11 hasil pengukuran Agilent N9923A dan hasil simulasi</i>	69
Gambar 4.6	<i>Perbandingan S11 hasil pengukuran Advantest R3770 dan hasil simulasi</i>	70
Gambar 4.7	<i>Perbandingan pola radiasi hasil pengukuran dan hasil simulasi</i>	71



Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam beberapa tahun terakhir perkembangan penggunaan teknologi nirkabel berkembang pesat. Tidak terbatas pada penggunaan telepon seluler namun juga perangkat-perangkat nirkabel lainnya yang menuntut seberapa kecil ukuran benda tersebut. Hal ini mengharuskan perangkat nirkabel tersebut memiliki antena dengan penggunaan daya yang efisien mengingat perangkat tersebut adalah perangkat *mobile*, kemampuan transmisi dan penerimaan antena tersebut baik dari sisi lebar pita, pola radiasi yang terpusat, maupun loss yang dialami saat transmisi.

Salah satu teknologi yang dapat mengatasi hal ini adalah antena *patch* atau antena *microstripe* yang berukuran kecil. Dengan ukurannya yang kecil, antena *microstripe* menggunakan frekuensi gelombang mikro yang meliputi pita frekuensi UHF, SHF, dan VHF. Antena yang menggunakan frekuensi ini memiliki keuntungan *bandwidth* yang lebar, efisiensi daya tinggi, serta ukurannya yang kecil akan memudahkan penggunaan pada perangkat *mobile*. Sedangkan kekurangannya adalah gelombang mikro ini rentan terhadap kondisi cuaca yang berubah-ubah seperti hujan. Antena *microstripe* memiliki beberapa jenis, diantaranya yaitu antena *patch*, antena rectangular atau antena *meander-line*.

Antena *meander-line* atau antena “berkelok” sesuai namanya menggunakan bentuk antena yang berkelok, hal ini memberikan beberapa keuntungan, diantaranya antena yang *electrically small*, *low profile*, dan desain yang sederhana. Kekurangannya antara lain *bandwidth* yang lebih kecil, serta efisiensi daya yang lebih rendah [1].

Dalam pengembangannya, seringkali antena *microstripe* ini menggunakan penambahan unit sel metamaterial pada desain antenanya atau desainnya yang terinspirasi metamaterial dimana penggunaannya akan meningkatkan *bandwidth* dan efisiensi daya antena. Hal ini diharapkan dapat menutupi kekurangan utama antena *microstrip* yang memiliki karakteristik efisiensi daya rendah dan *bandwidth* sempit.

Jenis unit sel metamaterial yang umum adalah jenis unit sel metamaterial yang memberikan pengaruh gelombang terbalik (*backward-wave*) atau yang biasa disebut *left handed metamaterial* (LH-MTM). *Backward wave* ini memberikan kinerja yang lebih baik pada parameter *return loss bandwidth* yang lebih baik karena memberikan

resonansi tambahan pada frekuensi yang berbeda[2]. Sedangkan penggunaan unit sel metamaterial yang diterapkan pada suatu antenna sendiri seringkali menggunakan unit sel metamaterial CRLH-MTM atau *composite right/left handed metamaterial* dimana dalam suatu antenna terdapat gelombang *forward* maupun *backward*[3].

Pengembangan antenna *microstripe* metamaterial ini pada umumnya menggunakan berbagai macam substrat. Jenis yang berbeda memiliki ketebalan serta tingkat permitivitas yang berbeda-beda. Semakin tinggi permitivitas suatu substrat, ukuran suatu antenna dapat semakin kecil. Sedangkan semakin tinggi permitivitas suatu substrat, semakin tinggi kinerja substrat antenna tersebut dilihat dari sisi efisiensi radiasi serta gain antenanya [4]. Namun, jenis yang mudah didapatkan di Indonesia adalah jenis substrat FR-4 ($\epsilon_r = 4.4$, $\mu_r = 1$). Maka dari itu sebuah desain antenna dengan penambahan unit sel metamaterial akan diimplementasikan untuk penggunaan pada substrat ini.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana kinerja antenna pada *software* simulasi CST Studio Suite 2011 menggunakan substrat FR-4 dibandingkan substrat awal yang berupa Rogers RO3003? Lebih baik atau lebih buruk?
2. Jika lebih buruk perubahan apa yang akan dilakukan pada desain antenna metamaterial yang ada agar bisa diimplementasikan pada substrat FR-4?
3. Bagaimana perbandingan kinerja desain akhir antenna pada substrat FR-4 dengan desain awal pada substrat Rogers RO3003?

1.3 Batasan Masalah

1. Desain awal antenna menggunakan desain pada *paper*[2].
2. Analisis dilakukan pada pita frekuensi *Ultra Wideband* (3.1 – 10 .6GHz).
3. Substrat yang digunakan adalah jenis FR-4 dengan properti fisik ($\epsilon = 4.3$, $\mu = 1$).
4. Analisis perhitungan kualitas menggunakan tingkat *return loss bandwidth* < -10 dB
5. Desain antenna menggunakan *software* CST Studio Suite 2011.

1.4 Tujuan

1. Melakukan analisa awal implementasi desain antenna metamaterial yang ada pada substrat Rogers RO3003 dan FR-4 serta

mengevaluasi kinerjanya menggunakan *software* simulasi CST Studio Suite 2011.

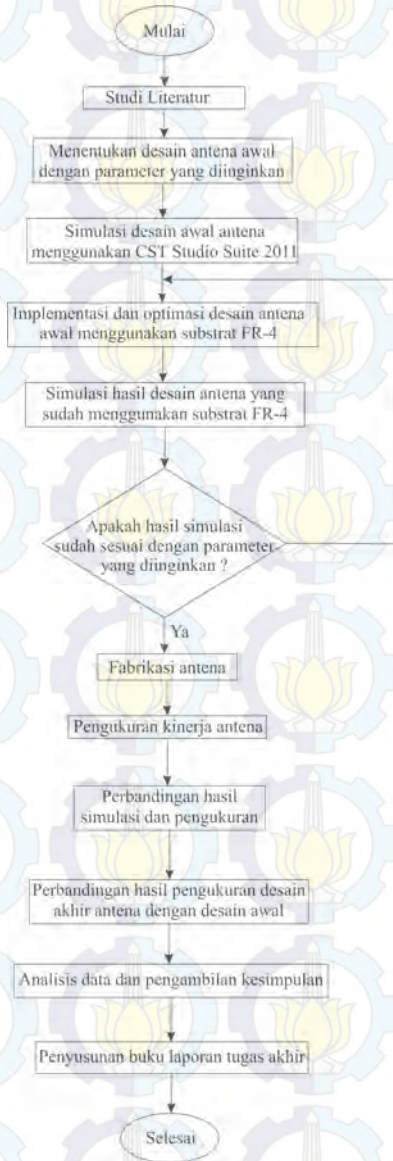
2. Melakukan optimasi antena pada substrat FR-4 dengan cara memodifikasi bentuk antena *meander-line* yang sudah ada.
3. Membandingkan kinerja antena *microstripe* saat menggunakan substrat Rogers RO3003 dengan desain akhir pada substrat FR-4.

1.5 Metodologi

Penelitian dilakukan dengan terlebih dahulu melaksanakan studi literatur serta jurnal ilmiah yang berhubungan dengan desain antena *planar* metamaterial. Kemudian akan ditentukan desain antena awal yang nantinya akan diimplementasikan dan dioptimalkan pada substrat FR-4. Desain antena awal akan disimulasikan dengan menggunakan *software* simulasi CST Studio Suite 2011. Setelah itu desain awal antena akan diimplementasikan pada substrat FR-4. Optimasi dilakukan dengan menggunakan implementasi unit sel metamaterial CRLH pada antena yang menggunakan substrat dielektrik FR-4 serta melakukan tuning pada setiap dimensi antena. Apabila desain sudah memenuhi parameter yang diinginkan akan dilakukan fabrikasi antena pada substrat FR-4.

Antena yang sudah difabrikasi akan diukur kinerja *return-loss* *bandwidth*nya. Hasil pengukuran antena yang sudah difabrikasi kemudian akan dibandingkan dengan hasil simulasi antena dan hasil pengukuran desain antena awal.

Diagram pada gambar 1.1 adalah diagram alur pelaksanaan kegiatan penelitian



Gambar 1.1 Diagram alur pelaksanaan kegiatan

1. **Studi literatur**

Pada tahap ini dilakukan tinjauan pustaka baik dari buku literatur yang berhubungan dengan antena metamaterial, elektromagnetik, desain antena maupun jurnal ilmiah yang bersangkutan. Pada tahap ini dibuat sebuah ringkasan tinjauan pustaka yang juga terdapat di proposal ini.

2. **Menentukan desain antena awal dengan parameter yang diinginkan**

Pada tahap ini dilakukan pemilihan desain awal antena dari jurnal ilmiah yang telah ditinjau sebelumnya. Jurnal ilmiah yang bersangkutan akan dibaca lebih lanjut. Seluruh referensi jurnal ilmiah tersebut ditelusuri serta dipelajari.

3. **Simulasi desain awal antena menggunakan CST Studio Suite 2011**

Pada tahap ini dilakukan simulasi desain antena yang terdapat di jurnal ilmiah serta dilakukan analisa bentuk desain yang memunculkan parameter *return-loss* *bandwidth* yang diinginkan. Simulasi dilakukan dengan menggunakan software CST Studio Suite 2011.

4. **Implementasi dan optimasi desain antena awal menggunakan substrat FR-4**

Desain awal yang ada dan sudah disimulasikan akan disimulasikan ulang dengan menggunakan substrat FR-4. Desain yang sudah disimulasikan kemudian dioptimalkan pada substrat FR-4 dimana diharapkan dimensi dapat diperkecil dengan meningkatkan kinerja antena dengan cara *tuning* dimensi antena tersebut.

5. **Simulasi hasil desain antena yang sudah menggunakan substrat FR-4**

Desain antena yang sudah dioptimasi akan disimulasikan serta dianalisa kinerjanya dan ditentukan apakah kinerja antena sudah menentukan parameter yang diinginkan. Bila sudah maka akan dilakukan fabrikasi antena dan jika belum akan dilakukan optimasi ulang desain antena

6. **Fabrikasi antena**

Dilakukan fabrikasi antena yang sudah disimulasikan menggunakan substrat FR-4

7. **Pengukuran kinerja antena**

Dilakukan pengukuran parameter *return loss* *bandwidth* (S11) antena yang sudah difabrikasi menggunakan alat *network analyzer*

8. Perbandingan hasil simulasi dan pengukuran

Dilakukan perbandingan kinerja antenna pada simulasi serta pengukuran secara riil.

9. Perbandingan hasil pengukuran desain akhir antenna dengan desain awal

Dilakukan perbandingan kinerja antenna desain awal yang menggunakan substrat Rogers RO3003 yang tercantum di jurnal ilmiah terkait dengan desain akhir yang menggunakan substrat FR-4.

10. Analisis data dan pengambilan kesimpulan

Dilakukan analisis data pengukuran antenna serta dilakukan penarikan kesimpulan.

11. Penyusunan buku laporan tugas akhir

Pada tahap ini dilakukan penyusunan buku laporan tugas akhir dengan judul “Perancangan dan Optimasi Kinerja Antena *Planar Wideband* Berbasis Konsep *Metamaterial* Menggunakan Substrat *FR-4*.”

1.6 Sistematika Penulisan

Laporan Tugas Akhir ini akan dibagi menjadi 6 bab dengan sistematika sebagai berikut:

BAB I Pendahuluan

Pada bab ini diuraikan latar belakang, permasalahan, tujuan penelitian, metodologi penelitian, sistematika laporan, dan relevansi.

BAB II Tinjauan Pustaka

Pada bab ini diuraikan mengenai teori-teori yang diperlukan pada penelitian tugas akhir ini.

BAB III Perancangan Antena *Planar Ultra Wideband Metamaterial*

Pada bab ini akan dibahas mengenai desain awal antenna planar serta membandingkan desain antenna konvensional dan antenna dengan penambahan sel unit metamaterial

BAB IV Implementasi dan Optimasi Antena *Planar Ultra Wideband Metamaterial* pada Substrat FR-4

Pada bab ini akan dibahas mengenai implementasi antena *planar* metamaterial pada substrat FR-4 serta penyesuaian-penyesuaian yang harus dilakukan dan optimasi bandwidth antena dengan metode *parameter sweep* pada dimensi *patch* konduktor antena.

BAB V Pengukuran dan Analisa Data

Pada bab ini akan dibahas mengenai metode pengukuran serta hasil pengukuran antena pada parameter S_{11} (*Return Loss*) menggunakan alat *network analyzer*.

BAB VI Kesimpulan dan Saran

Bab ini berisi kesimpulan dan saran dari hasil pembahasan yang telah dilaporkan.

1.7 Relevansi

Tugas akhir ini diharapkan dapat memberikan beberapa manfaat, diantaranya :

1. Untuk bidang ilmu pengetahuan
Diharapkan penelitian ini dapat memberikan kontribusi berupa optimasi antena metamaterial yang menggunakan substrat FR-4.
2. Untuk perusahaan *vendor* perangkat telekomunikasi
Diharapkan antena yang didesain dapat memberikan rekomendasi mengenai penggunaan antena telekomunikasi yang menggunakan frekuensi yang berkaitan.



Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Antena

Antena didefinisikan sebagai objek yang biasanya berupa logam yang bertujuan meradiasikan atau menerima gelombang radio. Sedangkan definisi antena dalam standar IEEE (IEEE Std 145-1983) mendefinisikan antena sebagai sarana meradiasikan dan menerima gelombang radio. Dengan kata lain antena adalah struktur transisi antara *free space* dan perangkat *guiding* [5].

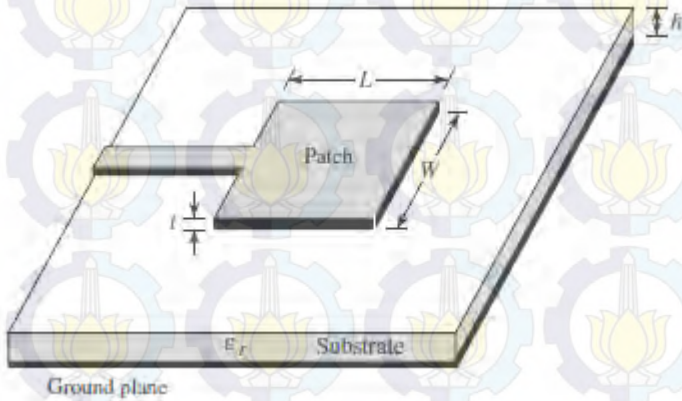
Sebagai tambahan dari menerima dan meradiasikan gelombang elektromagnetik, sebuah antena dalam sistem nirkabel pada umumnya diharuskan mengoptimasi dan menguatkan energi radiasi pada arah tertentu dan menekan energi pada arah yang lain. Dengan kata lain antena tersebut harus bersifat *directional*. Berbagai metode yang dilakukan untuk mempengaruhi *directivity* ini diantaranya adalah *aperture*, *patch*, *array*, *reflector*, lensa dan lain-lain. Dari berbagai metode ini yang paling mudah dalam penerapannya serta pesat perkembangannya adalah *patch* atau mikrostrip.

2.1.1 Antena Mikrostrip

Antena mikrostrip adalah suatu jenis antena yang berupa konduktor (biasanya berupa plat tembaga) yang dicetak pada sebuah media dielektrik yang disebut substrat. Antena mikrostrip memiliki beberapa keuntungan diantaranya ukurannya yang kecil, ringan, serta kemudahan fabrikasinya. Ukurannya yang kecil menjadikan pengembangan antena mikrostrip memungkinkan untuk aplikasi di dunia *mobile* yang saat ini sedang berkembang pesat. Namun, antena mikrostrip memiliki beberapa kekurangan diantaranya sempitnya *bandwidth*, buruknya efisiensi daya, serta *gain* dan *directivity* yang kecil [6].

Antena Mikrostrip adalah antena yang *low profile*, dapat diterapkan pada permukaan planar maupun non planar, sederhana serta mudah dibuat dengan teknik pencetakan PCB modern, tahan banting, serta dengan variasi bentuk *patch* dan *mode* dapat memberikan frekuensi resonan, polarisasi, pola dan impedansi yang berbeda-beda sesuai kebutuhan [5].

Sebuah antena mikrostrip terdiri dari 3 bagian utama, yaitu *patch*, substrat, dan *ground*.



Gambar 2.1 Struktur Antena Mikrostrip [5]

2.1.1.1 Patch

Patch konduktor merupakan cetakan plat tembaga pada dielektrik yang berfungsi sebagai tempat arus mengalir serta meradiasikan gelombang elektromagnetik ke udara. Bentuk cetakan *patch* konduktor ini akan menentukan arah radiasi gelombang elektromagnetik serta *directivity* antena itu sendiri. Pada umumnya *patch* konduktor memiliki ketebalan 0.035 mm.

2.1.1.2 Substrat

Substrat merupakan media dielektrik tempat mengalirnya gelombang elektromagnetik. Kinerja sebuah antena mikrostrip selain sangat dipengaruhi oleh bentuk *patch*nya sendiri juga sangat dipengaruhi oleh ketebalan serta permitivitas relatif (ϵ_r) substrat yang digunakan.

Semakin tinggi permitivitas relatif suatu substrat, semakin kecil ukuran antena mikrostrip tersebut dan semakin tebal substrat tersebut semakin lebar *bandwidth* antenanya [4].

2.1.1.3 Ground

Ground pada antena mikrostrip berupa plat tembaga yang berada di sisi substrat yang berlawanan dengan *patch* konduktor. *Ground* ini

berfungsi sebagai *reflector* [6] serta dalam kasus penggunaan *via* untuk menghubungkan *stub* atau *inductor shunt* secara *short*.

2.1.2 Parameter Umum Antena Mikrostrip

Terdapat beberapa hal yang menjadi parameter kinerja sebuah antena mikrostrip, diantaranya adalah:

2.1.2.1 Pola Radiasi

Pola radiasi adalah representasi grafis yang menggambarkan bentuk radiasi suatu antena. Pada grafik tersebut diberikan representasi kuat medan pada arah tertentu pada suatu antena. Sebuah pola radiasi dapat diukur dalam medan dekat atau medan jauh. Medan dekat merujuk pada pola radiasi yang berada di dekat antena. Sedangkan medan jauh merujuk pada pola radiasi yang jauh dari antena. Medan jauh ini adalah yang biasa disebut pola radiasi. Ada dua jenis pola radiasi, mutlak dan relatif dimana pola radiasi mutlak menampilkan satuan mutlak daya medan. Sedangkan pola radiasi relatif menampilkan satuan relatif daya medan [6].

2.1.2.2 Gain

Gain adalah perbandingan rapat daya per satuan *unit* antena terhadap antena referensi dalam arah dan daya yang sama [6]. *Gain* didapat menggunakan persamaan:

$$G = \eta \cdot D \quad (2.1)$$

Ada dua jenis penguatan atau *gain*, yaitu *gain* mutlak dan *gain* relatif. *Gain* mutlak adalah perbandingan antara intensitas daya pada arah tertentu dengan intensitas daya yang diterima saat antena meradiasi secara isotropik [6]. *Gain* mutlak atau *gain absolute* dihitung dengan rumus berikut:

$$G = 4\pi \frac{U(\theta, \phi)}{P_{in}} \quad (2.2)$$

Jenis yang kedua adalah *gain* relatif. *Gain* relatif adalah perbandingan intensitas daya pada arah tertentu dengan intensitas daya antena referensi pada arah yang direferensikan. Antena referensi dalam

kasus ini berupa antenna isotropik *lossless* [6]. Direpresentasikan dalam rumus berikut

$$G = 4\pi \frac{U(\theta, \phi)}{P_{in}(\text{Lossless})} \quad (2.3)$$

2.1.2.3 S-Parameters

Secara sederhana, *s parameter* atau *scattering parameter* adalah rasio perbandingan gelombang daya *input-output* pada suatu jaringan saluran transmisi dalam hal daya yang dipantulkan dan ditransmisikan. Analisa *s parameter* dapat dilakukan dengan menggunakan rangkaian 2 port pada gambar 2.2



Gambar 2.2 Rangkaian yang digunakan pada analisa *S Parameter* jaringan 2 port[7].

Dimana didefinisikan *port an* sebagai daya yang ditransmisikan dan *bn* sebagai daya yang dipantulkan. Berdasarkan gambar konvensional rangkaian 2 port diatas, *S Parameter* dapat ditentukan dengan matriks[7]:

$$\begin{pmatrix} b1 \\ b2 \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} S11 & S12 \\ S21 & S22 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} a1 \\ a2 \end{pmatrix} \quad (2.4)$$

Dimana definisi tiap parameter tersebut adalah[7]:

$$S11 = \left. \frac{b1}{a1} \right|_{a2=0} = \frac{Pr1}{Pt1}$$

$$S21 = \left. \frac{b2}{a1} \right|_{a2=0} = \frac{Pr2}{Pt1}$$

$$S_{12} = \left. \frac{b_1}{a_2} \right|_{a_1=0} = \frac{P_{r1}}{P_{t2}}$$

$$S_{22} = \left. \frac{b_2}{a_2} \right|_{a_1=0} = \frac{P_{r2}}{P_{t2}}$$

Dimana : P_{r1} = daya yang dipantulkan pada port 1
 P_{t1} = daya yang ditransmisikan pada port 1
 P_{r2} = daya yang dipantulkan pada port 2
 P_{t2} = daya yang ditransmisikan pada port 2

Serta disimpulkan kondisi $a_1 = 0$ dan $a_2 = 0$ menyatakan bahwa pada kondisi tersebut tidak ada daya yang ditransmisikan pada *port* yang bersangkutan. Dimana kondisi ini bisa didapatkan dengan cara menyambungkan saluran transmisi yang berkaitan dengan impedansi karakteristiknya[7].

2.1.2.4 Return Loss

Return Loss adalah perbandingan amplitudo gelombang yang dipantulkan oleh beban saluran transmisi dengan amplitudo gelombang yang ditransmisikan pada saluran transmisi tersebut, dilambangkan sebagai (Γ) [7]. Perpantulan amplitudo ini terjadi karena adanya perbedaan impedansi saluran transmisi dengan impedansi sumber. Maka dalam keadaan impedansi *matched*, tidak ada daya yang dipantulkan ($\Gamma = 0$). *Return loss* dihitung dengan rumus [7]:

$$\Gamma = \frac{Z_l - Z_0}{Z_l + Z_0} \quad (2.5)$$

Dimana : Γ = Koefisien Refleksi
 Z_l = Impedansi Saluran (Ω)
 Z_0 = Impedansi Sumber (Ω)

2.1.2.5 Voltage Standing Wave Ratio (VSWR)

VSWR atau *voltage standing wave ratio* adalah perbandingan dari gelombang berdiri maksimum dengan gelombang berdiri minimum. Gelombang berdiri adalah sebuah gelombang yang diakibatkan oleh

gelombang pantulan yang menginterferensi gelombang maju pada suatu saluran transmisi. VSWR dapat dihitung dengan rumus:

$$VSWR = \frac{1+\Gamma}{1-\Gamma} \quad (2.6)$$

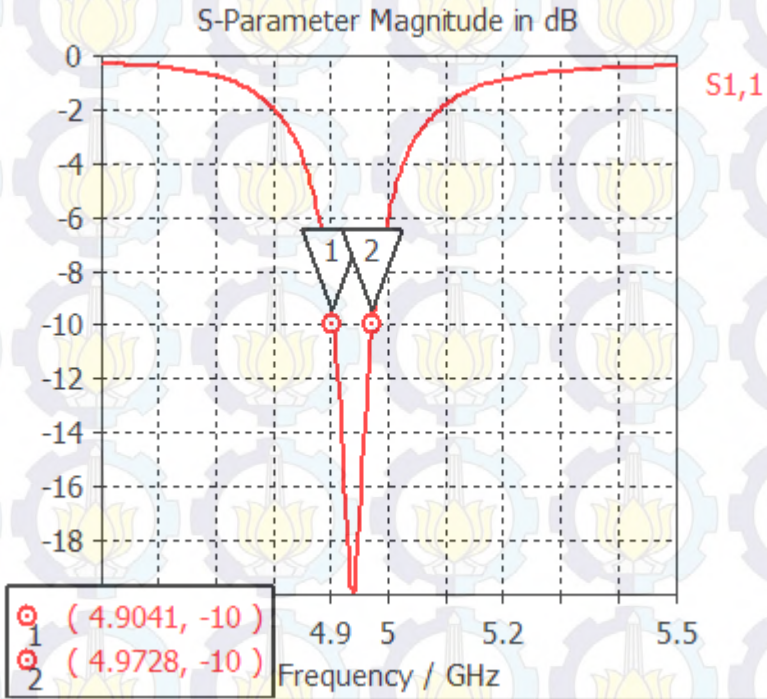
2.1.2.6 Directivity

Directivity atau keterarahan adalah perbandingan rapat daya pada *beam* utama antena dengan rapat daya radiasi rata-rata. Rapat daya rata-rata yang dimaksud disini dapat diketahui dengan membagi daya radiasi rata-rata dengan 4π [6]. Sedangkan *directivity* sendiri dapat dihitung dengan rumus:

$$D = \frac{4\pi U}{Prad} \quad (2.7)$$

2.1.2.7 Return Loss Bandwidth

Return loss bandwidth adalah metode pembacaan *bandwidth* dari grafik *return loss* atau S11. Metode ini lebih sering digunakan karena pembacaannya dapat diketahui dari sebagian besar *software* simulasi maupun alat pengukuran seperti *network analyzer*. Sebuah *bandwidth return loss* dihitung dari saat grafik turun sejajar dengan nilai -10 dB sampai grafik naik dan sejajar lagi dengan nilai -10 dB [5]. Gambar 2.3 adalah contoh pembacaan *bandwidth return loss*:



Gambar 2.3 *Return Loss Bandwidth* ditandai dengan penanda pada tingkat *return loss* -10 dB.

2.1.2.8 *Current Density*

Current density atau yang biasa disebut distribusi arus adalah sebuah satuan atau *parameter* yang menyatakan besarnya kepadatan suatu arus pada suatu daerah tertentu. Pada umumnya, distribusi arus dinyatakan dengan satuan A/m^2 .

2.2 *Ultra Wide Band (UWB)*

Ultra Wideband didefinisikan FCC dan ITU-R sebagai sinyal yang memiliki *bandwidth* melebihi 500 MHz atau 20% dari frekuensi kerjanya serta mencakup frekuensi diantara 3.1 – 10.6 GHz[8].

Ultra wideband adalah sebuah teknologi yang digunakan untuk mengirimkan informasi melalui sebuah kanal dengan *bandwidth* yang

sangat lebar (>500 MHz) yang secara teori seharusnya dapat digunakan bersamaan oleh banyak *user*. Badan *Federal Communication Commision* (FCC) mengizinkan penggunaan spektrum frekuensi UWB pada frekuensi 3.1 – 10.6 GHz sejak tanggal 14 februari 2002[8]. Hal ini bertujuan memberikan *data rate* tinggi baik pada komunikasi jarak dekat maupun jarak yang lebih jauh dengan memanfaatkan *bandwidth* pada spektrum frekuensi radio yang tidak digunakan.

2.3 *Metamaterial* Elektromagnetik

Metamaterial Elektromagnetik adalah struktur elektromagnetik homogen buatan dengan sifat elektromagnet yang tidak dapat ditemui di alam. Struktur pada *metamaterial* tersusun secara periodik. Sebuah *metamaterial* elektromagnetik mempengaruhi gelombang elektromagnetik karena memiliki ukuran struktur yang lebih kecil dibanding panjang gelombang elektromagnetik yang melaluinya, struktur ini disebut sebagai *electrically small*. Untuk radiasi gelombang mikro, ukuran struktur pada umumnya hanya sebesar beberapa millimeter saja. *Metamaterial* yang menggunakan frekuensi gelombang mikro pada umumnya sintesis, disusun sebagai *array-array* elemen konduktif yang mempunyai sifat induktif dan kapasitif [3].

2.3.1 *Left Handed Metamaterials* (LH MTM)

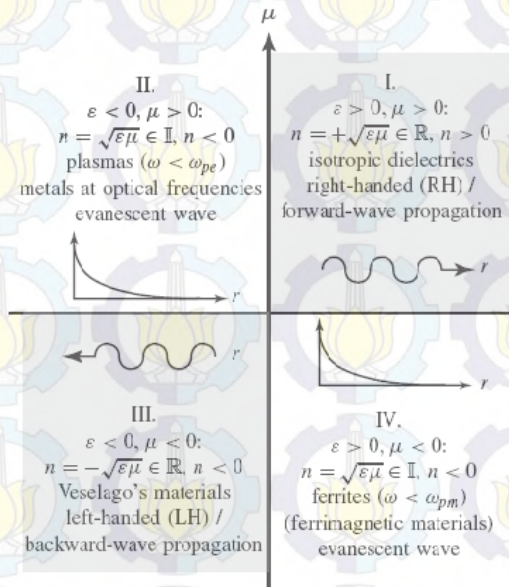
Sebuah material atau bahan elektromagnetik memiliki properti fisik yang berbeda-beda yang ditentukan oleh parameter permitivitas dan permeabilitas yang berhubungan dengan indeks bias sesuai persamaan:

$$n = \pm\sqrt{\epsilon_r \mu_r} \quad (2.8)$$

dimana ϵ_r adalah permitivitas relatif dan μ_r adalah permeabilitas relatif [3].

4 kombinasi yang memungkinkan untuk pasangan $\epsilon - \mu$ adalah (+,+), (+,-), (-,+), dan (-,-). Seperti yang digambarkan di diagram permitivitas - permeabilitas yang terlampir. Ketiga kombinasi pertama merupakan kombinasi yang cukup umum terdapat di material pada umumnya. Sedangkan kombinasi jenis yang terakhir merupakan kombinasi yang disebut sebagai *left-handed materials*. Material *left-handed* yang memiliki nilai negatif di kedua parameter fisiknya

memiliki karakteristik fase anti-paralel dan kecepatan grup atau yang biasa disebut indeks bias negatif atau *Negative refractive index* (NRI). Sifat terakhir material *left-handed* ini menyebabkan sebuah material memberikan resonansi gelombang terbalik saat dijadikan saluran transmisi (*left-handed transmission line*) [3].



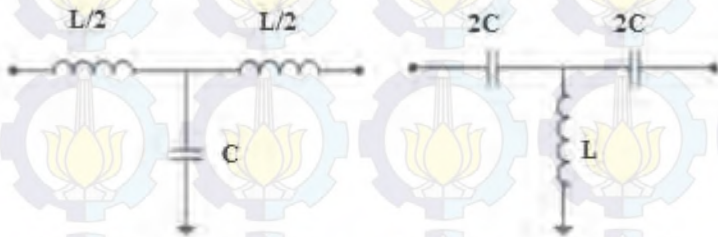
Gambar 2.4 Diagram Permittivitas (ϵ) – Permeabilitas (μ) dan Indeks Bias (n) [3]

2.3.2 Composite Right Left Handed Metamaterials (CRLH MTM)

Saluran transmisi CRLH atau *composite right left handed transmission line* adalah sebuah implementasi *left-handed metamaterial* pada sebuah saluran transmisi. Sebuah unit sel *metamaterial* yang terdiri dari implementasi kapasitor *interdigital* dan induktor *shunt (stub)* pada sebuah saluran transmisi [3]. Istilah *composite right/left handed* berasal dari sifat alami saluran transmisi yang diimplementasikan dengan *left-handed metamaterial* namun tidak mencapai kondisi PLH atau *pure left handed*. Dimana pada suatu transmisi line yang dibebankan unit sel

metamaterial tersebut tetap akan memiliki sifat *right handed* pada beberapa bagian saluran transmisi tersebut[9].

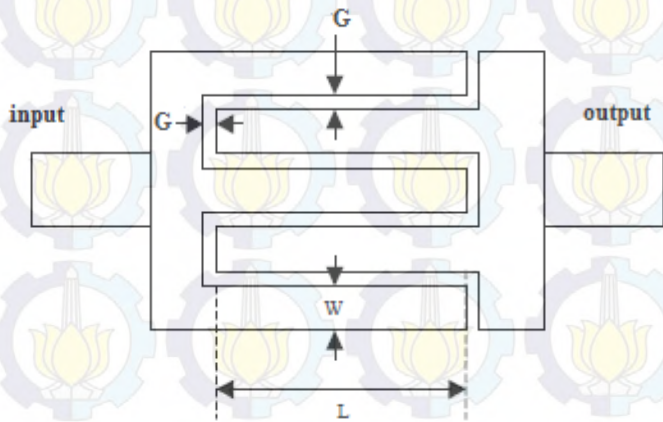
Sebuah struktur saluran transmisi *metamaterial* terdiri dari kapasitor *interdigital* seri dan induktor *shunt* yang berperan sebagai *stub*. Tapi, seiring gelombang elektromagnetik berpropagasi di sepanjang kapasitor, fluks magnet terinduksi dan menciptakan induktansi seri di saluran transmisi. Begitu juga dengan adanya perbedaan tegangan pada konduktor saluran transmisi dan *ground* tercipta kapasitansi *shunt*. Hal ini berlawanan dengan sifat *left handed* yang memerlukan kapasitansi seri dan induktansi *shunt*, sehingga hal ini menimbulkan sifat *right handed* di beberapa bagian saluran transmisi[3].



Gambar 2.5 Saluran transmisi *right handed* (kiri) dan *left handed* (kanan) [9]

2.3.2.1 *Interdigital Capacitor*

Interdigital Capacitor adalah sebuah elemen yang digunakan untuk menghasilkan karakteristik kapasitansi pada kapasitor menggunakan saluran mikrostrip. Secara umum, *interdigital capacitor* terdiri dari beberapa konduktor panjang yang bersampingan dan berhimpitan dengan konduktor panjang bersampingan lainnya seperti pada gambar 2.6.

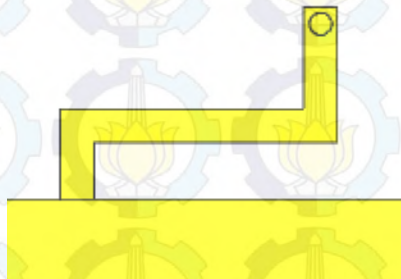


Gambar 2.6 Struktur dasar *Interdigital Capacitor*

Pada umumnya jarak antara konduktor (G) dan pada ujung konduktor (GE) sama. Karakteristik kapasitansi suatu *interdigital capacitor* sangat dipengaruhi dimensi *interdigital capacitor* itu sendiri. Serta dikarenakan suatu *interdigital capacitor* dicetak pada suatu substrat dengan ketebalan dan permitivitas tertentu, maka karakteristik kapasitansinya juga dipengaruhi substrat, ketebalan substrat maupun ketebalan saluran mikrostrip itu sendiri[10].

2.3.2.2 *Shunt Inductor*

Shunt inductor adalah elemen pada suatu saluran transmisi mikrostrip yang menimbulkan pengaruh induktansi pada saluran transmisi tersebut. Pada umumnya, induktor *stub* konvensional bisa direalisasikan dengan adanya *stub* konduktor pada saluran mikrostrip. Sedangkan *shunt inductor* direalisasikan dengan cara menghubungkan singkat (*short*) *inductor stub* di saluran mikrostrip dengan *ground* di sisi berlawanan pada suatu mikrostrip planar *double layer*.



Gambar 2.7 Implementasi *Inductor Shunt* pada Antena Mikrostrip.

2.3.3 Antena *Metamaterial*

Antena *metamaterial* adalah jenis antena yang menggunakan *metamaterial* untuk meningkatkan kinerja sebuah antena *electrically small*. *Metamaterial* yang direkayasa untuk aplikasi frekuensi gelombang mikro ini direkayasa untuk mendapatkan sifat fisik yang tidak umum dan tidak dapat ditemukan di alam. Desain sebuah antena yang menggunakan *metamaterial* sebagai bahan pembuatannya dapat meningkatkan daya radiasi antena. Secara umum, antena biasa yang berukuran kecil akan memantulkan semua atau sebagian besar gelombang kembali ke sumber. Dengan penambahan *metamaterial*, sebuah antena seolah ukurannya menjadi lebih besar dari yang sebenarnya [11].

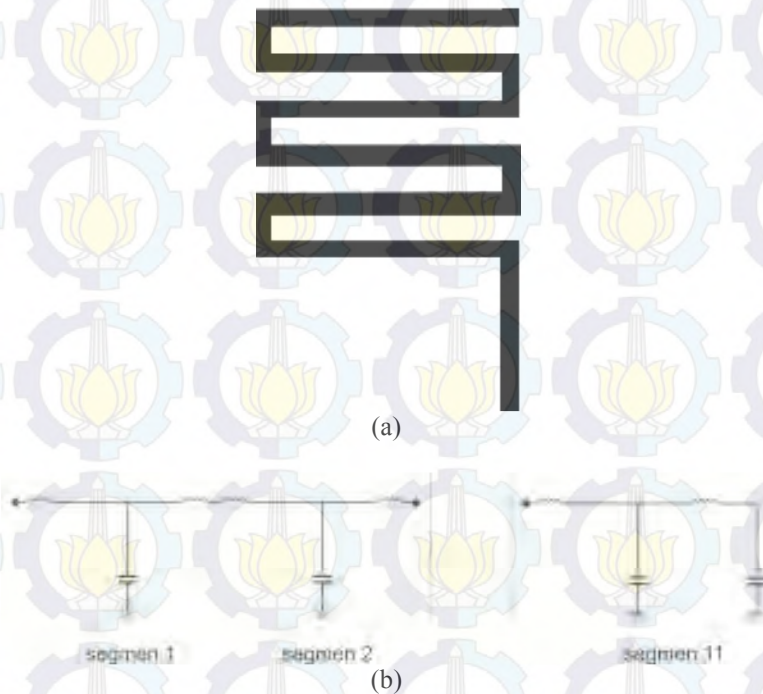
2.3.4 Antena *Meander Line*

Antena *meander-line* sesuai namanya adalah desain saluran transmisi antena yang berkelok. *Meander-line* merupakan salah satu metode untuk memperkecil ukuran antena dan menurunkan frekuensi resonansi sebuah saluran transmisi. Sifat menurunkan frekuensi resonansi saluran transmisi *meander line* muncul dari bentuknya yang memperpanjang saluran yang dilalui arus dan berakibat memunculkan resonansi pada frekuensi yang lebih rendah dibandingkan resonansi pada saluran transmisi yang lebih pendek [1].

Pada struktur ini antena berperan sebagai rangkaian resonan LC. Terdapat struktur vertikal dan horizontal yang terhubung dan membentuk belokan – belokan. Elemen vertikal berperan sebagai

induktor dan elemen horizontal sebagai kapasitor[1]. Jumlah belokan pada antenna *meander line* menentukan tingkat efisiensi yang diperoleh. Sedangkan jarak antara *meander line* menentukan frekuensi resonansinya[1].

Struktur *meander line* dapat dirubah menjadi rangkaian ekivalennya dengan terlebih dahulu mengetahui jumlah segmen dalam *meander line* tersebut[12]. Sebagai contoh pada gambar 2.8 diberikan struktur *meander line* dengan 11 segmen dan rangkaian ekivalennya. Struktur tersebut terdiri dari 6 segmen horizontal dan 5 segmen vertikal.



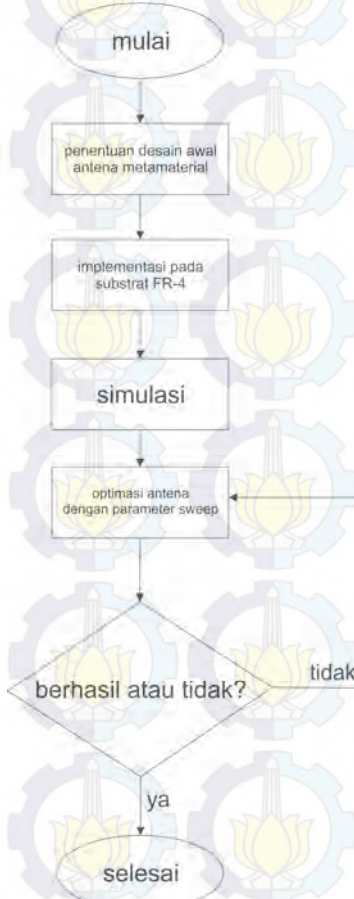
Gambar 2.8 (a) Struktur dasar *meander line* dan (b) model ekivalen meander line[1]



Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB III PERANCANGAN DAN OPTIMASI ANTENA

3.1 Alur Perancangan Antena *Planar Ultra Wideband Metamaterial* pada Substrat FR-4



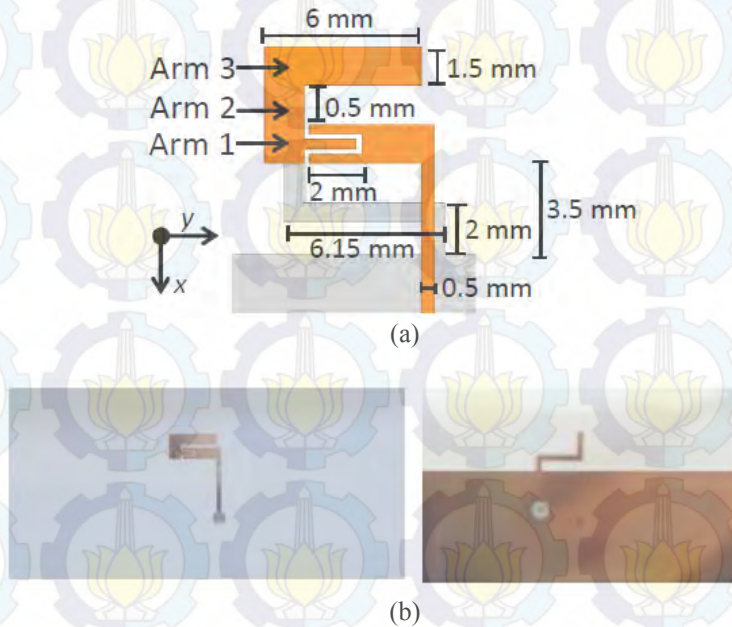
Gambar 3.1 Alur perancangan antena *planar metamaterial ultra wideband* pada substrat FR-4.

Alur perancangan akan dilakukan dengan terlebih dahulu menentukan desain awal antenna yang akan diimplementasikan pada substrat FR-4 serta dioptimasi. Desain yang dipilih akan disimulasi serta dioptimasi pada parameter *bandwidth* serta *gain* dan *directivity* dengan metode *parameter sweep*. Hasil desain antenna akhir akan difabrikasi serta diukur.

3.2 Desain Awal Antena *Planar Metamaterial*

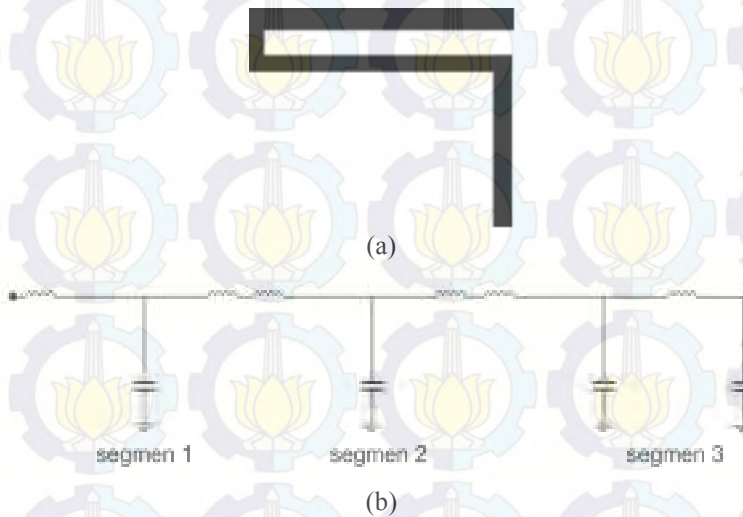
Desain antenna yang akan diimplementasikan ditentukan dari sumber [2]. Antena yang digunakan berupa antenna *meander line* dengan penambahan unit sel *metamaterial* berupa *interdigital capacitor* dan *inductor shunt* yang terhubung *short* dengan *ground* melalui *via*.

Desain antenna dilakukan dengan terlebih dahulu menentukan bentuk dasar antenna konvensional, kemudian diberi penambahan sel unit *metamaterial* CRLH berupa kapasitor *interdigital* dan *shunt inductor*.



Gambar 3.2 (a) Desain antenna *metamaterial* beserta dimensi awalnya, dan (b) foto hasil fabrikasi antenna [2].

Desain awal antenna diperoleh dengan menentukan bentuk komponen *right handed* dan komponen *left handed*nya. Struktur antenna *meander line* secara umum sudah memberikan resonansi *right handed* dikarenakan bentuk rangkaian ekivalennya yang berupa rangkaian *right handed*. Desain awal antenna berupa struktur antenna *meander line* dengan 3 segmen utama. Desain antenna *right handed* ini kemudian diberikan implementasi sel *metamaterial left handed* pada lengannya sehingga membentuk sel *metamaterial CRLH*. Pada gambar 3.3 diberikan struktur antenna *meander line* dan rangkaian ekivalennya.

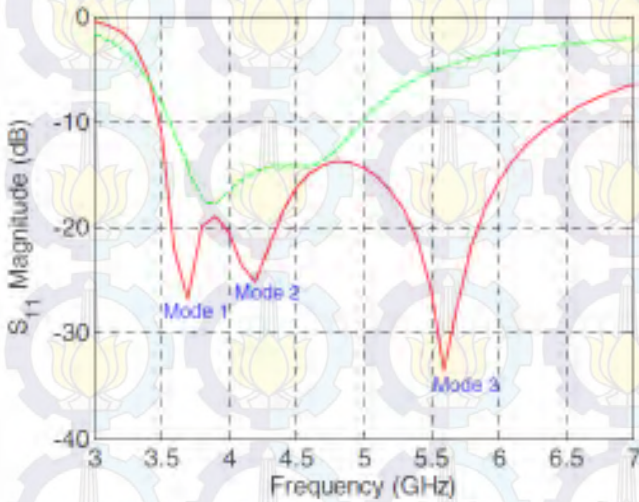


Gambar 3.3 (a) Struktur antenna *meander line* awal dan (b) rangkaian ekivalennya.

Desain awal antenna memiliki ukuran 60 x 30 mm dengan *feed* jenis *coaxial pin* yang dicatu melalui substrat. Antena ini memanfaatkan elemen *metamaterial* untuk menimbulkan arah arus terbalik karena pengaruh *left handed* yang ditimbulkan elemen itu sendiri serta membangkitkan mode resonansi baru pada frekuensi 5.6 GHz yang bertujuan memperlebar *bandwidth*nya.



(a)



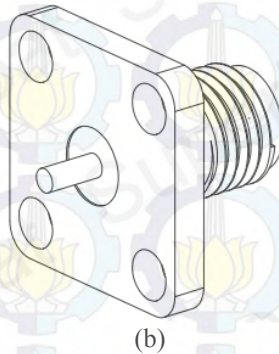
(b)

Gambar 3.4 Perbandingan (a) pola distribusi arus dan (b) grafik *return loss* antenna konvensional (hijau) dengan antenna dengan penambahan elemen *metamaterial* (merah).

Pada grafik pada gambar 3.4 dapat disimpulkan elemen *metamaterial* menambahkan mode resonansi ketiga yang berakibat pada melebarnya *bandwidth* keseluruhan antenna tersebut.

3.3 Implementasi Antena Planar *Metamaterial* pada FR-4

Pada langkah implementasi ini dilakukan beberapa penyesuaian pada ketebalan substrat, serta panjang dan lebar saluran transmisi antena. Dikarenakan sebelumnya antena menggunakan feed jenis *SMA coaxial connector panel mount*, dan pada perancangan yang dilakukan akan digunakan *feed model SMA connector PCB mount*.



Gambar 3.5 (a) *SMA connector PCB mount*, (b) *SMA connector panel mount*[13]

Tabel 3.1 Dimensi Antena *planar* pada substrat FR4

Kode	Deskripsi	Dimensi
L1	Panjang Lengan 1	4.5 mm

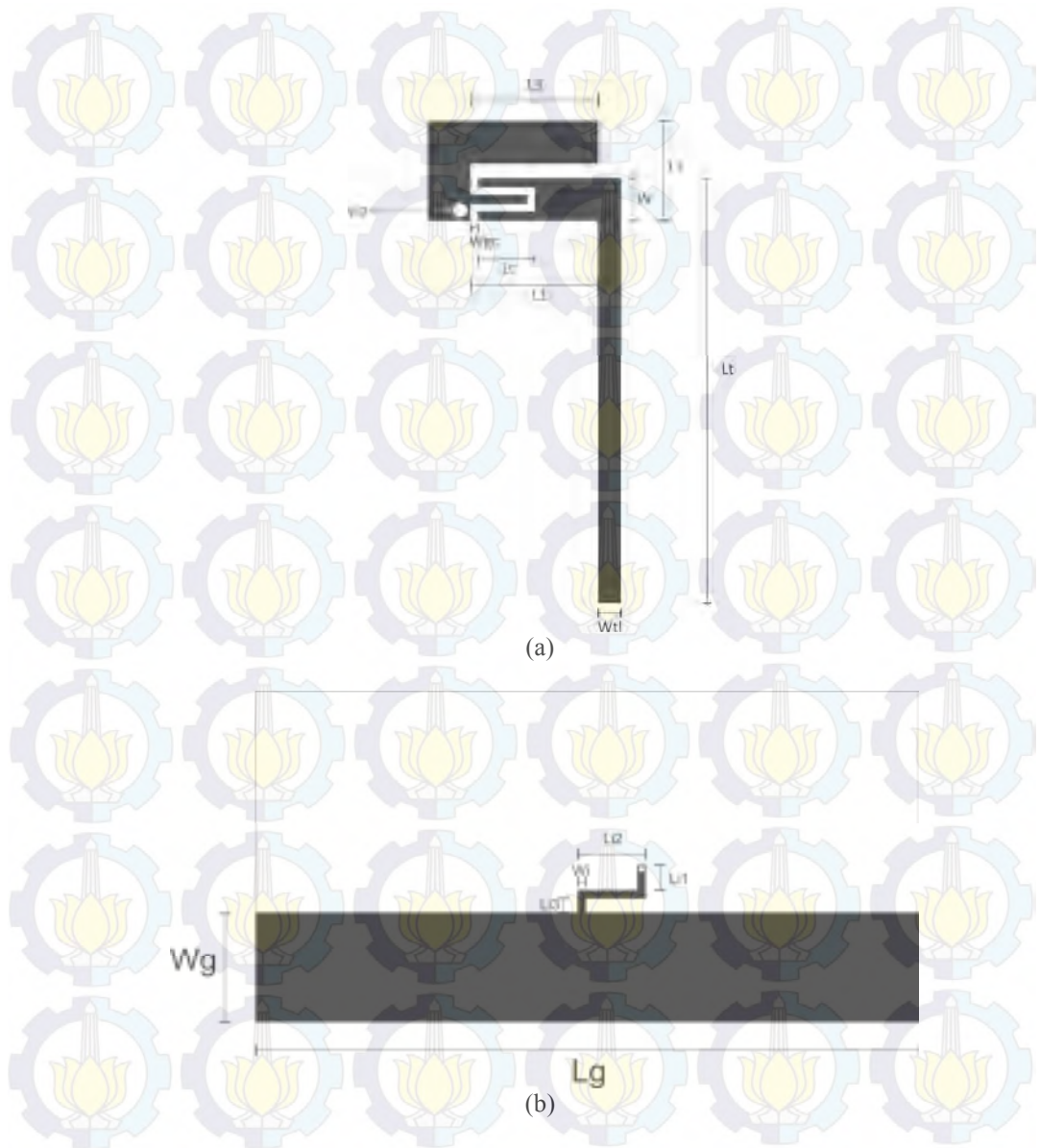
L2	Panjang Lengan 2	3.5 mm
L3	Panjang Lengan 3	4.5 mm
Lc	Panjang <i>Interdigital Capacitor</i>	2 mm
Ltl	Panjang Saluran Transmisi	15 mm
W	Lebar Lengan Antena	1.5 mm
Wgc	Jarak Antar Konduktor Kapasitor	0.26 mm
Wtl	Lebar Saluran Transmisi	0.8 mm
Via	Diameter <i>Via</i>	0.7 mm
Li1	Panjang <i>Shunt</i> Induktor 1	1.5 mm
Li2	Panjang <i>Shunt</i> Induktor 2	6.15 mm
Li3	Panjang <i>Shunt</i> Induktor 3	1.25 mm
Lg	Panjang <i>Ground</i>	60 mm
Wi	Lebar Induktor	0.75 mm
Wg	Lebar <i>Ground</i>	10 mm

Panjang saluran transmisi yang awalnya sepanjang 8 mm ditambah menjadi 15 mm agar mencapai ujung panel PCB. Sedangkan lebarnya diperlebar dari 0.7 mm menjadi 0.8 mm untuk mengakomodasi *pin connector* SMA yang lebarnya 0.72 mm. Substrat yang digunakan adalah FR-4 dengan permitivitas relatif sebesar 4.3 dan tebal 1.6 mm.

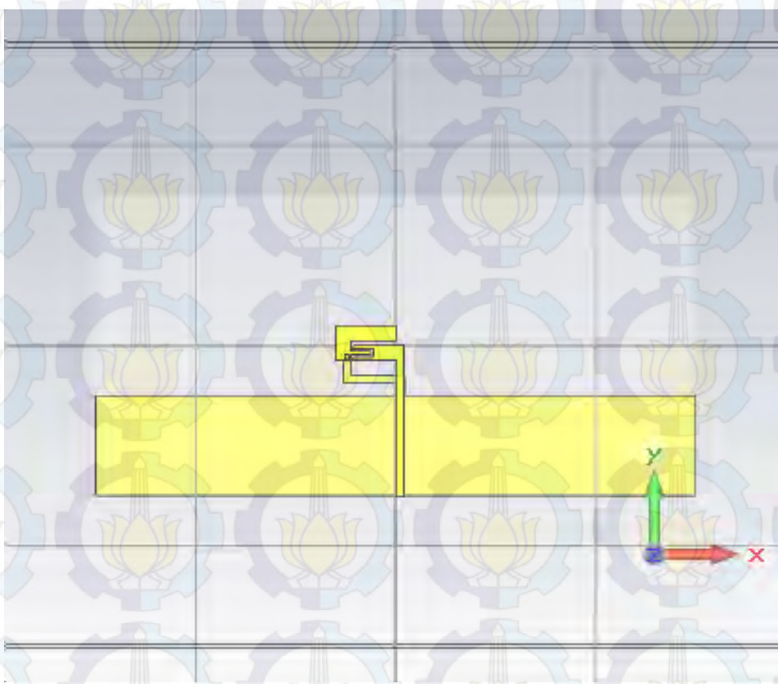
Pada gambar 3.6 adalah hasil implementasi antena pada substrat FR-4 dengan dimensi lengkapnya dan pada tabel 3.1 diberikan dimensi mendetail antena. Gambar 3.7 adalah bentuk antena pada simulasi CST *Studio Suite* 2011.

Sedangkan gambar 3.8 dan 3.9 adalah hasil simulasi yang telah dilakukan beserta gambar antena yang disimulasikan menggunakan CST *Microwave Suite*. Hasil simulasi yang ditampilkan adalah *S-Parameter* yang menunjukkan tingkat *Return loss* dan *Bandwidth* serta Pola radiasi dan *Gain*.

Pada S11 hasil simulasi dapat ditarik kesimpulan bahwa terdapat 2 *band* utama pada frekuensi UWB 3.1 – 10.6 dimana salah satunya memiliki *bandwidth* sebesar 3.49 GHz dengan frekuensi tengah 5.25 GHz dan satunya lagi dengan *bandwidth* 1.14 GHz dengan frekuensi tengah 8.53 GHz.

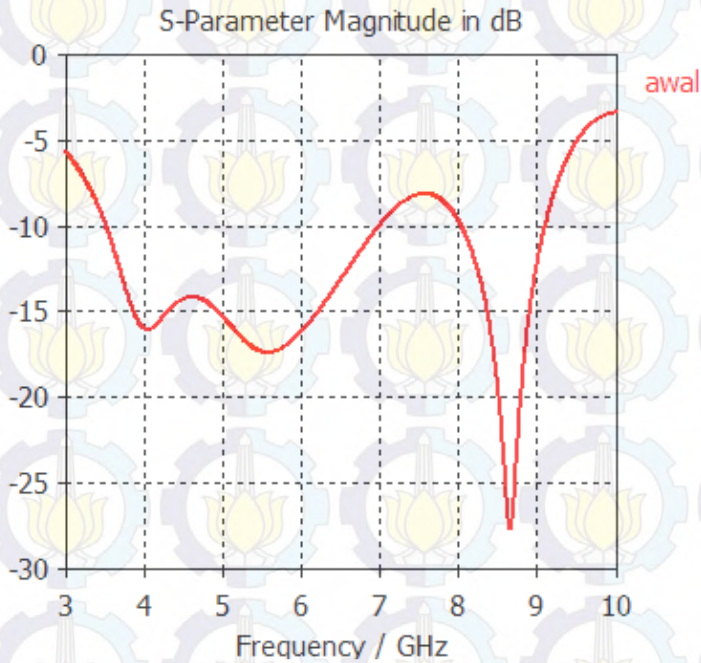


Gambar 3.6 (a) depan, (b) belakang desain antenna setelah diimplementasikan pada substrat FR-4.



Gambar 3.7 Bentuk antenna pada *software* simulasi CST Studio Suite 2011

Dari hasil S11 yang dimiliki tersebut, disimpulkan bahwa optimasi terbaik yang bisa dilakukan adalah menurunkan tingkat *return loss* di frekuensi 7 GHz sampai dengan 7.96 GHz agar didapatkan *bandwidth* sebesar 5.59 GHz yang mencakup frekuensi 3.51 - 9.1 GHz.



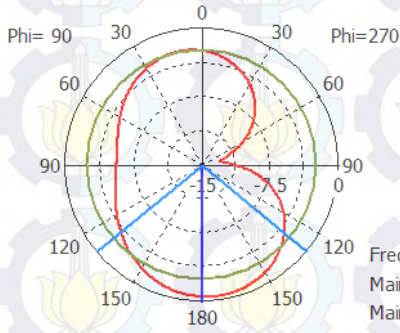
Gambar 3.8 Hasil simulasi rancangan awal antenna pada substrat FR-4

Optimasi akan dilakukan dengan metode *parameter sweep* untuk menemukan bagian dari antenna yang paling mempengaruhi kinerja pada frekuensi tersebut. *Parameter Sweep* sendiri adalah metode untuk menemukan bagian antenna mana yang mempengaruhi suatu resonansi pada frekuensi tertentu.

Optimasi lain yang bisa dilakukan adalah untuk menurunkan tingkat *return loss* pada frekuensi lainnya antara 3.1 – 10.6 GHz agar mendapatkan efisiensi daya yang baik serta *gain* antenna yang baik pula.

Farfield Directivity Abs (Phi=90)

farfield (f=5.26) [1]



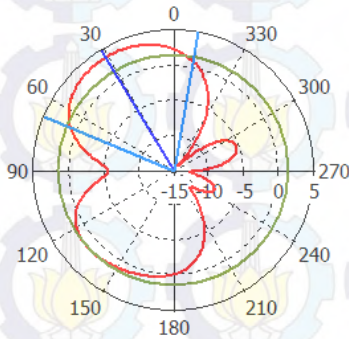
Frequency = 5.26
Main lobe magnitude = -0.5 dBi
Main lobe direction = 180.0 deg.
Angular width (3 dB) = 101.3 deg.
Side lobe level = -1.8 dB

Theta / Degree vs. dBi

(a)

Farfield Directivity Abs (Theta=90)

farfield (f=5.26) [1]



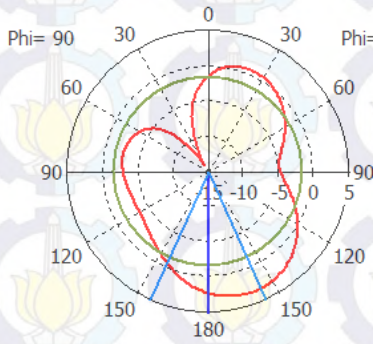
Frequency = 5.26
Main lobe magnitude = 3.8 dBi
Main lobe direction = 31.0 deg.
Angular width (3 dB) = 77.6 deg.
Side lobe level = -2.4 dB

Phi / Degree vs. dBi

(b)

Farfield Directivity Abs (Phi=90)

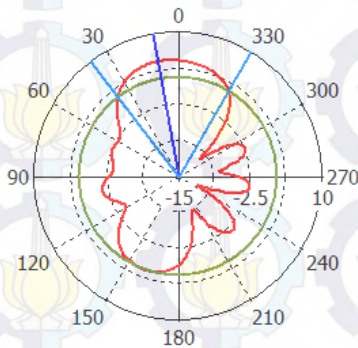
farfield (f=8.53) [1]



(c)

Farfield Directivity Abs (Theta=90)

farfield (f=8.53) [1]



(d)

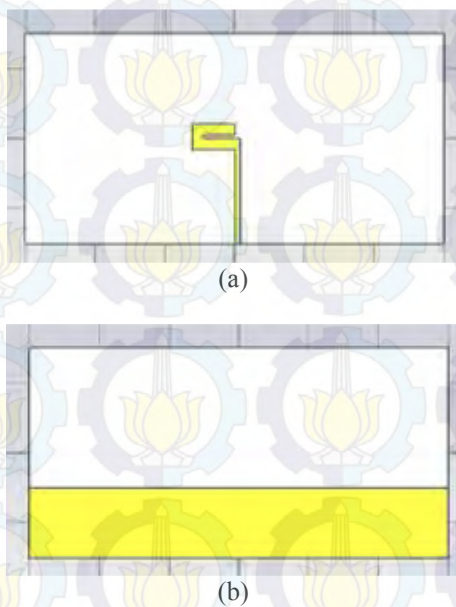
Gambar 3.9 Pola radiasi pada sisi (a) θ dan (b) ϕ pada frekuensi 5.26 GHz serta pada sisi (c) θ dan (d) ϕ pada frekuensi 8.53 GHz menggunakan substrat FR-4.

Dari hasil simulasi pola radiasi dan *gain* dapat diketahui bahwa pada frekuensi 5.26 GHz, didapatkan *main lobe* pada sudut θ 180° dan ϕ 31° dengan *gain* maksimum 3.8 dBi pada sudut ϕ 31° . Sedangkan pada frekuensi 8.53 GHz, *main lobe* didapatkan pada sudut θ 180° dan ϕ 10° dengan *gain* maksimum pada sudut ϕ 10° sebesar 5.3 dBi.

3.4 Analisis Pengaruh Elemen *Metamaterial* pada Antena

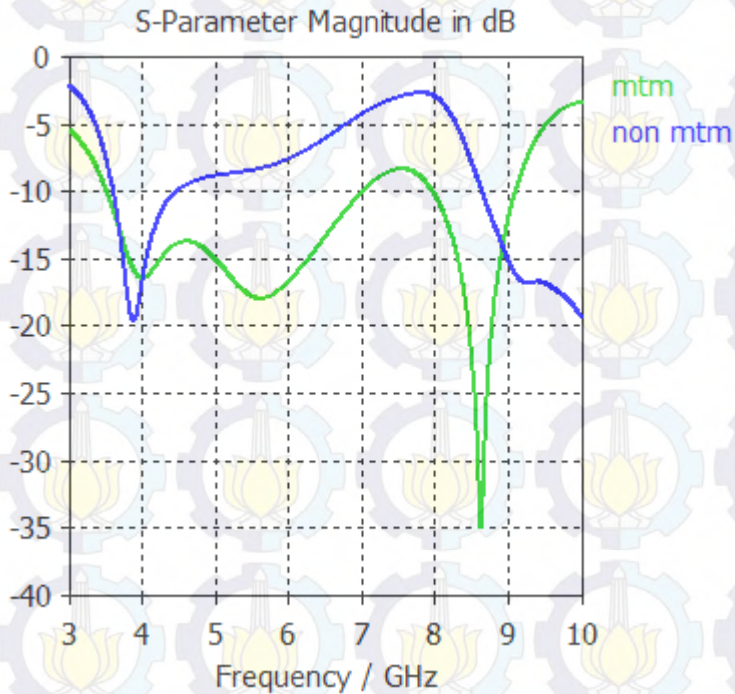
Pada desain awal antena yang sudah dibahas, sudah terdapat sel *metamaterial* berupa *interdigital capacitor* dan *shunt inductor*. Sel *metamaterial* ini memberikan pengaruh *left handed* yang menyebabkan terjadinya arus terbalik[2]. Pada subbab ini akan dianalisa pengaruh *left handed wave* tersebut pada antena yang didesain.

Pada gambar 3.10 adalah bentuk antena setelah dihilangkan sel *metamaterial*nya.



Gambar 3.10 Hasil desain antena tanpa *metamaterial* (a) sisi depan dan (b) sisi belakang.

Sedangkan pada gambar 3.11 diberikan hasil simulasi S11 pada antenna dengan substrat FR-4. Garis hijau menunjukkan antenna yang menggunakan sel *metamaterial* dan garis biru menunjukkan antenna yang tidak menggunakan sel *metamaterial*. Pada gambar hasil simulasi diberikan juga hasil simulasi antenna yang menggunakan sel *metamaterial* untuk memudahkan perbandingan.



Gambar 3.11 Perbandingan hasil simulasi S11 antenna dengan (hijau) dan tanpa sel *metamaterial* (biru)

Pada hasil simulasi s11 yang diperoleh menggunakan substrat FR-4, dapat diketahui bahwa sel *metamaterial* mempengaruhi *return loss* keseluruhan antenna serta menimbulkan resonansi baru pada frekuensi 5 – 6 GHz. Pada frekuensi 8.5 GHz keatas, resonansi menggeser namun mempersempit ke frekuensi 8 – 9 GHz.

Secara umum, sel *metamaterial* memberikan kinerja *return loss* yang lebih baik dan memperlebar *bandwidth* pada frekuensi 3 – 7 GHz namun mempersempit *bandwidth* pada frekuensi 8 GHz keatas.

3.5 Parameter sweep Antena Pada Substrat FR-4

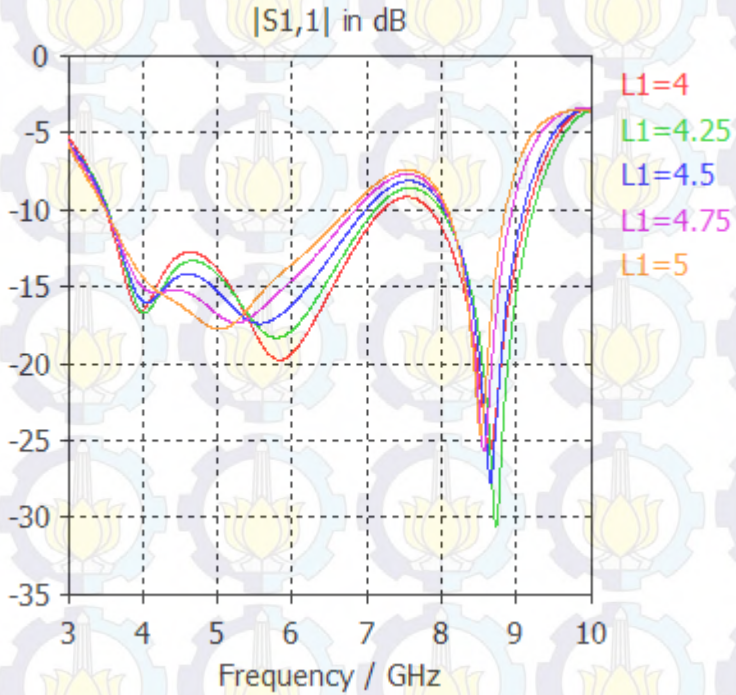
Parameter sweep adalah metode untuk menentukan bagian mana dari konduktor antena mikrostrip yang mempengaruhi resonansi pada frekuensi tertentu, hal ini dilakukan dengan merubah-ubah dimensi bagian tertentu antena mikrostrip yang dianalisis.

3.5.1 Panjang Lengan 1 Antena

Pada *parameter sweep* panjang lengan 1 antena, yang akan dilakukan adalah melakukan *sweep* sebanyak 5 kali pada panjang lengan 4 mm, 4.25 mm, 4.5 mm, 4.75 mm, dan 5 mm. Gambar 3.12 adalah hasil *S-parameter* yang diperoleh. Garis warna merah menunjukkan antena dengan panjang lengan 4 mm, garis hijau menunjukkan hasil simulasi antena dengan panjang lengan 4.25 mm, garis biru menunjukkan hasil simulasi antena dengan panjang lengan 4.5 mm, garis ungu menunjukkan hasil simulasi antena dengan panjang lengan 4.75 mm, dan garis oranye menunjukkan hasil simulasi antena dengan panjang lengan 5 mm.

Pada hasil *parameter sweep* yang diperoleh, dapat diketahui bahwa lengan 1 antena mempengaruhi *band* ketiga pada hasil *S-Parameter*, dimana selain mempengaruhi *return loss* yang diperoleh juga sedikit mempengaruhi lebar *bandwidth* *band* ketiga. Pada *band* pertama semakin panjang lengan 1 antena, semakin tinggi tingkat *return loss* nya begitu juga dengan pada *band* kedua. Sedangkan pada frekuensi 4 – 5 GHz semakin panjang lengan antenanya semakin rendah tingkat *return loss* nya.

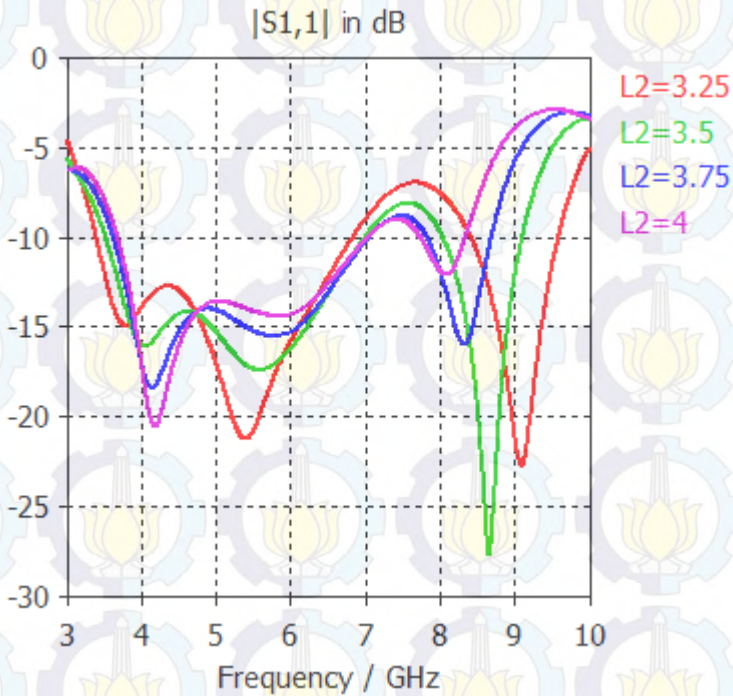
Hasil terbaik diperoleh saat panjang lengan 1 antena 4.25 mm, yaitu lebih pendek 0.25 mm dibandingkan panjang awal. Pada 4.25 mm diperoleh *return loss* yang lebih kecil 5 dB dan *bandwidth* yang lebih lebar 130 MHz.



Gambar 3.12 *Parameter sweep* Lengan 1

3.5.2 Panjang Lengan 2 Antena

Pada *parameter sweep* panjang lengan 2 antena, yang akan dilakukan adalah melakukan *sweep* sebanyak 4 kali pada panjang lengan 3.25 mm, 3.5 mm, 3.75 mm, dan 4 mm. Gambar 3.13 adalah hasil *S-parameter* yang diperoleh. Garis warna merah menunjukkan antena dengan panjang lengan 3.25 mm, garis hijau menunjukkan hasil simulasi antena dengan panjang lengan 3.5 mm, garis biru menunjukkan hasil simulasi antena dengan panjang lengan 3.75 mm, dan garis ungu menunjukkan hasil simulasi antena dengan panjang lengan 4 mm.



Gambar 3.13 *Parameter sweep* Lengan 2

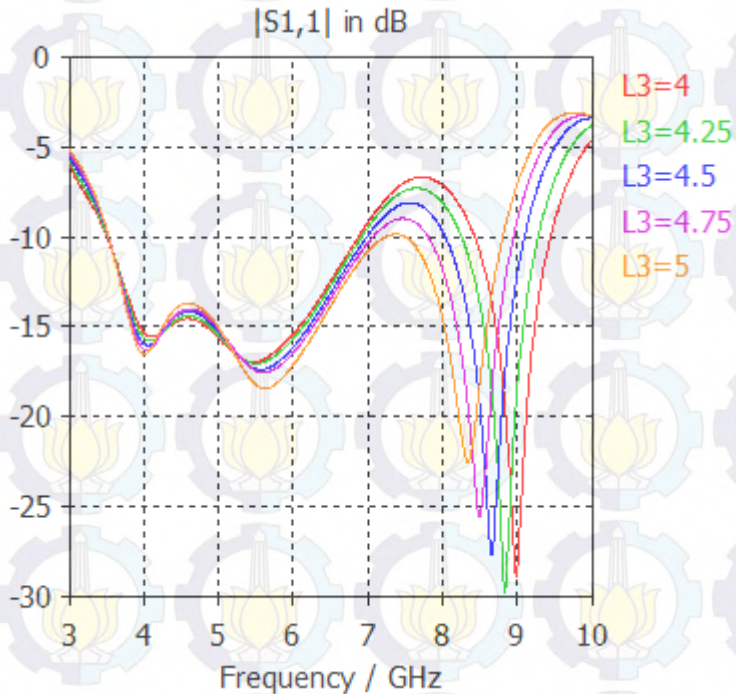
Pada hasil *parameter sweep* yang diperoleh, dapat diketahui bahwa lengan 2 antenna mempengaruhi *return loss* secara keseluruhan pada ketiga *band* utama pada *s parameter*, dimana saat diperpanjang, *return loss* bertambah pada *band* ketiga dan kedua namun berkurang pada *band* pertama. Sedangkan saat dikurangi panjangnya, perubahan *return loss* konsisten pada *band* pertama dan kedua namun bertambah pada *band* ketiga. Lengan 2 antenna juga mempengaruhi *bandwidth* pada *band* ketiga dimana semakin panjang lengan tersebut maka semakin sempit *bandwidth*nya.

Hasil terbaik diperoleh pada panjang lengan awal pada 3.5 mm. hal ini dikarenakan adanya kestabilan *return loss* pada *band* pertama dan kedua serta sangat baiknya *return loss* pada *band* ketiga. Meskipun pada

panjang lengan 3.25 mm *bandwidth band* ketiga melebar, namun hal ini tidak *sebanding* dengan kenaikan *return loss* yang diperoleh.

3.5.3 Panjang Lengan 3 Antena

Pada *parameter sweep* panjang lengan 3 antena, yang akan dilakukan adalah melakukan *sweep* sebanyak 5 kali pada panjang lengan 4 mm, 4.25 mm, 4.5 mm, 4.75 mm, dan 5 mm. Gambar 3.14 adalah hasil *S-parameter* yang diperoleh. Garis warna merah menunjukkan antena dengan panjang lengan 4 mm, garis hijau menunjukkan hasil simulasi antena dengan panjang lengan 4.25 mm, garis biru menunjukkan hasil simulasi antena dengan panjang lengan 4.5 mm, garis ungu menunjukkan hasil simulasi antena dengan panjang lengan 4.75 mm, dan garis oranye menunjukkan hasil simulasi antena dengan panjang lengan 5 mm.



Gambar 3.14 *Parameter sweep* Lengan 3

Pada hasil *s parameter* yang diperoleh, disimpulkan bahwa lengan 3 antenna mempengaruhi *return loss* dan lebar *bandwidth* pada *band* ketiga. Dimana *return loss* bertambah tinggi seiring bertambahnya panjang lengan yang mencapai titik terendah pada panjang lengan 4.25 mm. Sedangkan *bandwidth* semakin lebar seiring berkurangnya panjang lengan.

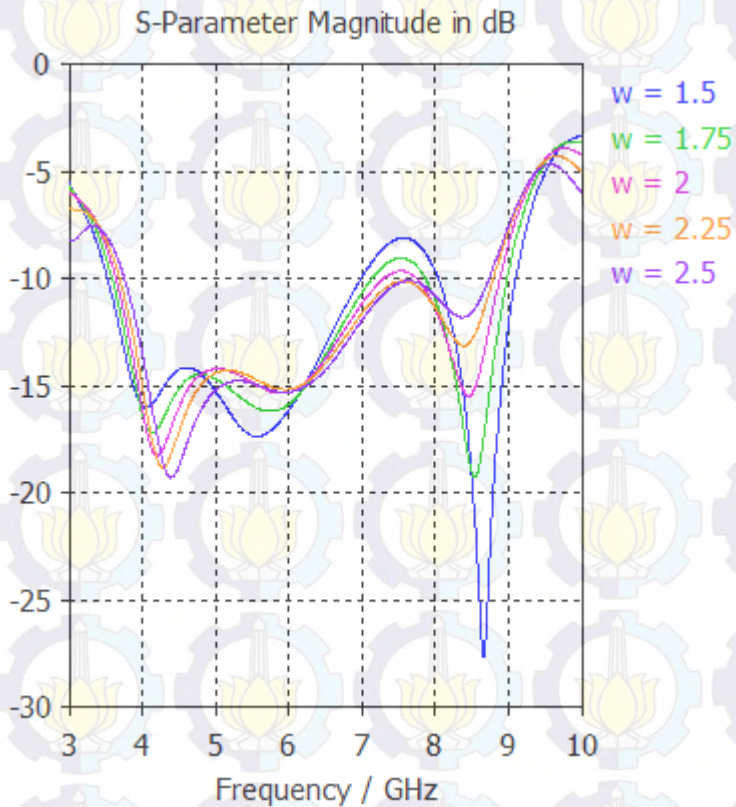
Hasil terbaik diperoleh pada panjang lengan 5 mm dimana *bandwidth* mencapai performa baik dan *return loss* yang sangat rendah pada frekuensi 7 – 8 GHz.

3.5.4 Lebar Lengan Antena

Pada *parameter sweep* lebar lengan antenna, yang akan dilakukan adalah melakukan *sweep* sebanyak 5 kali pada panjang lengan 1.5 mm, 1.75 mm, 2 mm, 2.25 mm, dan 2.5 mm. Penyempitan lebar lengan tidak dapat dilakukan dikarenakan adanya *interdigital capacitor* yang lebarnya tidak dapat diperkecil. Gambar 3.15 adalah hasil *S-parameter* yang diperoleh. Garis warna biru menunjukkan antenna dengan lebar lengan 1.5 mm, garis hijau menunjukkan hasil simulasi antenna dengan lebar lengan 1.75 mm, garis ungu muda menunjukkan hasil simulasi antenna dengan lebar lengan 2 mm, garis oranye menunjukkan hasil simulasi antenna dengan lebar lengan 2.25 mm, dan garis ungu menunjukkan hasil simulasi antenna dengan lebar lengan 2.5 mm.

Pada hasil parameter yang diperoleh, disimpulkan bahwa lebar lengan mempengaruhi *return loss* pada ketiga *band* utama, dimana semakin lebar lengan antenna tersebut, semakin rendah *return loss* pada *band* ketiga dan kedua, namun semakin tinggi pada *band* pertama.

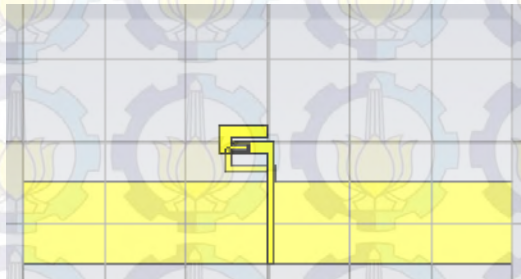
Hasil terbaik diperoleh pada panjang lengan 2 mm dimana *return loss* pada *band* ketiga mendapatkan hasil yang cukup baik serta tercapainya loss -9.5 dB pada frekuensi 7 – 8 GHz, dimana hal ini akan sangat membantu optimasi antenna dalam hal penggabungan ketiga *band* utama antenna.



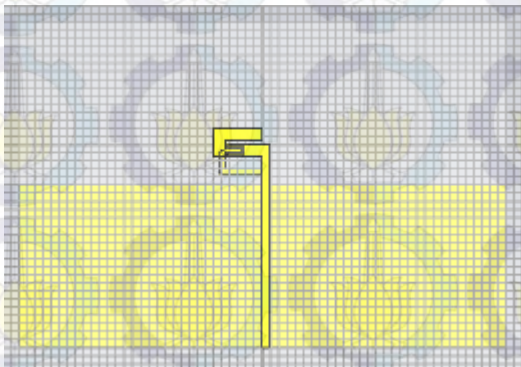
Gambar 3.15 *Parameter sweep* Lebar Lengan Antena

3.5.5 Panjang Transmission Line dan Lebar Ground

Pada *parameter sweep* ini dilakukan *parameter sweep* panjang *transmission line* yang diikuti *parameter sweep* lebar *ground* dikarenakan perubahan pada panjang *transmission line* mengharuskan pelebaran *ground* atau perpanjangan induktor 3. Perpanjangan *transmission line* dan induktor 3 akan dibahas pada sub sub bab berikutnya. Berikut ini adalah contoh perpanjangan *transmission line* dan *ground*. Gambar 3.16 menunjukkan bentuk antena sebelum diperpanjang *transmission line* dan *ground*nya dan setelah diperpanjang *transmission line* dan *ground*nya.



(a)

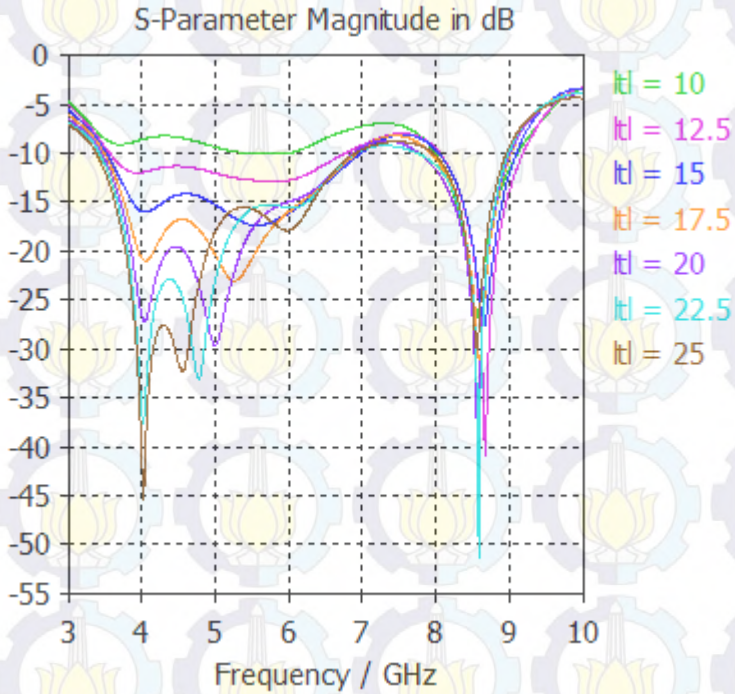


(b)

Gambar 3.16 Antena (a) sebelum dan (b) setelah diperpanjang *transmission line* dan *groundnya*

Parameter sweep dilakukan sebanyak 7 kali pada panjang *transmission line* 10 mm, 12.25 mm, 15 mm, 17.5 mm, 20 mm, 22.5 mm, 25 mm. Gambar 3.17 adalah hasil *s parameter* yang diperoleh. Garis warna hijau menunjukkan menunjukkan hasil simulasi antena dengan panjang saluran transmisi 10 mm, garis ungu muda menunjukkan hasil simulasi antena dengan panjang saluran transmisi 12.5 mm, garis biru menunjukkan hasil simulasi antena dengan panjang saluran transmisi 15 mm, garis oranye menunjukkan hasil simulasi

antena dengan panjang saluran transmisi 17.5 mm, garis ungu menunjukkan hasil simulasi antena dengan panjang saluran transmisi 20 mm, garis biru muda menunjukkan hasil simulasi antena dengan panjang saluran transmisi 22.5 mm, dan garis coklat menunjukkan hasil simulasi antena dengan panjang saluran transmisi 25 mm.



Gambar 3.17 Parameter sweep transmission line dan ground

Dari hasil yang diperoleh, disimpulkan bahwa secara umum saluran transmisi dan *ground* mempengaruhi *return loss* ketiga *band* utama, dimana pada *band* pertama dan kedua, semakin panjang saluran transmisi semakin rendah tingkat *return loss* yang berarti impedansi saluran pada *transmission line* semakin mendekati kondisi *match* dengan impedansi sumber. Kondisi paling *match* terdapat pada saat *transmission line* sepanjang 22.5 mm, dimana tingkat *return loss* *band* pertama dan

ketiga mencapai titik terendah. Sedangkan pada *band* ketiga, *return loss* berubah-ubah tanpa pola yang beraturan.

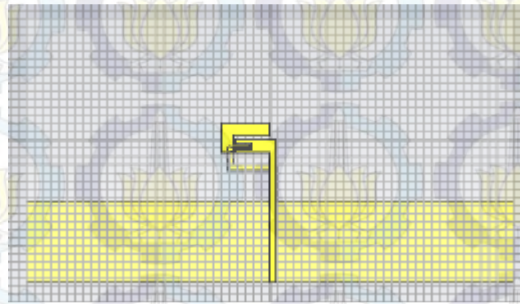
Hasil terbaik diperoleh pada saat *transmission line* sepanjang 22.5 mm dimana tidak hanya *band* pertama dan *band* keduanya mendapatkan tingkat *return loss* yang rendah, tapi pada frekuensi 7 – 8 GHz juga mengalami penurunan *return loss*, dimana hal ini merupakan salah satu respons yang dicari untuk dapat menyatukan ketiga *band* menjadi satu *band* yang sangat lebar.

3.5.6 Panjang Transmission Line dan *Shunt Inductor*

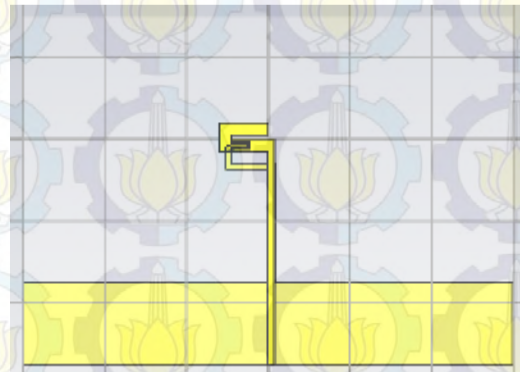
Parameter sweep dilakukan pada panjang *transmission line* dan induktor 3, yaitu lekukan yang berhubungan langsung dengan *ground*. Pada *parameter sweep* hanya dilakukan perpanjangan dan tidak ada perpendekan dikarenakan terbatasnya panjang induktor 3 itu sendiri. Perpanjangan dilakukan seperti pada gambar 3.18.

Parameter sweep sendiri dilakukan 5 kali pada saat panjang *transmission line* 15 mm, 16 mm, 17 mm, 18 mm, dan 19 mm. Gambar 3.19 adalah hasil *s parameter* yang diperoleh. Garis dengan warna hijau menunjukkan hasil simulasi antena dengan panjang saluran transmisi 15 mm, garis ungu menunjukkan hasil simulasi antena dengan panjang saluran transmisi 17.5 mm, garis biru menunjukkan hasil simulasi antena dengan panjang saluran transmisi 20 mm, garis ungu muda menunjukkan hasil simulasi antena dengan panjang saluran transmisi 22.5 mm, dan garis oranye menunjukkan hasil simulasi antena dengan panjang saluran transmisi 25 mm.

Dari hasil yang diperoleh dapat diketahui bahwa panjang *transmission line* dan induktor 3 mempengaruhi *return loss* keseluruhan kinerja antena, namun pada *band* ketiga tidak terdapat pola tertentu dimana pada panjang *transmission line* 20 mm, *return loss* kembali menurun namun dengan frekuensi yang bergeser. Sedangkan pada *band* pertama dan kedua terjadi penggabungan *band* pada panjang *transmission line* diatas 17.5 mm.



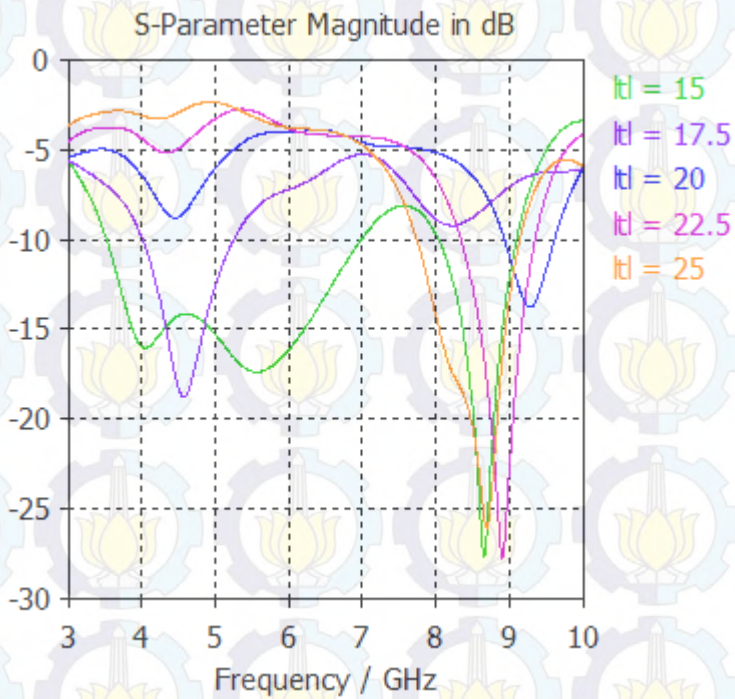
(a)



(b)

Gambar 3.18 Perubahan antenna (a) sebelum dan (b) setelah diperpanjang *transmission line* dan *shunt inductornya*.

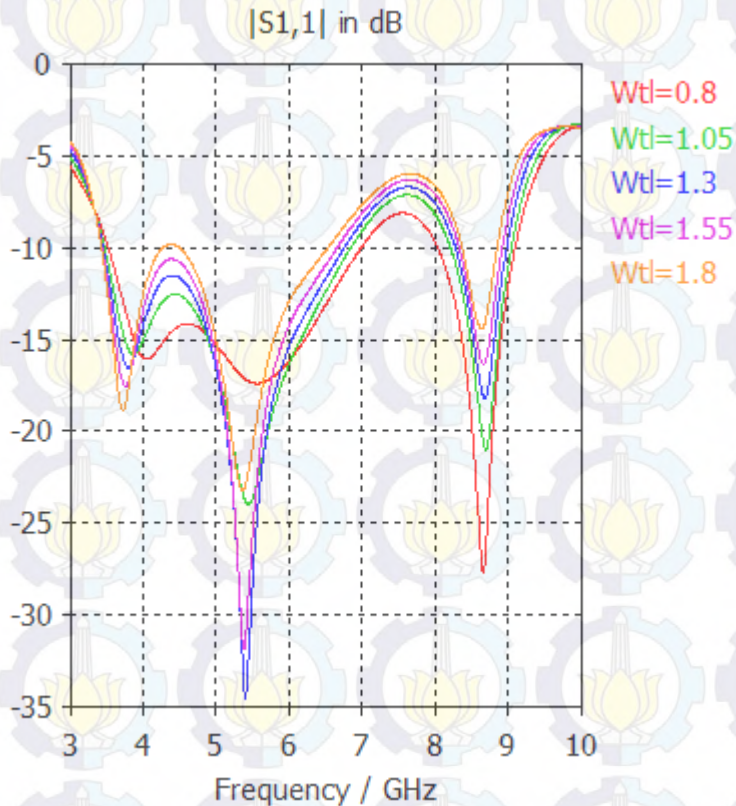
Hasil terbaik diperoleh pada panjang *transmission line* awal yaitu 15 mm dimana *return loss* keseluruhan *band* pada posisi yang rendah, sedangkan pada panjang *transmission line* lain *band* pertama dan kedua seakan menjadi satu *band* besar yang terus bertambah *return loss*nya seiring bertambahnya panjang *transmission line*.



Gambar 3.19 *Parameter sweep* panjang *transmission line* dan *shunt inductor*.

3.5.7 Lebar Transmission Line

Pada *parameter sweep* lebar *transmission line*, dilakukan *sweep* sebanyak 5 kali pada 0.8 mm, 1.05 mm, 1.3 mm, 1.55 mm, dan 1.8 mm. Gambar 3.20 adalah hasil *s parameter* yang diperoleh. Garis dengan warna merah menunjukkan hasil simulasi antenna dengan lebar saluran transmisi 0.8 mm, garis hijau menunjukkan hasil simulasi antenna dengan lebar saluran transmisi 1.05 mm, garis biru menunjukkan hasil simulasi antenna dengan lebar saluran transmisi 1.3 mm, garis ungu menunjukkan hasil simulasi antenna dengan lebar saluran transmisi 1.55 mm, dan garis oranye menunjukkan hasil simulasi antenna dengan lebar saluran transmisi 1.8 mm.



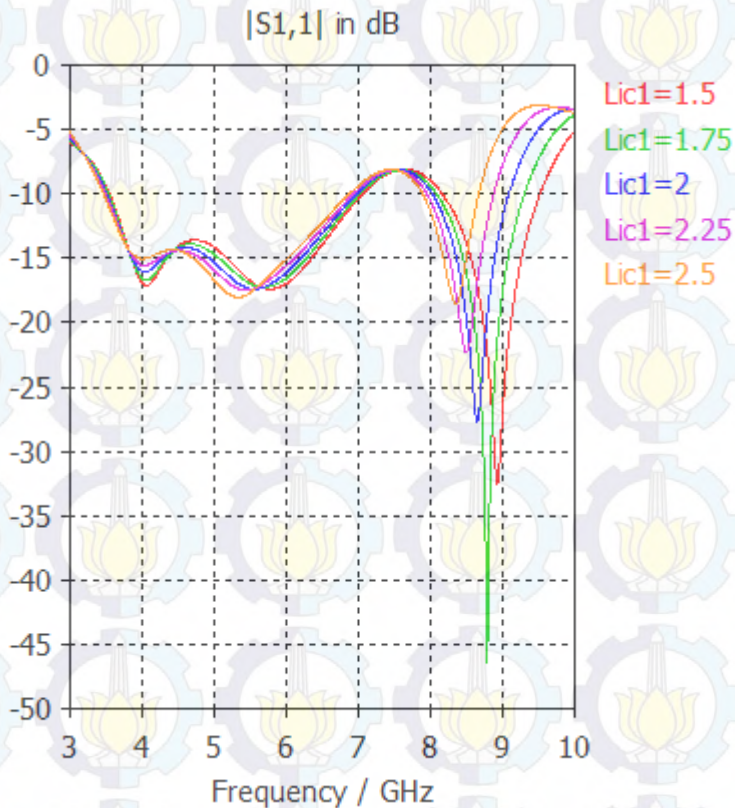
Gambar 3.20 *Parameter sweep lebar transmission line*

Dari hasil yang diperoleh, dapat diketahui bahwa secara umum lebar *transmission line* mempengaruhi *band* kedua dan ketiga, dimana semakin lebar *transmission line*, semakin rendah *return loss* pada *band* kedua dan semakin tinggi *return loss* pada *band* ketiga. Lebar *transmission line* juga mempengaruhi *return loss* pada frekuensi 4 – 5 GHz dan 7 – 8 GHz, dimana semakin lebar *transmission line* maka semakin tinggi *return loss* pada frekuensi tersebut.

Hasil terbaik diperoleh pada lebar *transmission line* 0.8 mm, hal ini disimpulkan dengan pertimbangan rendahnya *return loss* pada frekuensi

4 – 5 GHz dan 7 – 8 GHz, dimana hal ini akan sangat membantu dalam mencapai tujuan utama optimasi antenna yaitu penggabungan ketiga *band* menjadi satu *band* yang lebar.

3.5.8 Panjang *Interdigital capacitor*



Gambar 3.21 *Parameter sweep* panjang *interdigital capacitor*

Pada *parameter sweep* panjang *interdigital capacitor* dilakukan 5 kali *parameter sweep* pada panjang 1.5 mm, 1.75 mm, 2 mm, 2.25 mm, dan 2.5 mm. Gambar 3.21 adalah hasil *parameter sweep* yang diperoleh. Garis dengan warna merah menunjukkan hasil simulasi antenna dengan panjang kapasitor 1.5 mm, garis hijau menunjukkan hasil simulasi

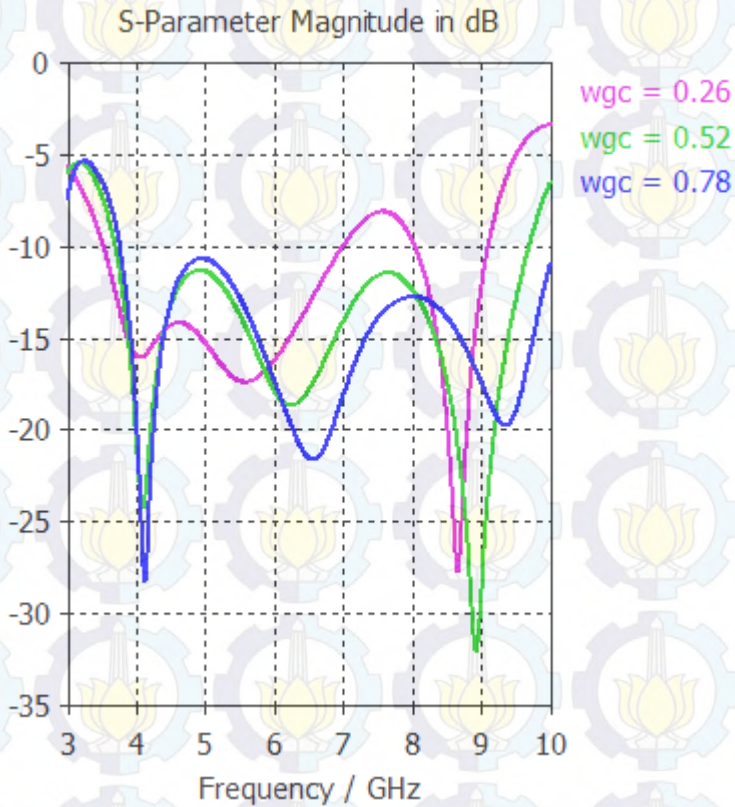
antena dengan panjang kapasitor 1.75 mm, garis biru menunjukkan hasil simulasi antena dengan panjang kapasitor 2 mm, garis ungu menunjukkan hasil simulasi antena dengan panjang kapasitor 2.25 mm, dan garis oranye menunjukkan hasil simulasi antena dengan panjang kapasitor 2.5 mm.

Dari hasil yang diperoleh, dapat diketahui bahwa panjang *interdigital capacitor* mempengaruhi *return loss* pada *band* pertama, dimana semakin panjang *interdigital capacitor*, semakin tinggi tingkat *return loss* yang diperoleh. Pada *band* kedua, panjang *interdigital capacitor* mempengaruhi pergeseran frekuensi dimana semakin panjang *interdigital capacitor*, semakin rendah frekuensi *band* tersebut. Pada *band* ketiga, disimpulkan bahwa *interdigital capacitor* mempengaruhi lebar *bandwidth* serta *return loss*, dimana semakin pendek *interdigital capacitor*, semakin lebar *bandwidth*-nya. Sedangkan *return loss* mencapai titik terendah pada saat panjang *interdigital capacitor* 1.75 mm.

Hasil terbaik diperoleh pada panjang 1.75 mm, dimana *return loss band* ketiga berada pada posisi terbaik dan *bandwidth* yang bertambah lebar juga merupakan keuntungan lebih.

3.5.9 Jarak antara Konduktor *Interdigital capacitor*

Pada *parameter sweep* jarak antara konduktor *interdigital capacitor* ini, dilakukan 3 kali *parameter sweep* pada 0.26 mm, 0.52 mm dan, 0.78 mm. Namun, penambahan jarak antara *interdigital capacitor* harus diikuti dengan pelebaran lengan antena itu sendiri. Maka pada *parameter sweep* ini diberikan jarak 0.26 mm pada lebar lengan antena 1.5 mm, 0.52 mm pada lebar lengan antena 2 mm, dan 0.78 mm pada lebar lengan antena 2.5 mm. Gambar 3.22 adalah hasil *s parameter* dari *parameter sweep* yang diperoleh. Garis dengan warna ungu menunjukkan hasil simulasi antena dengan jarak antara konduktor kapasitor 0.26 mm, garis hijau menunjukkan hasil simulasi antena dengan jarak antara konduktor kapasitor 0.52 mm, dan garis biru menunjukkan hasil simulasi antena dengan jarak antara konduktor kapasitor 0.78 mm.



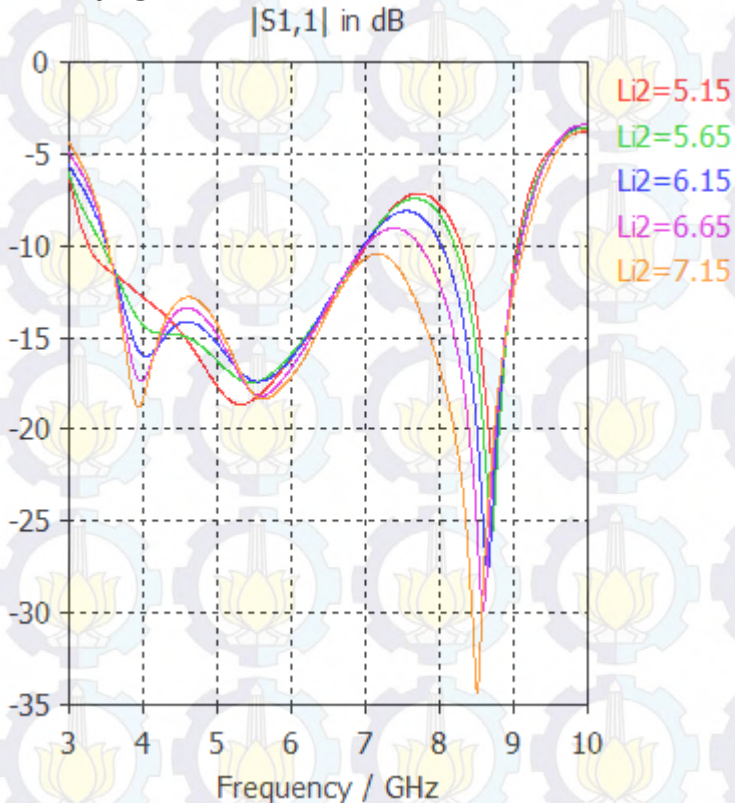
Gambar 3.22 *Parameter sweep* jarak antara konduktor *interdigital capacitor*

Dari hasil yang diperoleh, dapat diketahui bahwa pada *band* pertama, jarak antar konduktor kapasitor mempengaruhi *return loss* dimana semakin jauh jarak antar konduktor kapasitor, semakin rendah tingkat *return loss*. Namun *return loss* mengalami peningkatan pada frekuensi 5 GHz. Pada *band* kedua semakin jauh jarak antar konduktor kapasitor, semakin lebar *bandwidth* serta semakin rendah *return loss* baik pada *band* tersebut maupun pada frekuensi 7 – 8 GHz. Pada *band* ketiga. Jarak antar konduktor kapasitor mempengaruhi *return loss* dan lebar *bandwidth*. Semakin jauh jarak antara konduktor kapasitor,

semakin tinggi tingkat *return loss* dan semakin lebar *bandwidth band* tersebut.

Hasil terbaik diperoleh pada jarak 0.52 mm dimana pada frekuensi 5 GHz, *return loss* mengalami peningkatan namun tidak mencapai batas -10 dB yaitu batas pembacaan *return loss bandwidth* dan pada frekuensi 7 – 8 GHz, *return loss* mengalami penurunan signifikan dimana ketiga *band* menjadi satu *band* yang lebar dari 3.8 – 9.6 GHz.

3.5.10 Panjang Induktor



Gambar 3.23 *Parameter sweep* panjang induktor

Pada *parameter sweep* panjang induktor, dimensi yang dirubah adalah induktor 2. *Parameter sweep* dilakukan 5 kali *parameter sweep*

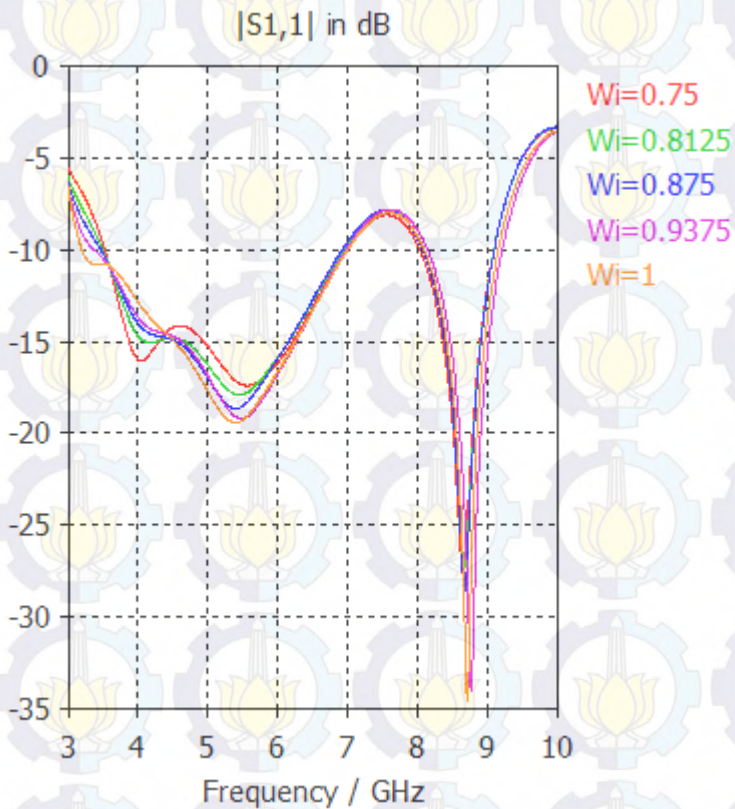
pada 5.15 mm, 5.65 mm, 6.15 mm, 6.65 mm, dan 7.15 mm. Gambar 3.23 adalah hasil *parameter sweep* yang diperoleh. Garis dengan warna merah menunjukkan hasil simulasi antena dengan panjang induktor 5.15 mm, garis hijau menunjukkan hasil simulasi antena dengan panjang induktor 5.65 mm, garis biru menunjukkan hasil simulasi antena dengan panjang induktor 6.15 mm, garis ungu menunjukkan hasil simulasi antena dengan panjang induktor 6.65 mm, dan garis oranye menunjukkan hasil simulasi antena dengan panjang induktor 7.15 mm.

Dari hasil yang diperoleh dapat diketahui pada *band* pertama, panjang induktor mempengaruhi *return loss* dimana semakin panjang induktor semakin rendah tingkat *return loss*nya. Pada *band* ketiga, semakin panjang induktor, semakin rendah tingkat *return loss*nya serta semakin lebar *bandwidth*nya. Pada frekuensi 4 – 5 GHz, semakin panjang induktor, semakin tinggi tingkat *return loss*nya. Hal yang sebaliknya terjadi pada frekuensi 7 – 8 GHz dimana semakin panjang induktor semakin rendah tingkat *return loss*nya.

Hasil terbaik diperoleh pada saat panjang induktor 7.15 mm dimana tidak hanya *return loss band* pertama dan ketiga memberikan performa terbaik, tapi pada frekuensi 7 – 8 GHz juga memberikan *return loss* yang sangat rendah yang mencapai -11 dB sehingga ketiga *band* menjadi satu *band* yang lebar.

3.5.11 Lebar Induktor

Pada *parameter sweep* lebar induktor dilakukan 5 kali pada lebar 0.75 mm, 0.8125 mm, 0.875 mm, 0.9375 mm, dan 1 mm. Penyempitan tidak dapat dilakukan karena diperlukan ruang untuk mengakomodasi *via* dengan diameter 0.7 mm. Gambar 3.24 adalah hasil *s parameter* dari *parameter sweep* yang dilakukan. Garis dengan warna merah menunjukkan hasil simulasi antena dengan lebar induktor 0.75 mm, garis hijau menunjukkan hasil simulasi antena dengan lebar induktor 0.8175 mm, garis biru menunjukkan hasil simulasi antena dengan lebar induktor 0.875 mm, garis ungu menunjukkan hasil simulasi antena dengan lebar induktor 0.9375 mm, dan garis oranye menunjukkan hasil simulasi antena dengan lebar induktor 1 mm.

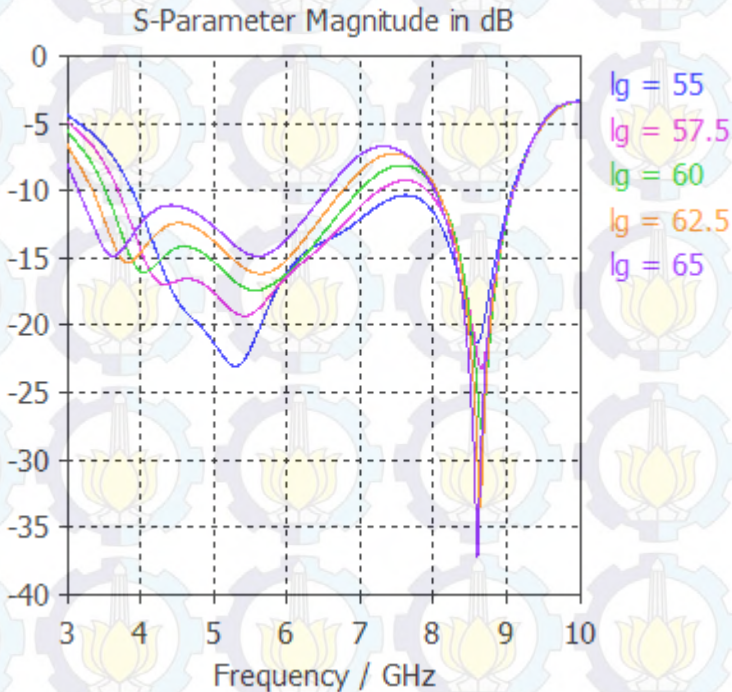


Gambar 3.24 *Parameter sweep* lebar induktor

Dari hasil yang diperoleh dapat diketahui bahwa lebar induktor mempengaruhi *return loss* pada *band* pertama dan kedua. Pada *band* pertama, seiring bertambah lebar induktor semakin tinggi tingkat *return loss*-nya. pada *band* kedua, seiring bertambah lebar induktor tingkat *return loss* semakin rendah.

Hasil terbaik diperoleh pada dimensi awal yaitu 0.75 mm, dimana pada kelebaran ini *return loss* pada *band* pertama dan ketiga mencapai titik terbaiknya.

3.5.12 Panjang Ground



Gambar 3.25 *Parameter sweep* panjang ground

Parameter sweep panjang ground dilakukan 5 kali *parameter sweep* pada panjang ground 55 mm, 57.5 mm, 60 mm, 62.5 mm, dan 65 mm. Gambar 3.25 adalah hasil *s parameter* dari *parameter sweep* yang dilakukan. Garis dengan warna biru menunjukkan hasil simulasi antena dengan panjang ground 55 mm, garis ungu muda menunjukkan hasil simulasi antena dengan panjang ground 57.5 mm, garis hijau menunjukkan hasil simulasi antena dengan panjang ground 60 mm, garis oranye menunjukkan hasil simulasi antena dengan panjang ground 62.5 mm, dan garis ungu menunjukkan hasil simulasi antena dengan panjang ground 65 mm.

Dari hasil yang diperoleh dapat diketahui pada *band* pertama dan kedua, panjang ground mempengaruhi lebar *bandwidth* serta tingkat

*return loss*nya, dimana semakin pendek *ground*nya, semakin rendah tingkat *return loss*nya namun semakin sempit *bandwidth*nya. Begitu juga pada frekuensi 7 – 8 GHz dimana semakin pendek *ground*nya, semakin rendah *return loss*nya.

Hasil terbaik diperoleh pada panjang *ground* 60 mm, dimana terjadi keseimbangan antara *bandwidth* dan tingkat *return loss*nya.

3.6 Optimasi Antena Pada Substrat FR-4

Optimasi antena dilakukan dengan cara mengimplementasikan perubahan dimensi yang meningkatkan kinerja antena pada dimensi-dimensi yang telah dirubah rubah pada *parameter sweep*. Optimasi dilakukan dengan tujuan menyatukan seluruh *band* untuk menjadi sebuah *band* yang lebar, memperlebar *bandwidth* yang ada, serta mendapatkan tingkat *return loss* yang serendah mungkin.

3.6.1 Implementasi Hasil *Parameter Sweep* FR-4 pada Antena

Implementasi dilakukan dengan terlebih dahulu menentukan dimensi mana saja yang memberikan peningkatan kinerja antena. Tabel 3.2 adalah tabel dimensi beserta pengaruhnya pada kinerja antena.

Tabel 3.2 Ringkasan hasil *parameter sweep*

Dimensi Antena	Pengaruh
L1	<i>Return loss</i> seluruh <i>band</i> dan <i>bandwidth</i> <i>band</i> ketiga
L2	<i>Return loss</i> seluruh <i>band</i>
L3	<i>Return loss</i> dan <i>bandwidth</i> <i>band</i> ketiga dan frekuensi 7 – 8 GHz
W	<i>Return loss</i> <i>band</i> kedua, ketiga, dan frekuensi 7 – 8 GHz
Ltl + <i>Ground</i>	<i>Return loss</i> seluruh <i>band</i>
Ltl + Induktor 3	<i>Return loss</i> seluruh <i>band</i>
Wtl	<i>Return loss</i> <i>band</i> kedua, ketiga, frekuensi 4 – 5 GHz, dan frekuensi 7 – 8 GHz
Lc	<i>Return loss</i> <i>band</i> pertama, pergeseran frekuensi <i>band</i> kedua, <i>bandwidth</i> dan <i>return loss</i> <i>band</i> ketiga
Wgc	<i>Return loss</i> seluruh <i>band</i> , frekuensi 4 – 5 GHz, 7 – 8 GHz dan <i>bandwidth</i> <i>band</i> kedua dan ketiga
Li	<i>Return loss</i> <i>band</i> pertama, ketiga dan frekuensi 7 – 8 GHz, <i>bandwidth</i> <i>band</i> ketiga

Wi	<i>Return loss band</i> pertama dan kedua
Lg	<i>Return loss band</i> pertama, kedua dan frekuensi 4 – 5 GHz, 7 – 8 GHz serta <i>bandwidth band</i> pertama

Setelah dilakukan *parameter sweep*, dapat diketahui beberapa dimensi yang berpengaruh untuk meningkatkan kinerja antenna adalah sebagai berikut :

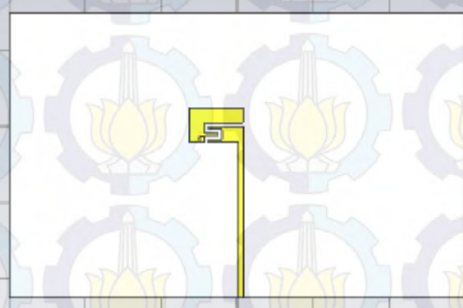
1. Panjang lengan 1 antenna dari 4.5 mm menjadi 4.25 mm
2. Panjang lengan 3 antenna dari 4.5 mm menjadi 5 mm
3. Panjang saluran transmisi dari 15 mm menjadi 22.5 mm serta lebar *ground* dari 10 mm menjadi 17.5 mm
4. Panjang *interdigital capacitor* dari 2 mm menjadi 1.75 mm
5. Jarak antara konduktor kapasitor dari 0.26 mm menjadi 0.52 mm, lebar lengan antenna dari 1.5 mm menjadi 2 mm, dan panjang lengan 2 dari 3.5 mm menjadi 4.5 mm
6. Panjang induktor 2 dari 6.15 mm menjadi 7.15 mm

Berdasarkan perubahan tersebut, perubahan dimensi antenna yang baru ditunjukkan pada tabel 3.3.

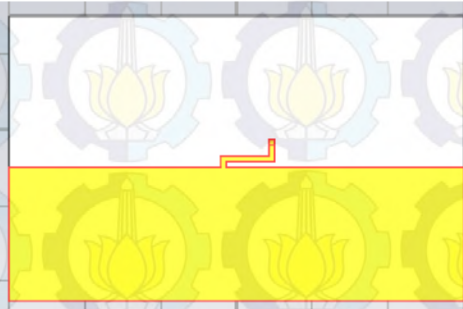
Tabel 3.3 Perubahan dimensi antenna

Kode	Deskripsi	Dimensi Lama	Dimensi Baru
L1	Panjang Lengan 1	4.5 mm	4.25 mm
L2	Panjang Lengan 2	3.5 mm	4.5 mm
L3	Panjang Lengan 3	4.5 mm	5 mm
Lc	Panjang <i>Interdigital capacitor</i>	2 mm	1.75 mm
Ltl	Panjang Saluran Transmisi	15 mm	22.5 mm
W	Lebar Lengan Antena	1.5 mm	2 mm
Wgc	Jarak Antar Konduktor Kapasitor	0.26 mm	0.52 mm
Wtl	Lebar Saluran Transmisi	0.8 mm	0.8 mm
Via	Diameter <i>Via</i>	0.7 mm	0.7 mm
Li1	Panjang Shunt Induktor 1	1.5 mm	1.5 mm
Li2	Panjang Shunt Induktor 2	6.15 mm	7.15 mm
Li3	Panjang Shunt Induktor 3	1.25 mm	1.25 mm
Lg	Panjang <i>Ground</i>	60 mm	60 mm
Wi	Lebar Induktor	0.75 mm	0.75 mm

Wg	Lebar <i>Ground</i>	10 mm	17.5 mm
----	---------------------	-------	---------



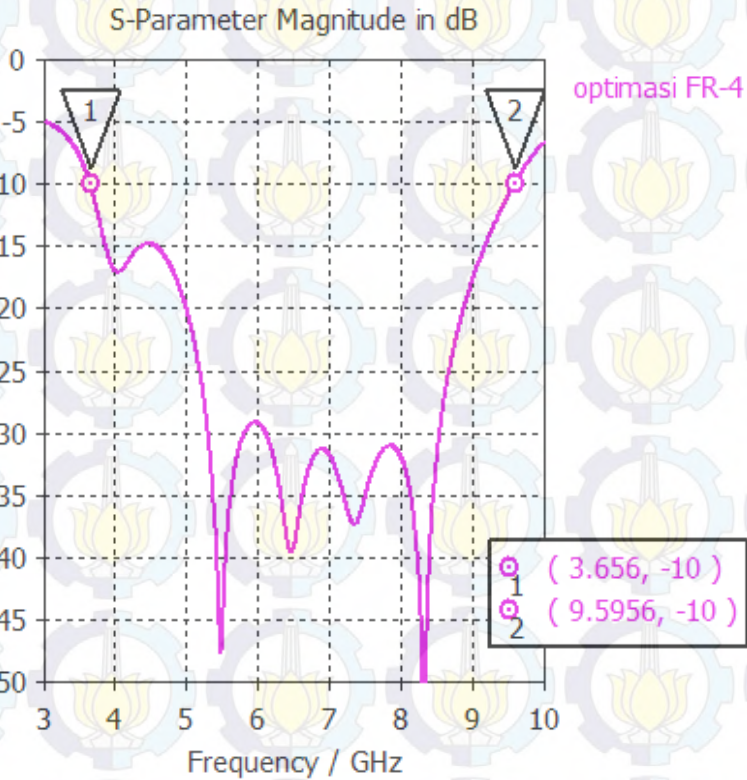
(a)



(b)

Gambar 3.26 Bagian (a) depan dan (b) belakang hasil simulasi antenna dengan dimensi baru hasil optimasi

Dengan dimensi baru tersebut diperoleh gambar 3.26 sebagai bentuk hasil simulasi antenna pada CST Studio Suite 2011. Sedangkan gambar 3.27 adalah hasil *s parameter* baru antenna hasil optimasi.



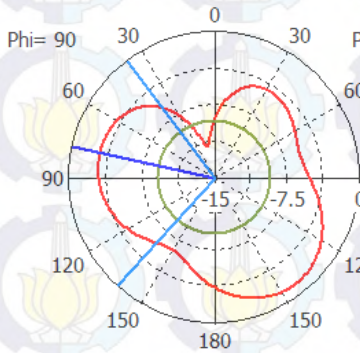
Gambar 3.27 *S parameter* hasil simulasi antenna hasil optimasi

Dari hasil *s parameter*, antenna baru memiliki *bandwidth* yang sangat lebar dari frekuensi 3.65 – 9.59 GHz dengan *bandwidth* 5.94 GHz dengan tingkat *return loss* yang sangat rendah pada frekuensi tengah antenna baru yaitu 6.62 GHz.

Pada gambar 3.28 diberikan pola radiasi dan *gain* frekuensi tengah antenna yang sudah dioptimasi.

Farfield Directivity Abs (Phi=90)

farfield (f=6.62) [1]



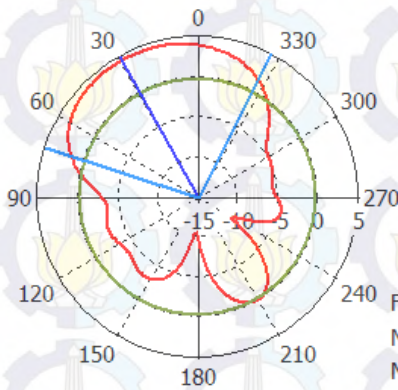
Frequency = 6.62
Main lobe magnitude = -1.2 dBi
Main lobe direction = 78.0 deg.
Angular width (3 dB) = 100.9 deg.
Side lobe level = -6.1 dB

Theta / Degree vs. dBi

(a)

Farfield Directivity Abs (Theta=90)

farfield (f=6.62) [1]



Frequency = 6.62
Main lobe magnitude = 4.5 dBi
Main lobe direction = 29.0 deg.
Angular width (3 dB) = 99.2 deg.
Side lobe level = -4.7 dB

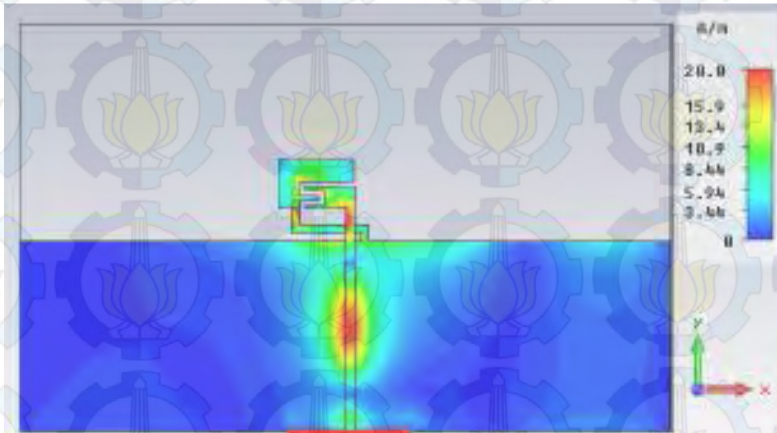
Phi / Degree vs. dBi

(b)

Gambar 3.28 Pola radiasi dan gain pada sisi (a) θ dan (b) ϕ antena yang sudah dioptimasi pada substrat FR-4.

Dari pola radiasi dan *gain* yang didapatkan dapat diketahui bahwa *main lobe* terdapat pada sudut θ 78° dan ϕ 29° . *Gain* maksimum terdapat pada sudut ϕ 29° sebesar 4.5 dBi.

Pada gambar 3.29 diberikan gambar distribusi arus pada desain antenna yang sudah dioptimasi. Simulasi distribusi arus dilakukan pada frekuensi tengah 6.62 GHz.

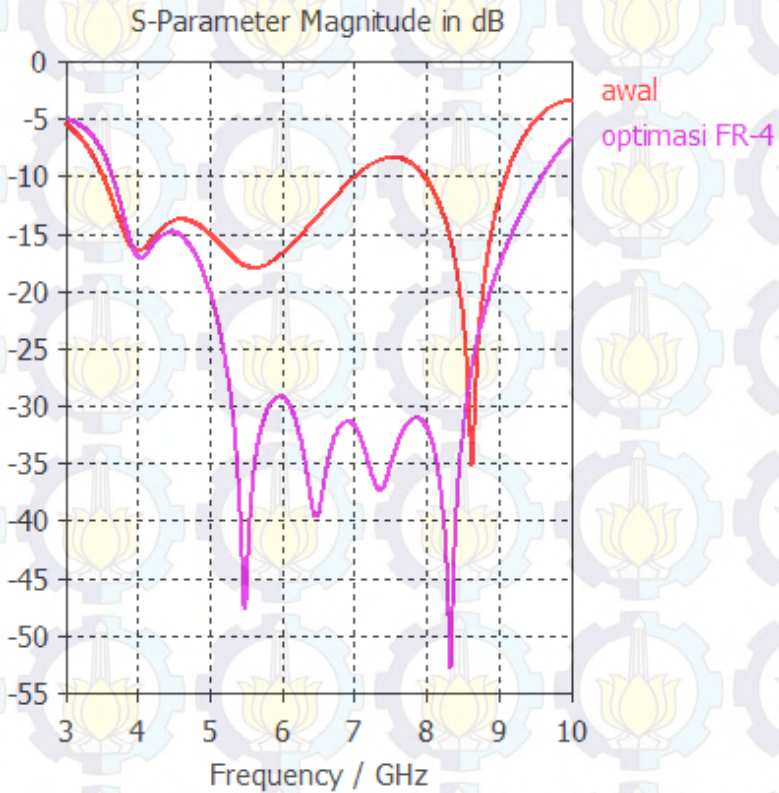


Gambar 3.29 Distribusi arus antenna

Dari hasil distribusi arus yang diperoleh, dapat diketahui bahwa intensitas arus terkuat terdapat pada bagian induktor yang bersampingan dengan *via*. Hal ini menunjukkan bahwa salah satu bagian terpenting antenna adalah pada *vianya*. Selain dari itu, distribusi arus terbagi cukup rata di daerah antenna. Namun pada *ground* sebelah kiri tidak terdapat arus yang besar. Sehingga untuk melakukan miniaturisasi antenna mungkin dapat dilakukan dengan memotong bagian antenna ini.

3.6.2 Perbandingan Hasil Simulasi S_{11} (*Return loss*) Antenna yang Sudah Dioptimasi dengan Desain Awal

Pada sub sub bab ini akan dilakukan perbandingan kinerja *s parameter* antenna sebelum dan setelah dioptimasi. Gambar 3.30 adalah perbandingan *s parameter* keduanya.



Gambar 3.30 *S parameter* hasil simulasi antenna desain awal dan antenna hasil optimasi

Dari hasil *s parameter* yang diperoleh, dapat diketahui bahwa terjadi peningkatan yang signifikan baik dari sisi *return loss* maupun *bandwidth*nya.

Pada desain antenna awal, terdapat 2 *band* dengan 3 ripple utama dengan lebar *band* masing-masing sebesar 3.48 GHz dan 1.03 GHz, pada *band* pertama, tingkat *return loss* terendah mencapai -17.5 dB dan *band* kedua mencapai -35 dB.

Sedangkan pada desain hasil optimasi, 2 *band* bergabung menjadi satu *band* dengan *bandwidth* yang sangat lebar pada frekuensi 3.65 –

9.59 GHz sebesar 5.94 GHz. Sedangkan tingkat *return loss* pada frekuensi tengah 6.62 GHz mencapai -35 dB.

BAB IV FABRIKASI ANTENA DAN ANALISIS HASIL PENGUKURAN

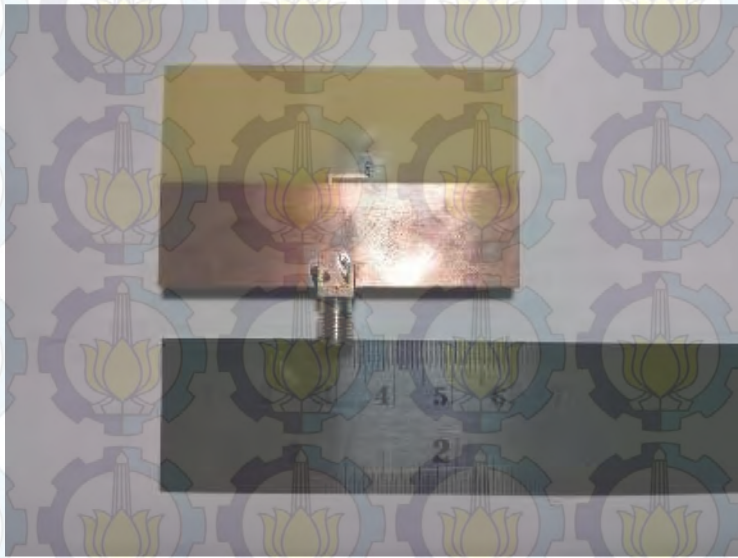
4.1 Fabrikasi Antena

Fabrikasi antena dilakukan dengan melakukan pencetakan antena pada substrat FR-4 dengan ketebalan 1.6 mm menggunakan jasa pencetakan PCB yang menggunakan mesin CNC.

Langkah fabrikasi yang berikutnya dilakukan adalah pembuatan *via* pada antena dengan cara menghubungkan bagian depan dan belakang antena dengan timah solder. Selanjutnya dilakukan pemasangan konektor SMA pada antena yang telah dicetak dengan cara menyolder konektor yang ada pada antena. Pada gambar 4.1 diberikan hasil akhir fabrikasi antena pada substrat FR-4.



(a)



(b)

Gambar 4.1 Hasil akhir fabrikasi antena (a) sisi depan dan (b) sisi belakang

4.2 Pengukuran Antena

Pengukuran dilakukan menggunakan perangkat *Vector Network Analyzer* (VNA) Agilent seri N9923A di laboratorium B.306 yang mengukur kinerja *s parameter* antena untuk mengetahui tingkat *return loss* dan *bandwidth*. Namun, pengukuran yang dilakukan hanya mencapai tingkat frekuensi 6 GHz dikarenakan keterbatasan spesifikasi alat.

Pengukuran lebih lanjut dilakukan menggunakan perangkat VNA Advantest seri R3770 di laboratorium EMC Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) Bandung yang mengukur kinerja *s parameter* antena untuk mengetahui tingkat *return loss* dan *bandwidth*. Parameter lainnya yang diukur adalah pola radiasi.

4.2.1 Prosedur Pengukuran Antena Menggunakan VNA Agilent N9923A

Untuk melakukan pengukuran ada beberapa langkah persiapan yang harus dilakukan :

1. Langkah pertama yang harus dilakukan adalah kalibrasi VNA agar didapatkan akurasi maksimal dalam pengukuran. Kalibrasi dilakukan pada untuk penggunaan pada frekuensi 3 – 10 GHz dan menggunakan konektor SMA *type-n* dengan impedansi 50 Ω .
2. Setelah kalibrasi dilakukan antena dihubungkan ke perangkat VNA menggunakan *probe* SMA *type-n* yang ada dan dihubungkan ke konektor yang sudah disolder ke antena.
3. Untuk menampilkan *range* frekuensi yang diinginkan dapat dilakukan dengan menekan tombol “*stimulus*” lalu tekan tombol “*start*” untuk menentukan frekuensi awal pengamatan dan “*stop*” untuk menentukan frekuensi akhir pengamatan.
4. Untuk membaca *return loss* pada frekuensi tertentu dapat dilakukan dengan menggunakan tombol “*marker*” yang kemudian dapat dipindahkan penanda tersebut ke tempat yang diinginkan. Penggunaan *marker* dengan jumlah lebih satu juga dapat dilakukan untuk menentukan *bandwidth* dengan cara meletakkan *marker* pada frekuensi dengan tingkat *return loss* -10 dB.
5. Langkah terakhir yang dilakukan dalam pengukuran adalah penyimpanan gambar dan data hasil pengukuran.

4.2.2 Prosedur Pengukuran Antena Menggunakan VNA Advantest R3770

Sebelum pengukuran dilakukan, Network Analyzer dikalibrasi terlebih dahulu. Kalibrasi ini bertujuan untuk memastikan port saluran transmisi yang digunakan untuk mengukur memiliki nilai impedansi yang sepadan dengan standar yang telah ditentukan. Adapun langkah – langkah kalibrasinya sebagai berikut:

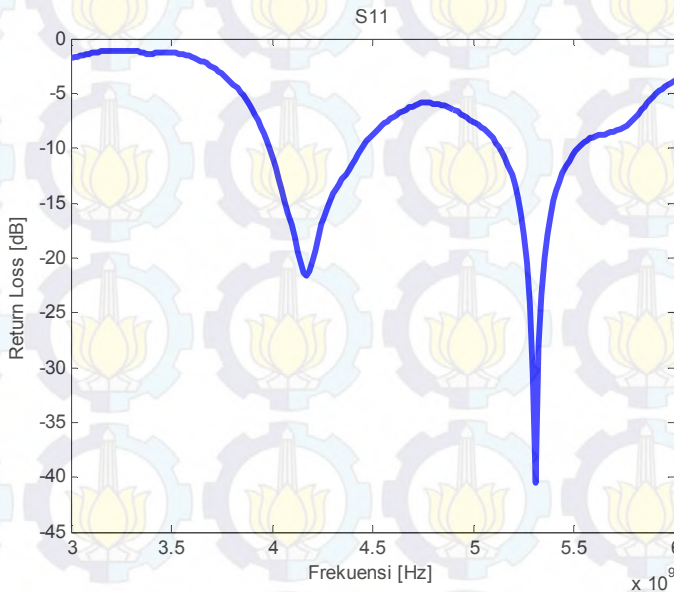
1. *Set start* dan *stop* frekuensi yang akan digunakan (dalam perancangan ini digunakan frekuensi bawah 3,1 GHz dan frekuensi atas 10,6 GHz)
2. Lalu aktifkan *marker* dengan menekan tombol *MARKER*
3. Kalibrasi masing-masing *port* dengan menekan tombol *Cal*
 - a. Pilih tombol *standard cal*

- b. Pilih tombol *Full 2 Port cal*
 - c. Kalibrasi *Port 1 = Open Port 1; Short Port 1; Load Port 1*
 - d. Kalibrasi *Port 2 = Open Port 2; Short Port 2; Load Port 2*
 - e. Pilih tombol *MORE 2/2*
 - f. Hubungkan antara *port 1* dan *port 2*, lalu pada panel klik *THROUGH*
 - g. Lepas kedua port yang terhubung, lalu pada panel klik *OMIT ISOLATION*
4. Setelah seluruh proses kalibrasi selesai, pada panel klik *DONE*

4.3 Analisis Hasil Pengukuran

Pada subbab ini akan dibahas analisis hasil pengukuran antenna serta dilakukan perbandingan hasil pengukuran antenna dengan hasil simulasi antenna.

4.3.1 Analisis Pengukuran S11 (Return Loss) Menggunakan Agilent N9923A

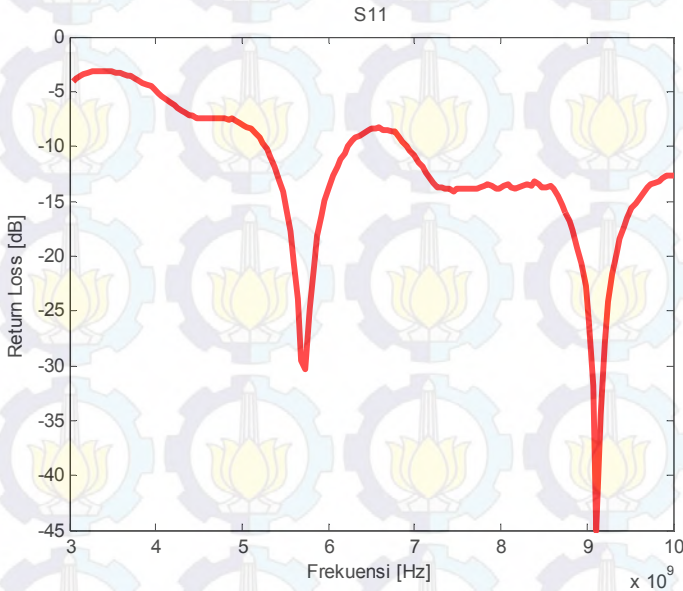


Gambar 4.2 Plot s11 hasil pengukuran antenna Agilent N9923A

Hasil pengukuran yang disimpan datanya kemudian dibuat *plotnya* menggunakan *software* Matlab. Hasil *plot* ditunjukkan pada gambar 4.2. Dari data yang diperoleh dapat diketahui bahwa terdapat 2 resonansi yang diperoleh. Resonansi pertama memiliki *bandwidth* yang mencakup *range* frekuensi 4.2 – 4.5 GHz sebesar 300 MHz. Resonansi kedua memiliki *bandwidth* yang mencakup *range* frekuensi 5.1 – 5.5 GHz sebesar 400 MHz.

4.3.2 Analisis Pengukuran S11 (Return Loss) Menggunakan Advantest R3770

Hasil pengukuran s11 yang disimpan datanya kemudian dibuat *plotnya* menggunakan *software* Matlab. Hasil *plot* ditunjukkan pada gambar 4.3.



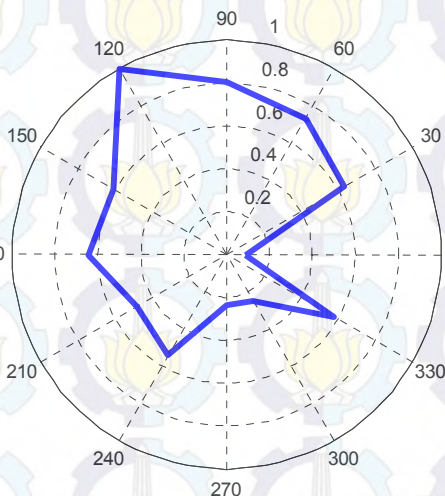
Gambar 4.3 *Plot* s11 hasil pengukuran antenna Advantest R3770

Dari data yang diperoleh dapat diketahui bahwa terdapat 2 resonansi utama yang diperoleh pada frekuensi *Ultra Wideband*. Pada resonansi pertama diperoleh pada frekuensi 5.25 – 6.2 GHz dan resonansi kedua diperoleh pada frekuensi 6.9 – 10.6 GHz. Pada

resonansi pertama, diperoleh tingkat *return loss* terendah pada frekuensi 5.75 GHz dengan tingkat *return loss* -30 dB. Sedangkan pada resonansi kedua, diperoleh tingkat *return loss* terendah pada frekuensi 9.11 GHz dengan tingkat *return loss* -45 dB. Pada resonansi pertama diperoleh *bandwidth* sebesar 0.95 GHz dan pada resonansi kedua diperoleh *bandwidth* sebesar 3.65 GHz.

4.3.3 Analisis Pengukuran Pola Radiasi Antena

Pada gambar 4.4 diberikan hasil pengukuran pola radiasi. Pengukuran pola radiasi dilakukan dengan interval sudut 30° .



Gambar 4.4 *Plot* hasil pengukuran pola radiasi antenna

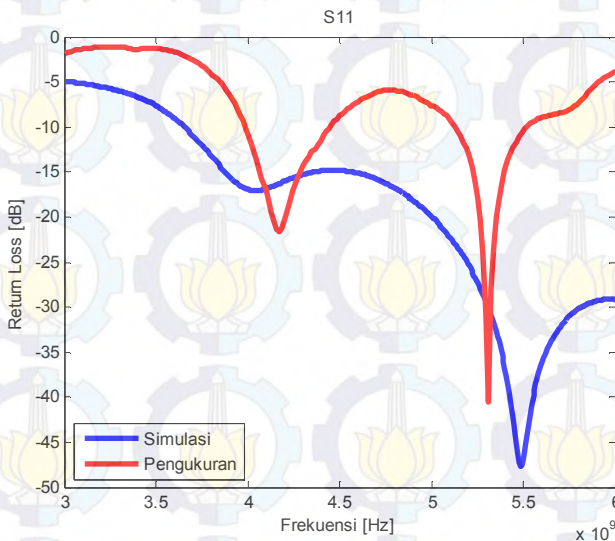
Dari hasil pengukuran yang diperoleh dapat dilihat bahwa *main lobe* terdapat pada sudut $30 - 180^\circ$ dengan *side lobe* pada sudut 330° . Radiasi terkuat terukur terdapat pada sudut 120° . Pengukuran pola radiasi dilakukan pada sudut perputaran θ antenna.

4.3.4 Perbandingan S Parameter (Return Loss) Hasil Pengukuran Menggunakan Agilent N9923A dengan Hasil Simulasi

Pada subsub bab ini akan dibahas mengenai perbandingan antara hasil simulasi dan hasil pengukuran serta dilakukan analisis faktor-faktor yang menyebabkan perbedaan hasil yang didapatkan. Hasil *plot* menggunakan *software* Matlab diberikan pada gambar 4.5.

Dari hasil yang diperoleh dapat diketahui bahwa terdapat perbedaan yang cukup signifikan antara hasil simulasi dan hasil pengukuran. Perbedaan utama terdapat pada tingginya tingkat *return loss*. Hal ini kemungkinan disebabkan buruknya proses fabrikasi baik dari sisi pembuatan *via* maupun penyolderan konektor. Hal ini dikarenakan konektor SMA sangat sensitif terhadap suhu dan suhu tinggi dapat merubah karakteristik konektor tersebut. Banyaknya timah juga bisa jadi salah satu faktor yang menyebabkan kurang baiknya hasil pengukuran. Hal lain yang dapat mempengaruhi tingkat *return loss* yang berbeda ini adalah kurang akuratnya percetakan tembaga antena.

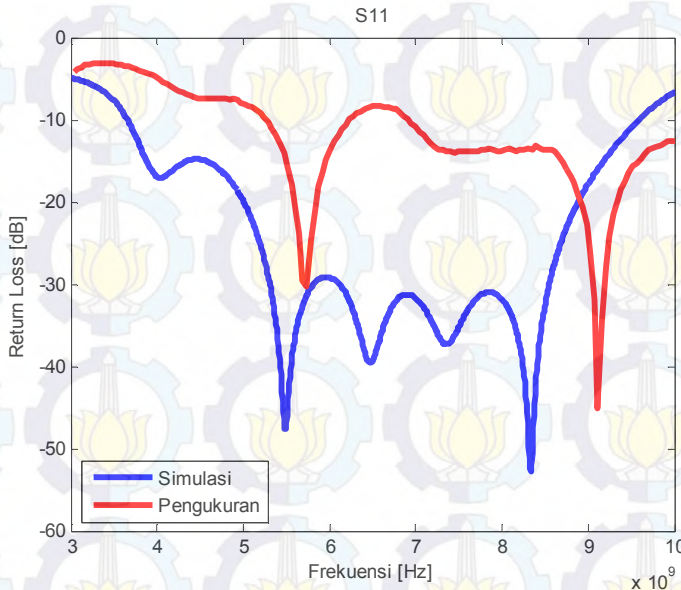
Tingkat *return loss* tinggi juga dapat disebabkan kurang *matchnya* impedansi *probe* penghubung perangkat VNA dan konektor SMA itu sendiri.



Gambar 4.5 Perbandingan S11 hasil pengukuran Agilent N9923A dan hasil simulasi

4.3.5 Perbandingan S Parameter (Return Loss) Hasil Pengukuran Menggunakan Advantest R3770 dengan Hasil Simulasi

Pada gambar 4.6 diberikan gambar perbandingan hasil pengukuran s parameter dengan VNA Advantest R3770 milik LIPI Bandung dengan hasil simulasi yang dimiliki. Gambar *diplot* menggunakan *software* Matlab. Dari hasil perbandingan antara hasil simulasi dan pengukuran dapat diketahui terdapat perbedaan yang cukup signifikan dari sisi *return loss* dimana pada frekuensi tengah 6.62 GHz terjadi peningkatan tingkat *return loss* sebesar 26 dB. Sedangkan pada frekuensi kerjanya terjadi pergeseran dimana pada hasil simulasi diperoleh frekuensi kerja 6.62 GHz sedangkan pada hasil pengukuran diperoleh 2 *band* utama dengan frekuensi kerja 5.75 GHz dan 8.77 GHz. *Band* pertama memiliki *bandwidth* selebar 0.95 GHz dan *band* kedua memiliki *bandwidth* selebar 3.65 GHz.



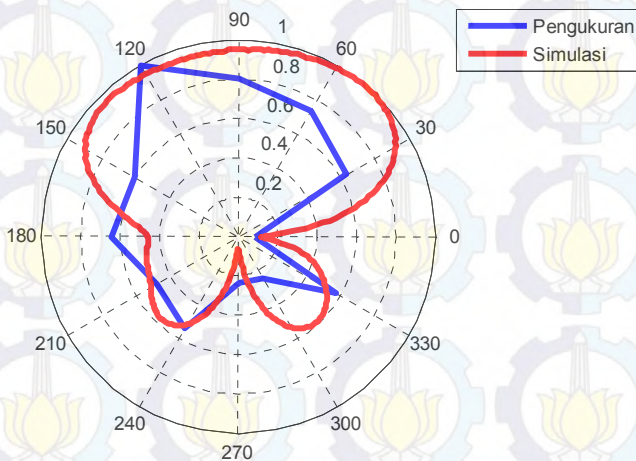
Gambar 4.6 Perbandingan S11 hasil pengukuran Advantest R3770 dan hasil simulasi

Perbedaan antara hasil simulasi dan pengukuran yang terjadi dapat disebabkan oleh kesalahan fabrikasi pada proses penyolderan konektor

dan pembuatan *via*. Dimana konektor SMA sangat sensitif terhadap suhu panas dan suhu panas solder yang terlalu lama mengenai konektor dapat merubah karakteristiknya. Namun dari hasil pengukuran yang diperoleh, dapat diketahui bahwa antenna masih dapat disebut sebagai antenna ultra wideband dikarenakan setiap band antenna memiliki bandwidth lebih dari 500 MHz.

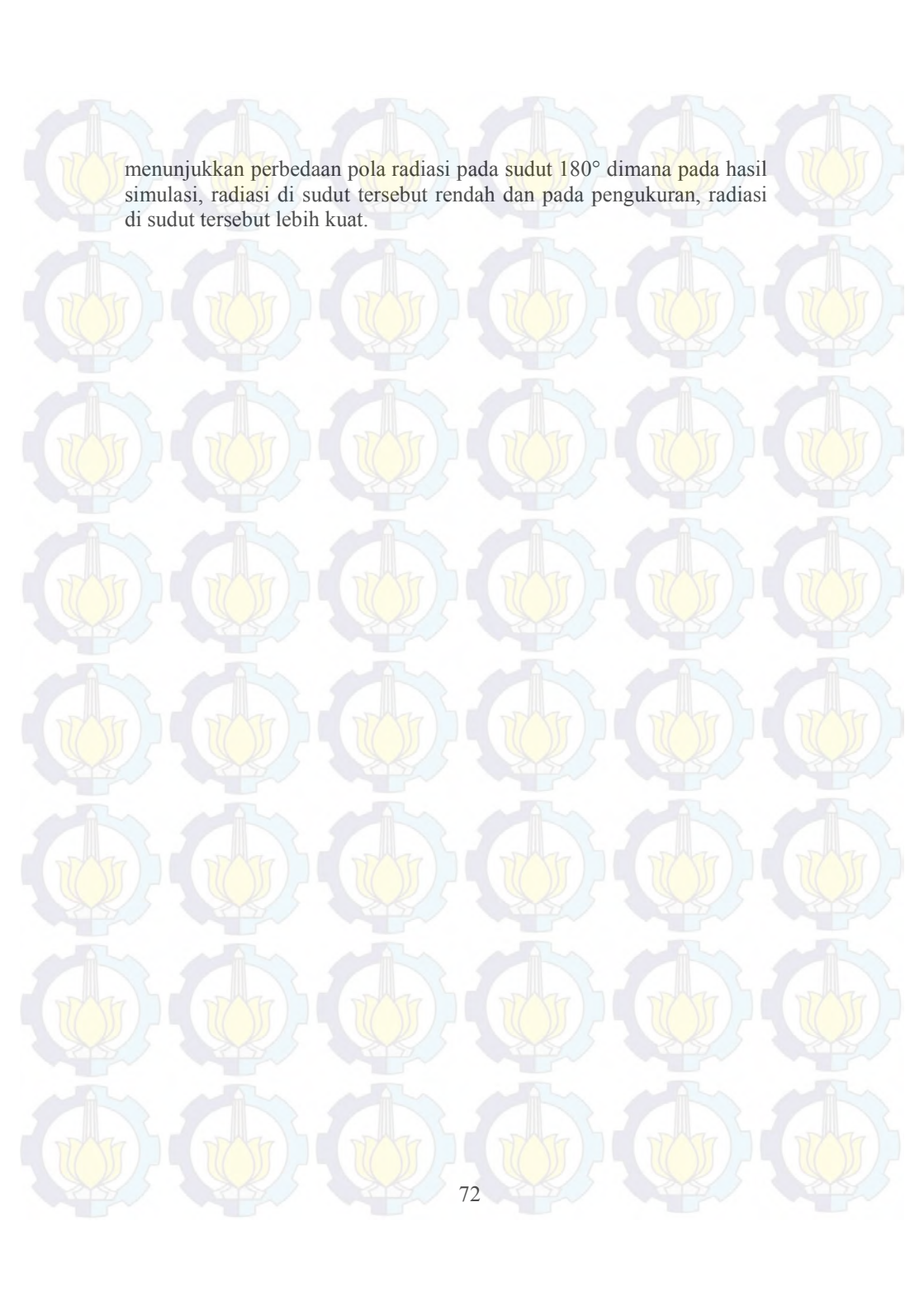
4.3.6 Perbandingan Pola Radiasi Hasil Pengukuran dengan Hasil Simulasi

Pada bagian ini akan dilakukan perbandingan dan analisa pola radiasi antenna yang dioptimasi. Pada gambar 4.7 diberikan *plot* pola radiasi simulasi dan pengukuran. Garis merah menunjukkan hasil simulasi dan garis biru menunjukkan hasil pengukuran.



Gambar 4.7 Perbandingan Pola Radiasi hasil pengukuran dan hasil simulasi

Pada hasil simulasi, *main lobe* terdapat pada sudut θ 30° - 150° . Sedangkan pada pengukuran, *main lobe* terdapat pada sudut θ 30° - 180° , dan terjadi penurunan kekuatan radiasi pada sudut θ 150° . Hal ini



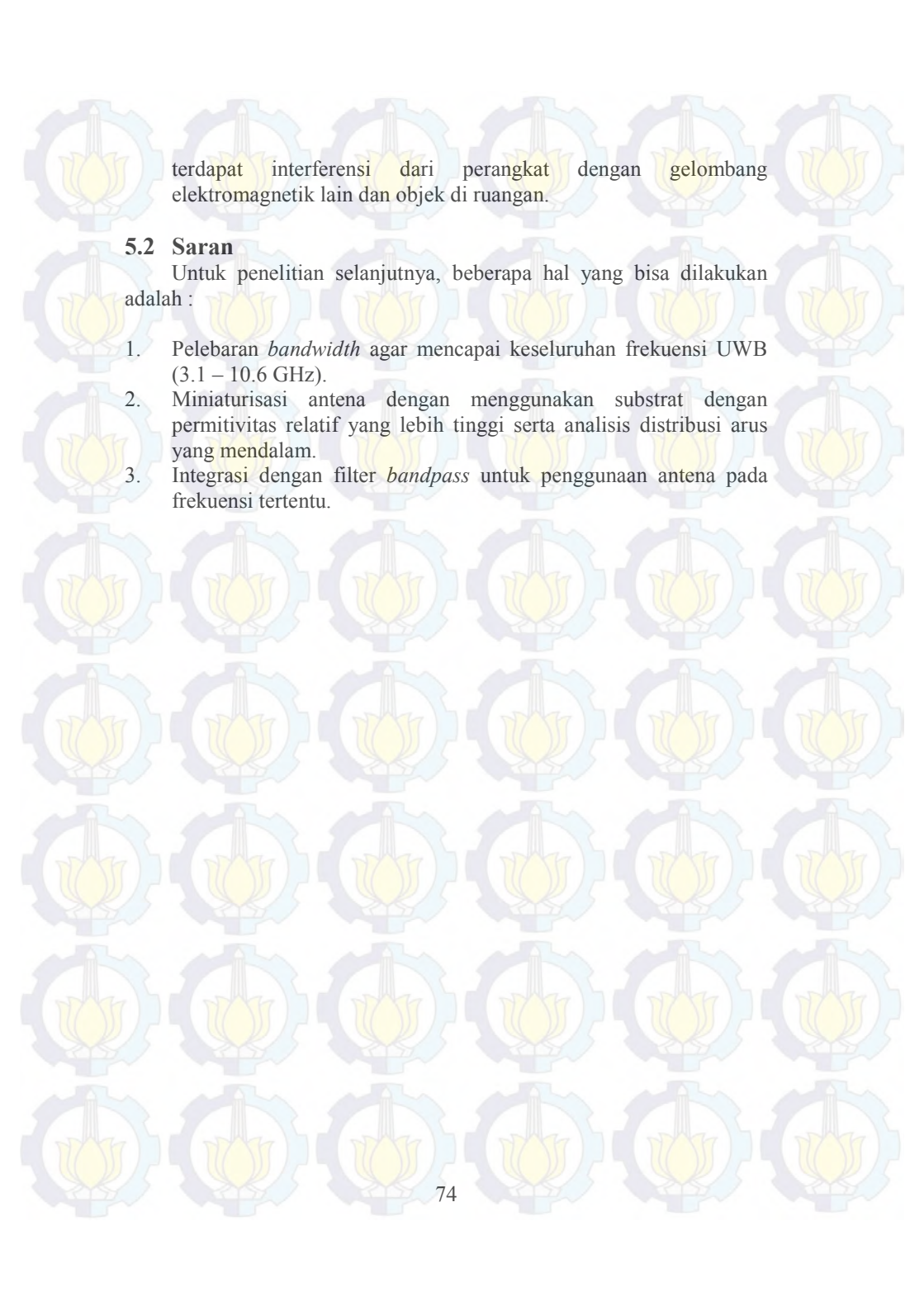
menunjukkan perbedaan pola radiasi pada sudut 180° dimana pada hasil simulasi, radiasi di sudut tersebut rendah dan pada pengukuran, radiasi di sudut tersebut lebih kuat.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat ditarik dari penelitian tugas akhir yang telah dilakukan adalah :

1. Pada tugas akhir telah dilakukan perancangan, modifikasi dan fabrikasi antenna planar metamaterial *ultra wideband* menggunakan substrat FR-4.
2. Modifikasi antenna dilakukan dengan metode *parameter sweep* yang dilakukan untuk menemukan pengaruh masing-masing bagian antenna terhadap respon frekuensi.
3. Secara umum, setiap dimensi antenna memberikan pengaruh pada respon frekuensi pada sisi return loss secara berbeda-beda. Namun, dimensi yang paling berpengaruh memperbaiki kinerja antenna adalah jarak antara konduktor interdigital kapasitor. Bagian antenna ini dapat menurunkan return loss pada frekuensi 7.5 GHz sebesar 3.5 dB sehingga didapatkan tingkat return loss -11.5 dB.
4. Antenna metamaterial *ultra wideband* yang dioptimasi menggunakan substrat FR-4 memiliki *bandwidth* sebesar 5.94 GHz pada frekuensi 3.65 – 9.59 GHz.
5. Hasil fabrikasi dan pengukuran yang dilakukan memberikan hasil yang kurang sesuai dengan simulasi dimana pada frekuensi tengah 6.62 GHz terjadi peningkatan tingkat *return loss* sebesar 26 dB.
6. Pada hasil simulasi didapatkan frekuensi tengah 6.62 GHz sedangkan pada pengukuran didapatkan *band* pertama dengan frekuensi tengah 5.75 GHz dengan *bandwidth* 0.95 GHz dan *band* kedua dengan frekuensi tengah 8.77 GHz dan *bandwidth* 3.65 GHz. Hal ini mungkin disebabkan kesalahan saat proses menyolder. Dari hasil yang didapatkan dapat disimpulkan bahwa antenna masih dapat dimasukkan dalam kategori *ultra wideband* karena masing-masing *band* memiliki *bandwidth* lebih dari 500 MHz.
7. Pola radiasi antenna hasil fabrikasi dan hasil simulasi menunjukkan hasil yang tidak berbeda jauh. Perbedaan kemungkinan disebabkan pengukuran yang tidak dilakukan di *anechoic chamber* sehingga



terdapat interferensi dari perangkat dengan gelombang elektromagnetik lain dan objek di ruangan.

5.2 Saran

Untuk penelitian selanjutnya, beberapa hal yang bisa dilakukan adalah :

1. Pelebaran *bandwidth* agar mencapai keseluruhan frekuensi UWB (3.1 – 10.6 GHz).
2. Miniaturisasi antena dengan menggunakan substrat dengan permitivitas relatif yang lebih tinggi serta analisis distribusi arus yang mendalam.
3. Integrasi dengan filter *bandpass* untuk penggunaan antena pada frekuensi tertentu.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ambhore, V.B. dan Dhande , A.P., “An Overview on Properties, Parameter Consideration And Design of Meandering Antenna”, *International Journal of Smart Sensors and Ad Hoc Networks* Vol. 1, 2012.
- [2] Ryan , Colan G. M. dan Eleftheriades , George V., “A Wideband Metamaterial Meander-Line Antenna”, *Proceedings of 6th European Conference on Antennas and Propagation*, 2012.
- [3] Caloz , Christophe dan Itoh , Tatsuo, “*Electromagnetic Metamaterials Transmission Line Theory and Microwave Applications*”, John Wiley & Sons, New Jersey, 2006.
- [4] Natarajan , V. dan Chaterjee , D., “Effect of Substrate Permittivity and Thickness on Performance of Single Layer, Wideband, U Slot Antennas on Microwave Substrates”, *20th Annual Review of Progress in Applied Computational Electromagnetics*, April 19-23, 2004.
- [5] Balanis, Constantine A., “*Antenna Theory : Analysis and Design*”, John Wiley & Sons, New Jersey, 2005.
- [6] Willy Yuswardi, “Rancang Bangun Antena Mikrostrip dengan Metamaterial CRLH pada Frekuensi 3.3-3.4 GHz”, *Fakultas Teknik Universitas Indonesia*, 2011.
- [7] Ludwig, Reinhold dan Bretchko, Pavel, “*RF Circuit Design : Theory and Applications*”, Prentice Hall, New Jersey, 2000.
- [8] Trackit Systems, “Ultra Wideband”, www.thetrackit.com/library/UWB%20Defin,-
- [9] Abdelaziz , A. F., Abuelfadl , T. M., dan Elsayed , O. L., “Realization of composite right/left-handed transmission line using coupled lines”, *Progress In Electromagnetics Research PIER* 92, 2009.
- [10] Agilent EEs of EDA, “Overview on Interdigital Capacitor Design”, 2001.
- [11] Metamaterial Antenna, “Metamaterial Antenna Definition”, en.wikipedia.org
- [12] Das, Arkaprov, Dhar, Sayantan dan Gupta, Bhaskar, “Lumped Circuit Model Analysis of meander Line Antennas”, *Mediterranean Microwave Symposium*, 2011
- [13] RF Supplier, “SMA Connector Datasheet”, www.rfsupplier.com



Halaman ini sengaja dikosongkan

RIWAYAT PENULIS



Aditya Herdiyan Pratama adalah laki-laki kelahiran Malang tanggal 6 maret 1994, penulis adalah anak pertama dari pasangan Jusuf Heri Sutrisno dan Prima Yunika Diyan Ruswati. Penulis menjalani pendidikan sekolah dasar di SDIT fajar hidayah, sekolah menengah pertama SMPIT jendral sudirman, sekolah menengah akhir SMAN 99 Jakarta Timur dan melanjutkan pendidikan sarjana di jurusan teknik elektro, fakultas teknologi industri, institut teknologi sepuluh nopember .



Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN A

Asisten Teknik Elektro
 Fakultas Teknik dan Informatika - ITS

TEKNIK TUGAS AKHIR-ENES

Nama Mahasiswa :
 Nomor Pokok :
 Bidang Studi :
 Tugas Diambilkan :
 Dosen Pembimbing :

Aditya Harshani Pratomo
 2210180094
 Teknik Informatika Multimedia
 Semester Genap Th. 2013/2014
 1. Eko Setiadi, S.T., M.T., Ph.D.
 2. Pratiyasa Hari Muli, S.T., M.T., M.Sc.

27 FEB 2014

Judul Tugas Akhir :

Perancangan dan Optimasi Kinerja Antena Planar Daya
 Hibrida Berbasis Helikon untuk Penggunaan Satelit GPS
 (Design and Optimization of A Planar Ultra Wideband Antenna
 Performance Based on Heliconality Using SP-4 Software)

Sistematika

Perancangan, optimasi struktur dalam beberapa aspek untuk bisa mengoptimasi suatu sistem atau komponen penting dalam perangkat komunikasi adalah salah satunya. Salah satu jenis antenna yang banyak digunakan untuk perkembangan terbaru yaitu adalah antenna planar karena antena ini memiliki ukuran yang relatif sebagai keunggulannya. Namun, antena yang berdasarkan konsep ini memiliki kelemahan dan kerugian serta banyak kekurangan, yaitu [1].

Salah satu aspek yang dapat memperbaiki hal ini adalah dengan penggunaan soft-ware numerikal pada desain antena menggunakan metode. Salah satu soft-ware ini adalah perancangan antenna disebut URSYNTH yang merupakan soft-ware (Komputer) numerikal. Uji ini menggunakan 3D perancangan perantara kemudian membuat pola diagram secara dua dimensi yang bisa lebih lanjut.

Salah satu kelebihan juga merupakan faktor yang berpengaruh dalam perancangan sebuah antenna. Salah satunya dengan perantara ini, dapat meningkatkan ukuran untuk antenna lebih kecil sehingga antenna dapat memiliki lebih kecil dan ini memudahkan untuk integrasi dan efisiensi (efisien) dalam alat yang [2]. Dengan pertolongan tersebut maka sebuah antenna dengan ukuran 20-40x-40, mm - (ukuran standar yang dimungkinkan).
 Kata Kunci : Antena Planar, Ultra Wideband, URSYNTH, Antenna

Daftar Pustaka [1].

Daftar Pustaka [2].

Eko Setiadi, S.T., M.T., Ph.D.
 NIP. 197210102003021000

Pratiyasa Hari Muli, S.T., M.T., M.Sc.
 NIP. 198103032012131900

Mengetahui,
 Pratiyasa Hari Muli, S.T., M.T., M.Sc.
 Dosen Pembimbing

Mengetahui,
 Aditya Harshani Pratomo
 Mahasiswa

Dr. Ir. DILA H. Sardono, S.T., M.T.
 NIP. 19701212196021001

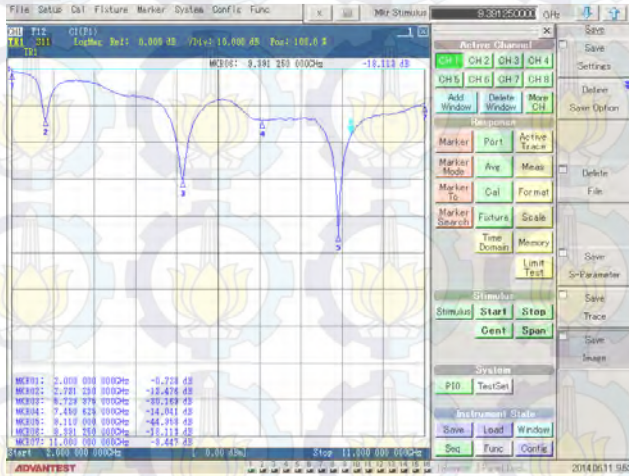
Dr. Ir. Endangrum, Ph.D.
 NIP. 196108101990101000

Gambar a.1 Lembar Pengesahan Proposal

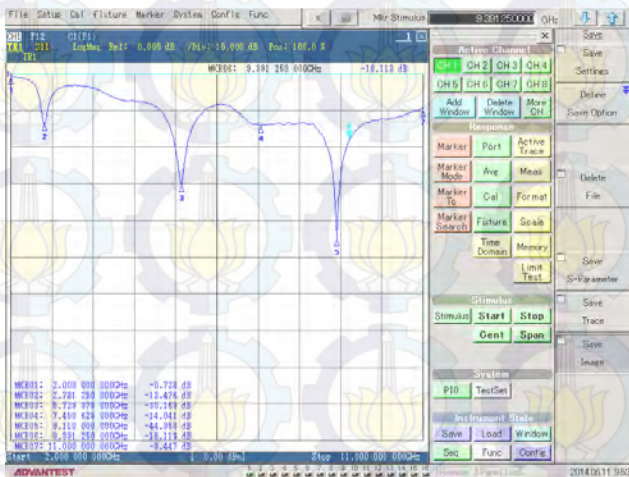


Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN B




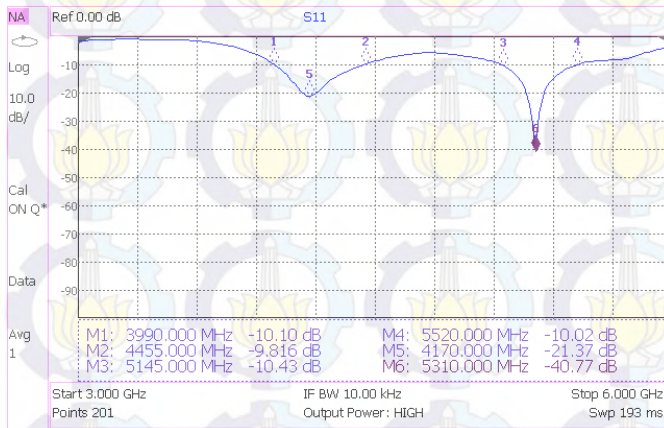
Gambar b.1 S parameter pengukuran VNA LIPI Bandung



Gambar b.2 VSWR pengukuran VNA LIPI Bandung

Agilent Technologies: N9923A, SN: MY50371439

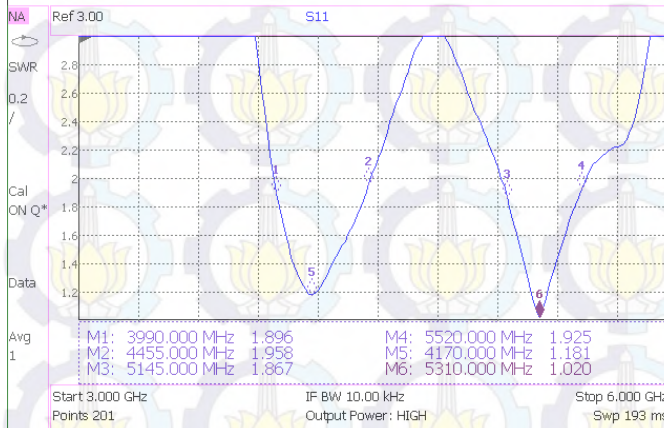
29%  Fri, 30 May 2014 1:58:11 PM



Gambar b.3 S parameter pengukuran VNA Laboratorium JTE ITS

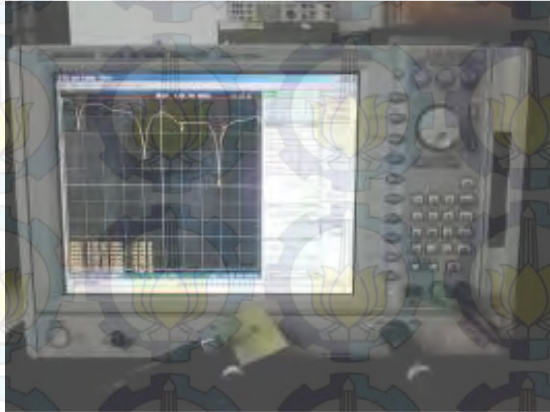
Agilent Technologies: N9923A, SN: MY50371439

28%  Fri, 30 May 2014 1:59:07 PM



Gambar b.4 VSWR pengukuran VNA Laboratorium B.306 JTE ITS

LAMPIRAN C



Gambar c.1 Perangkat VNA LIPI Bandung Advantest R3770



Gambar c.2 Perangkat VNALaboratorium B.306 JTE ITS



Halaman ini sengaja dikosongkan