



TUGAS AKHIR - EE 184801

**DESAIN ANTENA DUAL BAND UNTUK KEBUTUHAN
*MASSIVE MIMO***

Ahya Aufa Romiza
NRP. 07111440000180

Dosen Pembimbing
Eko Setijadi, S.T., M.T., Ph.D.
Dr. Ir. Puji Handayani, M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan "**Desain Antena Dual Band untuk Kebutuhan Massive MIMO**" adalah benar – benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan – bahan yang tidak diijinkan dan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku

Surabaya, Januari 2019



Ahya Aufa Romiza
07111440000180

Halaman ini sengaja dikosongkan

LEMBAR PENGESAHAN

Desain Antena Dual Band untuk Kebutuhan *Massive MIMO*

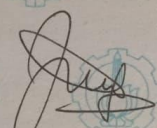
TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Studi Telekomunikasi Multimedia
Departemen Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Dosen Pembimbing 1 Menyetujui, Dosen Pembimbing 2



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



Dr. Ir. Puji Handayani, M.T.
NIP : 196605101992032002



Halaman ini sengaja dikosongkan

Desain Antena Dual Band Untuk Kebutuhan *Massive MIMO*

Nama : Ahya Aufa Romiza
Pembimbing : Eko Setijadi, S.T., M.T., Ph.D.
Dr. Ir. Puji Handayani, M.T.

ABSTRAK

Antena merupakan sebuah komponen penting dalam sistem komunikasi. Fungsi dari antenna adalah untuk mengirim sinyal elektromagnetik dari sumber transmisi ke antenna atau dari antenna ke penerima. Salah satu karakteristik antenna adalah semakin banyak jumlah antenna yang digunakan maka *spectral efficiency* atau jumlah informasi atau data yang dikirimkan juga akan semakin meningkat. Pada teknologi *massive MIMO* karakteristik dari antenna ini memberikan dampak yang sangat besar dikarenakan teknologi *massive MIMO* memanfaatkan paling tidak seratus antenna bekerja pada waktu dan frekuensi yang sama sehingga dapat meningkatkan *spectral efficiency* dari antenna tersebut, akan tetapi disaat yang bersamaan *energy efficiency* akan menurun dikarenakan adanya pengaruh dari *mutual coupling* yang akan muncul jika antenna diletakkan terlalu dekat dengan antenna lain.

Pada tugas akhir ini akan dibuat desain dual band antenna microstrip yang bekerja pada frekuensi 2.4 Ghz dan 5.4 Ghz. Perancangan antenna dilakukan dalam dua tahap yaitu simulasi dan fabrikasi, pada tahap simulasi setelah didapatkan desain single element maka desain tersebut akan di-array-kan sehingga menghasilkan sub array 2x2 element, hasil dari simulasi tersebut kemudian akan difabrikasi dan dilakukan analisis kinerja dari antenna tersebut.

Kata Kunci : *dual band antenna, massive MIMO, antenna array.*

Halaman ini sengaja dikosongkan

DUAL BAND ANTENNA DESIGN FOR MASSIVE MIMO

Name : Ahya Aufa Romiza
Supervisor : Eko Setijadi, ST., MT., Ph.D.
Dr. Ir. Puji Handayani, MT.

ABSTRACT

Antenna is an important component in the communication system. The function of the antenna is to send electromagnetic signals from the source of transmission to the antenna or from the antenna to the receiver. One of the characteristics of an antenna is that the more number of antenna is used, the more spectral efficiency or the amount of information or data sent will also increase. In massive MIMO technology the characteristics of these antennas have a huge impact because massive MIMO technology utilizes at least one hundred antennas working at the same time and frequency so that it can increase the spectral efficiency of the antenna, but at the same time the energy efficiency will decrease due to the influence from mutual coupling that will appear if the antenna is placed too close to another antenna.

In this final project the design of a dual band microstrip antenna that works at a frequency of 2.4 Ghz and 5.4 Ghz. Antenna design is carried out in two stages, namely simulation and fabrication, in the simulation stage after a single element design is obtained, the design will be arrayed to produce a 2x2 element sub array, the results of the simulation will then be fabricated and analyzed the performance of the antenna.

Keywords : dual band antenna, massive MIMO, antenna array.

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji Syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas segala Rahmat, Karunia, dan Petunjuk yang telah dilimpahkan-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan tugas akhir dengan judul “ **DESAIN ANTENA DUAL BAND UNTUK KEBUTUHAN MASSIVE MIMO** “.

Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan jenjang pendidikan S1 pada bidang studi Telekomunikasi Multimedia, Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Atas selesainya penyusunan tugas akhir ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Ibu dan Ayah penulis serta kedua saudara penulis yang senantiasa mendukung serta memberikan semangat kepada penulis. Serta doa dan kasih sayang yang tak henti diberikan kepada penulis dalam keadaan apapun. Semoga Allah SWT senantiasa melindungi dan memberi mereka tempat terbaik kelak di surgaNya.
2. Bapak Eko Setijadi, S.T., M.T., Ph.D dan Ibu Dr. Ir. Puji Handayani, M.T. selaku Dosen Pembimbing yang telah memberikan banyak arahan dan bimbingan selama mengerjakan Tugas Akhir ini.
3. Bapak dan Ibu dosen Departemen Teknik Elektro ITS, khususnya bidang studi Telekomunikasi Multimedia, atas segala ilmu yang telah diberikan selama penulis menempuh kuliah di ITS.
4. Teman – teman seperjuangan di lab Antena dan Propagasi yang telah saling membantu, berdiskusi, dan belajar bersama selama pengerjaan Tugas Akhir ini.
5. Teman – teman kos Keputih Gg IIIC no 6A yang telah menemani penulis baik dalam suka maupun duka meskipun pada akhirnya penulis ditinggal lulus terlebih dahulu.

Demikian semoga buku Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca.

Surabaya, Desember 2018

Penulis

DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	Error!
Bookmark not defined.	
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xxiii
PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	1
1.3. Batasan Masalah	2
1.4. Tujuan	2
1.5. Metodologi	2
1.6. Sistematika Penulisan	3
1.7. Relevansi	4
TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Massive MIMO	5
2.2. Antena	5
2.2.1. Parameter Antena	6
2.2.1.1. Scattering Parameter (S - Parameter)	6
2.2.1.2. Koefisien Refleksi	7
2.2.1.3. Return Loss	9
2.2.1.4. Voltage Standing Wave Ratio (VSWR)	9
2.2.1.5. Bandwidth	10

2.2.1.6.	Pola Radiasi	11
2.2.1.7.	Gain	12
2.2.1.8.	Directivity	13
2.2.1.9.	Polarisasi	14
2.2.1.10.	Mutual Coupling	14
2.3.	Antena Mikrostrip	15
2.3.1.	Pencatuan Antena Mikrostrip	16
2.3.2.	Antena mikrostrip Rectangular Patch	18
2.4.	Antena Array	20
2.4.1.	Antena Array Planar	20
PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI		23
3.1.	Alur Perancangan	23
3.2.	Penentuan Spesifikasi Antena Mikrostrip	25
3.3.	Pengaturan Simulasi Antena	26
3.3.1.	Frequency Range	26
3.3.2.	Field Monitors	27
3.3.3.	Setup Solver – Time Domain Solver	28
3.4.	Perancangan dan Simulasi Elemen Tunggal Antena Mikrostrip	29
3.4.1.	Perancangan Antena Mikrostrip 2.4 Ghz	29
3.4.2.	Optimasi Antena Mikrostrip 2.4 Ghz	32
3.4.3.	Perancangan Antena Mikrostrip 5.4 Ghz	34
3.4.4.	Optimasi Antena Mikrostrip 5.4 Ghz	36
3.4.5.	Perancangan Antena Cross 2.4 Ghz	38
3.4.5.1	Antena Jenis 1	38
3.4.5.2	Antena Jenis 2	41

3.4.6. Optimasi Antena Cross 2.4 Ghz.....	44
3.4.7. Perancangan Elemen Array	47
3.4.7.1 Antena Jenis 1.....	47
3.4.7.2 Antena Jenis 2.....	50
3.4.8. Optimasi Elemen <i>Array</i>	54
3.5. Perancangan dan Simulasi Antena <i>Sub Array</i>	58
3.6. Optimasi Antena <i>Sub Array</i>	62
PENGUKURAN DAN ANALISIS DATA	69
4.1. Realisasi Desain Antena <i>Sub Array</i>	69
4.2. Pengukuran Kinerja Antena <i>Sub Array</i>	70
4.2.1. Pengukuran <i>Return Loss</i> , <i>VSWR</i> , dan <i>Mutual Coupling</i> Antena <i>Sub Array</i>	70
4.2.2. Pengukuran Pola Radiasi	71
4.3. Hasil Pengukuran Antena <i>Sub Array</i>	73
4.3.1. Hasil Pengukuran <i>Return Loss</i> Antena <i>Sub Array</i> 73	
4.3.2. Hasil Pengukuran <i>VSWR</i> Antena <i>Sub Array</i>	74
4.3.3. Hasil Pengukuran <i>Mutual Coupling</i> Antena <i>Sub Array</i> 76	
4.3.4. Hasil Pengukuran Pola Radiasi Antena <i>Sub Array</i> 78	
4.4. Analisis Perbandingan Hasil Simulasi dan Hasil Pengukuran	79
4.4.1. Analisis Perbandingan Nilai <i>Return Loss</i>	79
4.4.2. Analisis Perbandingan Nilai <i>VSWR</i>	83
4.4.3. Analisis Perbandingan <i>Mutual Coupling</i>	85
4.4.4. Analisis Perbandingan Pola Radiasi.....	86

4.4.5. Perbandingan Parameter Kerja Antena Hasil Pengukuran dan Hasil Simulasi.....	90
PENUTUP	93
5.1. Kesimpulan	93
5.2. Saran.....	93
DAFTAR PUSTAKA.....	95
LAMPIRAN A	97
LAMPIRAN B	98
BIOGRAFI PENULIS	101

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Konsep S – Parameter dalam dua terminal [4]	6
Gambar 2. 2 Plot pola radiasi antena	12
Gambar 2. 3 Struktur Antena Mikrostrip [7]	16
Gambar 2. 4 Antena Mikrostrip dengan Pencatutan Coaxial Probe [7]	17
Gambar 2. 5 Geometri Antena Array Planar	21
Gambar 3. 1 Diagram Alir Perancangan	24
Gambar 3. 2 Tampilan Frequency Range Setting pada CST Microwave Studio 2017	26
Gambar 3. 3 Tampilan Field Monitors pada CST Microwave Studio 2017	27
Gambar 3. 4 Tampilan Setup Solver – Time Domain Solver pada CST Microwave Studio 2017	28
Gambar 3. 5 Geometri Antena Mikrostrip 2.4 Ghz	30
Gambar 3. 6 Desain Antena Mikrostrip 2.4 Ghz Hasil Perhitungan (a) Tampak Depan (b) Tampak Belakang	30
Gambar 3. 7 Hasil Simulasi S-Parameter Antena Mikrostrip 2.4 Ghz	31
Gambar 3. 8 Hasil Simulasi VSWR Antena Mikrostrip 2.4 Ghz	31
Gambar 3. 9 Geometri Antena Mikrostrip 2.4 Ghz Setelah Optimasi	32
Gambar 3. 10 Hasil Simulasi S-Parameter Antena Mikrostrip 2.4 Ghz Setelah Optimasi	33
Gambar 3. 11 Hasil Simulasi VSWR Antena Mikrostrip 2.4 Ghz Setelah Optimasi	33
Gambar 3. 12 Geometri Antena Mikrostrip 5.4 Ghz	34
Gambar 3. 13 Desain Antena Mikrostrip 5.4 Ghz Hasil Perhitungan (a) Tampak Depan (b) Tampak Belakang	35
Gambar 3. 14 Hasil Simulasi S-Parameter Antena Mikrostrip 5.4 Ghz	35
Gambar 3. 15 Hasil Simulasi VSWR Antena Mikrostrip 5.4 Ghz	35

.....	36
Gambar 3. 16 Geometri Antena Mikrostrip 5.4 Ghz Setelah Optimasi	37
Gambar 3. 17 Hasil Simulasi S-Parameter Antena Mikrostrip 5.4 Ghz Setelah Optimasi.....	37
Gambar 3. 18 Hasil Simulasi VSWR Antena Mikrostrip 5.4 Ghz Setelah Optimasi.....	38
Gambar 3. 19 Geometri Antena Mikrostrip Cross 2.4 Ghz Jenis 1	39
Gambar 3. 20 Desain Antena Mikrostrip Cross 2.4 Ghz Jenis 1 (a) Tampak Depan (b) Tampak Belakang	40
Gambar 3. 21 Hasil Simulasi S-Parameter Antena Cross 2.4 Ghz Jenis 1	40
Gambar 3. 22 Hasil Simulasi VSWR Antena Cross 2.4 Ghz Jenis 1	41
Gambar 3. 23 Geometri Antena Mikrostrip Cross 2.4 Ghz Jenis 2	42
Gambar 3. 24 Desain Antena Mikrostrip Cross 2.4 Ghz Jenis 2 (a) Tampak Depan (b) Tampak Belakang	42
Gambar 3. 25 Hasil Simulasi S-Parameter Antena Cross 2.4 Ghz Jenis 2.....	43
Gambar 3. 26 Hasil Simulasi VSWR Antena Cross 2.4 Ghz Jenis 2.....	43
Gambar 3. 27 Geometri Antena Mikrostrip Cross 2.4 Ghz Hasil Optimasi	45
Gambar 3. 28 Desain Antena Mikrostrip Cross 2.4 Ghz Hasil Optimasi (a) Tampak Depan (b) Tampak Belakang	45
Gambar 3. 29 Hasil Simulasi S-Parameter Antena Cross 2.4 Ghz Setelah Optimasi.....	46
Gambar 3. 30 Hasil Simulasi VSWR Antena Cross 2.4 Ghz Setelah optimasi	46
Gambar 3. 31 Geometri Antena Mikrostrip Elemen Array Jenis 1	48
Gambar 3. 32 Desain Antena Mikrostrip Elemen Array Jenis 1 (a) Tampak Depan (b) Tampak Belakang	48

Gambar 3. 33 Hasil Simulasi Return Loss Antena Mikrostrip Elemen Array Jenis 1	49
Gambar 3. 34 Hasil Simulasi Mutual Coupling Antena Mikrostrip Elemen Array Jenis 1	49
Gambar 3. 35 Hasil Simulasi VSWR Antena Mikrostrip Elemen Array Jenis 1	50
Gambar 3. 36 Geometri Antena Mikrostrip Elemen Array Jenis 2	52
Gambar 3. 37 Desain Antena Mikrostrip Elemen Array Jenis 2 (a) Tampak Depan (b) Tampak Belakang	52
Gambar 3. 38 Hasil Simulasi Return Loss Antena Mikrostrip Elemen Array Jenis 2	53
Gambar 3. 39 Hasil Simulasi Mutual Coupling Antena Mikrostrip Elemen Array Jenis 2	53
Gambar 3. 40 Hasil Simulasi VSWR Antena Mikrostrip Elemen Array Jenis 2	54
Gambar 3. 41 Geometri Antena Mikrostrip Elemen Array Hasil Optimasi	56
Gambar 3. 42 Desain Antena Mikrostrip Elemen Array Hasil Optimasi (a) Tampak Depan (b) Tampak Belakang	56
Gambar 3. 43 Hasil Simulasi Return Loss Antena Array Setelah Optimasi	57
Gambar 3. 44 Hasil Simulasi Mutual Coupling Antena Elemen Array Setelah Optimasi	57
Gambar 3. 45 Hasil Simulasi VSWR Antena Mikrostrip Elemen Array Setelah Optimasi	58
Gambar 3. 46 Geometri Antena Sub Array	60
Gambar 3. 47 Desain Antena Sub Array (a) Tampak Depan (b) Tampak Belakang	60
Gambar 3. 48 Hasil Simulasi Return Loss Antena Sub Array ...	61
Gambar 3. 49 Hasil Simulasi Mutual Coupling Antena Sub Array	61
Gambar 3. 50 Hasil Simulasi VSWR Antena Sub Array	62
Gambar 3. 51 Geometri Antena Sub Array Hasil Optimasi	64
Gambar 3. 52 Desain Antena Sub Array (a) Tampak Depan (b)	

Tampak Belakang.....	64
Gambar 3. 53 Hasil Simulasi Return Loss Antena Sub Array Setelah Optimasi.....	65
Gambar 3. 54 Hasil Simulasi Mutual Coupling Antena Sub Array Setelah Optimasi.....	65
Gambar 3. 55 Hasil Simulasi VSWR Antena Sub Array Setelah Optimasi	66
Gambar 3. 56 Pola Radiasi Bidang Horizontal Hasil Simulasi Antena Sub Array pada Frekuensi 2.4 Ghz	67
Gambar 3. 57 Pola Radiasi Bidang Horizontal Hasil Simulasi Antena Sub Array pada Frekuensi 5.4 Ghz	67
Gambar 3. 58 Nilai Bandwidth yang Dihasilkan pada Frekuensi 2.4 Ghz	68
Gambar 3. 59 Nilai Bandwidth yang Dihasilkan pada Frekuensi 5.4 Ghz	68
Gambar 4. 1 Realisasi Antena (a) Tampak Sisi Depan (b) Tampak Sisi Belakang.....	70
Gambar 4. 2 Konfigurasi Pengukuran Pola Radiasi [6].....	72
Gambar 4. 3 Hasil Pengukuran <i>Return Loss</i> Frekuensi 2.4 Ghz.....	73
Gambar 4. 4 Hasil Pengukuran <i>Return Loss</i> Frekuensi 5.4 Ghz.....	74
Gambar 4. 5 Hasil Pengukuran VSWR 1.....	75
Gambar 4. 6 Hasil Pengukuran VSWR 2.....	76
Gambar 4. 7 Hasil Pengukuran <i>Mutual Coupling</i> Frekuensi 2.4 Ghz	77
Gambar 4. 8 Hasil Pengukuran <i>Mutual Coupling</i> Frekuensi 5.4 Ghz	77
Gambar 4. 9 Pola Radiasi Frekuensi 2.4 Ghz Terhadap Bidang H	78
Gambar 4. 10 Pola Radiasi Frekuensi 5.4 Ghz Terhadap Bidang H	79
Gambar 4. 11 Perbandingan Nilai <i>Return Loss</i> Simulasi dengan Pengukuran Frekuensi 2.4 Ghz.....	79
Gambar 4. 12 Perbandingan Nilai <i>Return Loss</i> Simulasi dengan Pengukuran Frekuensi 5.4 Ghz.....	80

Gambar 4. 13 Perbandingan Nilai <i>Return Loss</i> antara Dielektrik dengan Bahan 4.3 dan Dielektrik dengan Bahan 4.7.	81
Gambar 4. 14 Perbandingan Nilai <i>Return Loss</i> antara Konektor dengan Diameter 1.3 mm dan Konektor dengan Diameter 1.58 mm.	82
Gambar 4. 15 Nilai VSWR Simulasi	83
Gambar 4. 16 Nilai VSWR Pengukuran	83
Gambar 4. 17 Nilai VSWR Simulasi	84
Gambar 4. 18 Nilai VSWR Pengukuran	84
Gambar 4. 19 Perbandingan Nilai <i>Mutual Coupling</i> Simulasi dengan Pengukuran Frekuensi 2.4 Ghz.....	85
Gambar 4. 20 Perbandingan Nilai <i>Mutual Coupling</i> Simulasi dan Pengukuran Frekuensi 5.4 Ghz	86
Gambar 4. 21 Pola Radiasi Simulasi Frekuensi 2.4 Ghz	86
Gambar 4. 23 Pola Radiasi Simulasi Frekuensi 5.4 Ghz	87
Gambar 4. 25 Perbandingan Pola Radiasi Antena <i>Single</i> dengan Antena <i>Array</i> pada frekuensi kerja 2.4 Ghz.	89
Gambar 4. 26 Perbandingan Pola Radiasi Antena <i>Single</i> dengan Antena <i>Array</i> pada frekuensi kerja 5.4 Ghz.	89

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1	Parameter Antena Mikrostrip yang Diinginkan	25
Tabel 3. 2	Spesifikasi FR4 Epoxy yang Digunakan	25
Tabel 3. 3	Dimensi Antena Hasil Perhitungan.....	29
Tabel 3. 4	Dimensi Antena 2.4 Ghz Hasil Optimasi.....	32
Tabel 3. 5	Dimensi Antena 5.4 Ghz Hasil Perhitungan	34
Tabel 3. 6	Dimensi Antena 5.4 Ghz Hasil Optimasi.....	36
Tabel 3. 7	Dimensi Antena Cross Jenis 1	39
Tabel 3. 8	Dimensi Antena Cross Jenis 2	41
Tabel 3. 9	Dimensi Antena Cross Setelah Optimasi.....	44
Tabel 3. 10	Dimensi Antena Elemen Array Jenis 1	47
Tabel 3. 11	Dimensi Antena Elemen Array Jenis 2	51
Tabel 3. 12	Dimensi Elemen Array Setelah Optimasi	55
Tabel 3. 13	Dimensi Antena Sub Array	59
Tabel 3. 14	Dimensi Antena Sub Array Setelah Optimasi.	63
Tabel 4. 1	Perbandingan Hasil Simulasi dengan Hasil Pengukuran	90

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Teknologi *massive MIMO* (*Multiple Input Multiple Output*) merupakan sebuah teknologi baru yang meningkatkan kinerja dari teknologi *MIMO* saat ini. Dengan teknologi *massive MIMO* kita dapat membayangkan sebuah sistem antena *array* dengan paling tidak seratus antena bekerja secara bersamaan dalam waktu dan frekuensi yang sama. Semakin banyak jumlah antena maka *spectral efficiency* atau jumlah informasi atau data yang dikirimkan juga akan semakin meningkat, akan tetapi disaat yang bersamaan *energy efficiency* juga akan menurun dikarenakan adanya pengaruh dari efek *mutual coupling* yang akan timbul jika antena diletakkan terlalu dekat dengan antena lain [1],[2].

Dengan melihat keuntungan dari teknologi *massive MIMO* yang mana akan menggunakan banyak antena dan ditambahkan dengan karakteristik antena dimana semakin banyak jumlah antena yang digunakan maka *spectral efficiency* atau jumlah informasi atau data yang dikirimkan juga akan semakin meningkat, tentunya akan semakin menguntungkan apabila dapat menggunakan antena sebanyak mungkin, akan tetapi permasalahannya adalah bagaimana desain antena yang memungkinkan untuk memuat antena sebanyak mungkin dengan tetap menjaga kinerja kinerja dari antena sehingga masih dapat memenuhi kinerja yang diharapkan

Untuk menjawab permasalahan diatas maka pada tugas akhir ini dirancang antena dual band dengan frekuensi kerja 2.4 Ghz dan 5.4 Ghz. Antena ini didesain agar bisa menghasilkan antena *sub array* yang dapat memenuhi kinerja yang diharapkan, terutama terkait dengan *mutual coupling*.

1.2. Rumusan Masalah

Permasalahan yang dibahas pada penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana desain antena dual band 2.4 Ghz dan 5.4 Ghz untuk kebutuhan Massive MIMO?

2. Bagaimana kinerja antena dual band yang dirancang dengan mempertimbangkan *mutual coupling*?

1.3. Batasan Masalah

Batasan permasalahan dari penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Frekuensi kerja yang digunakan 2.4 Ghz dan 5.4 Ghz.
2. Material dari *substrate* yang digunakan adalah FR-4 *epoxy*.
3. Simulasi menggunakan *software* CST.
4. Fabrikasi antena dilakukan pada elemen *sub array 2x2*

1.4. Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Mendapatkan desain antena dual band 2.4 Ghz dan 5.4 Ghz untuk kebutuhan *massive MIMO*.
2. Melakukan evaluasi terhadap antena hasil desain melalui proses simulasi dan pengukuran antena hasil fabrikasi.

1.5. Metodologi

Berikut ini adalah metodologi penelitian yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini :

1. Studi Literatur

Studi Literatur dilakukan dengan membaca referensi berupa buku, paper, maupun sumber lain yang berhubungan dengan topik penelitian. Selain itu studi literatur juga mencakup tentang mempelajari *tools* atau *software* yang digunakan selama proses penelitian. Secara spesifik, topik – topik yang dipelajari antara lain :

- a. Teori dan rancang bangun antena, khususnya antena *microstrip* dan antena *array*.
- b. Artikel ilmiah mengenai desain antena *microstrip*.
- c. Meningkatkan keahlian dalam menggunakan *CST Microwave Studio*, yaitu *software* yang digunakan untuk membuat desain dan simulasi antena.

2. Penentuan Perangkat

Pada tahap ini akan dipilih jenis *substrate*, jenis lapisan peradiasi (konduktor), dan metode *feeding* yang akan digunakan untuk proses fabrikasi.

3. Pembuatan desain dan simulasi antena *microstrip*

Pada tahap ini akan ditentukan dimensi dari antena *microstrip* yang akan dibuat, kemudian pembuatan desain diawali dengan membuat elemen tunggal dari antena *microstrip*. Setelah desain elemen tunggal antena *microstrip* diperoleh kemudian dilakukan penyusunan *array* dari elemen tunggal tersebut dan disimulasikan hingga diperoleh hasil yang memenuhi kriteria spesifikasi. Dalam melakukan tahap ini digunakan bantuan *software CST Microwave Studio*.

4. Fabrikasi hasil desain elemen *array*

Pada tahap ini hasil perancangan desain antena *microstrip* yang telah diperoleh akan difabrikasikan sesuai dengan spesifikasi yang sudah ditentukan sebelumnya.

5. Pengukuran antena hasil fabrikasi

Antena hasil fabrikasi selanjutnya akan diuji menggunakan beberapa alat ukur antena. Parameter – parameter yang diukur dalam proses ini antara lain :

- a. S – Parameter
- b. VSWR
- c. Pola radiasi antenna

6. Analisa dan Kesimpulan

Pada tahap ini akan dilakukan analisa terhadap data hasil simulasi dan pengukuran yang telah diperoleh kemudian dari analisa yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan.

1.6. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan buku tugas akhir ini terbagi atas lima bab dan masing masing bab akan diuraikan sebagai berikut :

BAB 1. PENDAHULUAN

Bab ini membahas mengenai latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, metodologi, sistematika penulisan, dan relevansi.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menjelaskan tentang teori penunjang yang terkait dengan antena *microstrip*, antena *array*, dan beberapa tinjauan pustaka mengenai desain antena *microstrip*.

BAB 3. METODE PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI

Bab ini akan menjelaskan tahap – tahap dalam membuat desain antena *microstrip* yang akan difabrikasi.

BAB 4. PENGUKURAN DAN ANALISIS DATA

Pada bab ini akan ditampilkan hasil simulasi dan pengukuran dari antena yang telah difabrikasi dan akan dilakukan analisis dari data yang diperoleh.

BAB 5. PENUTUP

Bab ini berisi kesimpulan dan saran berdasarkan proses yang telah dilakukan dalam penelitian tugas akhir ini.

1.7. Relevansi

Dari laporan hasil tugas akhir ini diharapkan dapat memberikan manfaat dalam pengembangan teknologi telekomunikasi di bidang antena dan propagasi khususnya terkait dengan antena *microstrip*. Selain itu, hasil tugas akhir ini diharapkan dapat dimanfaatkan sebagai pustaka penelitian selanjutnya dengan topik yang serupa.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Massive MIMO

Massive MIMO (Multiple Input Multiple Output) merupakan teknologi baru yang meningkatkan kinerja teknologi *MIMO* saat ini. Dengan teknologi *massive MIMO* kita dapat membayangkan sebuah system antenna array dengan paling tidak seratus antenna bekerja secara bersamaan dalam waktu dan frekuensi yang sama. Tujuan utama dari teknologi *massive MIMO* ini adalah untuk memperoleh seluruh keuntungan dari teknologi *MIMO* tapi dalam skala yang lebih besar [2]. *Massive MIMO* memiliki kelebihan antara lain :

1. *Massive MIMO* dapat meningkatkan kapasitas hingga 10 kali atau lebih dan juga memperbaiki radiasi efisiensi energy dalam waktu yang bersamaan
2. *Massive MIMO* dapat dibuat dengan menggunakan komponen yang murah dan membutuhkan daya yang sedikit
3. *Massive MIMO* memungkinkan pengurangan *latency* yang signifikan di udara
4. *Massive MIMO* dapat menyederhanakan *Multiple Acces Layer*
5. *Massive MIMO* dapat meningkatkan ketahanan terhadap *jamming* dan interferensi

Dengan kata lain teknologi *massive MIMO* menawarkan keuntungan yang besar dalam bidang *energy efficiency*, *spectral efficiency*, ketahanan terhadap *jamming*, dan *reliability*.

2.2. Antena

Antena merupakan sebuah perangkat yang digunakan untuk mentransmisikan atau menerima sinyal elektromagnetik dari ruang bebas atau ke ruang bebas [3]. Pada proses pengiriman sinyal elektromagnetik pasti akan melalui saluran transmisi. Saluran transmisi adalah sebuah media yang berfungsi untuk menghantarkan sinyal, jika sinyal elektromagnetik melalui saluran transmisi yang panjangnya tak berhingga maka akan timbul gelombang yang merambat secara *uniform*, sedangkan apabila saluran transmisi tersebut dalam keadaan hubung

singkat maka akan terdapat interferensi yang disebabkan oleh gelombang datang dan gelombang pantul.

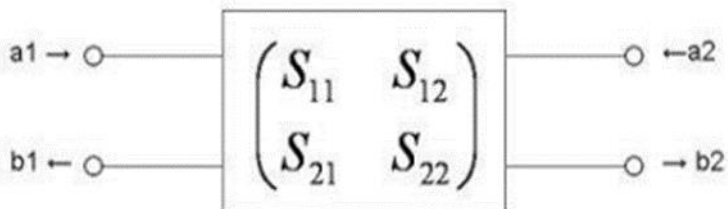
2.2.1. Parameter Antena

Parameter antena merupakan karakteristik atau ukuran yang digunakan untuk mengetahui kinerja dari suatu antena. Dalam proses perancangan desain antena penentuan parameter menjadi sangat penting agar nantinya antena dapat memenuhi kebutuhan yang diinginkan. Parameter tersebut antara lain.

2.2.1.1. Scattering Parameter (*S - Parameter*)

Scattering Parameter (*S - Parameter*) merupakan besaran yang menggambarkan hubungan antara terminal *input* dengan terminal *output* dari suatu saluran transmisi yang berkaitan dengan daya sinyal yang diteruskan dan daya sinyal yang dipantulkan [4]. *S - Parameter* biasanya digunakan untuk mengukur nilai koefisien pantul atau *return loss* dan *mutual coupling* dari suatu antena.

Konsep *S- Parameter* dalam dua terminal dapat dilihat pada Gambar 2.1



Gambar 2. 1 Konsep *S - Parameter* dalam dua terminal [4]

Keterangan :

S_{11} : perbandingan daya yang masuk dan keluar dari terminal 1

S_{12} : perbandingan daya yang masuk dari terminal 1 dan keluar ke terminal 2

S_{21} : perbandingan daya yang masuk dari terminal 2 dan keluar ke terminal 1

S_{22} : perbandingan daya yang masuk dan keluar dari terminal 2

a_1 : daya yang masuk dari terminal 1

a_2 : daya yang masuk dari terminal 2

b_1 : daya yang keluar ke terminal 1

b_2 : daya yang keluar ke terminal 2

Dari Gambar 2.1 maka didapatkan persamaan :

$$S_{11} = \frac{b_1}{a_1} \quad (2.1)$$

$$S_{12} = \frac{b_1}{a_2} \quad (2.2)$$

$$S_{21} = \frac{b_2}{a_1} \quad (2.3)$$

$$S_{22} = \frac{b_2}{a_2} \quad (2.4)$$

2.2.1.2. Koefisien Refleksi

Koefisien refleksi merupakan perbandingan antara daya yang masuk dengan daya yang dipantulkan, bisa dikatakan koefisien refleksi sama dengan S_{11} [5]. Nilai koefisien refleksi yang merupakan fungsi daya bisa diubah menjadi fungsi tegangan dengan menggunakan persamaan :

$$P = \frac{v^2}{Z_0} \quad (2.5)$$

$$\sqrt{P} = \frac{v^2}{Z_0} \quad (2.6)$$

Keterangan :

P : daya

V : tegangan

Z : impedansi karakteristik

Koefisien refleksi tegangan (Γ) merupakan perbandingan antara tegangan yang masuk (v^{0+}) dan tegangan yang dipantulkan (v^{0-}) dengan persamaan :

$$\Gamma = \frac{v^{0-}}{v^{0+}} = \frac{Z_l - Z_0}{Z_l + Z_0} \quad (2.7)$$

Keterangan :

Γ : koefisien refleksi tegangan

v^{0+} : tegangan yang masuk

v^{0-} : tegangan yang dipantulkan

Z_l : impedansi beban

Z_0 : impedansi karakteristik

Koefisien refleksi tegangan memiliki beberapa kondisi khusus antara lain :

1. $\Gamma = -1$: refleksi negatif maksimum, saluran dalam keadaan terhubung singkat
2. $\Gamma = 0$: tidak ada refleksi, saluran *match*
3. $\Gamma = 1$: refleksi positif maksimum, saluran dalam kondisi *open* atau terbuka.

2.2.1.3. Return Loss

Return loss merupakan perbandingan antara daya yang dipantulkan dengan daya yang masuk. Nilai *return loss* didapatkan dengan persamaan

$$RL \text{ (dB)} = 20 \log |\Gamma| = 10 \log \frac{P_i}{P_r} \quad (2.8)$$

Keterangan :

RL : *return loss*

Γ : koefisien refleksi tegangan

P_i : daya yang dipantulkan

P_r : daya yang masuk

Pada antena, semakin kecil *return loss* berarti semakin banyak gelombang yang diteruskan ke antena dibandingkan dengan gelombang yang dipantulkan. Suatu antena dikatakan memiliki performa yang baik apabila menghasilkan *return loss* kurang dari -10 dB pada frekuensi kerja yang diinginkan. Hal ini disebabkan pada saat *return loss* bernilai 10 dB, terdapat 10% daya dipantulkan terhadap total daya yang menuju antena.

2.2.1.4. Voltage Standing Wave Ratio (VSWR)

Voltage Standing Wave Ratio (VSWR) merupakan perbandingan antara nilai maksimum dan minimum dari *standing wave* yang diakibatkan karena adanya impedansi yang tidak *match*. VSWR menyatakan ketidaksesuaian (*mismatch*) impedansi antara antena dengan saluran transmisi. Besarnya nilai VSWR bisa didapatkan dari persamaan

$$VSWR = \frac{V_{max}}{V_{min}} = \frac{1+|\Gamma|}{1-|\Gamma|} \quad (2.9)$$

Keterangan :

VSWR : *voltage standing wave ratio*

Γ : koefisien refleksi tegangan

V_{\max} : amplitudo tegangan *standing wave* maksimum

V_{\min} : amplitudo tegangan *standing wave* minimum

VSWR memiliki rentang nilai dari 1 hingga tak berhingga. Semakin besar nilai VSWR maka kinerja antenna semakin buruk. Kondisi paling baik adalah saat VSWR bernilai 1 yang menandakan antenna dalam keadaan *match* dengan saluran transmisi sehingga tidak ada gelombang yang terpantulkan dari antenna. Batas nilai VSWR dari suatu antenna adalah 2, sehingga antenna dikatakan memiliki kinerja baik jika VSWR dibawah 2 pada frekuensi kerja yang diinginkan.

2.2.1.5. *Bandwidth*

Bandwidth merupakan rentang frekuensi dimana kinerja antenna yang dihasilkan pada rentang tersebut masih memenuhi kriteria yang diharapkan. Kriteria tersebut biasanya mengacu pada standar tertentu atau ditetapkan sesuai dengan tujuan dan kebutuhan desain antenna. *Bandwidth* memiliki tiga titik kritis utama, yaitu frekuensi atas (f_u), frekuensi tengah (f_c), dan frekuensi bawah (f_l). Frekuensi tengah (f_c) merupakan pusat frekuensi yang dijadikan sebagai acuan atau biasanya memiliki karakteristik yang paling bagus dibandingkan dengan frekuensi lainnya. Sedangkan frekuensi atas (f_u) dan frekuensi bawah (f_l) merupakan batas atas dan batas bawah frekuensi dimana karakteristik antenna yang dihasilkan masih dapat memenuhi kriteria. Misalnya pada saat menentukan *bandwidth* berdasarkan *return loss*, f_u dan f_l merupakan frekuensi di mana *return loss* yang dihasilkan bernilai -10 dB. Secara matematis, *bandwidth* dinyatakan dalam persamaan :

$$BW = f_u - f_l \quad (2.10)$$

Keterangan :

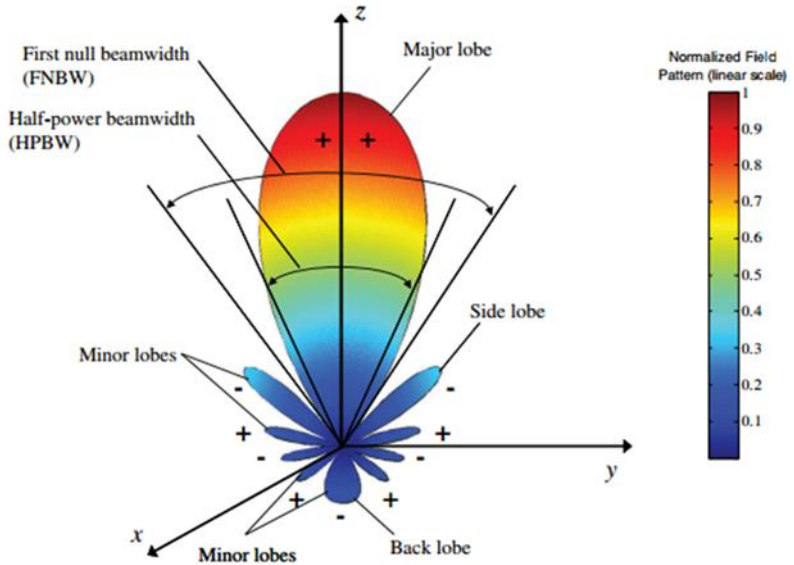
BW : *bandwidth*

f_u : batas atas frekuensi kerja

f_l : batas bawah frekuensi kerja

2.2.1.6. Pola Radiasi

Pola radiasi merupakan gambaran secara grafis karakteristik radiasi dari sebuah antena [3]. Melalui parameter ini, dapat dilihat seberapa besar tingkat radiasi dari suatu antena ke berbagai arah disekitarnya, sehingga parameter ini merupakan salah satu aspek penting yang perlu diketahui dari suatu antena. Pola radiasi dapat menyatakan sifat radiasi untuk beberapa besaran seperti polarisasi, kerapatan flux daya, *directivity*, intensitas radiasi, dan kuat medan. Namun biasanya, terdapat dua sifat yang sering dinyatakan kedalam bentuk pola radiasi, yaitu pola daya dan pola medan. Pola daya menunjukkan kerapatan kerapatan daya yang dihasilkan dari radiasi antena pada radius tertentu. Sedangkan pola medan menyatakan magnitudo kuat medan (medan magnet maupun meda listrik) yang diradiasikan oleh suatu antena. Pada umumnya suatu antena memiliki beberapa *lobe* atau *beam*. *Main lobe* adalah *lobe* yang memiliki nilai radiasi maksimum. *Lobe* selain *main lobe* dikategorikan sebagai *minor lobe*, yang umumnya memiliki nilai radiasi lebih rendah dibandingkan dengan *main lobe*. *Minor lobe* terdiri dari *side lobe* dan *back lobe*. secara umum, bentuk pola radiasi antenna dapat dilihat pada Gambar 2.2 Pola radiasi biasanya diplot dalam satuan logaritmik (dB) agar bagian yang memiliki tingkat radiasi rendah, misalnya pada bagian *minor lobe*, dapat diamati dengan detail.



Gambar 2. 2 Plot pola radiasi antenna

Berdasarkan bentuk pola radiasinya, antenna dikelompokkan menjadi dua jenis, yaitu *omnidirectional* dan *directional*. Antena *omnidirectional* menghasilkan pola radiasi yang konstan atau hampir konstan pada salah satu bidang potong. Jenis ini biasanya digunakan untuk perangkat komunikasi bergerak. Sedangkan antena *directional* memiliki pola radiasi maksimum yang cenderung mengarah pada posisi tertentu. Berdasarkan arah radiasinya antena *directional* terbagi menjadi dua jenis, yaitu jenis *broadside* dan *endfire*. Pola radiasi *broadside* memiliki radiasi maksimum yang mengarah normal (tegak lurus) terhadap bidang yang memuat antena. Sedangkan pola radiasi *endfire* menghasilkan radiasi maksimum searah dengan bidang yang memuat antena.

2.2.1.7. Gain

Gain merupakan rasio antara radiasi pada arah tertentu dengan intensitas radiasi yang dihasilkan jika daya yang masuk ke antena (daya setelah mengalami redaman atau *loss* di dalam antena) diradiasikan secara

isotropis. Perhitungan besar nilai *gain* menggunakan referensi dari daya yang telah mengalami redaman atau *loss* oleh berbagai rugi – rugi di dalam antena. Faktor *loss* ini dinyatakan dengan efisiensi radiasi (e_{cd}) dari suatu antena dengan persamaan sebagai berikut :

$$e_{cd} = e_c e_d \quad (2.11)$$

Dimana e_c merupakan efisiensi konduktansi dan e_d merupakan efisiensi dielektrik. Sehingga rumus matematis untuk mendapatkan nilai *gain* adalah :

$$G = e_{cd} D \quad (2.12)$$

Pengertian *gain* diatas merupakan pengertian *gain* yang mengacu pada standar yang diberikan oleh IEEE. Selain itu, terdapat juga nilai *realized gain*, yaitu *gain* yang diperoleh apabila melibatkan pengaruh *loss* akibat pantulan atau saluran transmisi yang tidak *match* dengan antena. Selain pengertian *gain* diatas, sering juga ditemukan istilah *relative gain*, yaitu rasio antara *gain* dari suatu antena referensi dengan *gain* pada arah tertentu. Untuk mengetahui *gain relative*, antena yang dijadikan referensi harus sudah diketahui besar gainnya [6].

2.2.1.8. Directivity

Directivity adalah rasio antara intensitas radiasi pada arah tertentu terhadap rata – rata intensitas radiasi ke segala arah. Bisa dikatakan, seberapa besar intensitas radiasi ke suatu arah tertentu terhadap arah lain dinyatakan oleh *directivity*. Besar nilai *directivity* dinyatakan dalam persamaan :

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

Dengan U merupakan intensitas radiasi pada arah yang diamati, dan P_{rad} merupakan daya total yang diradiasikan oleh antena. *Directivity* sebesar satu akan dihasilkan oleh sebuah sumber isotropik, karena daya yang diradiasikan sama besarnya ke segala arah. Pada jenis antena praktis, nilai *directivity* akan bernilai $0 \leq D \leq D_0$ (D_0 merupakan nilai *directivity* maksimum yang bisa diperoleh) karena radiasi yang dihasilkan

akan cenderung lebih lemah pada titik tertentu dan akan lebih kuat pada titik yang lain. Namun pada praktiknya, penggunaan nilai *directivity* biasanya mengacu pada nilai *directivity* pada arah dengan radiasi maksimum, sehingga nilai *directivity* akan memiliki nilai $D > 1$. *Directivity* merupakan besaran tanpa satuan, karena nilainya dihasilkan dari rasio antara dua besaran yang sejenis. Akan tetapi *directivity* juga dapat dinyatakan dalam bentuk logaritmik [7].

2.2.1.9. Polarisasi

Polarisasi dari suatu antena menyatakan bagaimana polarisasi gelombang yang di radiasikan atau yang diterima oleh suatu antena pada arah tertentu. Polarisasi gelombang dapat berubah untuk berbagai pengamatan dilihat dari pusat antena, sehingga pada arah yang berbeda, polarisasi gelombang yang dihasilkan dapat berbeda. Jika arah pengamatan tidak disebutkan, polarisasi biasanya mengacu pada arah radiasi dengan nilai maksimum. Polarisasi dapat dikategorikan menjadi tiga, yaitu polarisasi linier, sirkular, dan elips. Polarisasi linier terjadi jika vektor medan listrik pada suatu titik dari gelombang tersebut memiliki arah yang selalu sama, apabila vektor membentuk arah melingkar, maka termasuk kedalam jenis polarisasi sirkular atau elips. Hal yang membedakan antara polarisasi melingkar dengan polarisasi elips adalah magnitudo komponen vektornya, apabila magnitudo antara kedua komponen vektornya sama, maka termasuk jenis polarisasi sirkular, sedangkan jika magnitudonya berbeda maka termasuk jenis polarisasi elips. Untuk polarisasi sirkular dan elips, apabila arah pergerakannya searah dengan jarum jam, maka disebut *right-hand polarization* sedangkan kebalikannya disebut *left-hand polarization*.

2.2.1.10. Mutual Coupling

Mutual coupling merupakan salah satu performa yang menentukan kinerja dari antena *array*, dimana pada antena *array*, *mutual coupling* menyatakan seberapa besar isolasi antar masing – masing elemen. *Mutual coupling* terjadi akibat adanya pertukaran energi antara dua buah elemen antena yang diletakkan saling berdekatan, sebagai contoh, apabila kedua antena yang berdekatan tadi saling mentransmisikan energi, sebagian dari energi yang ditransmisikan tersebut akan diterima oleh antena yang lain karena karakteristik yang tidak ideal dari antena tersebut. Sebagian energi

yang diterima tadi kemudian akan dipancarkan kembali pada arah yang berbeda sehingga memungkinkan antena tersebut mempunyai karakteristik pentransmisi sekunder [7].

Pada proses mendesain antena, nilai *mutual coupling* yang diinginkan adalah sekecil mungkin, namun pada umumnya digunakan batas minimal sebesar -20 dB. Semakin besar nilai *mutual coupling*, pengaruh pencatutan suatu elemen terhadap elemen yang lain akan semakin besar dan dapat menurunkan kinerja dari antenna tersebut.

2.3. Antena Mikrostrip

Antena mikrostrip merupakan jenis antena yang tersusun dari lapisan logam dengan ketebalan yang sangat tipis yang dipisahkan terhadap *ground plane* oleh suatu substrat yang berasal dari material dielektrik. Antena mikrostrip memiliki kelebihan, antara lain :

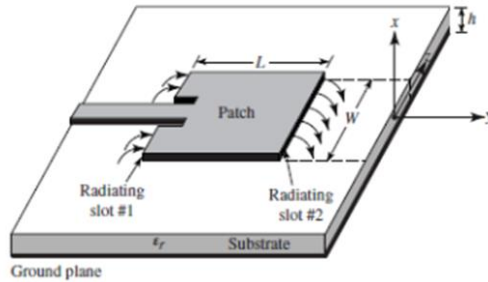
1. *Low profile* (berukuran kecil dan kompak) dan mempunyai massa yang ringan.
2. Mudah dipasang pada berbagai macam struktur baik planar maupun non planar serta lebih fleksibel untuk dimodifikasi agar mendapat performa yang diinginkan.
3. Mudah difabrikasi dan biaya produksi lebih rendah.

Akan tetapi antena mikrostrip juga memiliki beberapa kelemahan, seperti :

1. Efisiensi dan daya radiasi yang rendah.
2. *Bandwidth* frekuensi kecil.
3. *Gain* rendah.

Secara umum, antena mikrostrip terdiri dari 3 bagian, yaitu *patch*, *ground plane*, dan substrat. *Patch* terletak diatas substrat sedangkan *ground plane* terletak pada bagian paling bawah. Struktur antena mikrostrip dapat dilihat pada Gambar 2.3 *Patch* berfungsi untuk meradiasikan sinyal elektromagnetik. *Patch* terbuat dari bahan konduktor, bahan konduktor yang biasa digunakan adalah tembaga. *Patch* sendiri dapat dibuat menjadi bermacam – macam bentuk, misalnya persegi, persegi panjang, lingkaran, elips, segitiga, cincin, dan berbagai bentuk lainnya. *Ground plane* merupakan lapisan paling bawah dari

antena mikrostrip yang berfungsi untuk memantulkan sinyal yang tidak diinginkan. Substrat terletak diantara *patch* dan *ground plane* yang berfungsi untuk menyalurkan sinyal elektromagnetik dari catu daya.

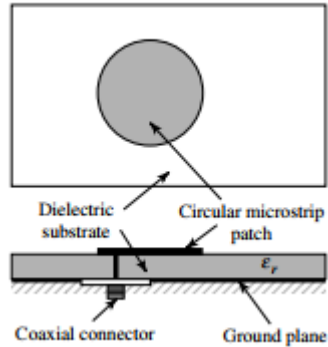


Gambar 2. 3 Struktur Antena Mikrostrip [7]

2.3.1. Pencatuan Antena Mikrostrip

Pencatuan (*feeding*) adalah saluran yang digunakan untuk menyuplai catu daya dari sumber ke antena. *Feeding* pada antena mikrostrip terbagi menjadi dua jenis, yaitu *contacting* dan *non contacting*. Jenis *contacting* yaitu dimana *feeding* bersentuhan secara fisik dengan *patch* yang meradiasi, sedangkan jenis *non contacting*, *feeding* tidak bersentuhan secara fisik dengan *patch* akan tetapi melalui proses *coupling* antara *feeding* dengan *patch*. Beberapa metode *feeding* yang sering digunakan untuk jenis *contacting* yaitu metode *coaxial probe* dan *microstrip line*, sedangkan untuk jenis *non contacting* yaitu metode *feeding aperture coupled* dan *proximity coupled*.

a. Pencatuan *Coaxial Probe*



Gambar 2. 4 Antena Mikrostrip dengan Pencatuan Coaxial Probe [7]

Pada pencatuan ini antena mikrostrip dicatu dari bawah dengan cara melubangi *ground plane* dan substrat, kemudian dipasang *connector coaxial* yang terhubung dengan *patch*, sehingga pencatuan daya terjadi dari kabel *coaxial* langsung ke *patch*. Posisi peletakan *feeding* relative terhadap *patch* akan mempengaruhi nilai impedansi input ke antena, sehingga perlu dilakukan penyesuaian agar menghasilkan impedansi yang match dengan impedansi saluran transmisi yang digunakan. Pada umumnya, impedansi input akan bernilai tinggi ketika titik *feeding* berada pada tepi *patch*, kemudian akan turun apabila *feeding* digeser ke dalam dan akan mencapai nilai minimum ketika tepat berada di tengah *patch*. Pencatuan *coaxial probe* mempunyai keunggulan kemudahannya untuk *matching impedansi*, karena dengan mengatur titik yang dijadikan lubang maka impedansi *input* dari antena dapat diubah, akan tetapi *bandwidth* yang dihasilkan lebih kecil [7].

b. Pencatuan *Microstrip Line*

Pencatuan *microstrip line* merupakan pencatuan yang paling mudah untuk diaplikasikan. Pencatuan *microstrip line* dicatu dengan cara menambahkan jalur transmisi pada *patch* sehingga pencatu daya bisa

terhubung dengan antenna. Bahan yang digunakan untuk membuat *microstrip line* adalah konduktor, biasanya sama dengan bahan yang digunakan pada *patch*.

2.3.2. Antena mikrostrip *Rectangular Patch*

Antena mikrostrip *rectangular patch* merupakan jenis antena mikrostrip yang paling banyak digunakan, hal ini dikarenakan jenis antena ini lebih mudah untuk dianalisis. Antena mikrostrip *rectangular patch* terdiri dari tebal (h) dan lebar (W) yang terbentang sepanjang (L).

a. Dimensi Antena Mikrostrip *Rectangular Patch*

Dalam proses mendesain antena mikrostrip *rectangular patch* parameter yang perlu diketahui adalah dimensi panjang (L) dan lebar (W). Untuk mendapatkan dimensi panjang (L) dan lebar (W) bisa digunakan persamaan :

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

$$L = L_{eff} - 2\Delta L \quad (2.15)$$

$$L_{eff} = \frac{c}{2f_0 \sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (2.16)$$

$$\Delta L = 0.412h \frac{(\epsilon_{eff} + 0.3) + \left(\frac{W}{h} + 0.264\right)}{(\epsilon_{eff} - 0.258) \left(\frac{W}{h} + 0.8\right)} \quad (2.17)$$

Keterangan :

- f_r : frekuensi resonansi atau frekuensi kerja antena
- c : kecepatan cahaya ($3 \cdot 10^9$ m/s)
- h : ketebalan substrat

Sedangkan untuk panjang dan lebar *ground plane* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$L_g = xh + L \quad (2.18)$$

$$W_g = xh + W \quad (2.19)$$

Keterangan :

L_g : panjang *ground plane*

W_g : lebar *ground plane* dan substrat

x : faktor pengali dengan nilai ≥ 6

b. Koordinat Pencatuan *Coaxial Probe* pada Antena Mikrostrip *Rectangular Patch*

Pada pencatuan (*feeding*) jenis *coaxial probe* titik atau koordinat pencatuan antena sangat mempengaruhi kinerja dari antena, oleh karena itu koordinat pencatuan antena dapat dihitung menggunakan persamaan [8]:

$$\varepsilon_{reff} = \frac{(\varepsilon_r+1)}{2} + \frac{(\varepsilon_r-1)}{2} \left[1 + 12 \frac{h}{W}\right]^{-\frac{1}{2}} \quad (2.20)$$

$$X_f = \frac{L}{2\sqrt{\varepsilon_{reff}}} \quad (2.21)$$

$$Y_f = \frac{W}{2} \quad (2.22)$$

Dimana :

ε_{reff} : konstanta dielektrik efektif

ε_r : konstanta dielektrik subtract

h : ketebalan substrat

W : Lebar patch

X_f : Koordinat pencatuan sisi panjang

Y_f : Koordinat pencatuan sisi lebar

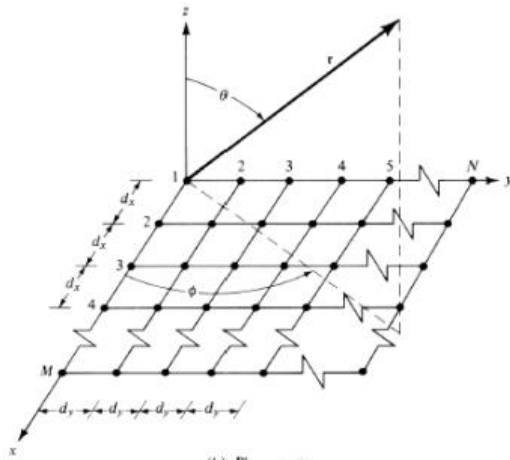
2.4. Antena Array

Penyusunan beberapa antena yang saling berdekatan akan menghasilkan pola radiasi yang lebih terarah. Beberapa antena dapat diukur dalam jarak tertentu dan dihubungkan satu sama lain untuk membentuk suatu pola radiasi yang diinginkan, konfigurasi ini disebut dengan konfigurasi *array*. Konfigurasi elemen dari antena *array* dapat disusun dalam berbagai bentuk. Untuk konfigurasi yang berbentuk suatu garis lurus disebut antena *array linier*, konfigurasi yang berbentuk bidang datar disebut *array planar*, dan konfigurasi yang berbentuk lingkaran disebut *circular array*. Sedangkan jenis *array* yang lain adalah *conformal array*, dimana elemen – elemennya terletak pada bidang tak datar.

Faktor *array* dari suatu antena *array* selain dipengaruhi oleh konfigurasi elemen yang digunakan, juga dipengaruhi oleh jumlah dan jarak elemen, serta amplitude eksitasi dan fasa relatif pada setiap elemennya.

2.4.1. Antena Array Planar

Array planar adalah rangkaian dari beberapa antena yang tersusun pada kolom dan baris yang berbentuk persegi (dua dimensi) dan terdistribusi pada bidang datar. Misalkan suatu antena *array planar* berdimensi $M \times N$ elemen terletak pada bidang x - y , maka elemen – elemen dari array tersebut tersusun secara teratur dan berderet sepanjang sumbu x dan sumbu y dengan jarak antar elemen berdekatan pada sumbu x dan sumbu y yang berturut – turut dinyatakan oleh dx dan dy . Arah θ diukur pada bidang x - y . Selanjutnya θ disebut dengan sudut elevasi dan ϕ disebut dengan sudut azimuth. Geometri antena *array planar* ditunjukkan pada Gambar 2.5



Gambar 2. 5 Geometri Antena Array Planar

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 3

PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI

3.1. Alur Perancangan

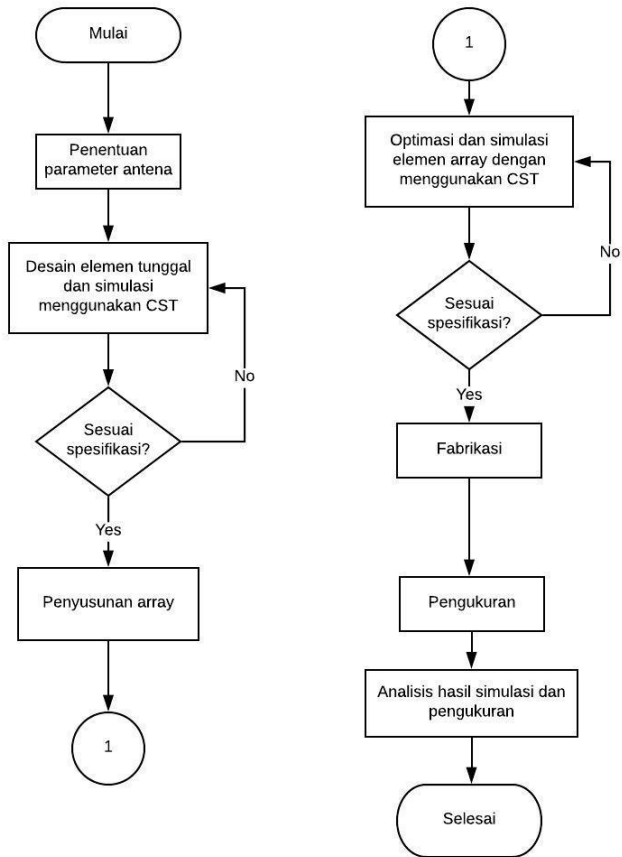
Pada bab ini akan menjelaskan tentang proses perancangan antenna yang terdiri dari perancangan elemen antenna *microstrip array* (antenna mikrostrip) dan perancangan antenna *microstrip array*. Alur dari proses perancangan antenna *microstrip array* dapat dilihat pada Gambar 3.1

Proses perancangan antenna dimulai dengan menentukan parameter kinerja antenna yang diinginkan. Setelah menentukan parameter kinerja antenna, langkah selanjutnya adalah melakukan desain antenna mikrostrip, dan dilanjutkan dengan perancangan antenna *microstrip array*.

Pada tahap perancangan antenna terbagi menjadi dua tahap, yaitu perancangan antenna mikrostrip untuk elemen antenna *microstrip array* dan perancangan antenna *microstrip array*. Pada tahap perancangan elemen antenna *microstrip array* dilakukan proses desain dan simulasi untuk dilihat kinerja dari antenna yang dirancang, jika hasil simulasi belum memenuhi parameter kinerja yang diinginkan maka perlu dilakukan optimasi hingga didapatkan hasil yang sudah mendekati atau memenuhi parameter kinerja yang diinginkan. Setelah didapatkan desain elemen antenna *microstrip array* yang memenuhi parameter kinerja yang diinginkan, langkah selanjutnya adalah melakukan perancangan antenna *microstrip array* yang dirancang dari hasil elemen antenna *microstrip array* yang didapat dari tahap sebelumnya. Setelah desain elemen antenna *microstrip array* dirancang menjadi antenna *microstrip array* perlu dilakukan simulasi kembali untuk melihat kinerja dari antenna tersebut, jika kinerja antenna masih belum memenuhi parameter kinerja yang diinginkan maka perlu dilakukan optimasi hingga didapatkan hasil yang memenuhi parameter kinerja yang diinginkan.

Tahapan selanjutnya adalah fabrikasi dan dilanjutkan dengan pengukuran kinerja antenna *microstrip array* untuk melihat kinerja antenna yang sesungguhnya. Data hasil pengukuran kemudian akan dibandingkan dengan data hasil simulasi dan dianalisis.

Tahapan terakhir adalah pembuatan laporan penelitian tugas akhir berdasarkan data – data yang telah diperoleh.



Gambar 3. 1 Diagram Alir Perancangan

3.2. Penentuan Spesifikasi Antena Mikrostrip

Dalam penentuan spesifikasi antena mikrostrip perlu diperhatikan kebutuhan dari antena tersebut, dalam hal ini karena antena mikrostrip didesain untuk kebutuhan *massive MIMO*, maka antena perlu memenuhi standar dari *massive MIMO* tersebut, akan tetapi hingga saat ini teknologi *massive MIMO* sendiri masih dalam tahap pengembangan sehingga masih belum ada standar yang pasti [11]. Oleh karena itu dalam penentuan spesifikasi antena mikrostrip ini penulis merujuk pada referensi [12] dan referensi [1]. Perancangan antena mikrostrip diharapkan memiliki parameter – parameter utama seperti yang terdapat dalam Tabel 3.1 Spesifikasi ini telah ditetapkan terlebih dahulu sebelum kemudian dirancang desainnya dan disimulasikan untuk dilihat kinerja dari antena tersebut.

Tabel 3. 1 Parameter Antena Mikrostrip yang Diinginkan

Spesifikasi Antena	Keterangan
Bentuk <i>Patch</i> Antena	<i>Rectangular</i> dan <i>Cross</i>
Frekuensi Kerja	2.4 Ghz dan 5.4 Ghz
<i>Bandwidth</i>	> 40 Mhz dan > 160 Mhz
<i>Return Loss</i>	< -10 dB
VSWR	< 2
Metode <i>Feeding</i>	<i>Probe Feeding</i>
<i>Mutual Coupling</i>	< -20 dB

Setelah parameter - parameter ditetapkan, langkah berikutnya adalah menentukan bahan yang akan digunakan untuk pembuatan antena. Bahan yang dipilih untuk membuat antena tersebut adalah *FR-4 Epoxy*, karena selain harganya yang relatif murah, bahan *FR-4 Epoxy* mudah didapatkan dan sering digunakan dalam proses pembuatan antena mikrostrip. Spesifikasi *FR-4 Epoxy* dapat dilihat pada Tabel 3.2

Tabel 3. 2 Spesifikasi FR4 Epoxy yang Digunakan

Karakteristik	Nilai	Satuan
Koefisien Dielektrik	4.3	-
Koefisien Permeabilitas	1	-

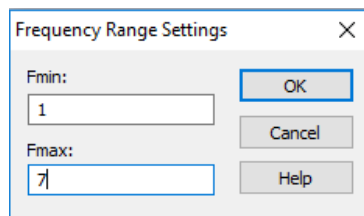
Rugi – rugi Tangent Dielektrik	0.025	-
Frekuensi	$1.10^9 - 9.10^9$	Hz
Kerapatan Massa	1900	Kg/m ³
Ketebalan Konduktor (tembaga)	0.035	mm
Ketebalan Substrat	1.6	mm

3.3. Pengaturan Simulasi Antena

Pada subbab ini akan dijelaskan penggunaan *tools* beberapa konfigurasi yang diperlukan selama proses desain dan simulasi pada *software CST Microwave Studio 2017*. Konfigurasi ini berfungsi untuk menetapkan batasan – batasan bagi *software* dalam melakukan simulasi dan meningkatkan keakuratan dari hasil simulasi.

3.3.1. Frequency Range

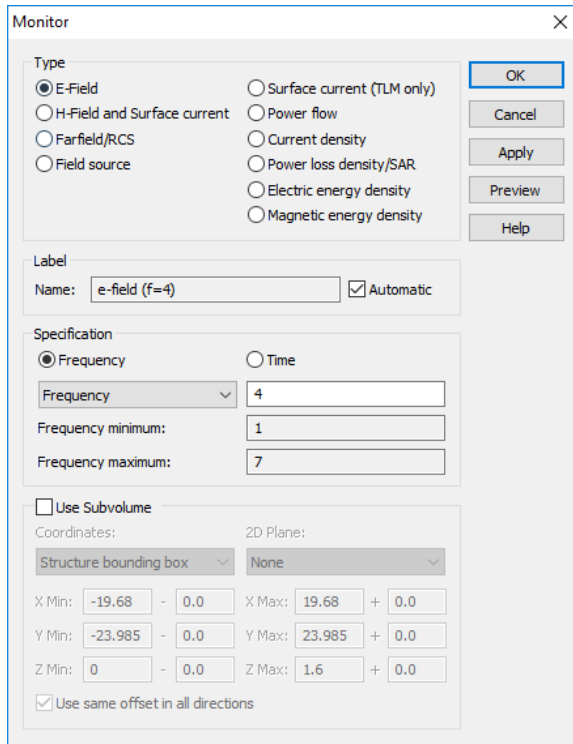
Frequency range berfungsi untuk memberikan batasan frekuensi di mana simulasi akan dilakukan. Dalam menentukan batas atas dan batas bawah frekuensi, sebaiknya selisih batas atas dan batas bawah tidak terlalu besar karena semakin besar *range* frekuensi yang disimulasikan maka, proses simulasi akan menjadi lebih lama dikarenakan mesh cells akan semakin banyak dan semakin banyak mesh cells maka akan semakin banyak pula yang harus dihitung oleh computer. Karena antena didesain untuk bekerja pada frekuensi 2.4 Ghz dan 5.4 Ghz, maka rentang frekuensi yang digunakan adalah 1 Ghz untuk frekuensi bawah dan 7 Ghz untuk frekuensi atas.



Gambar 3. 2 Tampilan Frequency Range Setting pada CST Microwave Studio 2017

3.3.2. Field Monitors

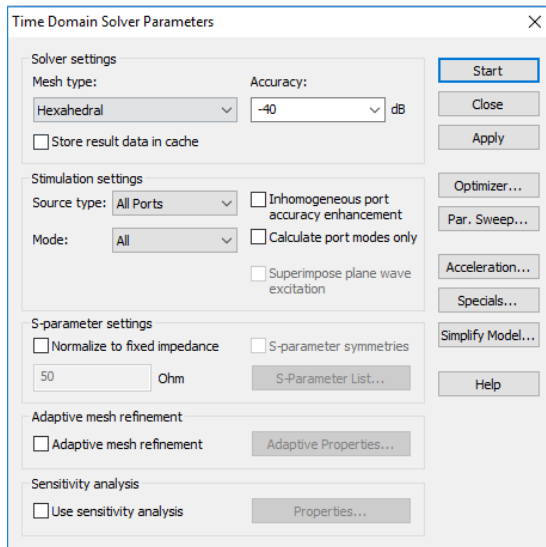
Field Monitors digunakan untuk mengetahui distribusi medan elektromagnetik yang terdapat pada antenna yang disimulasikan. Pada *tools* ini kita dapat melihat distribusi medan elektromagnetik pada frekuensi tertentu dengan memasukkan nilai frekuensi yang ingin diamati. Misalnya untuk melihat distribusi medan elektromagnetik pada frekuensi kerja antenna yang didesain maka perlu kita masukkan nilai pada frekuensi 2.4 Ghz dan 5.4 Ghz.



Gambar 3.3 Tampilan Field Monitors pada CST Microwave Studio 2017

3.3.3. Setup Solver – Time Domain Solver

Solver merupakan modul yang mengatur bagaimana simulasi dilakukan. Dalam proses perancangan antenna mikrostrip ini, digunakan tipe *Time Domain Solver*. Tipe *solver* ini cocok digunakan untuk simulasi antenna yang berukuran sedang hingga besar, mengingat antenna mikrostrip ini nantinya akan dibuat antenna *array* yang akan membuat ukuran antenna menjadi lebih besar maka perlu digunakan tipe *Time Domain Solver* dalam proses simulasi. Pada *tools* ini terdapat berbagai konfigurasi seperti, *Accuracy*, *Source type*, *Normalize to fixed impedance*, dan lain – lain. Pada konfigurasi *accuracy*, dapat diatur seberapa besar step yang harus dilakukan hingga simulasi dirasa cukup. Semakin kecil nilainya, hasil simulasi akan semakin akurat, akan tetapi simulasi akan menjadi lebih lama. Kemudian pada *Source type* terdapat konfigurasi *All Ports*, pada bagian ini menandakan port mana saja yang akan disimulasikan, jika diisikan *All Ports* berarti semua *port* yang ada dalam antenna akan disimulasikan [9].



Gambar 3. 4 Tampilan Setup Solver – Time Domain Solver pada CST Microwave Studio 2017

3.4. Perancangan dan Simulasi Elemen Tunggal Antena Mikrostrip

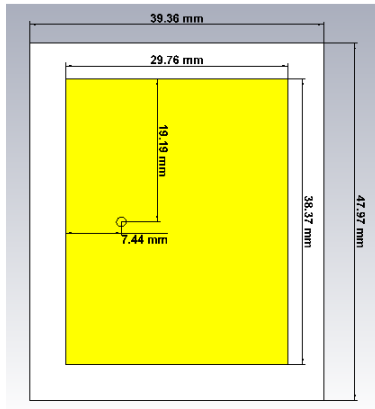
Perancangan desain dan dimensi antena dilakukan berdasarkan perhitungan dari beberapa persamaan matematis yang telah disebutkan pada subbab 2.2.2. serta disesuaikan dengan spesifikasi material yang telah ditetapkan.

3.4.1. Perancangan Antena Mikrostrip 2.4 Ghz

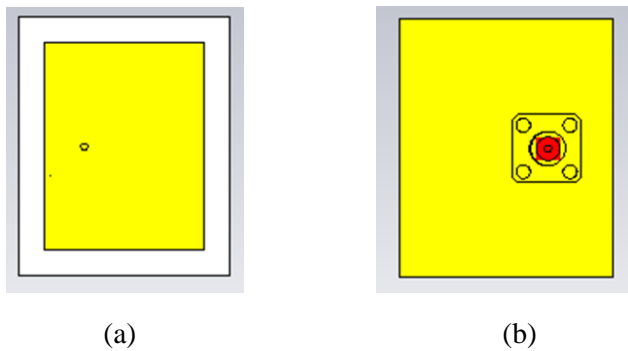
Desain antena mikrostrip dari hasil perhitungan nantinya akan disimulasikan untuk dilihat kinerja dari antena tersebut. Hasil perhitungan matematis yang didapatkan dari persamaan 2.14 sampai 2.22 terdapat pada Tabel 3.3 dan desain antena dari perhitungan matematis dapat dilihat pada Gambar 3.5 sedangkan hasil simulasi dapat dilihat pada Gambar 3.7 dan Gambar 3.8.

Tabel 3. 3 Dimensi Antena Hasil Perhitungan

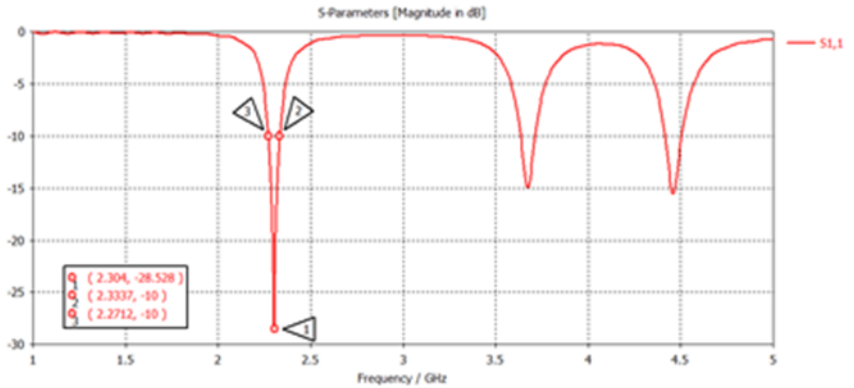
Parameter	Simbol	Nilai (mm)
Lebar <i>Patch</i>	W_p	38.37
Panjang <i>Patch</i>	L_p	29.76
Lebar <i>Ground Plane</i>	W_g	47.97
Panjang <i>Ground Plane</i>	L_g	39.36
Koordinat Pencatuan (Panjang)	x	7.44
Koordinat Pencatuan (Lebar)	y	19.19



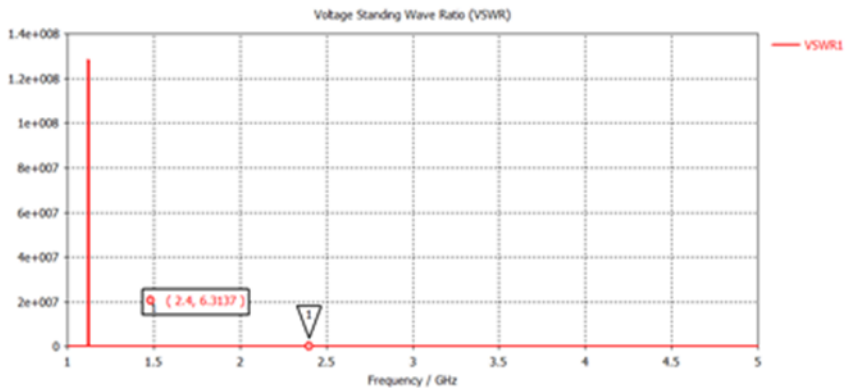
Gambar 3. 5 Geometri Antena Mikrostrip 2.4 Ghz



Gambar 3. 6 Desain Antena Mikrostrip 2.4 Ghz Hasil Perhitungan (a) Tampak Depan (b) Tampak Belakang



Gambar 3. 7 Hasil Simulasi S-Parameter Antena Mikrostrip 2.4 Ghz



Gambar 3. 8 Hasil Simulasi VSWR Antena Mikrostrip 2.4 Ghz

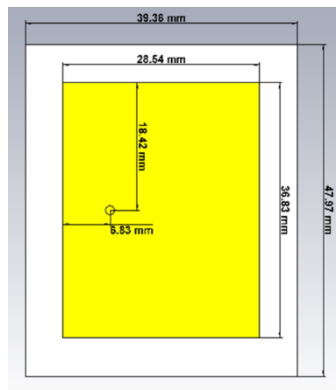
Dari hasil simulasi seperti yang dapat dilihat pada Gambar 3.7 dan Gambar 3.8 didapatkan nilai S_{11} sebesar -28.528 dB pada frekuensi 2.304 Ghz dan VSWR sebesar 6.3137. Dari hasil simulasi tersebut didapatkan kinerja dari antenna hasil perhitungan masih belum sesuai dengan kinerja antenna yang diinginkan karena nilai VSWR masih lebih besar dari 2, maka diperlukan optimasi untuk mendapatkan kinerja antenna yang diinginkan.

3.4.2. Optimasi Antena Mikrostrip 2.4 Ghz

Dalam proses perancangan sebuah antena tentunya dibutuhkan sebuah optimasi untuk mendapatkan kinerja yang diinginkan. Optimasi desain antena dapat dilakukan dengan mengubah parameter - parameter antena. Dari hasil optimasi didapatkan dimensi antena seperti yang tertera pada Tabel 3.4

Tabel 3. 4 Dimensi Antena 2.4 Ghz Hasil Optimasi

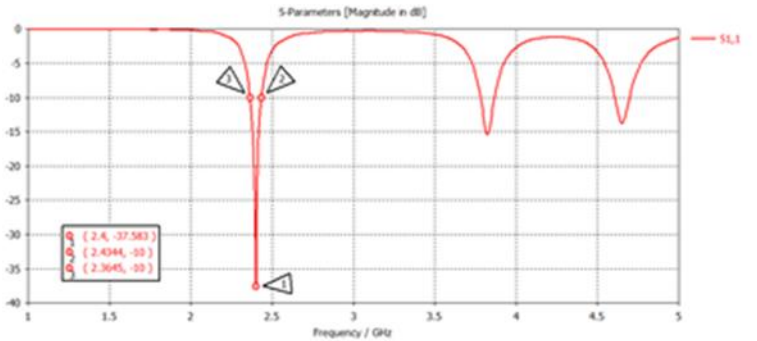
Parameter	Simbol	Nilai (mm)
Lebar <i>Patch</i>	Wp	36.83
Panjang <i>Patch</i>	Lp	28.54
Lebar <i>Ground Plane</i>	Wg	47.97
Panjang <i>Ground Plane</i>	Lg	39.36
Koordinat Pencatuan (Panjang)	x	6.83
Koordinat Pencatuan (Lebar)	y	18.42



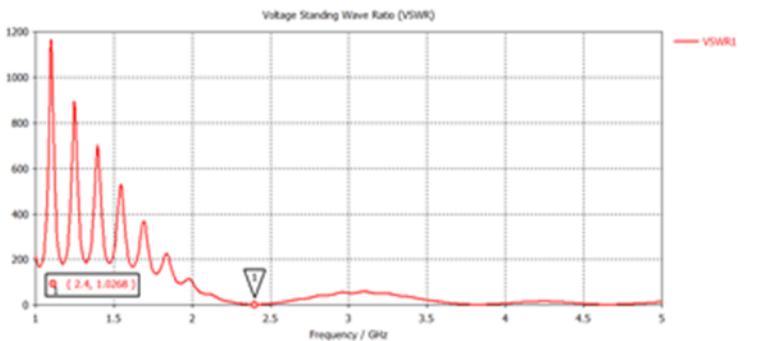
Gambar 3. 9 Geometri Antena Mikrostrip 2.4 Ghz Setelah Optimasi

Dari hasil optimasi dengan mengubah parameter – parameter tertentu, dalam hal ini parameter - parameter yang diubah adalah panjang dan lebar dari *Patch* antena dan koordinat *feeding* diharapkan dapat diperoleh sebuah desain antena yang dapat memenuhi kinerja yang diharapkan.

Hasil simulasi dari antenna yang telah dioptimasi dapat dilihat pada Gambar 3.10 dan 3.11.



Gambar 3. 10 Hasil Simulasi S-Parameter Antena Mikrostrip 2.4 Ghz Setelah Optimasi



Gambar 3. 11 Hasil Simulasi VSWR Antena Mikrostrip 2.4 Ghz Setelah Optimasi

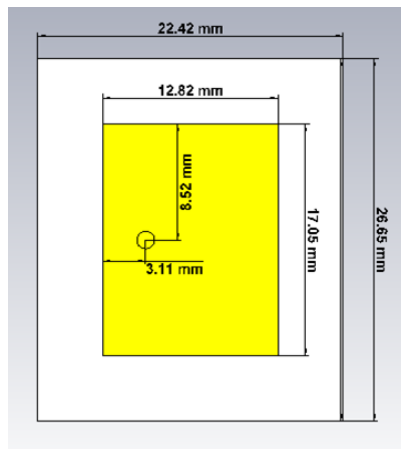
Dari Hasil simulasi setelah dilakukan optimasi didapatkan nilai S11 sebesar -37.583 dB pada frekuensi 2.4 Ghz dan VSWR sebesar 1.0268. Dapat dilihat bahwa hasil simulasi dari antenna yang sudah di optimasi sudah memenuhi kinerja yang diharapkan.

3.4.3. Perancangan Antena Mikrostrip 5.4 Ghz

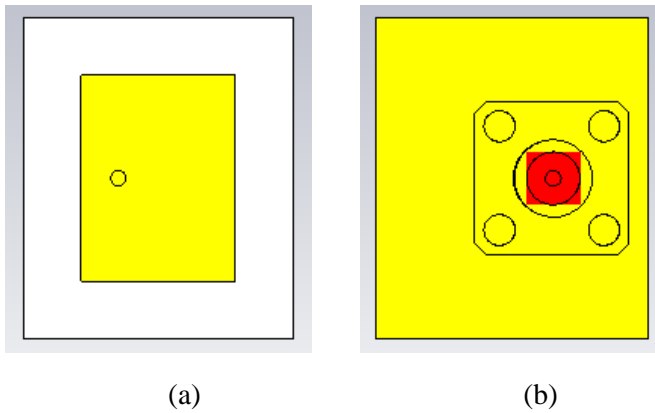
Sama halnya dengan antena mikrostrip 2.4 Ghz, desain antena mikrostrip 5.4 Ghz dari hasil perhitungan akan disimulasikan untuk dilihat kinerja dari antena tersebut dan jika masih belum memenuhi kinerja yang diinginkan maka perlu dilakukan optimasi. Hasil perhitungan matematis untuk antena mikrostrip 5.4 Ghz terdapat pada Tabel 3.5 dan desain antena dari perhitungan matematis dapat dilihat pada Gambar 3.12 dan 3.13 sedangkan untuk hasil simulasi dapat dilihat pada Gambar 3.14 dan 3.15

Tabel 3. 5 Dimensi Antena 5.4 Ghz Hasil Perhitungan

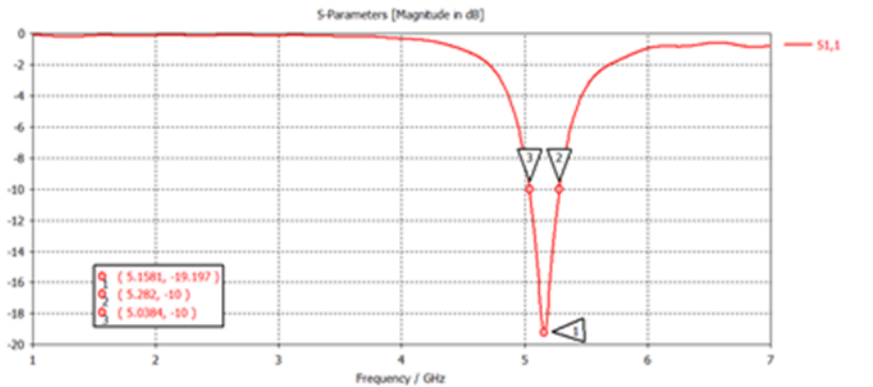
Parameter	Simbol	Nilai (mm)
Lebar <i>Patch</i>	W_p	17.05
Panjang <i>Patch</i>	L_p	12.82
Lebar <i>Ground Plane</i>	W_g	26.65
Panjang <i>Ground Plane</i>	L_g	22.42
Koordinat Pencatuan (Panjang)	x	3.11
Koordinat Pencatuan (Lebar)	y	8.52



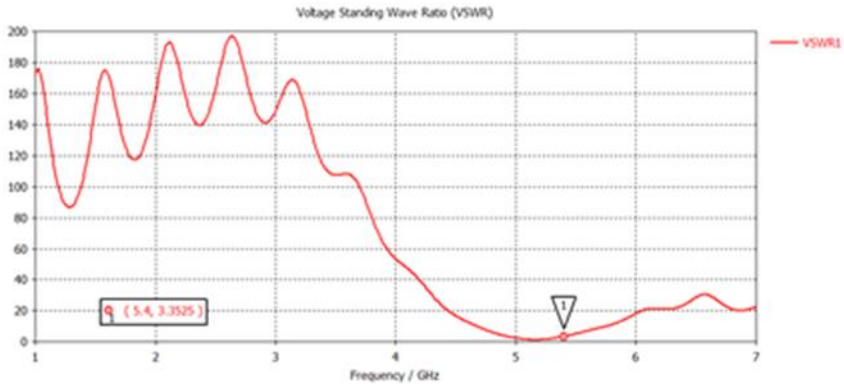
Gambar 3. 12 Geometri Antena Mikrostrip 5.4 Ghz



Gambar 3. 13 Desain Antena Mikrostrip 5.4 Ghz Hasil Perhitungan (a) Tampak Depan (b) Tampak Belakang



Gambar 3. 14 Hasil Simulasi S-Parameter Antena Mikrostrip 5.4 Ghz



Gambar 3. 15 Hasil Simulasi VSWR Antena Mikrostrip 5.4 Ghz

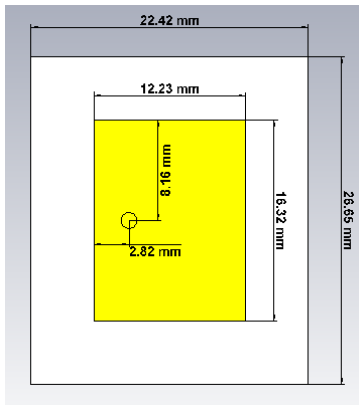
Dari hasil simulasi untuk antena mikrostrip 5.4 Ghz ternyata masih belum memenuhi kinerja yang diinginkan karena nilai S11 yang didapatkan adalah sebesar -19.197 dB pada frekuensi 5.1581 Ghz dan VSWR sebesar 3.3535, maka antena mikrostrip 5.4 Ghz juga perlu dioptimasi.

3.4.4. Optimasi Antena Mikrostrip 5.4 Ghz

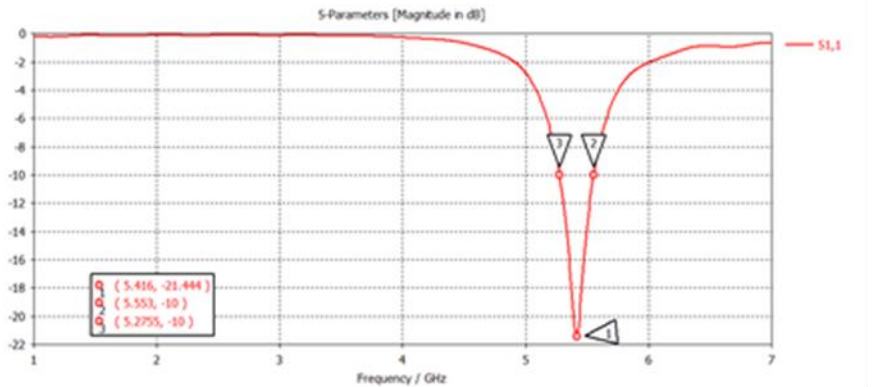
. Pada proses optimasi antena mikrostrip 5.4 Ghz optimasi dilakukan dengan mengubah parameter – parameter seperti panjang dan lebar dari *patch* dan juga koordinat *feeding* dari antena mikrostrip 5.4 Ghz, baik itu koordinat panjang maupun koordinat lebar. Dari hasil optimasi didapatkan dimensi antena seperti yang tertera pada Tabel 3.6 sedangkan untuk hasil simulasi dari antena mikrostrip 5.4 Ghz yang sudah dioptimasi dapat dilihat pada Gambar 3.17 dan 3.18.

Tabel 3. 6 Dimensi Antena 5.4 Ghz Hasil Optimasi

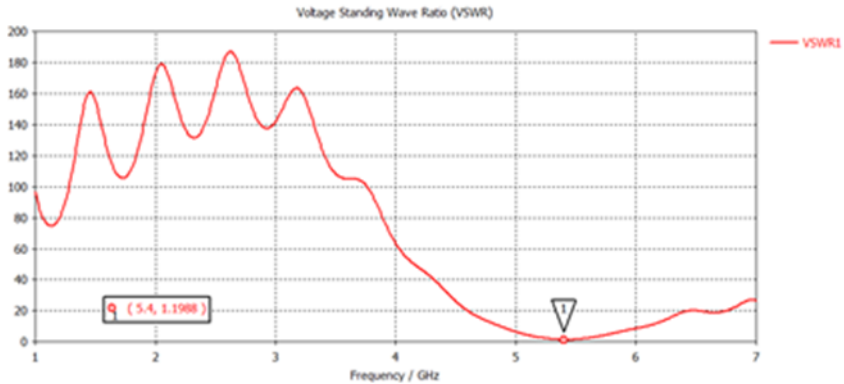
Parameter	Simbol	Nilai (mm)
Lebar <i>Patch</i>	Wp	16.32
Panjang <i>Patch</i>	Lp	12.23
Lebar <i>Ground Plane</i>	Wg	26.65
Panjang <i>Ground Plane</i>	Lg	22.42
Koordinat Pencatuan (Panjang)	x	2.82
Koordinat Pencatuan (Lebar)	y	8.16



Gambar 3. 16 Geometri Antena Mikrostrip 5.4 Ghz Setelah Optimasi



Gambar 3. 17 Hasil Simulasi S-Parameter Antena Mikrostrip 5.4 Ghz Setelah Optimasi



Gambar 3. 18 Hasil Simulasi VSWR Antena Mikrostrip 5.4 Ghz Setelah Optimasi

Dari hasil simulasi seperti yang dapat dilihat pada Gambar 4.7 dan 4.8 Didapat kinerja antenna setelah optimasi sudah mendekati kinerja yang diharapkan, karena nilai S11 didapatkan sebesar -21.444 dB pada frekuensi 5.416 Ghz dan VSWR sebesar 1.1988.

3.4.5. Perancangan Antena Cross 2.4 Ghz

Setelah didapatkan desain antenna mikrostrip 2.4 Ghz yang memenuhi kinerja yang diinginkan langkah selanjutnya adalah membuat antenna berbentuk *cross* dari antenna mikrostrip 2.4 Ghz dengan cara membuat antenna *dummy* berbentuk *rectangular* yang kemudian diletakkan di ujung - ujung antenna mikrostrip 2.4 Ghz dan setelah itu antenna mikrostrip 2.4 Ghz akan dikurangkan (*subtract*) dengan antenna *dummy* hingga menyisakan panjang dan lebar sebesar L_d dan W_d . Untuk mendapatkan desain yang sesuai, pada tahap ini dicoba beberapa desain antenna mikrostrip yang diperoleh dari berbagai *paper* referensi. Dalam pengerjaan tugas akhir ini, terdapat dua jenis antenna yang dicoba dan disimulasikan untuk dijadikan referensi dalam pembuatan antenna *cross* pada frekuensi kerja 2.4 Ghz.

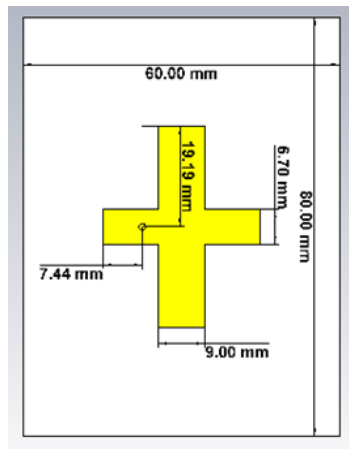
3.4.5.1 Antena Jenis 1

Antena jenis 1 ini diadopsi dari referensi [1] dengan beberapa perubahan, salah satunya adalah jenis substrat yang digunakan diubah

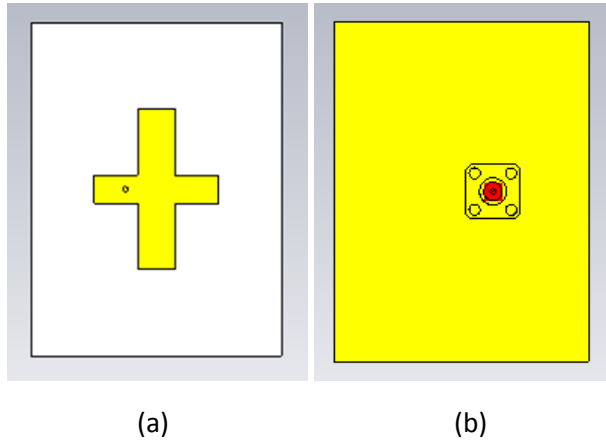
menjadi *FR-4 Epoxy*. Parameter antenna dan keterangan dari desain antenna ini dapat dilihat pada Tabel 3.7 dan untuk desain antenna jenis 1 dapat dilihat pada Gambar 3.19 sedangkan hasil simulasi dapat dilihat pada Gambar 3.21 dan 3.22.

Tabel 3. 7 Dimensi Antena Cross Jenis 1

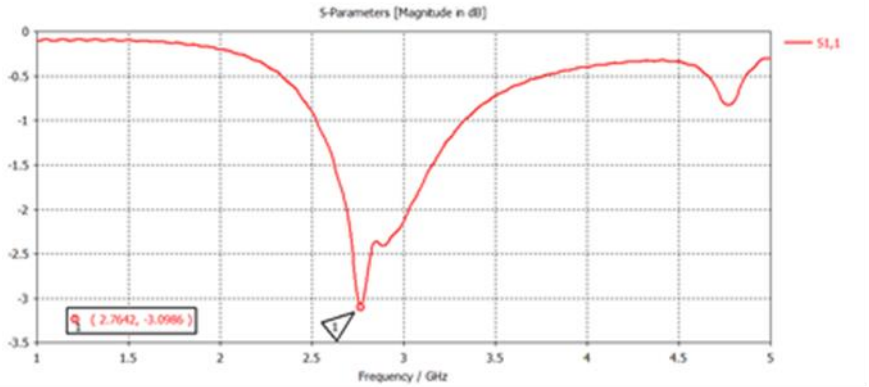
Parameter	Simbol	Nilai (mm)
Panjang <i>Patch</i> Sisa	Ld	9
Lebar <i>Patch</i> Sisa	Wd	6.7
Panjang <i>Ground Plane</i>	Lg	60
Lebar <i>Ground Plane</i>	Wg	80
Koordinat Pencatuan (Panjang)	x	7.44
Koordinat Pencatuan (Lebar)	y	19.19



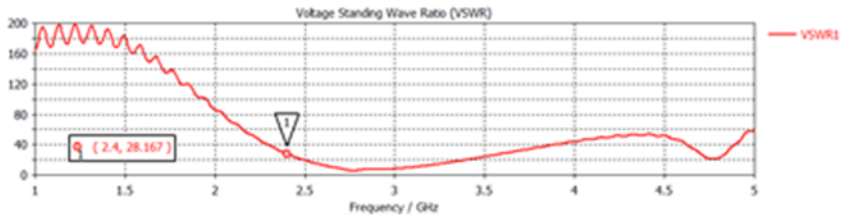
Gambar 3. 19 Geometri Antena Mikrostrip Cross 2.4 Ghz, Jenis 1



Gambar 3. 20 Desain Antena Mikrostrip Cross 2.4 Ghz Jenis 1 (a) Tampak Depan (b) Tampak Belakang



Gambar 3. 21 Hasil Simulasi S-Parameter Antena Cross 2.4 Ghz Jenis 1



Gambar 3. 22 Hasil Simulasi VSWR Antena Cross 2.4 Ghz Jenis 1

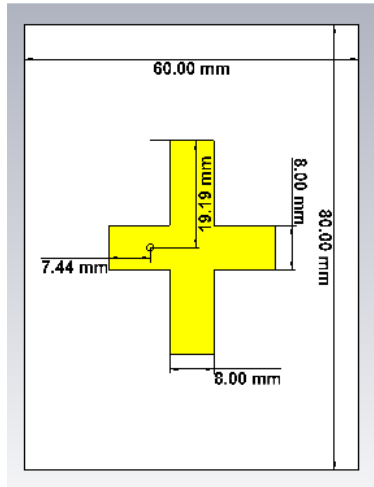
Dari hasil simulasi didapatkan kinerja dari antenna jenis 1 ini masih belum memenuhi kinerja yang diharapkan karena nilai S11 yang bernilai -3.0986 dB pada frekuensi 2.7642 Ghz dan nilai VSWR sebesar 28.167, oleh karena itu hasil simulasi antenna *cross* 2.4 Ghz jenis 1 ini masih belum memenuhi kinerja yang diharapkan.

3.4.5.2 Antena Jenis 2

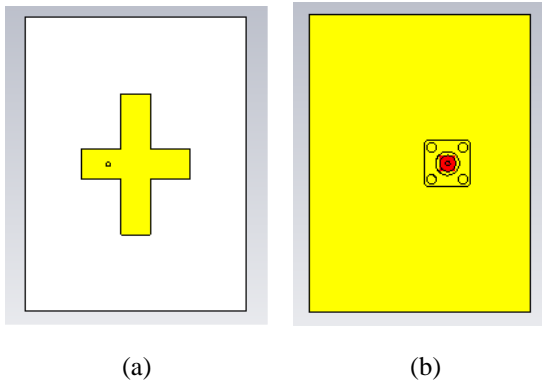
Antena jenis 2 ini diadopsi dari referensi [10] dengan beberapa perubahan, salah satunya adalah jenis substrat yang digunakan diubah menjadi *FR-4 Epoxy*. Parameter antenna dan keterangan dari desain antenna ini dapat dilihat pada Tabel 3.8 dan untuk desain antenna jenis 2 dapat dilihat pada Gambar 3.23 sedangkan hasil simulasi dapat dilihat pada Gambar 3.25 dan 3.26.

Tabel 3. 8 Dimensi Antena Cross Jenis 2

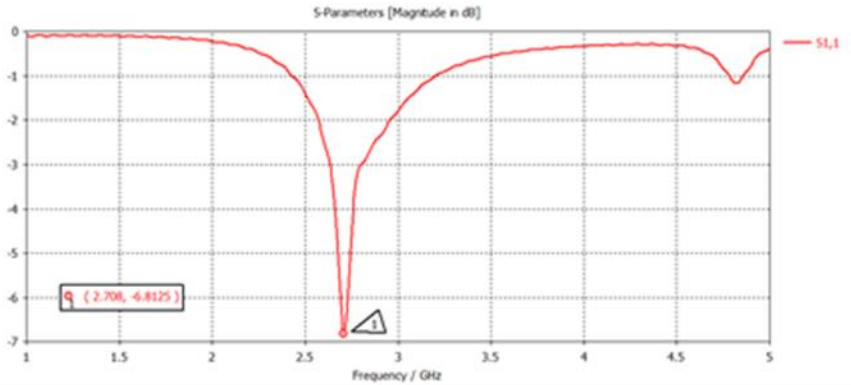
Parameter	Symbol	Nilai (mm)
Panjang <i>Patch</i> Sisa	Ld	8
Lebar <i>Patch</i> Sisa	Wd	8
Panjang <i>Ground Plane</i>	Lg	60
Lebar <i>Ground Plane</i>	Wg	80
Koordinat Pencatuan (Panjang)	x	7.44
Koordinat Pencatuan (Lebar)	y	19.19



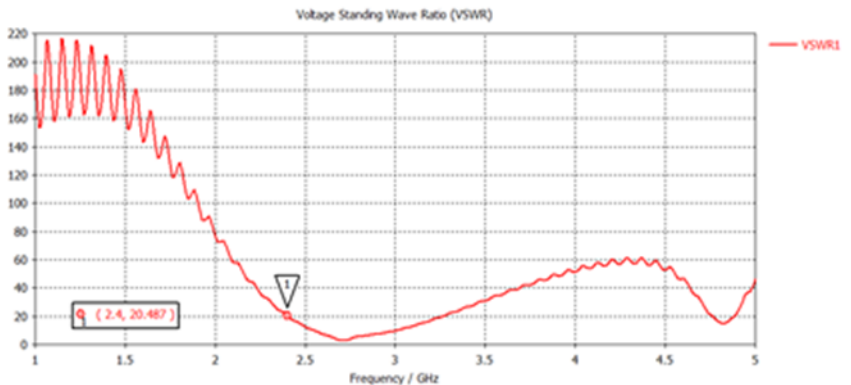
Gambar 3. 23 Geometri Antena Mikrostrip Cross 2.4 Ghz Jenis 2



Gambar 3. 24 Desain Antena Mikrostrip Cross 2.4 Ghz Jenis 2 (a) Tampak Depan (b) Tampak Belakang



Gambar 3. 25 Hasil Simulasi S-Parameter Antena Cross 2.4 Ghz Jenis 2



Gambar 3. 26 Hasil Simulasi VSWR Antena Cross 2.4 Ghz Jenis 2

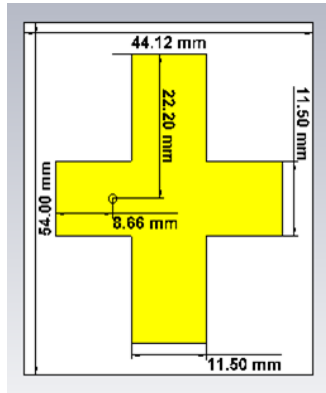
Dari hasil simulasi didapatkan kinerja dari antena 2 masih belum memenuhi kinerja yang diharapkan, karena nilai S11 yang didapatkan sebesar -6.8125 dB pada frekuensi 2.708 GHz dan VSWR sebesar 20.487 masih belum memenuhi kinerja yang diharapkan, akan tetapi pada jenis antena 2 ini kinerja dari antenanya lebih baik itu dilihat dari hasil simulasi *return loss* dan VSWR, sehingga dari jenis antena 2 ini dapat dijadikan referensi dan dioptimasi untuk dapat memenuhi kinerja yang diharapkan.

3.4.6. Optimasi Antena Cross 2.4 Ghz

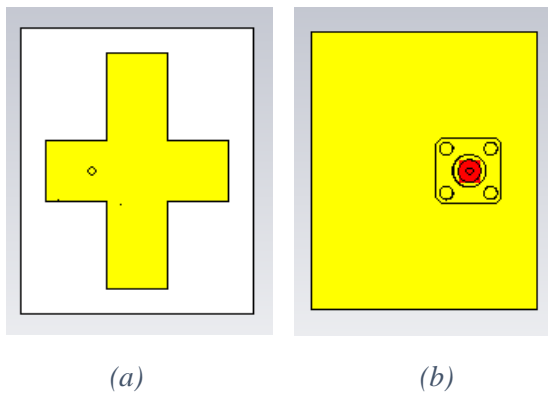
Pada proses optimasi antena *cross* 2.4 Ghz sebelum optimasi dilakukan perlu ditentukan terlebih dahulu antena mana yang akan dioptimasi, dalam penentuan jenis antena mana yang akan dioptimasi cukup dengan membandingkan hasil simulasi dari kedua jenis antena, antena yang akan dioptimasi adalah antena dengan hasil simulasi yang lebih baik. Setelah membandingkan hasil simulasi dari kedua jenis antena dan didapatkan jenis antena dengan hasil simulasi yang lebih baik maka optimasi dapat dilakukan dengan mengubah parameter – parameter antena, dalam hal ini parameter – parameter yang dirubah adalah nilai dari Ld dan Wd. Selain parameter Ld dan Wd beberapa parameter lain seperti koordinat pencatuan dan panjang *ground plane* serta lebar *ground plane* juga dapat diubah untuk mendapatkan kinerja antena yang dapat memenuhi kinerja yang diharapkan. Pada proses optimasi, parameter – parameter Ld dan Wd diubah – ubah dengan menambah dan mengurangi nilai Ld dan Wd sebesar 0.5. Hingga pada akhirnya didapatkan kinerja dari antena sudah mendekati kinerja yang diharapkan. Dimensi antena *cross* hasil optimasi dan desain antena *cross* hasil optimasi dapat dilihat pada Tabel 3.9 dan Gambar 3.27 sedangkan untuk hasil simulasi dapat dilihat pada Gambar 3.29 dan 3.30.

Tabel 3. 9 Dimensi Antena Cross Setelah Optimasi

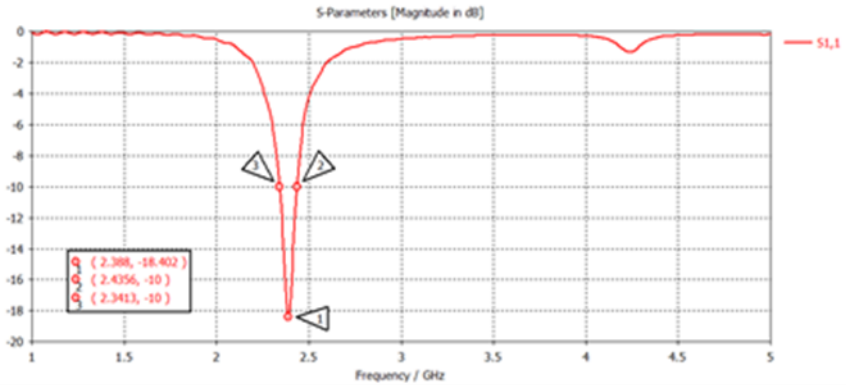
Parameter	Simbol	Nilai (mm)
Panjang <i>Patch</i> Sisa	Ld	11.5
Lebar <i>Patch</i> Sisa	Wd	11.5
Panjang <i>Ground Plane</i>	Lg	44.12
Lebar <i>Ground Plane</i>	Wg	54
Koordinat Pencatuan (Panjang)	x	8.66
Koordinat Pencatuan (Lebar)	y	22.20



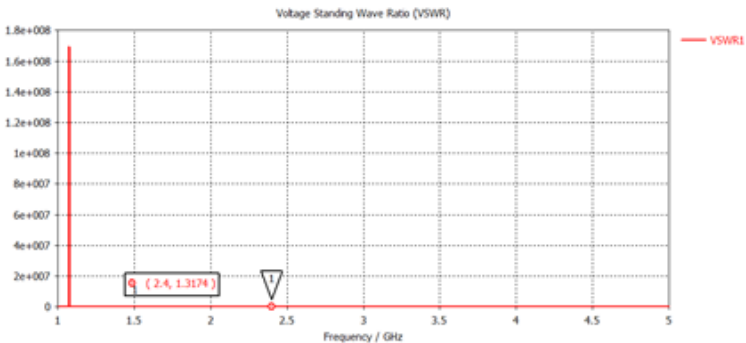
Gambar 3. 27 Geometri Antena Mikrostrip Cross 2.4 Ghz Hasil Optimasi



Gambar 3. 28 Desain Antena Mikrostrip Cross 2.4 Ghz Hasil Optimasi
 (a) Tampak Depan (b) Tampak Belakang



Gambar 3. 29 Hasil Simulasi S-Parameter Antena Cross 2.4 Ghz Setelah Optimasi



Gambar 3. 30 Hasil Simulasi VSWR Antena Cross 2.4 Ghz Setelah optimasi

Dari hasil simulasi didapatkan kinerja antenna hasil optimasi sudah mendekati kinerja antenna yang diharapkan, karena nilai S11 yang didapatkan adalah sebesar -18.02 dB pada frekuensi 2.388 Ghz dan VSWR didapatkan sebesar 1.3174.

3.4.7. Perancangan Elemen Array

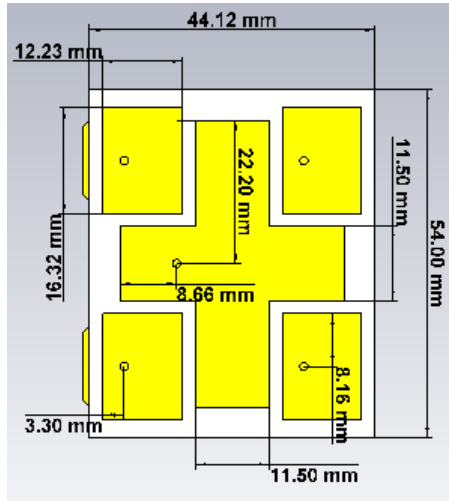
Setelah didapatkan desain antenna *cross* yang mendekati atau memenuhi kriteria yang diinginkan maka langkah selanjutnya adalah menambahkan antenna mikrostrip 5.4 Ghz pada sekeliling antenna *cross* 2.4 Ghz. Sama seperti tahap sebelumnya pada tahap ini peletakan antenna mikrostrip 5.4 Ghz juga menggunakan dua referensi sebelumnya untuk menentukan seberapa besar gap antara antenna *cross* 2.4 Ghz dengan antenna mikrostrip 5.4 Ghz.

3.4.7.1 Antena Jenis 1

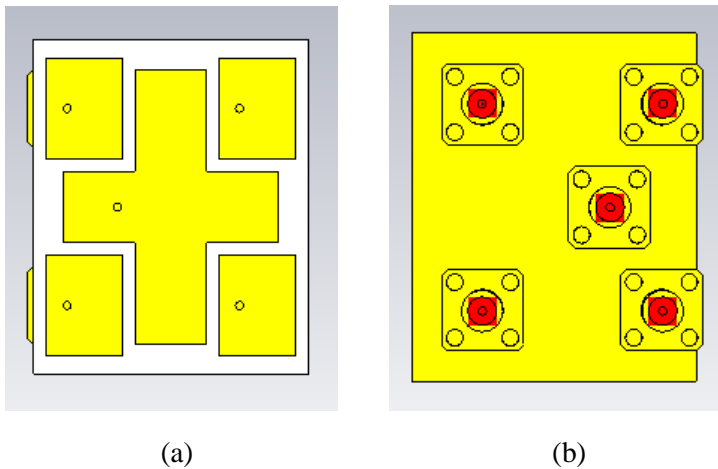
Pada antenna jenis 1 ini jarak antara antenna *cross* dengan antenna mikrostrip 5.4 Ghz adalah 2 mm. Untuk dimensi dan desain antenna jenis 1 ini dapat dilihat pada Tabel 3.10 dan Gambar 3.31 sedangkan untuk hasil simulasi dapat dilihat pada Gambar 3.33 sampai dengan 3.35.

Tabel 3. 10 Dimensi Antena Elemen *Array* Jenis 1

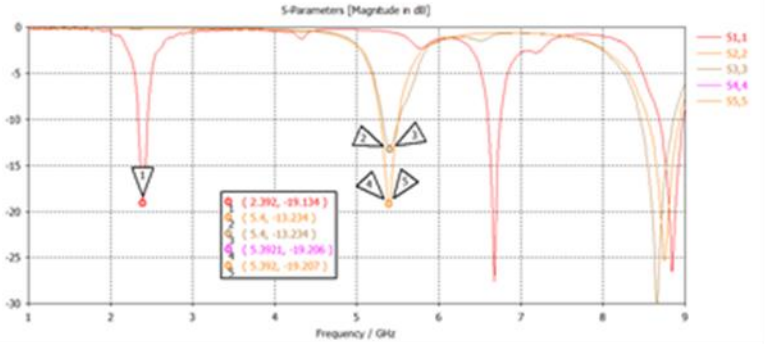
Parameter	Simbol	Nilai (mm)
Panjang <i>Patch</i>	Lp	12.23
Lebar <i>Patch</i>	Wp	16.32
Panjang <i>Patch</i> Sisa	Ld	11.50
Lebar <i>Patch</i> Sisa	Wd	11.50
Panjang <i>Ground Plane</i>	Lg	44.12
Lebar <i>Ground Plane</i>	Ws	54
Koordinat Pencatuan (Panjang) Antena <i>Cross</i> 2.4 Ghz	x	8.6
Koordinat Pencatuan (Lebar) Antena <i>Cross</i> 2.4 Ghz	y	22.20
Koordinat Pencatuan (Panjang) Antena Mikrostrip 5.4 Ghz	xa	3.30
Koordinat Pencatuan (Lebar) Antena Mikrostrip 5.4 Ghz	ya	8.16
Jarak antara antenna	S	2



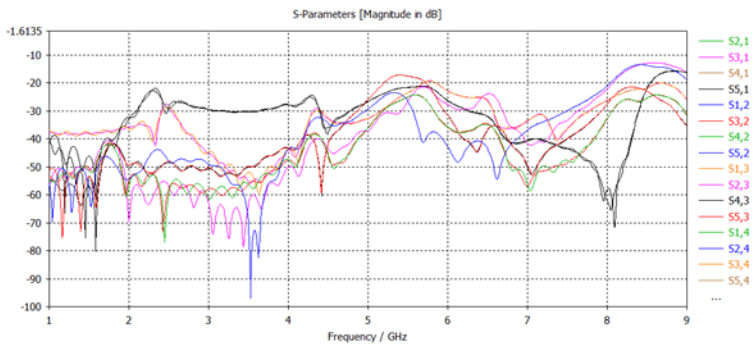
Gambar 3. 31 Geometri Antena Mikrostrip Elemen Array Jenis 1



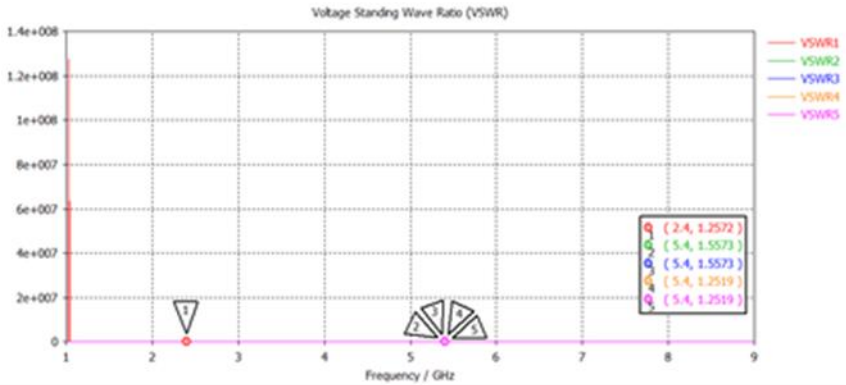
Gambar 3. 32 Desain Antena Mikrostrip Elemen Array Jenis 1 (a) Tampak Depan (b) Tampak Belakang



Gambar 3. 33 Hasil Simulasi *Return Loss* Antena Mikrostrip Elemen Array Jenis 1



Gambar 3. 34 Hasil Simulasi *Mutual Coupling* Antena Mikrostrip Elemen Array Jenis 1



Gambar 3. 35 Hasil Simulasi VSWR Antena Mikrostrip Elemen *Array* Jenis 1

Dari hasil simulasi didapatkan nilai S_{11} sebesar -19.134 dB pada frekuensi 2.392 Ghz, S_{22} sebesar -13.234 dB pada frekuensi 5.4 Ghz, S_{33} sebesar -13.233 dB pada frekuensi 5.4 Ghz, S_{44} sebesar -19.206 dB pada frekuensi 5.392 Ghz, dan S_{55} sebesar -19.208 dB pada frekuensi 5.392 dB. Sedangkan untuk VSWR secara berturut - turut didapatkan sebesar 1.2572 , 1.5573 , 1.5573 , 1.2519 dan 1.2519 .

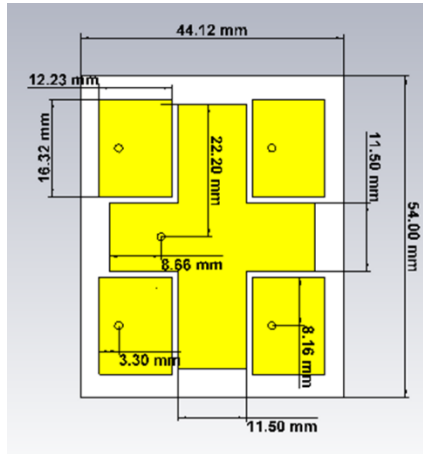
Dilihat dari hasil simulasi, antenna jenis 1 ini sudah mendekati kinerja antenna yang diinginkan, akan tetapi antenna jenis 1 ini masih perlu dilakukan optimasi dikarenakan plat *feeding* melebihi panjang substrat sehingga apabila dalam proses fabrikasi akan menyulitkan dalam proses pemasangan *feeding*.

3.4.7.2 Antena Jenis 2

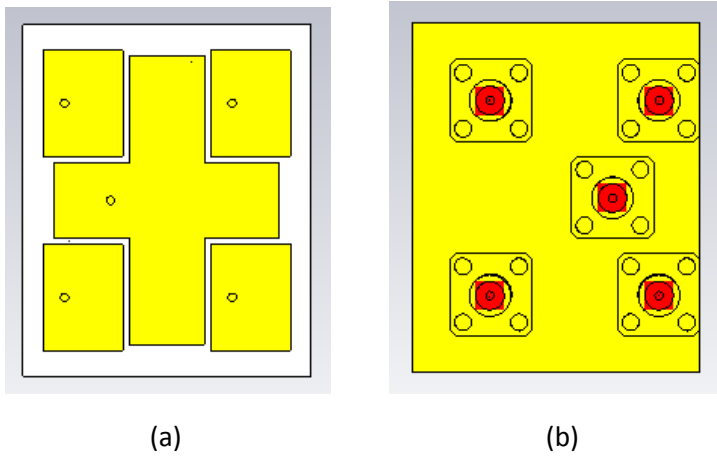
Pada antenna jenis 2 ini jarak antara antenna *cross* dengan antenna mikrostrip 5.4 Ghz adalah 1 mm. Untuk dimensi dan desain antenna jenis 2 ini dapat dilihat pada Tabel 3.11 Dan Gambar 3.36 sedangkan untuk hasil simulasi dapat dilihat pada Gambar 3.38 sampai dengan 3.40.

Tabel 3. 11 Dimensi Antena Elemen *Array* Jenis 2

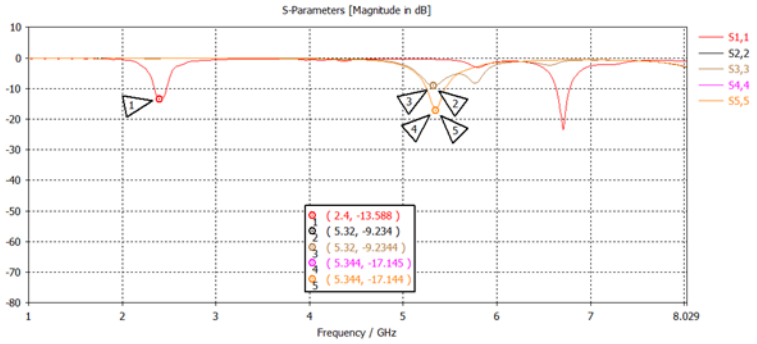
Parameter	Simbol	Nilai (mm)
Panjang <i>Patch</i>	Lp	12.23
Lebar <i>Patch</i>	Wp	16.32
Panjang <i>Patch</i> Sisa	Ld	11.50
Lebar <i>Patch</i> Sisa	Wd	11.50
Panjang <i>Ground Plane</i>	Lg	44.12
Lebar <i>Ground Plane</i>	Wg	54
Koordinat Pencatuan (Panjang) Antena <i>Cross</i> 2.4 Ghz	x	8.6
Koordinat Pencatuan (Lebar) Antena <i>Cross</i> 2.4 Ghz	y	22.20
Koordinat Pencatuan (Panjang) Antena Mikrostrip 5.4 Ghz	xa	3.30
Koordinat Pencatuan (Lebar) Antena Mikrostrip 5.4 Ghz	ya	8.16
Jarak antara antena	S	1



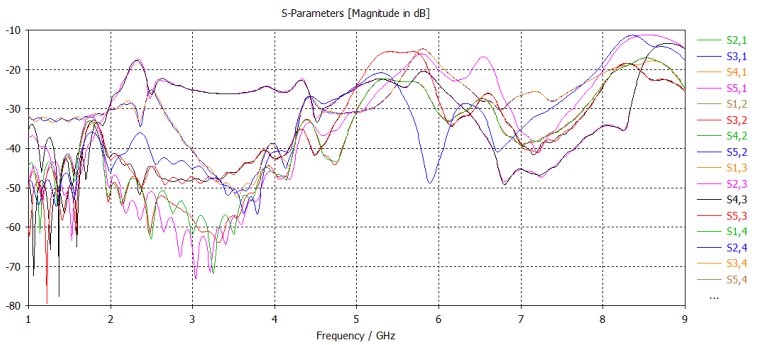
Gambar 3. 36 Geometri Antena Mikrostrip Elemen *Array* Jenis 2



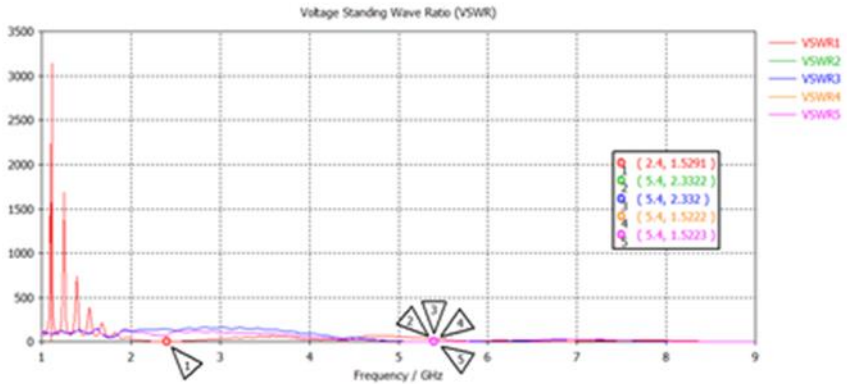
Gambar 3. 37 Desain Antena Mikrostrip Elemen *Array* Jenis 2 (a) Tampak Depan (b) Tampak Belakang



Gambar 3. 38 Hasil Simulasi *Return Loss* Antena Mikrostrip Elemen *Array* Jenis 2



Gambar 3. 39 Hasil Simulasi *Mutual Coupling* Antena Mikrostrip Elemen *Array* Jenis 2



Gambar 3. 40 Hasil Simulasi VSWR Antena Mikrostrip Elemen *Array* Jenis 2

Dari hasil simulasi antena jenis 2, didapatkan nilai S_{11} sebesar -13.588 dB pada frekuensi 2.4 Ghz, S_{22} sebesar -9.2333 dB pada frekuensi 5.231 Ghz, S_{33} sebesar -9.2328 dB pada frekuensi 5.3222 Ghz, S_{44} sebesar -17.145 pada frekuensi 5.344 Ghz, dan S_{55} sebesar -17.144 dB pada frekuensi 5.344 Ghz. Sedangkan untuk VSWR secara berturut – turut didapatkan sebesar 1.5291, 2.3322, 2.332, 1.5222, dan 1.5223.

Dilihat dari hasil simulasi antena jenis 2 ini masih belum memenuhi kinerja yang diharapkan, karena masih terdapat beberapa parameter yang belum memenuhi kinerja yang diharapkan seperti pada parameter S_{22} , S_{33} dan VSWR untuk antena 2 dan 3. Apabila dibandingkan dengan antena jenis 1 maka antena jenis 2 ini tidak lebih baik daripada antena jenis 1, oleh karena itu dalam langkah berikutnya, yaitu optimasi antena elemen tunggal, antena jenis 1 lah yang akan digunakan sebagai referensi.

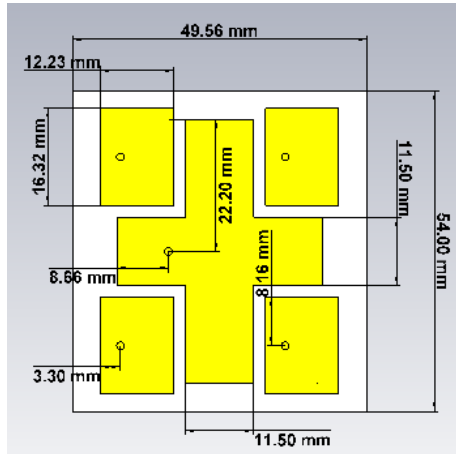
3.4.8. Optimasi Elemen *Array*

Sama halnya dengan proses optimasi antena *cross* 2.4 Ghz, pada proses optimasi elemen *array* ini perlu ditentukan terlebih dahulu antena mana yang akan dioptimasi supaya didapatkan hasil kinerja yang mendekati atau memenuhi kebutuhan. Pada antena elemen *array* ini salah satu parameter yang akan diubah untuk mendapatkan hasil simulasi sesuai dengan kinerja yang diinginkan adalah dengan mengubah parameter

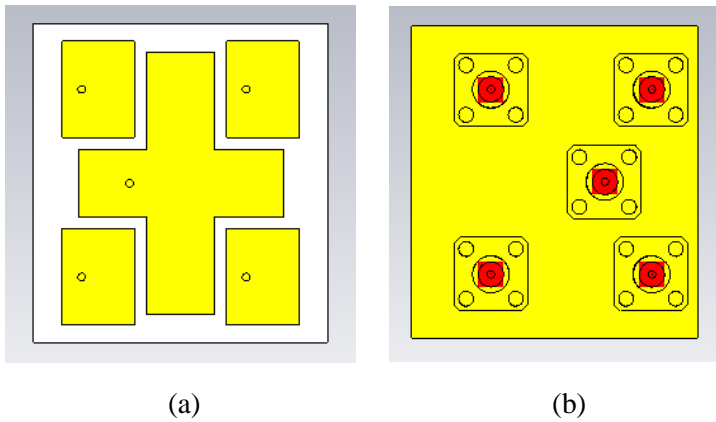
panjang substrat dari antena mikrostrip elemen *array*. Dimensi dan desain hasil optimasi dapat dilihat pada Tabel 3.12 dan Gambar 3.41 sedangkan untuk simulasi dapat dilihat pada Gambar 3.43 sampai dengan 3.45.

Tabel 3. 12 Dimensi Elemen *Array* Setelah Optimasi

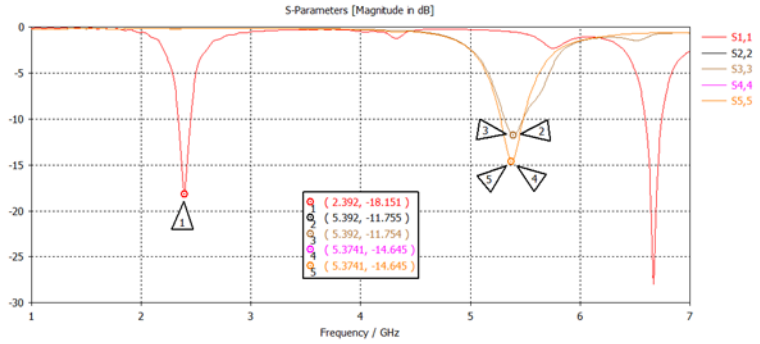
Parameter	Simbol	Nilai (mm)
Panjang <i>Patch</i>	Lp	12.23
Lebar <i>Patch</i>	Wp	16.32
Panjang <i>Patch</i> Sisa	Ld	11.50
Panjang <i>Patch</i> Sisa	Ld	11.50
Lebar <i>Patch</i> Sisa	Wd	11.50
Panjang <i>Ground Plane</i>	Ls	49.56
Lebar <i>Ground Plane</i>	Ws	54.00
Koordinat Pencatuan (Panjang) Antena <i>Cross</i> 2.4 Ghz	x	8.66
Koordinat Pencatuan (Lebar) Antena <i>Cross</i> 2.4 Ghz	y	22.20
Koordinat Pencatuan (Panjang) Antena Mikrostrip 5.4 Ghz	xa	3.30
Koordinat Pencatuan (Lebar) Antena Mikrostrip 5.4 Ghz	ya	8.16
Jarak antara antena	S	2



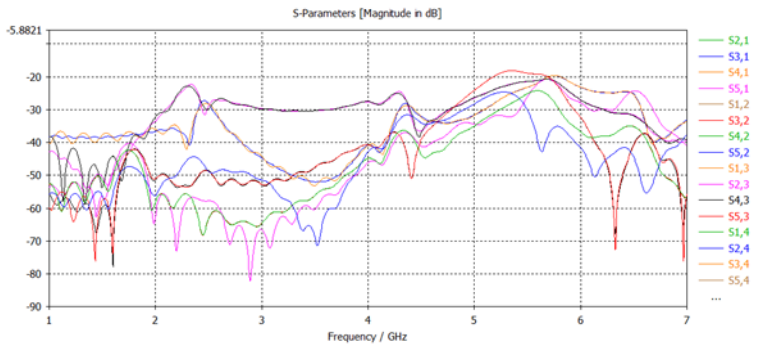
Gambar 3. 41 Geometri Antena Mikrostrip Elemen *Array* Hasil Optimasi



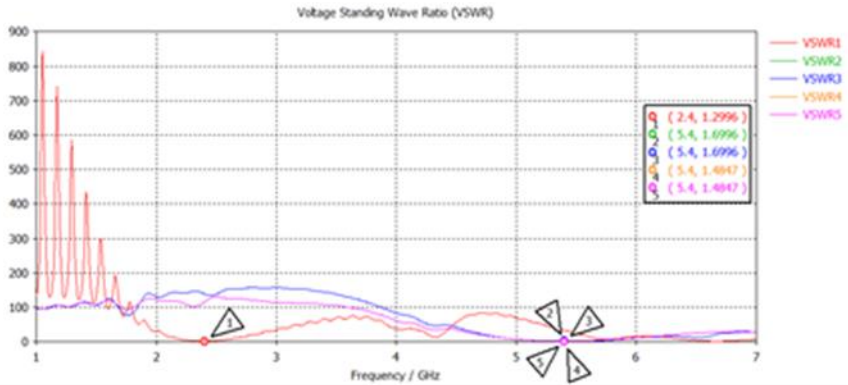
Gambar 3. 42 Desain Antena Mikrostrip Elemen *Array* Hasil Optimasi
(a) Tampak Depan (b) Tampak Belakang



Gambar 3. 43 Hasil Simulasi *Return Loss* Antena Array Setelah Optimasi



Gambar 3. 44 Hasil Simulasi *Mutual Coupling* Antena Elemen Array Setelah Optimasi



Gambar 3. 45 Hasil Simulasi VSWR Antena Mikrostrip Elemen *Array* Setelah Optimasi

Dari hasil simulasi antena elemen tunggal setelah optimasi didapatkan nilai S_{11} sebesar -18.151 dB pada frekuensi 2.392 Ghz, S_{22} sebesar -11.755 dB pada frekuensi 5.392 Ghz, S_{33} sebesar -11.754 pada frekuensi 5.392 Ghz, S_{44} sebesar -14.645 dB pada frekuensi 5.3741 Ghz, dan S_{55} sebesar -14.645 dB pada frekuensi 5.3741 Ghz. Sedangkan untuk VSWR secara berturut – turut didapatkan sebesar 1.2996 , 1.6996 , 1.6996 , 1.4847 , dan 1.4847 .

Dilihat dari hasil simulasi yang didapatkan, antena mikrostrip elemen tunggal setelah dioptimasi ini sudah mendekati kinerja yang diharapkan.

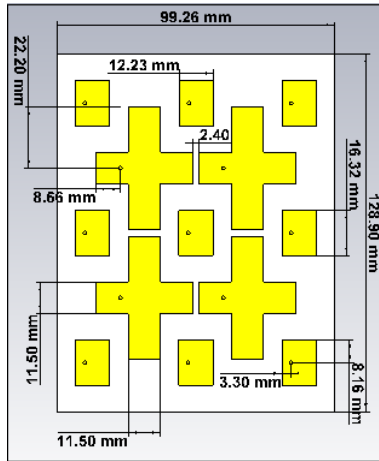
3.5. Perancangan dan Simulasi Antena *Sub Array*

Perancangan antena *sub array* dapat dilakukan setelah mendapatkan desain antena elemen *array* yang sudah mendekati atau memenuhi kinerja yang diinginkan. Beberapa parameter desain antena *sub array* dapat dilihat pada Tabel 3.13 Antena *sub array* disusun dengan menggunakan konfigurasi planar 2×2 untuk antena *cross* 2.4 Ghz dan konfigurasi planar 3×3 untuk antena mikrostrip 5.4 Ghz. Pada antena *cross* 2.4 Ghz masing – masing elemen disusun dalam satu substrat yang sama dengan jarak pemisah tepi ke tepi sebesar S . Jarak antar elemen pada *array* akan mempengaruhi performa dari beberapa parameter seperti pola radiasi dan *mutual coupling*. Pada proses perancangan *sub array* ini, antena *cross* 2.4

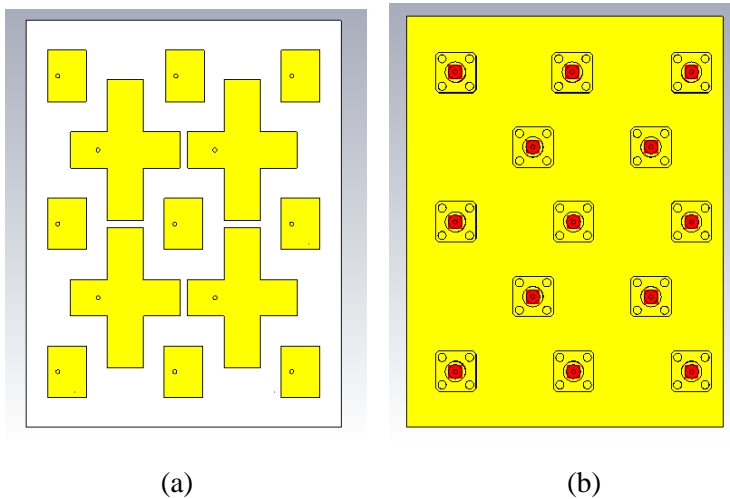
Ghz akan disusun dengan menggunakan konfigurasi planar 2x2 dengan jarak $S = 2.4$ mm. Dimensi antena *sub array* dapat dilihat pada Tabel 3.13 Dan untuk desain antena *sub array* dapat dilihat pada Gambar 3.46 sedangkan untuk hasil simulasi dapat dilihat pada Gambar 3.48 sampai dengan 3.50.

Tabel 3. 13 Dimensi Antena *Sub Array*

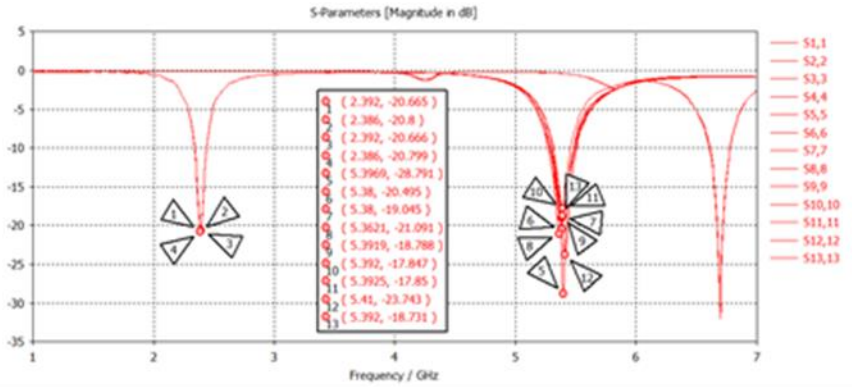
Parameter	Simbol	Nilai (mm)
Panjang <i>Patch</i>	Lp	12.23
Lebar <i>Patch</i>	Wp	16.32
Panjang <i>Patch</i> Sisa	Ld	11.50
Lebar <i>Patch</i> Sisa	Wd	11.50
Panjang <i>Ground Plane</i>	Ls	99.26
Lebar <i>Ground Plane</i>	Ws	128.90
Koordinat Pencatuan (Panjang) Antena <i>Cross</i> 2.4 Ghz	x	8.66
Koordinat Pencatuan (Lebar) Antena <i>Cross</i> 2.4 Ghz	y	22.20
Koordinat Pencatuan (Panjang) Antena Mikrostrip 5.4 Ghz	xa	3.30
Koordinat Pencatuan (Lebar) Antena Mikrostrip 5.4 Ghz	ya	8.16
Jarak antara antena	S	2.4



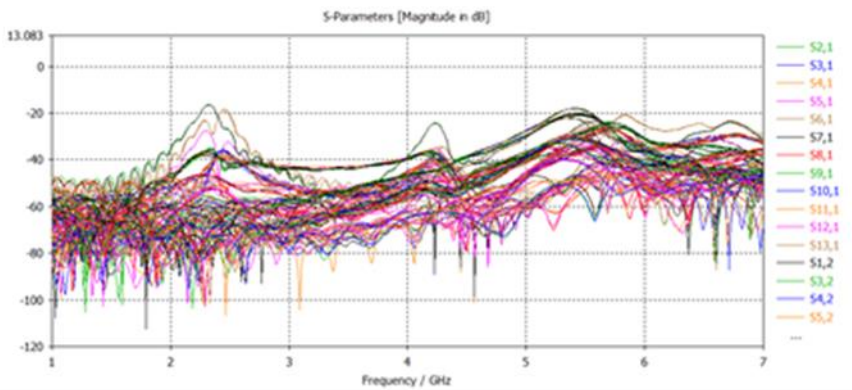
Gambar 3. 46 Geometri Antena *Sub Array*



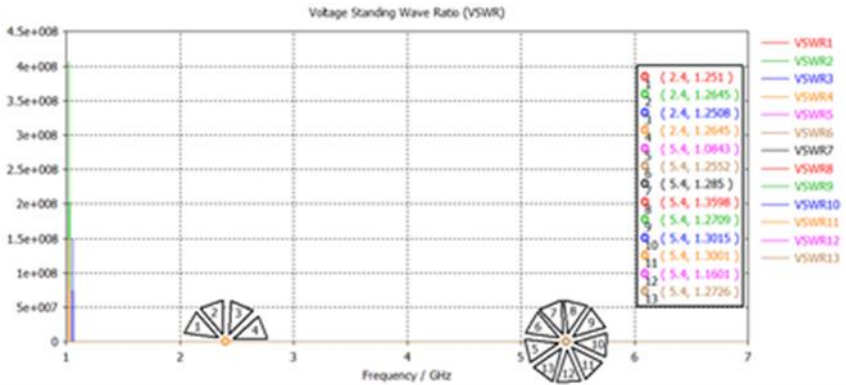
Gambar 3. 47 Desain Antena *Sub Array* (a) Tampak Depan (b) Tampak Belakang



Gambar 3. 48 Hasil Simulasi *Return Loss* Antena Sub Array



Gambar 3. 49 Hasil Simulasi *Mutual Coupling* Antena Sub Array



Gambar 3. 50 Hasil Simulasi VSWR Antena *Sub Array*

Dari hasil simulasi antenna *sub array* didapatkan nilai S11 sebesar -20.665 dB pada frekuensi 2.392 Ghz, S22 sebesar -20.8 dB pada frekuensi 2.386 Ghz, S33 sebesar -20.666 dB pada frekuensi -2.392 Ghz, S44 sebesar -20.799 dB pada frekuensi 2.386 Ghz, S55 sebesar -28.791 dB pada frekuensi 5.3969 Ghz, S66 sebesar -20.495 dB pada frekuensi 5.38 Ghz, S77 sebesar -19.045 dB pada frekuensi 5.38 Ghz, S88 sebesar -21.091 dB pada frekuensi 5.3621 Ghz, S99 sebesar -18.788 dB pada frekuensi 5.3919 Ghz, S1010 sebesar -17.847 dB pada frekuensi 5.392 Ghz, S1111 sebesar -17.85 dB pada frekuensi 5.3925 Ghz, S1212 sebesar -23.743 dB pada frekuensi 5.41 Ghz, dan S1313 sebesar -18.731 dB pada frekuensi 5.392 Ghz. Sedangkan untuk nilai VSWR secara berturut - turut didapatkan sebesar 1.2507, 1.264, 1.2507, 1.264, 1.0842, 1.255, 1.285, 1.3599, 1.2709, 1.3015, 1.3002, 1.1601, 1.2727.

Dilihat dari hasil simulasi, antenna *sub array* sudah mendekati kinerja yang diinginkan akan tetapi nilai dari *mutual coupling* antenna *sub array* ini masih belum berada dibawah -20 dB, oleh karena itu antenna *sub array* perlu di optimasi.

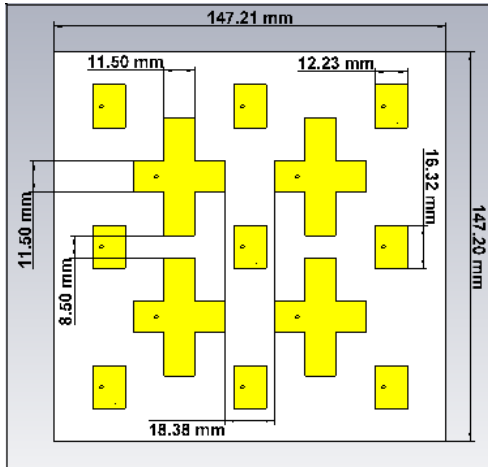
3.6. Optimasi Antena *Sub Array*

Pada proses optimasi antenna *sub array* optimasi disini dilakukan dengan mengubah parameter – parameter berupa gap antara antenna, khususnya gap antara antenna *cross* 2.4 Ghz. Dimensi dan desain hasil

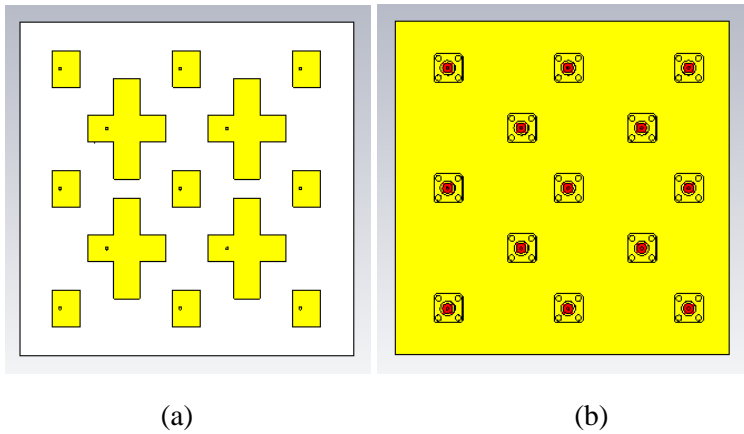
optimasi dapat dilihat pada Tabel 3.14 dan Gambar 3.51 sedangkan untuk hasil simulasi dapat dilihat pada Gambar 3.53 sampai dengan 3.55.

Tabel 3. 14 Dimensi Antena *Sub Array* Setelah Optimasi

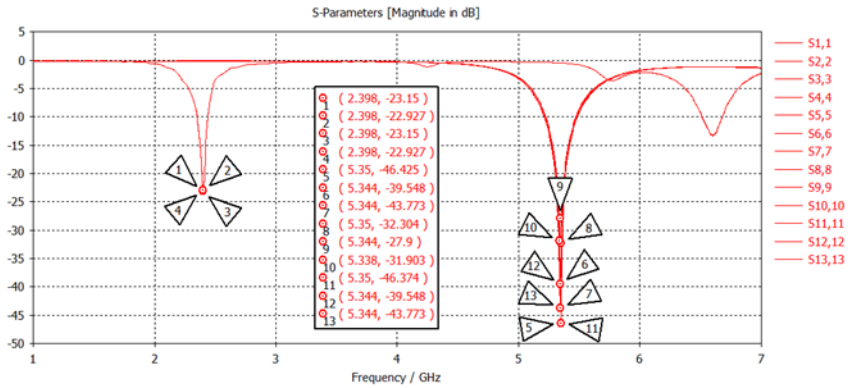
Parameter	Simbol	Nilai (mm)
Panjang <i>Patch</i>	Lp	12.23
Lebar <i>Patch</i>	Wp	16.32
Panjang <i>Patch</i> Sisa	Ld	11.50
Lebar <i>Patch</i> Sisa	Wd	11.50
Panjang <i>Ground Plane</i>	Ls	147.21
Lebar <i>Ground Plane</i>	Ws	147.20
Koordinat Pencatuan (Panjang) Antena <i>Cross</i> 2.4 Ghz	x	8.66
Koordinat Pencatuan (Lebar) Antena <i>Cross</i> 2.4 Ghz	y	22.20
Koordinat Pencatuan (Panjang) Antena Mikrostrip 5.4 Ghz	xa	3.30
Koordinat Pencatuan (Lebar) Antena Mikrostrip 5.4 Ghz	ya	8.66
Jarak antara antena (Panjang)	Ls	18.38
Jarak antara antena (Lebar)	Ws	8.50



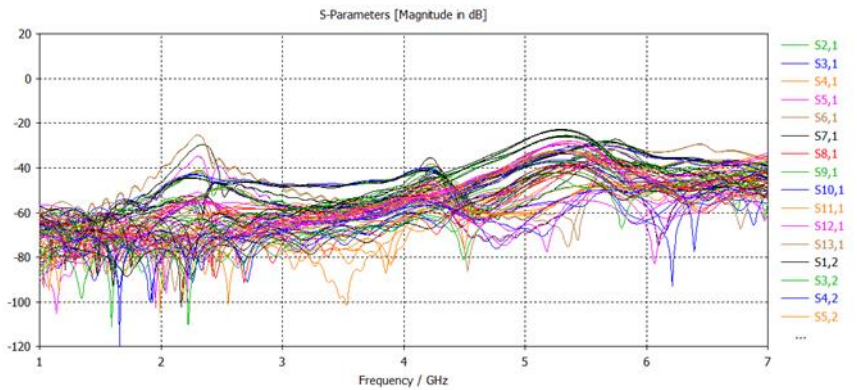
Gambar 3. 51 Geometri Antena *Sub Array* Hasil Optimasi



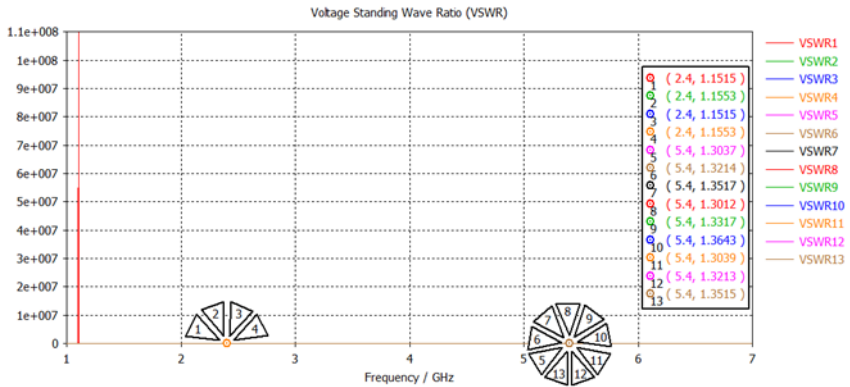
Gambar 3. 52 Desain Antena *Sub Array* (a) Tampak Depan (b) Tampak Belakang



Gambar 3. 53 Hasil Simulasi *Return Loss* Antena *Sub Array* Setelah Optimasi



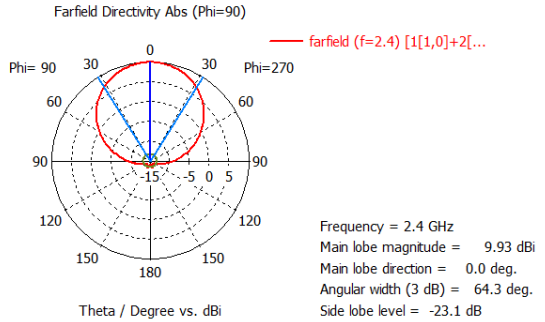
Gambar 3. 54 Hasil Simulasi *Mutual Coupling* Antena *Sub Array* Setelah Optimasi



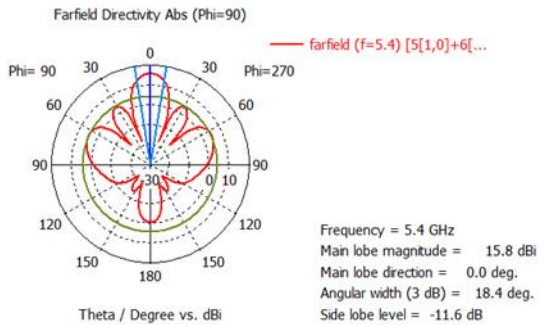
Gambar 3. 55 Hasil Simulasi VSWR Antena *Sub Array* Setelah Optimasi

Dari hasil simulasi antena *sub array* setelah dilakukan optimasi, didapatkan nilai S11 sebesar -23.15 dB pada frekuensi 2.398 Ghz, S22 sebesar -22.927 dB pada frekuensi 2.398 Ghz, S33 sebesar -23.15 dB pada frekuensi 2.398 Ghz, S44 sebesar -22.927 dB pada frekuensi 2.398 Ghz, S55 sebesar -46.425 dB pada frekuensi 5.35 Ghz, S66 sebesar -39.548 dB pada frekuensi 5.344 Ghz, S77 sebesar -43.773 dB pada frekuensi 5.344 Ghz, S88 sebesar -32.304 dB pada frekuensi 5.35 Ghz, S99 sebesar -27.9 dB pada frekuensi 5.344 Ghz, S1010 sebesar -31.903 dB pada frekuensi 5.338 Ghz, S1111 sebesar -46.374 dB pada frekuensi 5.35 Ghz, S1212 sebesar -39.548 dB pada frekuensi 5.344 Ghz, dan S1313 sebesar -43.773 dB pada frekuensi 5.344 Ghz, Sedangkan untuk VSWR secara berturut – turut didapatkan sebesar 1.1515, 1.1553, 1.1515, 1.1553, 1.3037, 1.3214, 1.3517, 1.3012, 1.3317, 1.3643, 1.3039, 1.3213, 1.3515.

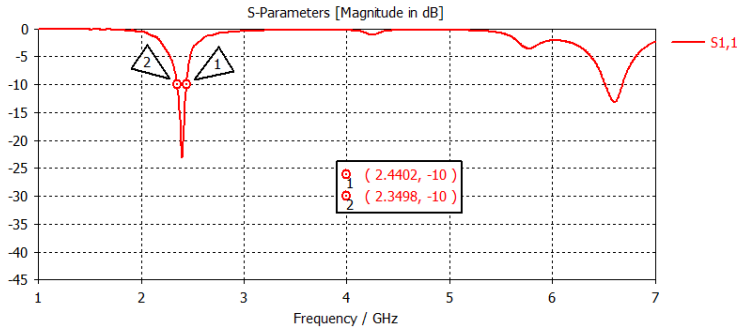
Dilihat dari hasil simulasi antena *sub array* ini sudah mendekati kinerja yang diinginkan, karena nilai *return loss* dan VSWR masih memenuhi kinerja yang diinginkan selain itu nilai *mutual coupling* juga masih dapat ditolerir yaitu dibawah -20 dB, karena sudah mendekati atau memenuhi kriteria antena yang diinginkan maka pada antena *sub array* dilakukan simulasi untuk melihat bagaimana pola radiasi yang dihasilkan dan seberapa besar *gain* dan *bandwidth* yang dihasilkan.



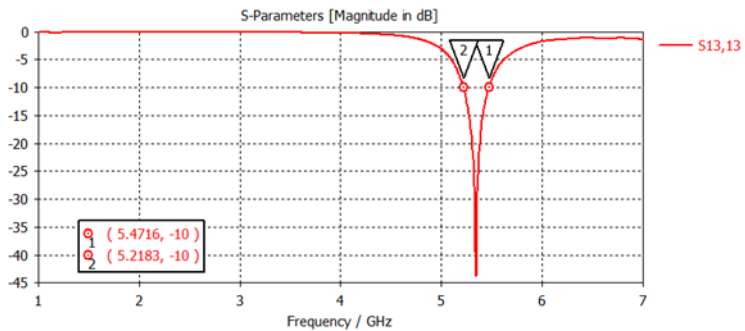
Gambar 3. 56 Pola Radiasi Bidang Horizontal Hasil Simulasi Antena *Sub Array* pada Frekuensi 2.4 Ghz



Gambar 3. 57 Pola Radiasi Bidang Horizontal Hasil Simulasi Antena *Sub Array* pada Frekuensi 5.4 Ghz



Gambar 3. 58 Nilai *Bandwidth* yang Dihasilkan pada Frekuensi 2.4 Ghz



Gambar 3. 59 Nilai *Bandwidth* yang Dihasilkan pada Frekuensi 5.4 Ghz

Hasil simulasi perancangan antena *sub array* setelah optimasi ini menghasilkan *gain* sebesar 9.93 dBi dan *bandwidth* sebesar 91 Mhz pada frekuensi 2.4 Ghz dan menghasilkan *gain* sebesar 15.8 dBi dan *bandwidth* sebesar 253 Mhz.

BAB 4 PENGUKURAN DAN ANALISIS DATA

Pada bab ini akan dibahas mengenai realisasi dan pengukuran kinerja antenna yang telah dirancang pada bab sebelumnya. Pengukuran antenna dilakukan untuk mengetahui kinerja dari parameter – parameter yang dimiliki oleh antenna. Parameter – parameter yang akan diukur antara lain *return loss*, *VSWR*, *mutual coupling*, dan pola radiasi. Data hasil pengukuran nantinya akan dibandingkan dengan data hasil simulasi untuk dianalisis.

4.1. Realisasi Desain Antena *Sub Array*

Desain akhir antenna *sub array* direalisasikan berdasarkan desain pada simulasi akhir dimana semua kinerja parameter yang diinginkan sudah memenuhi kinerja yang diinginkan. Antenna *sub array* direalisasikan dengan bahan PCB FR-4 *epoxy* yang memiliki konstanta dielektrik relative sebesar 4.6 – 4.9 dan metode *feeding* yang digunakan adalah metode *probe feeding*. Desain antenna *sub array* hasil fabrikasi dapat dilihat pada Gambar 4.1.



(a)



(b)

Gambar 4. 1 Realisasi Antena (a) Tampak Sisi Depan (b) Tampak Sisi Belakang

4.2. Pengukuran Kinerja Antena *Sub Array*

Pengukuran parameter antena *sub array* diperlukan untuk mengetahui kinerja dari antena yang telah dirancang. Dengan dilakukannya pengukuran maka dapat diketahui kinerja dari antena apakah sudah memenuhi kriteria yang diinginkan. Data hasil pengukuran nantinya akan dibandingkan dengan data hasil simulasi. Pada tugas akhir ini pengukuran antena *sub array* dilakukan di Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) yang berada di Bandung.

4.2.1. Pengukuran *Return Loss*, *VSWR*, dan *Mutual Coupling* Antena *Sub Array*

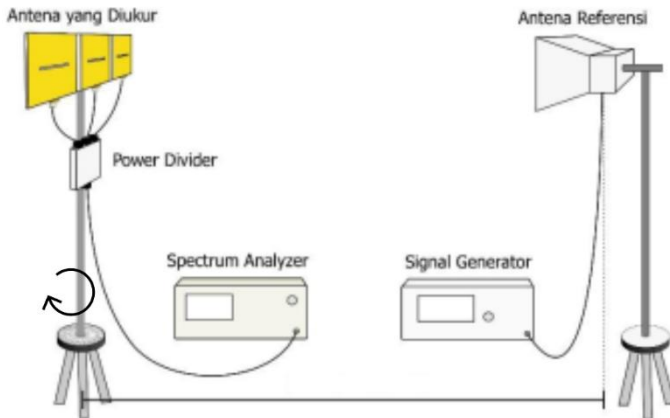
Pengukuran *return loss*, *VSWR*, dan *mutual coupling* dilakukan dengan menghubungkan antena yang akan diukur ke *port* yang ada pada VNA. Untuk ketiga parameter tersebut, VNA dapat menampilkan data

pengukuran secara langsung dalam bentuk grafik. Langkah – langkah pengukuran adalah sebagai berikut

1. Siapkan peralatan antara lain VNA, kabel, antena yang akan diukur dan *dummy load*.
2. Atur frekuensi kerja yang akan dibangkitkan VNA sesuai dengan frekuensi kerja dari antena yang akan diukur.
3. Sambungkan konektor SMA pada antena yang akan diukur ke *port* yang terdapat pada VNA, gunakan kabel untuk memudahkan pengukuran dan mengurangi efek gelombang pantul yang muncul apabila antena langsung dihubungkan ke alat ukur.
4. Karena jumlah *port* pada VNA hanya ada 2 buah, maka apabila ingin mengukur nilai *return loss* dan *mutual coupling* sedangkan jumlah *port* antena yang akan diukur jumlahnya lebih dari 2 buah perlu dipasangkan *dummy load* pada setiap *port* yang tidak akan diukur nilai *return loss* dan *mutual coupling*nya.
5. Tekan tombol *measure* untuk melakukan pengukuran.
6. Pada VNA terdapat beberapa metode pengukuran seperti *logmag*, dan VSWR, untuk mengukur *return loss* maka metode pengukuran yang digunakan adalah *logmag* sedangkan metode VSWR digunakan untuk mengukur VSWR dari antena.
7. Pasang *marker* pada titik – titik tertentu seperti batas atas, batas bawah frekuensi dan pada frekuensi tengah atau frekuensi kerja dari antena.
8. Simpan data hasil pengukuran dengan menekan tombol *save*. Atur tempat penyimpanan dan tipe *file* yang akan disimpan. Terdapat beberapa tipe *file* seperti *bmp* yang berupa gambar grafik hasil pengukuran, atau *csv* yang berupa tabel hasil pengukuran.

4.2.2. Pengukuran Pola Radiasi

Sebelum melakukan pengukuran, perlu dilakukan kalibrasi antara *signal generator* dengan *spectrum analyzer* untuk memastikan jika kedua alat tersebut dan kabel yang digunakan dapat berfungsi sebagaimana mestinya. Setelah proses kalibrasi selesai, dilanjutkan dengan penyusunan konfigurasi untuk antena alat ukur dan komponen pengukuran lainnya seperti yang terdapat pada Gambar 4.2



Gambar 4. 2 Konfigurasi Pengukuran Pola Radiasi [6].

Antena referensi digunakan sebagai pemancar dan dihubungkan dengan *signal generator*. Sedangkan antena yang diukur difungsikan sebagai penerima dan dihubungkan dengan *spectrum analyzer*. Antena referensi yang digunakan pada pengukuran ini adalah antena *horn* dengan dimensi 27.9 cm x 14.2 cm (700 Mhz sampai 18 Ghz). Untuk mengukur pola radiasi antena, antena yang diukur harus berada pada daerah *farfield* dari antena referensi, begitu pula sebaliknya. Karena antena referensi memiliki ukuran yang lebih besar dibandingkan antena yang diuji, baik sebagai elemen tunggal maupun *array*, maka batas daerah *farfield* untuk antena referensi memiliki radius yang lebih besar. Sehingga agar kedua antena masuk ke dalam batas daerah *farfield* dari antena lawan, jarak antara kedua antena harus lebih besar atau sama dengan radius *farfield* dari antena referensi. Untuk menghitung radius minimal daerah *farfield* antena referensi, diperlukan nilai D , yaitu dimensi terbesar yang dimiliki oleh antena. Untuk antena yang digunakan dalam pengukuran ini, nilai D merupakan panjang diagonal sisi dari antena *horn*, yaitu :

$$D = \sqrt{27.9^2 + 14.2^2} = 31.3 \text{ cm}$$

Sehingga radius minimum daerah *farfield* dari antena adalah :

$$R_{ff} = \frac{2D^2}{\lambda} = \frac{2 \times 31.3^2}{5.5} = 356.25 \text{ cm}$$

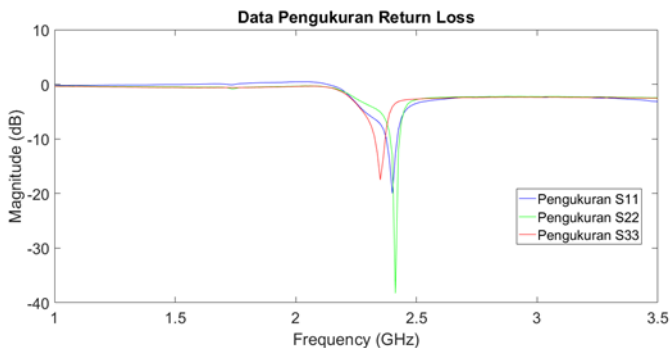
Dalam pengukuran ini, antenna referensi dan antenna yang diukur harusnya terpisah sejauh 356.25 cm, sehingga keduanya berada di daerah *farfield* antenna. Namun dikarenakan batas ruangan *anechoic chamber* di LIPI tidak melebihi 3 meter maka pengukuran tidak mencapai jarak yang seharusnya. Setelah konfigurasi dipersiapkan, selanjutnya dilakukan pengukuran dengan mengamati *spectrum* daya sinyal yang diterima oleh antenna pada frekuensi kerja antenna tersebut yang terlihat pada tampilan *spectrum analyzer*. Agar memperoleh bentuk pola radiasi dari antenna maka antenna yang diuji diputar dari sudut 0° hingga 360° dengan interval perubahan sebesar 20°.

4.3. Hasil Pengukuran Antenna Sub Array

Pada subbab ini akan membahas mengenai pemaparan hasil pengukuran yang sudah dilakukan. Hasil pengukuran yang telah dilakukan adalah pengukuran *return loss*, VSWR, *mutual coupling* dan pola radiasi.

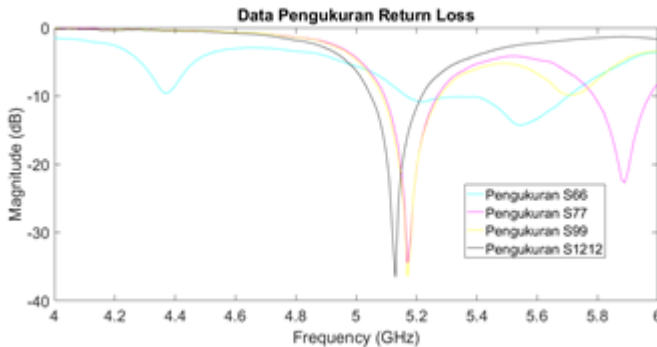
4.3.1. Hasil Pengukuran *Return Loss* Antenna Sub Array

Pengukuran *return loss* dilakukan dengan menggunakan metode sebagaimana yang telah dijelaskan pada subbab 4.2.1. Hasil pengukuran *return loss* dapat dilihat pada Gambar 4.3



Gambar 4. 3 Hasil Pengukuran *Return Loss* Frekuensi 2.4 Ghz

Dari hasil pengukuran seperti yang terdapat pada Gambar 4.3 didapatkan nilai *return loss* untuk frekuensi kerja 2.4 Ghz sudah memenuhi kriteria yang diinginkan yaitu dibawah -10 dB sedangkan nilai *return loss* untuk frekuensi kerja 5.4 Ghz dapat dilihat pada Gambar 4.4

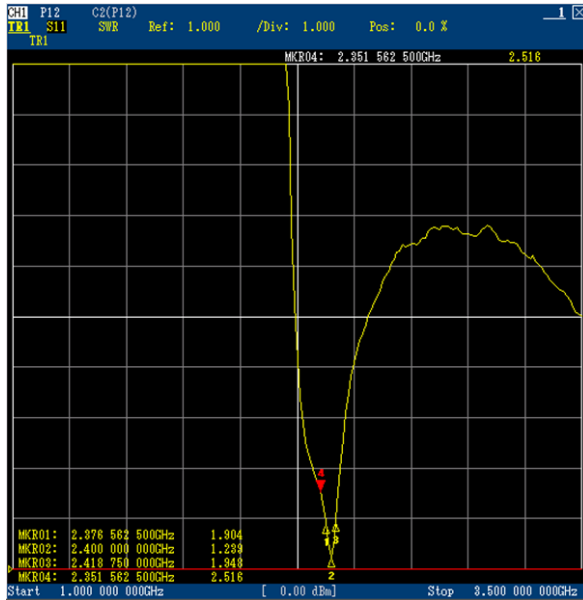


Gambar 4. 4 Hasil Pengukuran *Return Loss* Frekuensi 5.4 Ghz

Jika dilihat dari Gambar 4.4 nilai *return loss* pada frekuensi 5.4 Ghz juga sudah memenuhi kinerja yang diinginkan yaitu dibawah -10 dB, hanya saja pada S66 nilai *return loss* tidak memenuhi kinerja yang diinginkan hal ini disebabkan karena pada waktu pengukuran terdapat masalah pada kabel konektor yang digunakan untuk menghubungkan dari *port* VNA ke *port* antenna yang diukur.

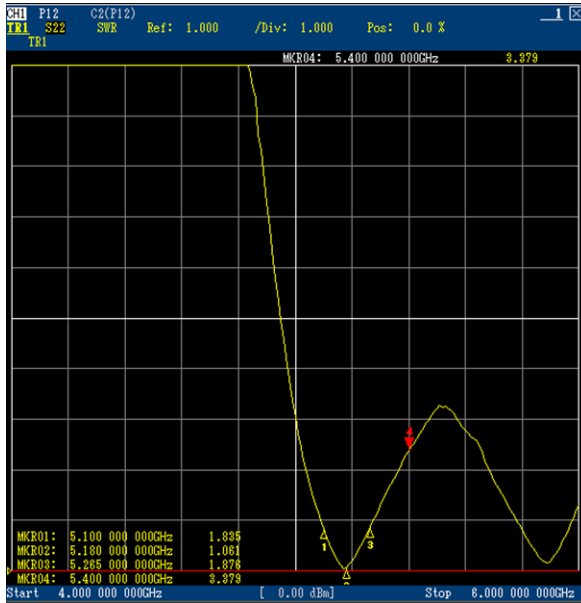
4.3.2. Hasil Pengukuran VSWR Antena *Sub Array*

Pada pengukuran VSWR metode pengukuran yang dilakukan sama dengan pada saat melakukan pengukuran *return loss* yang telah dijelaskan pada subbab 4.2.1. Hasil pengukuran dari VSWR antenna *subarray* dapat dilihat pada Gambar 4.5



Gambar 4. 5 Hasil Pengukuran VSWR 1

Dari hasil pengukuran didapatkan nilai VSWR untuk antenna 1 adalah 1.239 pada frekuensi kerja 2.4 Ghz, nilai tersebut masih memenuhi kinerja yang diharapkan yaitu nilai VSWR kurang dari 2. Sedangkan untuk antenna 2 nilai VSWR dapat dilihat pada Gambar 4.6

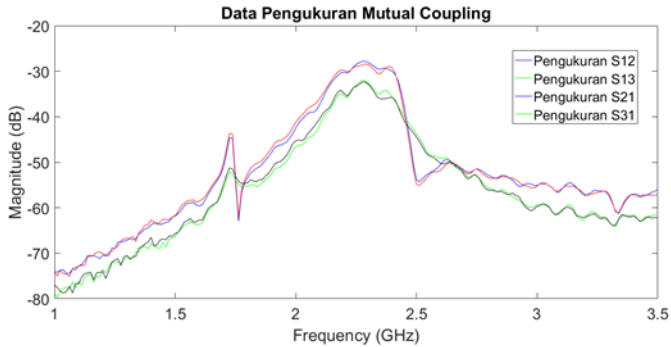


Gambar 4. 6 Hasil Pengukuran VSWR 2

Jika dilihat dari Gambar 4.6 hasil pengukuran VSWR untuk antena 2 juga sudah memenuhi kinerja yang diinginkan yaitu dengan nilai VSWR sebesar 1.061 pada frekuensi 5.18 Ghz.

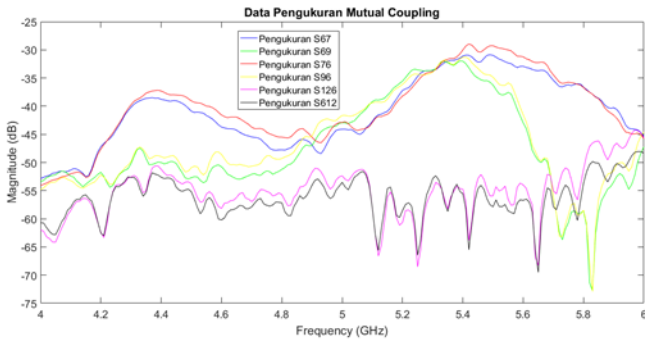
4.3.3. Hasil Pengukuran *Mutual Coupling* Antena *Sub Array*

Sama halnya dengan pengukuran sebelumnya, pada metode pengukuran *mutual coupling* ini juga dilakukan pengukuran sebagaimana telah dijelaskan pada subbab 4.2.1. Hasil pengukuran *mutual coupling* dapat dilihat pada Gambar 4.7



Gambar 4. 7 Hasil Pengukuran *Mutual Coupling* Frekuensi 2.4 Ghz

Dari hasil pengukuran didapatkan nilai *mutual coupling* pada frekuensi kerja 2.4 Ghz sudah memenuhi kinerja yang diinginkan yaitu dibawah -20 dB. Sedangkan untuk nilai *mutual coupling* pada frekuensi kerja 5.4 Ghz dapat dilihat pada Gambar 4.8

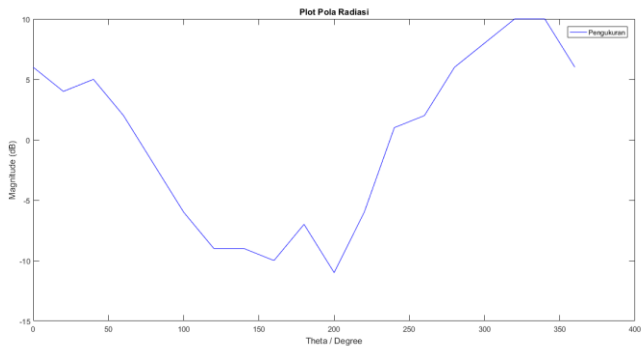


Gambar 4. 8 Hasil Pengukuran *Mutual Coupling* Frekuensi 5.4 Ghz

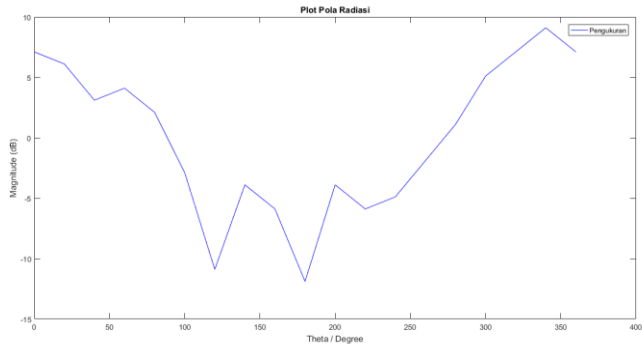
Jika dilihat dari hasil pengukuran, maka nilai *mutual coupling* pada frekuensi kerja 5.4 Ghz juga sudah memenuhi kinerja yang diinginkan yaitu dibawah -20 dB.

4.3.4. Hasil Pengukuran Pola Radiasi Antena *Sub Array*

Setelah melakukan pengukuran pola radiasi sebagaimana yang telah dijelaskan pada subbab 4.2.2. Akan tetapi dikarenakan keterbatasan waktu dan alat maka pengukuran pola radiasi hanya dilakukan terhadap bidang H dan dilakukan dengan interval 20 derajat hingga akhirnya didapatkan pola radiasi antena sub array seperti yang terdapat pada Gambar 4.9 dan Gambar 4.10



Gambar 4. 9 Pola Radiasi Frekuensi 2.4 Ghz Terhadap Bidang H

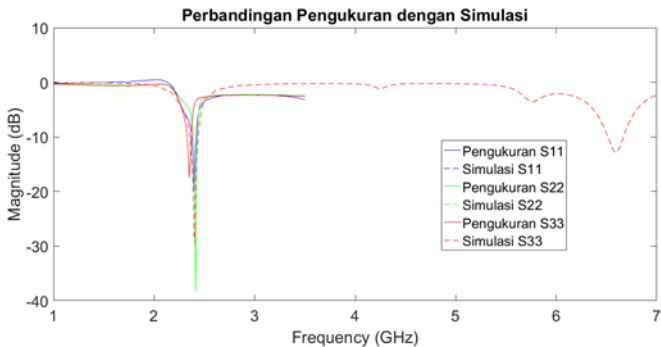


Gambar 4. 10 Pola Radiasi Frekuensi 5.4 Ghz Terhadap Bidang H

4.4. Analisis Perbandingan Hasil Simulasi dan Hasil Pengukuran

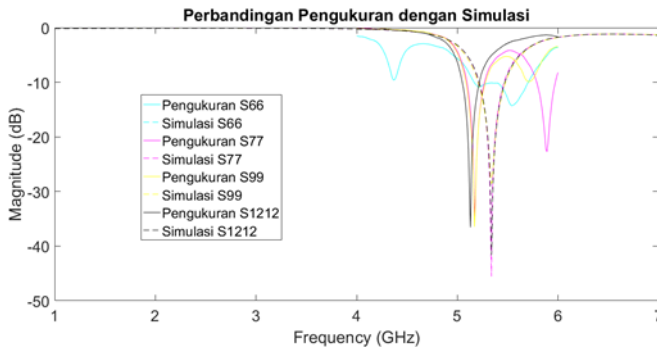
Analisis perbandingan antara hasil simulasi dan hasil pengukuran dilakukan untuk mengetahui perubahan kinerja dari antenna *subarray* pada saat simulasi dan realisasi

4.4.1. Analisis Perbandingan Nilai *Return Loss*



Gambar 4. 11 Perbandingan Nilai *Return Loss* Simulasi dengan Pengukuran Frekuensi 2.4 Ghz

Dari Gambar 4.11 didapatkan bahwa nilai *return loss* hasil simulasi dan hasil fabrikasi pada frekuensi kerja 2.4 Ghz tidak mengalami perubahan yang signifikan hanya terjadi pergeseran frekuensi, pergeseran frekuensi terjadi dikarenakan salah satunya adalah karena bahan dielektrik yang digunakan berbeda dengan bahan yang digunakan saat proses simulasi pada proses simulasi bahan dielektrik yang digunakan adalah FR-4 *epoxy* dengan konstanta dielektrik 4.3, sedangkan pada proses fabrikasi bahan dielektrik yang digunakan adalah FR-4 *epoxy* dengan konstanta dielektrik 4.6 – 4.9 sehingga terdapat pergeseran frekuensi dari frekuensi 2.398 Ghz menjadi frekuensi 2.35 Ghz, selain itu pada perbandingan hasil simulasi dengan hasil pengukuran juga terdapat perbedaan pada nilai *return loss*, perbedaan nilai *return loss* disebabkan karena impedansi dari konektor yang digunakan tidak sesuai dengan konektor yang digunakan pada saat proses simulasi, pada proses simulasi diameter dari konektor SMA yang digunakan adalah sebesar 1.3 mm dan nilai impedansi yang dihasilkan adalah 50 Ω sedangkan pada proses fabrikasi diameter pin yang digunakan adalah 1.58 mm dan nilai impedansi yang dihasilkan adalah 41.93 Ω . Sedangkan untuk nilai *return loss* pada frekuensi 5.4 Ghz dapat dilihat pada Gambar 4.12

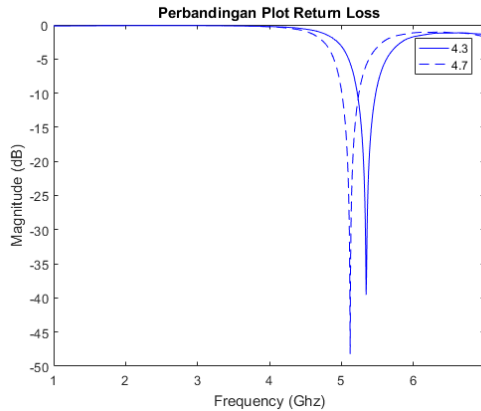


Gambar 4. 12 Perbandingan Nilai *Return Loss* Simulasi dengan Pengukuran Frekuensi 5.4 Ghz

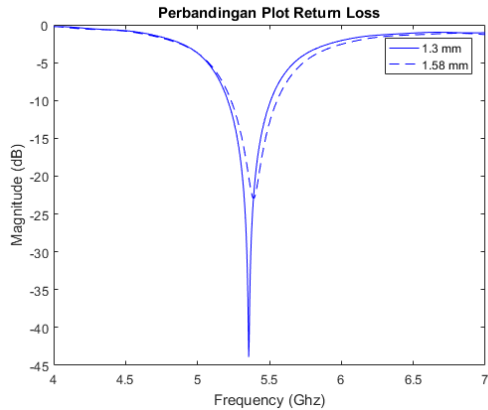
Sama halnya dengan perbandingan pengukuran dengan simulasi pada frekuensi kerja 2.4 Ghz pada perbandingan pengukuran dengan simulasi

pada frekuensi kerja 5.4 Ghz ini juga mengalami pergeseran frekuensi kerja dan juga mengalami kenaikan nilai *return loss* hal ini disebabkan karena bahan dielektrik yang digunakan berbeda dengan yang digunakan pada saat proses simulasi dan juga disebabkan karena adanya perbedaan impedansi yang disebabkan oleh konektor yang digunakan tidak sama dengan konektor yang digunakan pada saat simulasi.

Dalam hal ini dilakukan simulasi perbandingan plot *return loss* antara dielektrik dengan bahan 4.3 dan dielektrik dengan bahan 4.7 guna melihat efek dari perbedaan dielektrik yang digunakan dan juga dilakukan perbandingan nilai *return loss* antara konektor dengan diameter 1.3 mm dengan konektor dengan diameter 1.58 mm.



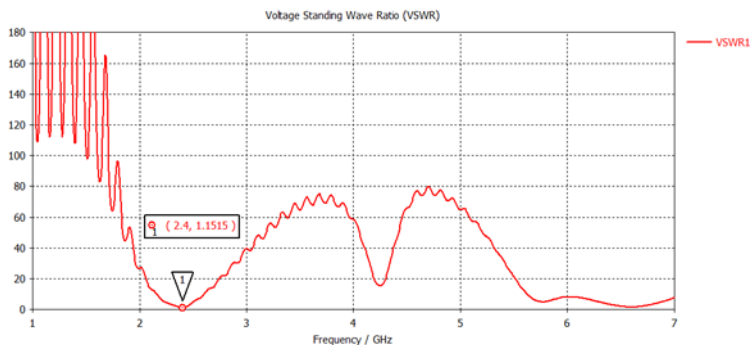
Gambar 4. 13 Perbandingan Nilai *Return Loss* antara Dielektrik dengan Bahan 4.3 dan Dielektrik dengan Bahan 4.7.



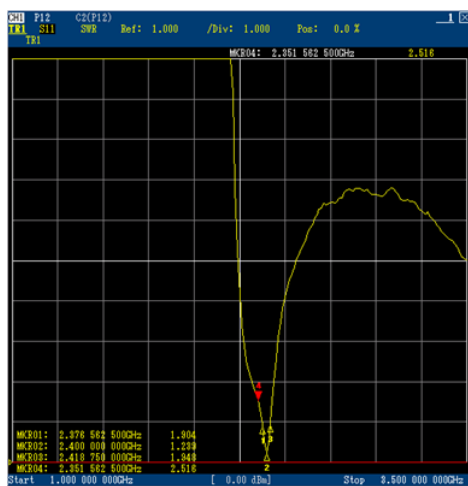
Gambar 4. 14 Perbandingan Nilai *Return Loss* antara Konektor dengan Diameter 1.3 mm dan Konektor dengan Diameter 1.58 mm.

Dari hasil perbandingan dapat ditarik kesimpulan bahwa jika bahan dielektrik yang digunakan berbeda maka akan terjadi pergeseran frekuensi, dalam hal ini terdapat pergeseran frekuensi dari frekuensi 2.398 Ghz menjadi frekuensi 2.35 Ghz, selain itu apabila diameter konektor yang digunakan juga berbeda maka nilai *return loss* pun juga berbeda.

4.4.2. Analisis Perbandingan Nilai VSWR

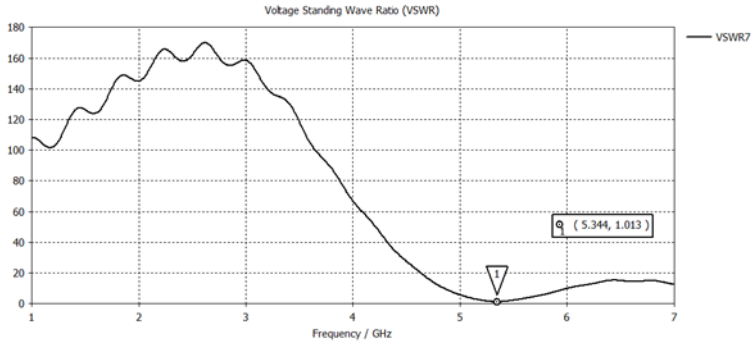


Gambar 4. 15 Nilai VSWR Simulasi

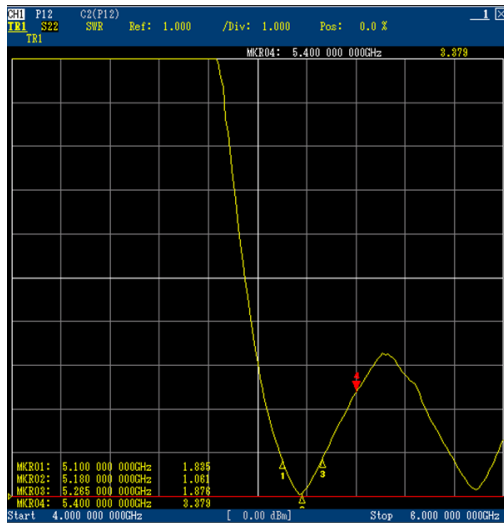


Gambar 4. 16 Nilai VSWR Pengukuran

Jika dilihat dari hasil pengukuran, nilai VSWR pada frekuensi kerja 2.4 GHz mengalami kenaikan yang tadinya besarnya 1.1515 menjadi 1.239 hal ini disebabkan karena adanya perubahan nilai *return loss*. Sedangkan untuk perbandingan nilai VSWR pada frekuensi 5.4 GHz dapat dilihat pada Gambar 4.17 dan Gambar 4.18



Gambar 4. 17 Nilai VSWR Simulasi

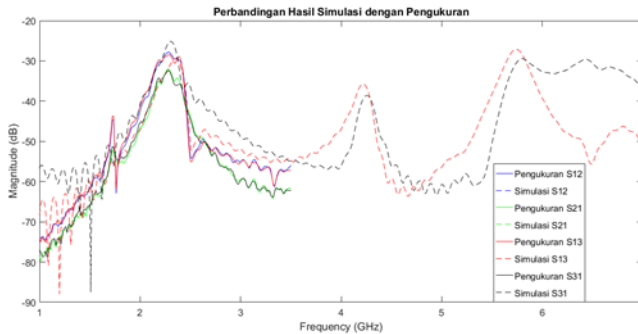


Gambar 4. 18 Nilai VSWR Pengukuran

Dari hasil pengukuran didapatkan nilai VSWR mengalami kenaikan dan mengalami pergeseran frekuensi yang sebelumnya nilai VSWR 1.013 pada frekuensi 5.344 Ghz menjadi 1.061 pada frekuensi 5.18 Ghz. Perubahan nilai VSWR dan pergeseran frekuensi disebabkan karena bahan dielektrik yang digunakan berbeda dengan bahan dielektrik

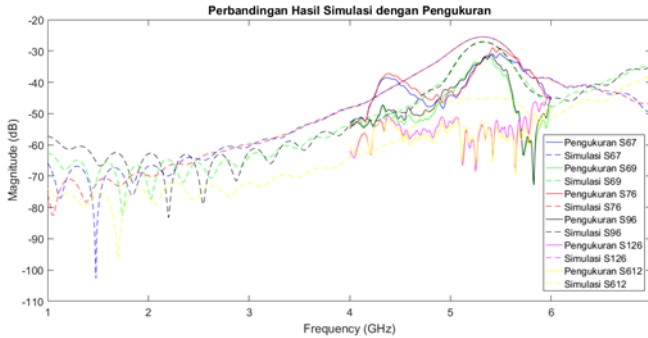
yang digunakan pada proses simulasi dan perubahan nilai VSWR disebabkan karena adanya perubahan pada nilai *return loss*, akan tetapi meskipun mengalami perubahan secara keseluruhan nilai VSWR antenna hasil fabrikasi masih memenuhi kinerja yang diinginkan yaitu dibawah 2.

4.4.3. Analisis Perbandingan *Mutual Coupling*



Gambar 4. 19 Perbandingan Nilai *Mutual Coupling* Simulasi dengan Pengukuran Frekuensi 2.4 Ghz

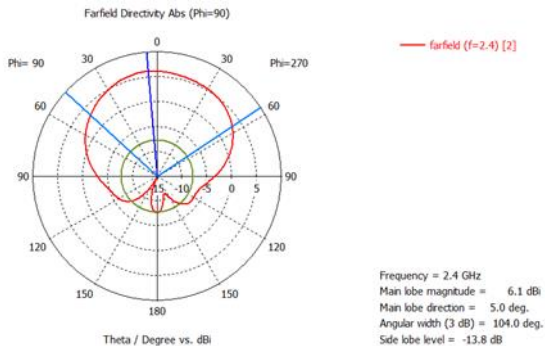
Dari perbandingan nilai *mutual coupling* hasil pengukuran dan simulasi pada frekuensi 2.4 Ghz tidak mengalami perubahan yang signifikan dan dari hasil pengukuran didapatkan nilai *mutual coupling* masih memenuhi kinerja yang diharapkan yaitu dibawah -20 dB. Sedangkan untuk hasil perbandingan nilai *mutual coupling* pada frekuensi 5.4 Ghz dapat dilihat pada Gambar 4.20



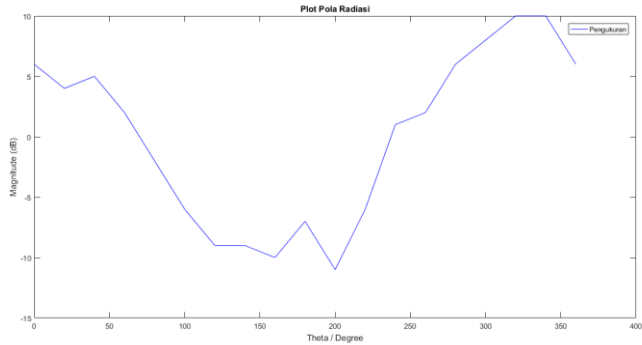
Gambar 4. 20 Perbandingan Nilai *Mutual Coupling* Simulasi dan Pengukuran Frekuensi 5.4 Ghz

Sama halnya dengan hasil perbandingan nilai *mutual coupling* pada frekuensi 2.4 Ghz, pada perbandingan nilai *mutual coupling* 5.4 Ghz juga tidak mengalami perubahan yang signifikan dan dari hasil pengukuran didapatkan nilai *mutual coupling* pada frekuensi 5.4 Ghz juga sudah memenuhi kinerja yang diinginkan yaitu dibawah -20 dB.

4.4.4. Analisis Perbandingan Pola Radiasi

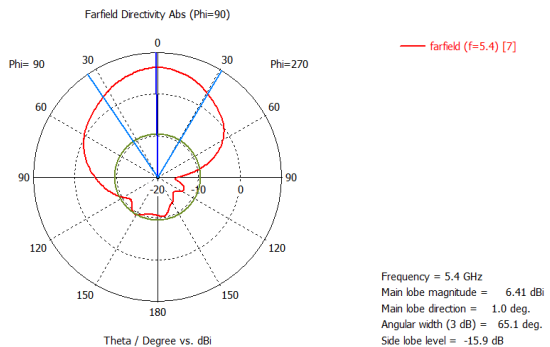


Gambar 4. 21 Pola Radiasi Simulasi Frekuensi 2.4 Ghz

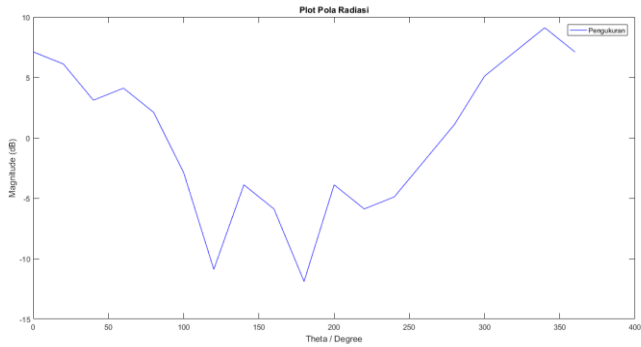


Gambar 4.9 Pola Radiasi Frekuensi 2.4 Ghz Terhadap Bidang H

Dari hasil perbandingan pola radiasi pada frekuensi kerja 2.4 Ghz terdapat perbedaan hasil pola radiasi, hal ini disebabkan karena pada saat pengukuran interval data yang diukur terlalu besar, semakin kecil interval maka data yang didapat akan semakin banyak sehingga hasil pola radiasi yang didapat akan semakin presisi. Sedangkan untuk perbandingan pola radiasi pada frekuensi 5.4 Ghz dapat dilihat pada Gambar 4.23.



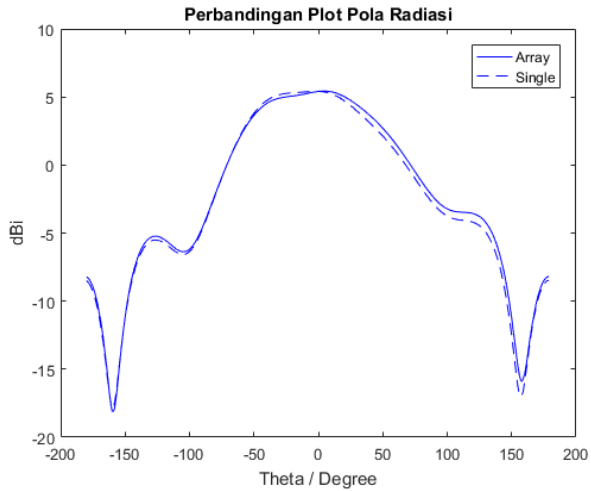
Gambar 4. 22 Pola Radiasi Simulasi Frekuensi 5.4 Ghz



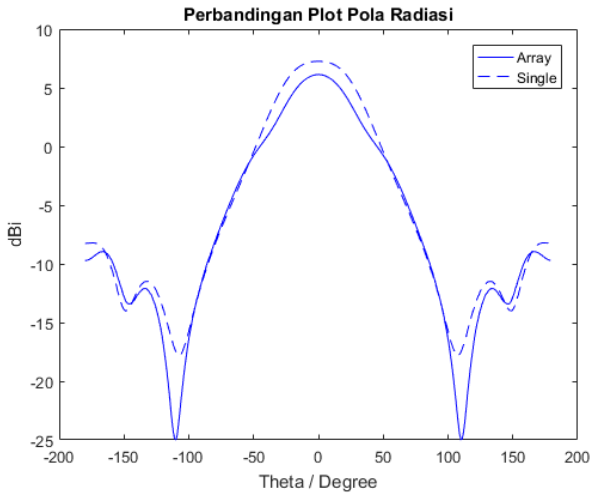
Gambar 4. 10 Pola Radiasi Frekuensi 5.4 Ghz Terhadap Bidang H

Sama halnya dengan perbandingan pola radiasi pada frekuensi kerja 2.4 Ghz, pada perbandingan pola radiasi pada frekuensi 5.4 Ghz ini juga mengalami perbedaan dikarenakan interval data yang diukur terlalu besar sehingga data yang didapat menjadi kurang presisi selain itu pengukuran pada antenna frekuensi 5.4 Ghz tidak berada pada medan *farfield* dikarenakan keterbatasan ruang *anechoic chamber*.

Jika dilihat dari gambar di atas didapatkan pola radiasi hasil pengukuran berbeda dari pola radiasi hasil simulasi hal ini menyebabkan sulitnya melakukan analisis, oleh karena itu dilakukan perbandingan pola radiasi melalui simulasi antara antenna *single element* dengan antenna *array* seperti yang dapat dilihat pada Gambar 4.25 dan Gambar 4.26



Gambar 4. 23 Perbandingan Pola Radiasi Antena *Single* dengan Antena *Array* pada frekuensi kerja 2.4 Ghz.



Gambar 4. 24 Perbandingan Pola Radiasi Antena *Single* dengan Antena *Array* pada frekuensi kerja 5.4 Ghz.

Dari hasil perbandingan didapatkan bahwa terdapat sedikit penurunan pola radiasi pada frekuensi kerja 2.4 Ghz dan terdapat penurunan yang cukup jelas pada frekuensi kerja 5.4 Ghz hal ini menunjukkan bahwa adanya efek *mutual coupling* mempengaruhi pola radiasi dari suatu antena. Pada frekuensi kerja 2.4 Ghz pola radiasi pada antena *array* hanya mengalami penurunan sedikit dikarenakan nilai *mutual coupling* dari antena tersebut berada pada sekitar -30 dB sedangkan pada frekuensi kerja 5.4 Ghz antena tersebut mempunyai nilai *mutual coupling* yang lebih besar yaitu sekitar -20 dB sehingga pada pola radiasi antena frekuensi kerja 5.4 Ghz mengalami penurunan yang cukup jelas.

4.4.5. Perbandingan Parameter Kerja Antena Hasil Pengukuran dan Hasil Simulasi

Setelah dilakukan pengukuran pada setiap parameter maka akan terlihat hasil dari setiap parameter yang telah diukur. Untuk melihat kinerja antena secara utuh maka perlu dilihat hasil perbandingan dari setiap parameter antena *subarray*. Perbandingan setiap parameter yang telah diukur dengan hasil simulasi dapat dilihat pada Tabel 4.1

Tabel 4. 1 Perbandingan Hasil Simulasi dengan Hasil Pengukuran

Parameter	Simulasi	Pengukuran	Selisih
Frekuensi Kerja	2.398 dan 5.344 Ghz	2.35 dan 5.17 Ghz	0.002 dan 0.174 Ghz
S11	-23.15 dB	-19.95 dB	3.2 dB
S22	-22.927 dB	-38.256 dB	15.329 dB
S33	-23.15 dB	-17.50 dB	5.65 dB
S66	-39.548 dB	-14.29 dB	25.258 dB
S77	-43.773 dB	-34.50 dB	9.273 dB
S99	-27.9 dB	-36.45 dB	8.55 dB
S1212	-39.548 dB	-36.56 dB	2.988 dB
S12	-30.8417 dB	-30.03 dB	0.8117 dB
S13	-33.4583 dB	-36.62 dB	3.1617 dB
S21	-30.8417 dB	-29.30 dB	1.5417 dB
S31	-33.4583 dB	-35.77 dB	2.3117 dB
S67	-25.5214 dB	-39.48 dB	13.9586 dB

S69	-26.9676 dB	-36.77 dB	9.8024 dB
S76	-25.4848 dB	-40.12 dB	14.6352 dB
S96	-27.1555 dB	-37.24 dB	10.0845 dB
S126	-45.2135 dB	-56.75 dB	11.5365 dB
S612	-45.2135 dB	-56.23 dB	11.0165 dB
<i>Bandwidth 1</i>	91 Mhz	42 Mhz	49 Mhz
<i>Bandwidth 2</i>	253 Mhz	165 Mhz	88 Mhz
VSWR1	1.1515	1.239	0.0875
VSWR2	1.3517	1.061	0.2907

Dari Tabel 4.1 dapat dilihat bahwa kinerja dari antenna *sub array* hasil fabrikasi sudah memenuhi kinerja yang diinginkan hal ini ditunjukkan dari nilai *return loss* yang lebih kecil dari -10 dB, nilai VSWR yang kurang dari 2 dan nilai *mutual coupling* dibawah -20 dB. Meskipun antenna hasil fabrikasi sudah memenuhi kinerja yang diinginkan ternyata pada antenna hasil fabrikasi terdapat pergeseran frekuensi pada nilai *return loss* dan terdapat perbedaan nilai *return loss*.

Pergeseran frekuensi disebabkan karena bahan dielektrik yang digunakan tidak sama dengan bahan dielektrik yang digunakan pada proses simulasi sedangkan perubahan nilai *return loss* disebabkan karena impedansi pada konektor SMA tidak sama dengan yang digunakan pada proses simulasi.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 5

PENUTUP

Bab ini berisi kesimpulan dari penelitian dan saran pengembangan pada penelitian selanjutnya.

5.1. Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Dimensi desain akhir antenna memiliki panjang *ground plane* sebesar 147.21 mm dan lebar *ground plane* sebesar 147.20 mm dengan panjang *patch* sebesar 12.23 mm, lebar *patch* sebesar 16.32 mm, panjang dan lebar *patch* sisa sebesar 11.50 mm dengan jarak antar antenna sejauh 18.38 mm untuk menyamping dan 8.50 mm untuk menurun.
2. Antena *sub array* hasil perancangan ini menghasilkan *gain* sebesar 9.93 dBi dan *bandwidth* sebesar 91 Mhz pada frekuensi 2.4 Ghz dan menghasilkan *gain* sebesar 15.8 dBi dan *bandwidth* sebesar 253 Mhz
3. Kinerja dari antenna *sub array* hasil fabrikasi sudah memenuhi kinerja yang diharapkan yaitu dengan nilai *return loss* kurang dari -10 dB, VSWR kurang dari 2, dan *mutual coupling* yang lebih kecil dari -20 dB.
4. Terdapat pergeseran frekuensi sebesar 0.048 Ghz pada frekuensi kerja 2.4 Ghz dan 0.174 Ghz pada frekuensi kerja 5.4 Ghz dan perubahan nilai pada *return loss* hasil pengukuran. Pergeseran frekuensi disebabkan karena bahan dielektrik yang digunakan tidak sama dengan bahan dielektrik pada proses simulasi, sedangkan perubahan nilai *return loss* disebabkan karena adanya perbedaan impedansi pada konektor yang digunakan

5.2. Saran

1. Sebelum melakukan simulasi perlu memastikan bahwa bahan bahan seperti konstanta dielektrik dari substrat, SMA konektor yang akan digunakan sesuai atau sama dengan bahan yang akan digunakan pada saat fabrikasi

2. Pada proses simulasi konfigurasi *meshing* perlu diperhatikan karena apabila *meshing* terlalu besar waktu simulasi juga akan menjadi semakin lama.
3. Pada proses pengukuran perlu dilakukan kalibrasi alat ukur terlebih dahulu untuk mendapatkan data yang lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] L. Li, M. Ali, and K. Haneda, "Compact dual-band antenna array for massive MIMO," Proc. IEEE PIMRC, Sept. 2016.
- [2] E. G. Larsson, O. Edfors, F. Tufvesson, and T. L. Marzetta, "Massive mimo for next generation wireless systems," IEEE Commun. Mag., vol. 52, no. 2, pp. 186-195, Feb. 2014.
- [3] Stutzman, W.L. and Thiele, A.G., "Antenna Theory and Design" 3rd ed., New York, 1998.
- [4] Bretcho P., Ludwig, R., "RF Circuit Design Theory and Applications", Prentice Hall, New Jersey, Ch. 2, 2000.
- [5] Wibowo, S.H., "Desain Antena Microstrip Patch Segitiga Fractal Planar pada Pita L untuk Sistem Komunikasi Satelit", Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Ch. 2, 2015.
- [6] Usman H., "Desain, Analisis, dan Fabrikasi Antena Microstrip Slot Array Untuk Spesifikasi Surveillance Radar Pada Frekuensi S-Band", Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2017.
- [7] Balanis, C. A., "Antenna Theory: Analysis and Design" 4th Edition, Wiley, New Jersey, 2016.
- [8] Alak M., "Rectangular Microstrip Patch Antena Using Coaxial Probe Feeding Technique to Operate in S-Band" International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT), April 2013.
- [9] Akbar Danar A., "Desain dan Analisis Material Antena Parabola Untuk *Synthetic Aperture Radar On-Board Microsatellite* Pada Frekuensi C-Band", Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2018.
- [10] C. Salvador, L. Borselli, A. Falciani, and S. Maci, "Dual frequency planar antenna at s and x band," *Electron. Lett.*, vol. 31, no. 20, pp. 1706-1707, Sep. 1995.
- [11] Y. Kishiyama, A. Benjebbour, S. Nagata, Y. Okumura, T. Nakamura, "NTT Docomo 5G Activities Toward 2020 Launch of 5G Services," NTT Docomo Technical Journal., vol 17, no.4, Apr. 2016.
- [12] Y. Suzuki, K. Kawai, S. Narahashi, T. Asai and Y. Okumura, "Requirements of Millimeter-Wave-Band Transmitter for Massive MIMO Base Station," *2017 IEEE MTT-S International Microwave and RF Conference (IMaRC)*, Ahmedabad, 2017, pp. 1-5. Aug. 2018.

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN A

PENGESAHAN PROPOSAL TUGAS AKHIR

Departemen Teknik Elektro
Fakultas Teknologi Elektro - ITS

EE 184801 TUGAS AKHIR – 6 SKS

Nama Mahasiswa : Ahya Aufa Romiza
Nomer Pokok : 07111440000180
Bidang Studi : Telekomunikasi Multimedia
Tugas Diberikan : Semester Ganjil 2018/2019
Dosen Pembimbing : 1. Eko Setijadi, S.T., M.T., Ph.D
2. Dr. Ir. Puji Handayani, M.T.

05 SEP 2018

Judul Tugas Akhir : **Desain Antena Dual Band Untuk Kebutuhan Massive MIMO.**
(*Dual Band Antenna Design for Massive MIMO*)


Uraian Tugas Akhir :

Antena merupakan sebuah komponen penting dalam sistem komunikasi. Fungsi dari antena adalah untuk mengirim sinyal elektromagnetik dari sumber transmisi ke antena atau dari antena ke penerima. Salah satu karakteristik antena adalah semakin banyak jumlah antena yang digunakan maka *spectral efficiency* atau jumlah informasi atau data yang dikirimkan juga akan semakin meningkat. Pada teknologi *massive MIMO* karakteristik dari antena ini memberikan dampak yang sangat besar dikarenakan teknologi *massive MIMO* memanfaatkan paling tidak seratus antena bekerja pada waktu dan frekuensi yang sama sehingga dapat meningkatkan *spectral efficiency* dari antena tersebut, akan tetapi disaat yang bersamaan *energy efficiency* akan menurun dikarenakan adanya pengaruh dari *mutual coupling* yang akan muncul jika antena diletakkan terlalu dekat dengan antena lain.

Pada tugas akhir ini akan dibuat desain dual band antenna microstrip yang bekerja pada frekuensi 2.4 Ghz dan 5 Ghz. Perancangan antena dilakukan dalam dua tahap yaitu simulasi dan fabrikasi, pada tahap simulasi setelah didapatkan desain single element maka desain tersebut akan di-array-kan sehingga menghasilkan sub array 2x2 element, hasil dari simulasi tersebut kemudian akan difabrikasi dan dilakukan analisis kinerja dari antena tersebut.

Kata Kunci : *dual band antenna, massive MIMO, antenna array.*

Dosen Pembimbing I,



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

Dosen Pembimbing II,


Dr. Ir. Puji Handayani, M.T.
NIP. 196605101992032002

Mengetahui,
Ketua Program Studi S1




Dedet Candra Riawan, S.T., M.Eng., Ph.D
NIP. 19731119200031001

Menyetujui,
Kepala Laboratorium Antena dan Propagasi


Prof. Ir. Gamantyo Hendratoro, M.Eng., Ph.D
NIP. 197011111993031002

LAMPIRAN B

DOKUMENTASI PENGUKURAN ANTENA

- A. Pengukuran *Return Loss*, *Mutual Coupling*, dan *VSWR* Menggunakan VNA di LIPI, Bandung.



- B. Pengukuran Pola Radiasi dalam *Anechoic Chamber*





Halaman ini sengaja dikosongkan

BIOGRAFI PENULIS



Ahya Aufa Romiza, lahir di Susoh pada tanggal 08 Oktober 1996. Anak ketiga dari tiga bersaudara, merupakan anak dari pasangan Bapak Isnandar Yunanto dan Ibu Eko Kurniati Lestari. Penulis menempuh jenjang pendidikan formal dari SD Muhammadiyah Sapen Yogyakarta, lalu SMP Negeri 5 Yogyakarta, dilanjutkan pada SMA Negeri 3 Yogyakarta. Setelah itu penulis melanjutkan pendidikan S1 di Institut Teknologi Sepuluh Nopember dengan mengambil jurusan Teknik Elektro dengan bidang studi Telekomunikasi Multimedia.