

**SKRIPSI**

**KONSTRUKSI ANTENA *RECONFIGURABLE* UNTUK TEKNOLOGI 5G**



*Disusun dalam rangka memenuhi salah satu persyaratan untuk menyelesaikan  
program Strata Satu Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik*

*Universitas Hasanuddin*

*Makassar*

Disusun Oleh:

**RAYVALDO STEFAN MA'DIKA**

**D411 15 012**

**DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**MAKASSAR**

**2019**



# LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR

## KONSTRUKSI ANTENA *RECONFIGURABLE* UNTUK TEKNOLOGI 5G

Disusun Oleh:

Rayvaldo Stefan Ma'dika

D411 15 012

Disusun dalam Rangka Memenuhi Salah Satu Pernyataan untuk Menyelesaikan Program Strata-1  
pada Sub-Program Teknik Telekomunikasi

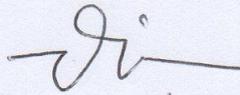
Departemen Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

Makassar, 15 Juli 2019

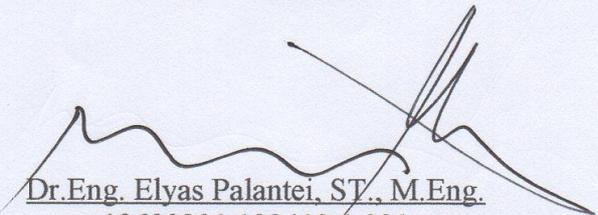
Disahkan Oleh:

Pembimbing I

Pembimbing II



Dr. Eng. Ir. Dewiani, MT.  
19691026 199412 2 001



Dr. Eng. Elyas Palantei, ST., M.Eng.  
19690201 199412 1 001

Mengetahui,

Ketua Departemen Teknik Elektro  
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin



Prof. Dr. Ir. Salama Manjang, M.T.  
NIP. 19621231 199003 1 024



## KATA PENGANTAR

Salam sejahtera untuk kita semua,

Dengan ucapan syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi mengenai topik antenawalaupun tidak sedikit hambatan dan kesulitan yang kami hadapi, tiada daya dan upaya kecuali dengan pertolongan Tuhan yang Maha Esa.

Walaupun demikian, dalam skripsi ini masih terdapat banyak kekurangan dan masih jauh dari kata sempurna yang disebabkan oleh keterbatasan kemampuan penulis. Oleh karena itu, saran dan kritik yang bersifat membangun sangat dibutuhkan dari semua pihak yang mana dapat membuat skripsi ini lebih baik di waktu yang akan datang.

Skripsi yang berjudul “Konstruksi Antena *Reconfigurable* Untuk Teknologi 5G” ini disusun untuk memenuhi persyaratan kurikulum sarjana strata-1 (S-1) pada Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Gowa.

Penulis menyadari bahwa penyusunan skripsi ini dari awal hingga selesai dapat terlaksana karena bantuan, motivasi, serta bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Orang tua penulis yang tercinta, ayahanda Yansi Alfian Ma'dika dan ibunda Joice Paulina Agustina Parera, yang selama ini senantiasa memberikan dorongan motivasi, doa, harapan, dan semangat bagi penulis.
2. Saudari Aulia Ananda yang telah senantiasa berbagi waktu dan memberikan dukungan selama melaksanakan kegiatan riset di Lab Antena Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
3. Ibu Dr. Eng. Ir. Dewiani, M.T. selaku pembimbing 1 dan Bapak Dr. Eng. Elyas Palentei, S.T., M.Eng. selaku Pembimbing 2 yang telah memberikan bimbingan, saran, dukungan, dan motivasinya dalam penyusunan skripsi ini.
4. Prof. Dr. Ir. Syarifuddin Syarief, M.T. selaku Penguji 1, dan Ibu Merna aharuddin S.T., M.Tel.Eng., Ph.D. selaku Penguji 2 yang telah memberikan kritik dan saran dalam penyusunan tugas akhir ini.



5. Bapak Prof. Dr. Ir. H. Salama Manjang, M.T., IPM. selaku Ketua Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin.
6. Bapak Dr. Ir. Muhammad Arsyad, M.T. selaku dekan Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin atas peran serta dukungannya.
7. Ibu Prof. Dr. Dwia Aries Tina Pulubuhu, MA. selaku Rektor Universitas Hasanuddin atas peran serta dukungannya.
8. Seluruh Bapak dan Ibu dosen Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin bimbingan, wawasan, dan ilmu yang telah diberikan.
9. Seluruh staff akademik Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin yang telah berperan membantu dalam penyelesaian skripsi ini
10. Seluruh teman-teman Thyristor 15 yang tercinta dan seluruh mahasiswa Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin atas kebersamaan dan waktu yang sangat berharga selama penulis berada di Kampus.

Semoga skripsi ini dapat berguna dan bermanfaat bagi siapa saja yang membacanya, demikian skripsi ini kami susun sedemikian rupa, apabila ada kata-kata yang kurang berkenan dan banyak terdapat kekurangan, kami mohon maaf. Tuhan memberkati.

Makassar, 15 Juli 2019

**Penulis**



## ABSTRAK

### KONSTRUKSI ANTENA *RECONFIGURABLE* UNTUK TEKNOLOGI 5G

Teknologi 5G diharapkan menjadi masa depan komunikasi nirkabel untuk menggantikan pendahulunya. Beberapa negara telah melakukan penelitian untuk menemukan pita frekuensi yang cocok untuk implementasi 5G. Frekuensi di sekitar 3,5GHz dan 4,8GHz dianggap cocok untuk menerapkan 5G. Untuk mendukung implementasi 5G, diperlukan antenna yang cocok. Antena harus bekerja pada pita frekuensi 5G dan harus berukuran sekecil mungkin agar dapat dipasang di bagian belakang ponsel.

Planar inverted F Antenna adalah jenis antenna yang sering digunakan untuk handset mobile karena ukurannya yang kecil dan biaya yang murah. Tujuan dari skripsi ini adalah untuk merancang antenna PIFA yang bekerja pada pita frekuensi 5G. Antena dirancang pada substrat FR4 dengan  $h = 1.6\text{mm}$  dan konstanta dielektrik  $\epsilon_r = 4.3$ . Patch ditempatkan 5mm di atas *ground plane* dan dihubungkan oleh *shortplate* di tepi bidang patch dan *ground*. Sebuah *patch V* ditambahkan untuk mendapatkan frekuensi kerja yang rendah. Patch utama dan patch tambahan dihubungkan oleh dioda PIN yang berfungsi sebagai saklar untuk mencapai kondisi antenna yang dapat dikonfigurasi ulang. Setelah disimulasikan, antenna bekerja dengan baik pada 3.5GHz dan 4.8GHz dengan pola radiasi simulasi menunjukkan pola searah yang terutama ditujukan pada bagian atas tambalan.

Pengukuran menunjukkan bahwa antenna memiliki return loss -27.2208 pada 3.5GHz dan -27.5751dB pada frekuensi 4.8GHz. Antena bekerja pada kisaran frekuensi 3,44GHz - 3,62GHz dan 4,293GHz - 5,193GHz. Pola radiasi menunjukkan bahwa antenna sebagian besar terpancar di bagian atas tambalan dan memiliki gain 4,03dB pada 3,5GHz dan 2,82dB pada frekuensi 4,8GHz. Dari hasil simulasi pada *switching* otomatis pada antenna, diketahui bahwa antenna mampu mengubah frekuensi kerjanya secara otomatis hingga pada jarak 10m.

**Kata kunci**— planar, *inverted F*, multiband, *reconfigurable*, konstanta dielektrik, *return loss*, *gain*, pola radiasi.



## ABSTRACT

# CONSTRUCTION OF RECONFIGURABLE ANTENNA FOR 5G TECHNOLOGY

5G technology is expected to be the future of wireless communication to replace its predecessors. Some countries already did research to find the suitable frequency bands for the 5G implementation. Frequency around 3.5GHz and 4.8GHz are considered to implement 5G. To support 5G implementation, a suitable antenna is needed. The antenna needs to work at 5G frequency bands and need to be as small as possible to be mounted at the rear of the mobile handset.

Planar inverted F Antenna is a common type of antenna for mobile handset because of its compactness and low profile. The objective of this paper is to design a planar inverted F antenna that work at 5G frequency bands. It is designed on FR4 substrate with  $h = 1.6\text{mm}$  and dielectric constant  $\epsilon_r = 4.3$ . The patch is placed 5mm above the ground plane and connected by the shorting plate at the edge of the patch and ground plane. An extended V patch is added to get the lower frequency band. The main patch and extended patch is connected by a lumped element which represent the PIN diode which will work as a switch to achieve the reconfigurable state of the antenna. After simulated, the antenna works fine at both 3.5GHz and 4.8GHz with simulated radiation pattern shows unidirectional pattern that mainly aimed at the top of the patch.

The measurement shows that the antenna has return loss of -27,2208 at 3.5GHz and -27.5751dB at 4.8GHz frequencies. The antenna works at frequency range of 3,44GHz – 3,62GHz and 4,293GHz – 5.193GHz. Radiation pattern show that the antenna mostly radiated at the top of the patch and has gain of 4.03dB at 3.5GHz and 2.82dB at 4.8GHz frequencies. From the simulation of automatic switching of the antenna, it shows that the antenna can adjust its frequencies up to 10m.

**Keywords**— planar, inverted F, multiband, reconfigurable, dielectric constant, return loss, gain, radiation pattern.



## DAFTAR ISI

<b>JUDUL SKRIPSI</b> .....	Error! Bookmark not defined.
<b>LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR</b> .....	Error! Bookmark not defined.
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>v</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>vi</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>vii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>x</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xiii</b>
<b>BAB I</b> .....	<b>1</b>
I.1 Latar Belakang .....	1
I.2 Rumusan Masalah .....	4
I.3 Tujuan Penulisan.....	5
I.4 Manfaat Penulisan.....	5
I.5 Batasan Masalah.....	6
I.6 Metode Penelitian.....	7
I.7 Sistematika Penulisan.....	8
<b>BAB II</b> .....	<b>10</b>
II.1 Gelombang Radio .....	10
II.2 Antena.....	11
II.2.1 Pola Radiasi .....	12
II.2.2 Radiation Pattern Lobes.....	15
II.2.3 Diagram Radiasi .....	17
II.2.4 Direktivitas dan Gain .....	19
II.2.5 Polarisasi .....	21
II.2.6 <i>Return Loss dan Voltage Standing Wave Ratio (VSWR)</i> .....	22
II.2.7 <i>Bandwidth</i> .....	23
II.3 <i>Planar Inverted F Antenna (PIFA)</i> .....	24
Antena <i>Reconfigurable</i> .....	26
Moda PIN .....	28
Teknologi Generasi ke 5 (5G) .....	29



<b>BAB III</b> .....	<b>31</b>
III.1 Perangkat yang Digunakan.....	31
III.2 Spesifikasi Antena.....	32
III.3 Diagram Alir Perancangan.....	33
III.4 Penjelasan Diagram Alir.....	34
III.5 Desain Antena.....	36
III.5.1 Penentuan Desain Awal Antena.....	36
III.5.2 Penentuan Posisi Pin Konektor.....	38
III.5.3 Penentuan Lebar <i>Shortplate</i> .....	40
III.5.4 Modifikasi Slot U Pada <i>Patch</i> Untuk Frekuensi 4,8GHz.....	41
III.5.5 Modifikasi Slot U Menjadi 3 Slot Untuk Frekuensi 4,8GHz.....	43
III.5.6 Modifikasi Slot U Menjadi 5 Slot Untuk Frekuensi 4,8GHz.....	44
III.5.7 Penambahan <i>Patch</i> Kecil Untuk Frekuensi 4,8GHz.....	45
III.5.8 Modifikasi <i>Patch</i> Untuk Frekuensi 3,5GHz.....	47
III.5.9 Desain Akhir Antena.....	49
<b>BAB IV</b> .....	<b>59</b>
IV.1 Hasil Fabrikasi dan Konfigurasi Pengukuran.....	59
IV.2 Hasil Pengukuran.....	63
IV.2.1 Hasil Pengukuran <i>Return Loss</i> dan VSWR pada Kondisi I.....	63
IV.2.2 Hasil Pengukuran <i>Return Loss</i> Pada Kondisi II.....	69
IV.2.3 Hasil Pengukuran Pola Radiasi dan <i>Gain</i> .....	75
IV.2.4 Hasil Simulasi <i>Switching</i> Otomatis pada Antena.....	80
IV.3 Analisis Hasil Pengukuran.....	88
IV.3.1 Analisis <i>Return Loss</i> pada Kondisi I.....	88
IV.3.2 Analisis <i>Return Loss</i> pada Kondisi II.....	89
IV.3.3 Analisis Pola Radiasi dan <i>Gain</i> .....	91
IV.3.4 Analisis Simulasi <i>Switching</i> Otomatis pada Antena.....	100
IV.3.4 Karakteristik <i>Bandwidth</i> .....	101
IV.3.5 Nilai <i>Error</i> .....	102
<b>PENUTUP</b> .....	<b>105</b>
Kesimpulan.....	105
Referensi.....	106



**DAFTAR PUSTAKA ..... 107**  
**LAMPIRAN.....109**



## DAFTAR GAMBAR

Gambar II.1 Sistem koordinat Untuk Analisis Antena [10].....	13
Gambar II.2 Pola Radiasi Medan (linear) [10].....	14
Gambar II.3 Pola Radiasi daya (linear) [10] .....	14
Gambar II.4 Pola Radiasi Daya (dB) [10].....	15
Gambar II.5 (a) <i>Radiation Lobes</i> dan <i>Beamwidth</i> pada Pola Radiasi. (b) Plot linear dari pola radiasi serta <i>lobe</i> dan <i>beamwidth</i> nya [10].....	16
Gambar II.6 Diagram Radiasi Tiga Dimensi Dari Sebuah Antena Dipole [8] ..	17
Gambar II.7 Diagram Radiasi 2D Dipol (a) pada Bidang Horizontal (b) Bidang Vertikal [8].....	18
Gambar II.8 Polarisasi Linear (vertikal) .....	21
Gambar II.9 Polarisasi Eliptis .....	22
Gambar II.10 Planar Inverted-F Antenna (PIFA) .....	24
Gambar II.11 <i>Layer</i> Pada Dioda PIN.....	29
Gambar III.1 Desain Awal <i>Patch</i> Antena (a) Tampak Atas, (b) Tampak Samping .....	38
Gambar III.2 Hasil Simulasi dengan Mengubah Posisi Konektor Terhadap <i>Short Plate</i> .....	39
Gambar III.3 Pengaruh Lebar <i>Short Plate</i> Terhadap <i>Return Loss</i> .....	40
Gambar III.4 Penambahan Slot U pada <i>Patch</i> .....	42
Gambar III.5 Nilai <i>Return Loss</i> dari Modifikasi Bentuk <i>Patch</i> dengan Menambahkan Slot U.....	42
Gambar III.6 Modifikasi Slot U Menjadi 3 Slot .....	43
Gambar III.7 Nilai <i>Return Loss</i> 3 Slot dibandingkan dengan Slot U.....	44
Gambar III.8 Modifikasi Slot U Menjadi 5 Slot .....	44
Gambar III.9 Nilai <i>Return Loss</i> 5 Slot dibandingkan dengan Slot U dan 3 Slot ..	45
Gambar III.10 Modifikasi Bentuk <i>Patch</i> Dengan Menambahkan <i>Patch</i> baru n, (c) 2x1mm, (d) 3x1mm.....	46



Gambar III.11 Nilai <i>Return Loss</i> dari Modifikasi Bentuk <i>Patch</i> dengan Menambahkan <i>Patch</i> baru.....	46
Gambar III.12 Modifikasi Dengan Menambahkan <i>Patch</i> Berbentuk V .....	48
Gambar III.13 Nilai <i>Return Loss</i> pada Frekuensi 3,5GHz Setelah ditambahkan <i>Patch</i> Berbentuk V .....	48
Gambar III.14 Nilai <i>Return Loss</i> pada Frekuensi 4,8GHz Setelah ditambahkan <i>Patch</i> Berbentuk V .....	48
Gambar III.15 Desain Antena PIFA (a) Tampak Atas <i>Patch</i> , (b) Tampak Atas Keseluruhan, (c) Tampak Depan, (d) Tampak Samping, (e) Tampak Bawah.....	50
Gambar III.16 Hasil Akhir Simulasi PIFA pada Frekuensi 3,5GHz dan 4,8GHz	52
Gambar III.17 Nilai VSWR pada (a)Frekuensi 3,5GHz dan (b)Frekuensi4,8GHz .....	54
Gambar III.18 Animasi <i>H-Field</i> dari Antena (a) Frekuensi 3,5GHz (b) Frekuensi 4,8GHz .....	55
Gambar III.19 Animasi <i>E-Field</i> dari Antena (a) Frekuensi 3,5GHz (b) Frekuensi 4,8GHz .....	55
Gambar III.20 Pola Radiasi Antena Dalam Bentuk Polar (a) Plot XZ [ $\phi$ 0/ $\theta$ ] (b) Plot YZ [ $\phi$ 90/ $\theta$ ] (c) Plot XY [ $\theta$ 0/ $\phi$ ] .....	57
Gambar III.21 Pola Radiasi Antena Dalam Bentuk 3D (a) Frekuensi 3.5 (b) Frekuensi 4.8GHz .....	58
Gambar IV.1 Rangkaian Bias Antena .....	59
Gambar IV.2 Antena yang Telah Difabrikasi (a) Belum Dihubungkan dengan Rangkaian Bias (b) Pada Saat Pengukuran .....	60
Gambar IV.3 Konfigurasi Pengukuran (a) Kondisi Dioda ON (b) Kondisi Dioda OFF .....	61
Gambar IV.4 Kondisi <i>Patch</i> Aktif Antena pada Kondisi (a) dioda ON (b) dioda OFF .....	62
Gambar IV.5 Hasil Pengukuran <i>Return Loss</i> pada Kondisi I (a) Frekuensi 3,5GHz (b) Frekuensi 4,8GHz.....	64
Gambar IV.6 Perbandingan <i>Return Loss</i> Pengukuran dan Simulasi (a) Frekuensi 3,5GHz (b) Frekuensi 4,8GHz .....	65



Gambar IV.7 Hasil Pengukuran Nilai VSWR (a) Frekuensi 3,5GHz (b) Frekuensi 4,8GHz .....	67
Gambar IV.8 Antena Saat Menggunakan <i>Microcontroller Sebagai Saklar</i> .....	69
Gambar IV.9 Rangkaian Konfigurasi Antena Menggunakan <i>Microcontroller</i> ....	70
Gambar IV.10 <i>Return Loss</i> Antena pada Kondisi II (a) Frekuensi 3,5GHz (b) Frekuensi 4,8GHz .....	72
Gambar IV.11 Perbandingan Hasil <i>Return Loss</i> Antena pada Kondisi I dan Kondisi II (a) Frekuensi 3,5GHz (b) Frekuensi 4,8GHz .....	73
Gambar IV.12 Pola Radiasi pada Frekuensi 3,5GHz (a) Phi 0/ theta (b) Phi 90/theta (c) Theta 0/phi .....	77
Gambar IV.13 Pola Radiasi pada Frekuensi 4,8GHz (a) Phi 0/Theta (b) Phi 90/Theta (c) Theta 0/Phi.....	79
Gambar IV.14 Diagram Alir <i>Switching</i> otomatis pada Antena.....	81
Gambar IV.15 Konfigurasi <i>Switching</i> Otomatis Pada Antena.....	82
Gambar IV.16 Algoritma Kerja dari Simulasi <i>Switching</i> otomatis pada Antena .	83
Gambar IV.17 Proses Simulasi <i>Switching</i> Otomatis pada Antena.....	86
Gambar IV.18 Hasil Pengukuran Ulang Antena Tanpa <i>Microcontroller</i> Pada Frekuensi 3,5GHz .....	91
Gambar IV.19 <i>Scattering Plot</i> Pola Radiasi pada Frekuensi 3,5GHz (a) Phi 0/Theta (b) Phi 90/Theta (c) Theta 0/Phi.....	93
Gambar IV.20 <i>Scattering Plot</i> Pola Radiasi pada Frekuensi 4,8GHz (a) Phi 0/ Theta (b) Phi 90/Theta (c) Theta 0/Phi.....	95
Gambar IV.21 Plot Theta 0/Phi Frekuensi 3,5GHz (a) Vektor Theta (b) Vektor Phi .....	97
Gambar IV.22 Plot Theta 0/Phi Frekuensi 4,8GHz (a) Vektor Theta (b) Vektor Phi .....	98



## DAFTAR TABEL

Tabel III.1 Ukuran Desain Antena .....	51
Tabel III.2 Hasil Pengukuran .....	53
Tabel IV.1 Perbandingan Hasil Simulasi dan Pengukuran pada Frekuensi 3,5GHz .....	68
Tabel IV.2 Perbandingan Hasil Simulasi dan Pengukuran pada Frekuensi 4,8GHz .....	68
Tabel IV.3 Perbandingan Hasil Pengukuran pada Kondisi I dan Kondisi II di Frekuensi 3,5GHz .....	74
Tabel IV.4 Perbandingan Hasil Pengukuran pada Kondisi I dan Kondisi II di Frekuensi 4,8GHz .....	74
Tabel IV.5 Hasil Simulasi <i>Switching</i> Otomatis Pada Antena .....	86
Tabel IV.6 Tegangan <i>Trigger</i> dari <i>RF Detector</i> .....	87



# BAB I

## PENDAHULUAN

### I.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi yang terjadi di era globalisasi sangat dipengaruhi oleh kemampuan pertukaran informasi dan komunikasi yang semakin maju, menjadikan peranan telekomunikasi sebagai salah satu sektor yang sangat penting dalam perkembangan teknologi itu sendiri. Teknologi nirkabel (*wireless*) menjadi salah satu teknologi telekomunikasi yang terus mengalami perkembangan yang sangat pesat. Hampir seluruh perangkat komunikasi menggunakan sistem nirkabel untuk dapat saling terhubung satu sama lain. Efisiensi yang meningkat (*high data rate*), akses yang lebih mudah (tanpa kabel), fleksibilitas dan mobilitas yang tinggi, serta biaya instalasi yang murah menjadi keunggulan teknologi nirkabel sehingga menjadi salah satu pilihan utama dalam dunia telekomunikasi [1].

*Mobile Communication* merupakan salah satu teknologi nirkabel yang paling banyak digunakan saat ini. Pada tahun 2018, diperkirakan pengguna *mobile phone* di dunia adalah sebesar 4,57 miliar orang dan akan terus meningkat hingga 4,78 miliar orang pada tahun 2020 [2]. Dalam kurun waktu 38 tahun, teknologi *mobile* telah mengalami 4 kali transformasi, yang diawali oleh munculnya generasi pertama (1G) pada tahun 1980, yang kemudian berkembang

di generasi kedua (2G) pada awal 1990-an, terus menjadi generasi ketiga pada akhir 1990-an, dan terakhir adalah generasi keempat (4G) yang



digunakan hingga sekarang [1]. Sedangkan untuk generasi kelima (5G) diperkirakan akan rilis secara resmi pada tahun 2019.

Saat ini, telah banyak dilakukan riset dan penelitian untuk menentukan standarisasi serta implementasi generasi kelima (5G) dari teknologi *mobile*. Teknologi 5G diharapkan dapat terintegrasi dengan teknologi-teknologi pendahulunya sehingga tidak perlu melakukan perombakan yang besar dalam struktur dan arsitektur komunikasi yang telah ada. Selain itu, penentuan spektrum frekuensi menjadi salah satu aspek yang diperhitungkan dalam melakukan standarisasi teknologi 5G. Beberapa spektrum frekuensi telah dipertimbangkan untuk mengimplementasikan teknologi 5G, antara lain adalah frekuensi C band dan *high frequency* 28GHz-80GHz. Sebagian besar negara telah melakukan riset untuk mengimplementasikan 5G pada kisaran frekuensi 3,5GHz seperti Tiongkok yang telah melakukan riset dan perencanaan implementasi 5G pada pita frekuensi 3,3 - 3,6GHz, begitu pun dengan Jepang dan Korea masing-masing pada frekuensi 3,4 – 3,6 GHz dan 3,4 – 3,7GHz. Selain itu, Jepang, Rusia dan Tiongkok juga telah melakukan riset lebih jauh untuk mengimplementasikan teknologi 5G masing-masing pada frekuensi 4,4 – 4,9 GHz untuk Jepang, dan 4,8 – 5GHz untuk Rusia dan Tiongkok. [3].

Untuk mendukung *mobile communication*, maka dibutuhkan sebuah antenna yang berukuran kecil, ringan, namun memiliki efisiensi yang baik.

n antenna harus sesuai dengan ukuran *handset* yang tergolong kecil. n masuknya teknologi 5G tentunya akan mendorong vendor untuk uat desain antenna baru yang mampu bekerja pada frekuensi 5G. Antena



tersebut harus mampu bekerja pada beberapa frekuensi kerja (*multiband*). Salah satu cara untuk mendapatkan beberapa frekuensi kerja adalah dengan menggunakan antena *reconfigurable*.

Antena *reconfigurable* adalah antena yang dapat dikonfigurasi agar mampu bekerja sesuai dengan kondisi yang ditentukan. Kondisi *multiband* dapat dicapai dengan mengubah parameter-parameter tertentu pada antena seperti lebar dan panjang patch, ataupun dengan penambahan slot. Dengan menggunakan komponen seperti dioda PIN maupun *varactor* yang berfungsi sebagai saklar, kita dapat mengontrol parameter-parameter antena sehingga dapat bekerja frekuensi yang diinginkan.

Dalam jurnal penelitian yang dibuat oleh Venkateswara Rao Tumati and Jaya Cheruku [4], sebuah antena patch *reconfigurable multiband* didesain dengan menambahkan dua buah slot yang membagi patch antena menjadi 3 bagian. 2 buah dioda PIN kemudian digunakan untuk menghubungkan 3 bagian patch yang terpisah. Dengan mengontrol dioda PIN *on* dan *off*, maka antena yang didesain dapat bekerja pada frekuensi Wi-Fi, Wi-MAX, dan *C-band*.

Selain itu pada penelitian yang dibuat oleh André Miguel dos Santos Soares [5], sebuah antena *reconfigurable printed monopole* didesain dengan memotong bagian dari monopole yang kemudian dihubungkan menggunakan dioda PIN dan *chip* MOSFET . Dengan mengontrol dioda PIN/*chip* MOSFET

di *off*, maka antena dapat bekerja pada frekuensi tinggi, dan disaat *on*, terjadi pergeseran frekuensi ke frekuensi yang lebih rendah.



Selain itu, pada jurnal penelitian yang dibuat oleh Elyas Palantei, David V. Thiel, dan Steven G. O'Keefe [6], sebuah antena *rectangular patch* didesain dengan dua *folded dipole* di masing-masing kiri dan kanannya. Sebuah *common ground* diletakkan di bawah patch dan dipol. Dengan menggunakan 4 buah dioda PIN, maka antena dapat dikonfigurasi untuk dapat bekerja pada frekuensi 5GHz, 10GHz, 11GHz, 14GHz, dan 15GHz.

Dari rujukan penelitian di atas, penulis dapat mengetahui bahwa dengan memodifikasi antena menggunakan saklar seperti dioda PIN, maka antena dapat dikonfigurasi untuk bekerja pada frekuensi tertentu. Saklar akan mengubah dimensi maupun bentuk antena sehingga frekuensi kerja akan mengalami pergeseran ketika saklar diaktifkan.

Oleh karena itu, pada tugas akhir ini penulis akan merancang sebuah antena *Reconfigurable* yang mampu bekerja pada dua frekuensi kerja, yaitu frekuensi 3,5GHz dan 4,8GHz untuk implementasi 5G. Adapun judul dari Tugas Akhir ini adalah **KONSTRUKSI ANTENA RECONFIGURABLE UNTUK TEKNOLOGI 5G.**

## I.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian pada latar belakang, maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

Bagaimana merancang dan merealisasikan antena *reconfigurable* yang dapat bekerja pada frekuensi kerja 3,5GHz dan 4,8 GHz?



2. Bagaimana hasil pengukuran parameter antenna lewat simulasi menggunakan *software* CST?
3. Bagaimana hasil pengukuran antenna yang telah direalisasikan.
4. Bagaimana perbandingan hasil pengukuran antenna yang direalisasikan dan hasil simulasi?

### **I.3 Tujuan Penulisan**

Penelitian ini bertujuan untuk merealisasikan sebuah antenna reconfigurable yang dapat bekerja pada frekuensi kerja 3,5GHz dan 4,8GHz. Adapun tujuan yang ingin di capai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Merancang dan merealisasikan antenna *reconfigurable* yang dapat bekerja pada frekuensi kerja 3,5GHz dan 4,8GHz.
2. Mengetahui hasil pengukuran parameter antenna lewat simulasi menggunakan software CST.
3. Mengetahui hasil pengukuran antenna yang telah direalisasikan.
4. Mengetahui perbandingan hasil pengukuran antenna yang direalisasikan dan hasil simulasi.

### **I.4 Manfaat Penulisan**

Penelitian ini memiliki beberapa manfaat seperti yang di uraikan berikut ini :



1. Bagi penulis, penelitian ini diharapkan menjadi evaluasi untuk mengukur kemampuan dan potensi diri sendiri. Serta dapat menerapkan disiplin ilmu teori dan aplikasi yang telah didapatkan selama masa perkuliahan.
2. Bagi masyarakat dan mahasiswa, penelitian ini diharapkan bermanfaat untuk menambah wawasan dan menjadi acuan untuk mengembangkan penelitian serupa di masa yang akan datang.
3. Bagi Institusi Pendidikan Departemen Teknik Elektro & pada bidang Teknologi Telekomunikasi dan Informasi, penelitian ini dapat digunakan sebagai referensi ilmiah untuk mengembangkan penelitian yang berhubungan dengan topik antena, serta mempersiapkan Departemen Teknik Elektro dalam menghadapi masuknya teknologi 5G di masa yang akan datang.
4. Bagi kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi, penelitian ini diharapkan menjadi pemicu kreativitas untuk terus mengembangkan ilmu pengetahuan dan teknologi.

### **I.5 Batasan Masalah**

Dalam pengerjaan tugas akhir ini akan dibatasi pada hal-hal berikut:

1. Pembuatan desain dan simulasi antena menggunakan *software CST Studio Suite*.
2. Frekuensi kerja antena adalah 3,5GHz dan 4,8GHz

parameter antena yang akan diukur meliputi VSWR, Gain, Return Loss (RL), pola radiasi dan *Bandwidth*.



4. Pengukuran dilakukan di ruang *chamber* kampus Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Gowa.
5. Tidak akan membahas teknologi 5G secara mendalam.
6. Tidak akan membahas teknologi wireless secara mendalam.

## I.6 Metode Penelitian

Adapun metode Penelitian yang digunakan dalam penulisan ini guna menyelesaikan masalah, antara lain :

### 1. Studi Literatur

Tahap pertama adalah pengumpulan literatur-literatur berupa konsep dan teori yang berkaitan dengan masalah-masalah yang ada pada Tugas Akhir ini, baik berupa artikel, buku referensi, internet, dan sumber-sumber lainnya. Pada tahap ini akan dipelajari secara mendalam mengenai antena secara umum, desain antena *reconfigurable*, serta parameter-parameter yang terdapat di antena.

### 2. Perancangan dan Simulasi

Tahap kedua dari penelitian ini yaitu melakukan perancangan desain antena dan melakukan simulasi untuk mendapatkan parameter-parameter yang diinginkan.



### 3. Realisasi dan Pengukuran

Setelah tahap kedua selesai, maka tahap ketiga adalah melakukan realisasi dari rancangan antena yang telah dibuat. Kemudian mengukur parameter-parameter yang diinginkan.

### 4. Analisis Hasil Simulasi dan Pengukuran

Setelah tahap ketiga selesai, maka dilakukan perbandingan dari hasil simulasi yang didapatkan dengan hasil pengukuran di lapangan untuk kemudian dianalisis lebih lanjut.

### 5. Penarikan simpulan

Tahap akhir dari penelitian ini ialah menarik simpulan dari analisis data mengenai semua masalah yang dibahas. Hal ini berguna untuk menjawab semua masalah yang telah diuraikan sebelumnya.

## **I.7 Sistematika Penulisan**

Agar pembahasan yang disajikan lebih sistematis, maka Tugas Akhir ini akan dibagi ke dalam lima bab. Isi masing-masing dari bab diuraikan secara singkat dibawah ini:

BAB I PENDAHULUAN, berisi tentang latar belakang, rumusan masalah, penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, metode penelitian dan sistematika penulisan.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA, berisi tentang teori dasar yang menunjang dan berhubungan dalam penulisan laporan ini.

BAB III METODE PERANCANGAN DAN REALISASI, berisi tentang proses perancangan desain antena yang kemudian akan direalisasikan menjadi sebuah antena *reconfigurable*.

BAB IV HASIL DAN ANALISIS, berisi hasil dan analisis simulasi dan pengukuran secara langsung di lapangan, meliputi parameter-parameter yang telah dijelaskan di batasan masalah.

BAB V PENUTUP, berisi simpulan dan saran-saran dari penulis yang perlu di tingkatkan dalam penelitian di kemudian hari.



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### II.1 Gelombang Radio

Gelombang radio adalah gelombang elektromagnetik yang ditransmisikan ke ruang bebas dari sebuah pemancar radio ke penerima. Gelombang elektromagnetik merambat melalui ruang dengan kecepatan cahaya (300.000.000 meter per detik). Gelombang elektromagnetik terdiri dari kombinasi antara medan listrik dan medan magnet. Kunci dari gelombang elektromagnetik adalah bahwa arus yang berubah-ubah di ruang bebas akan mengakibatkan medan listrik yang berubah-ubah. Perubahan medan listrik akan menginduksi medan magnet yang juga berubah-ubah, dan keduanya akan berpropagasi menjauhi sumber [7]. Gelombang radio (*RF wave*) berada pada rentan frekuensi 3KHz – 300GHz. Terdapat beberapa parameter dalam gelombang radio, antara lain frekuensi, periode, dan panjang gelombang atau lambda. Frekuensi adalah banyaknya gelombang atau sinyal yang telah melalui suatu siklus penuh, dari tegangan nol ke maksimum, kembali ke nol, ke tegangan minimum, dan kembali ke nol dalam suatu satuan waktu dan dinyatakan oleh satuan Hertz (Hz). Periode adalah waktu yang dibutuhkan agar gelombang dapat melakukan siklusnya secara penuh dinyatakan oleh satuan sekon (s). Periode adalah kebalikan dari frekuensi. Hubungan keduanya

dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$f = 1/T \quad (2.1)$$



di mana,  $f$  adalah frekuensi dalam hertz (Hz), dan  $T$  adalah waktu dalam sekon (s). Panjang gelombang adalah jarak/panjang dari sebuah gelombang yang merambat dalam satu siklus penuh [7]. Hubungan antara panjang gelombang dan frekuensi ini ditentukan oleh persamaan berikut:

$$f = c / \lambda \quad (2.2)$$

di mana  $f$  adalah frekuensi dalam hertz (Hz),  $c$  adalah kecepatan cahaya ( $3 \times 10^8$ ) dalam meter/sekon, dan  $\lambda$  adalah lambda. Lambda atau panjang gelombang ini yang akan menentukan dimensi dari sebuah antena.

## II.2 Antena

Sebuah antena didefinisikan sebagai piranti yang digunakan untuk mengubah gelombang tertuntun (*guided*) di pemancar menjadi gelombang ruang bebas ("*free-space*") [8]. Kata *free-space* diberi tanda petik karena pada praktiknya, selalu ada interaksi dengan sekitar [9]. Jadi kondisi *free-space* atau ruang bebas tidak dapat dicapai di kehidupan nyata. Pada pemancar, sebuah antena menerima energi dari sebuah saluran transmisi dan meradiasikannya ke udara, dan pada sisi penerima, sebuah antena mengumpulkan energi dari gelombang tertentu dan mengirimkannya ke saluran transmisi. Saat mendiskusikan tentang antena, seseorang biasanya mendiskripsikan sifatnya sebagai sebuah antena pemancar. Namun secara teori timbal-balik, kita tahu bahwa pola arah radiasi dari antena penerima identik dengan pola arah radiasi

antena pemancar, sehingga tidak perlu ada perbedaan yang dibuat antara sisi pemancar dan pengirim dari antena dalam analisis karakteristik radiasi.



Namun harus diketahui juga bahwa teori timbal balik tidak berarti bahwa distribusi arus antenna sama pada pemancar dan penerima [9]. Berbagai jenis antenna telah dikembangkan hingga saat ini, mulai dari struktur sederhana seperti monopol dan dipol, hingga struktur yang kompleks seperti *phased array*.

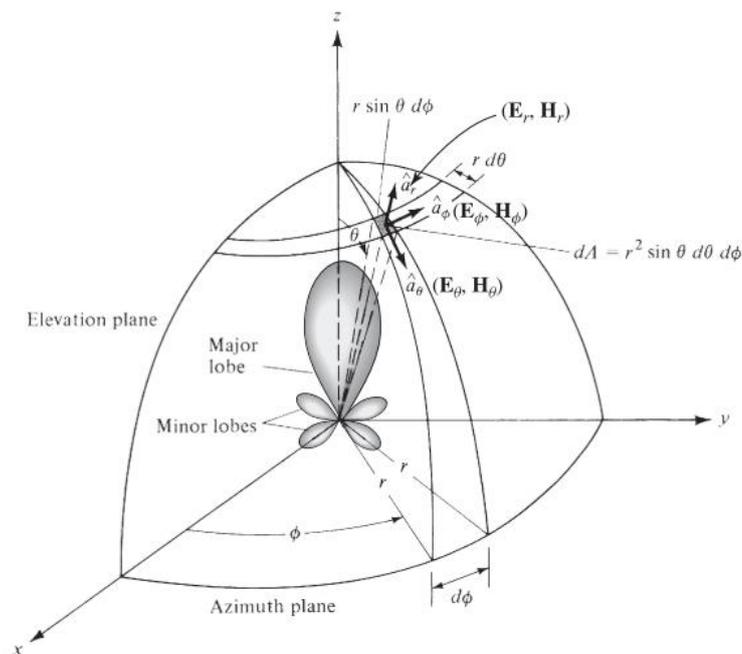
### II.2.1 Pola Radiasi

Pola radiasi sebuah antenna diartikan sebagai sebuah fungsi matematis atau sebuah representasi grafik dari sifat radiasi antenna sebagai fungsi dari koordinat ruang. Sifat radiasi meliputi kepadatan daya fluks, intensitas radiasi, kekuatan medan, arah, fasa, dan polarisasi. Sifat antenna yang paling penting adalah distribusi spasial dua atau tiga dimensi dari energi yang diradiasikan sebagai sebuah fungsi dari posisi pengamat sepanjang jalan atau permukaan dari radius yang konstan. Pengaturan koordinat yang mudah ditunjukkan oleh gambar II.1. Sebuah jejak dari medan listrik (magnetik) yang diterima pada radius yang konstan dinamakan pola amplitudo medan. Di sisi lain, sebuah grafik dari variasi ruang dari intensitas daya sepanjang radius konstan dinamakan pola amplitudo daya.

Biasanya pola medan dan daya dinormalkan berdasarkan nilai maksimumnya. Juga, pola daya biasanya diplot pada skala logaritma atau biasanya dalam desibel (dB). Skala logaritma berguna untuk menonjolkan nilai parameter yang sangat kecil, atau biasa disebut *minor lobes*. Pada sebuah antenna, (1) pola daya dalam skala liner



biasanya merepresentasikan sebuah plot dari besarnya medan listrik atau magnetik sebagai fungsi dari ruang angular. (2) Pola daya dalam skala linear biasanya merepresentasikan sebuah plot dari kuadrat besar medan listrik atau magnetik sebagai fungsi dari ruang angular. (3) Pola daya dalam (dB) merepresentasikan besarnya medan listrik atau magnetik dalam desibel, sebagai fungsi dari ruang angular [10].

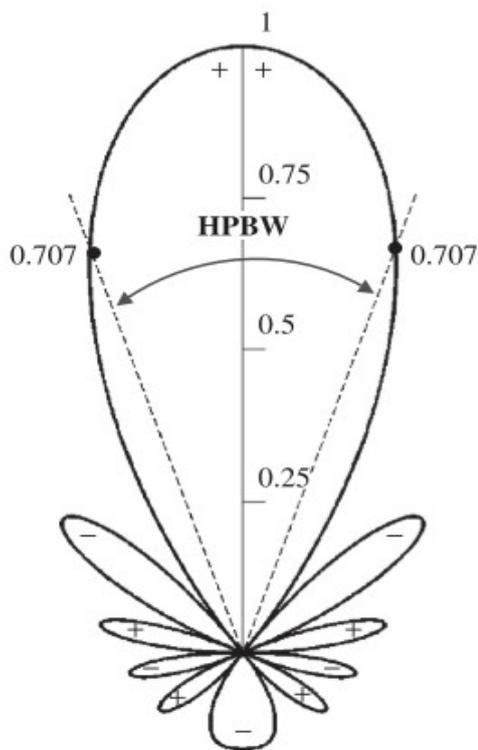


Gambar II.1 Sistem koordinat Untuk Analisis Antena [10]

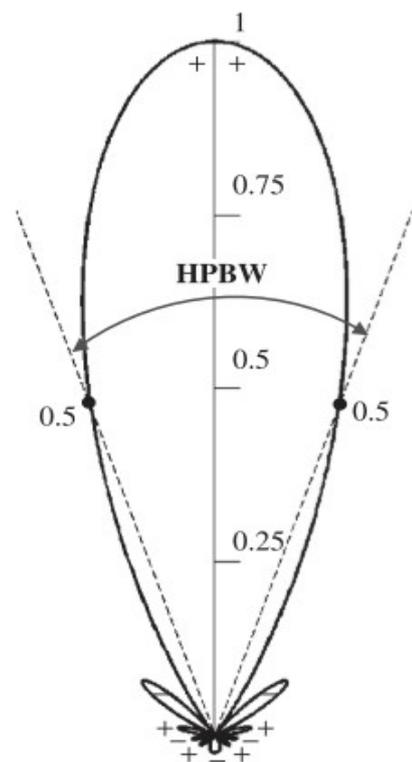
Untuk mendemonstrasikannya, pola medan dua dimensi (diplot dalam skala linear), pola daya (diplot dalam skala linear), dan pola daya (diplot dalam skala logaritma dB) dari sebuah antena ditunjukkan pada gambar II.2, gambar II.3, dan gambar II.4. Untuk menemukan titik di mana pola mencapai setengah dayanya (-3 dB), relatif terhadap nilai maksimum dari pola, kita mengatur nilai dari (1) pola medan pada nilai 0,707 dari



nilai maksimumnya ditunjukkan oleh gambar II.2; (2) pola daya (dalam skala linear) pada nilai 0,5 dari nilai maksimumnya seperti ditunjukkan pada gambar II.3; (3) pola daya (dalam dB) pada -3dB dari nilai maksimumnya ditunjukkan pada gambar II.4.

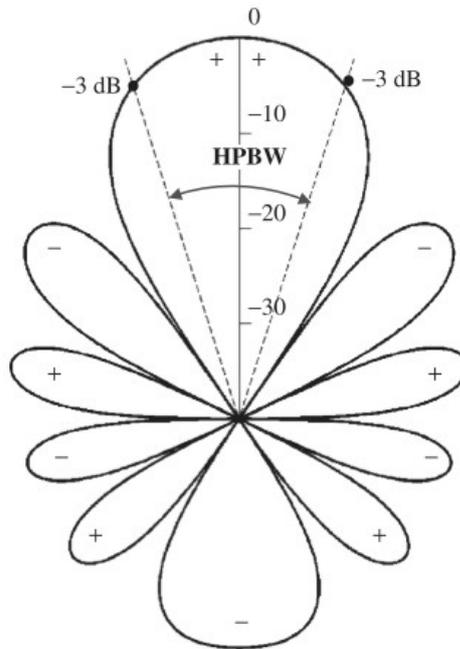


Gambar II.2 Pola Radiasi Medan (linear) [10]



Gambar II.3 Pola Radiasi daya (linear) [10]





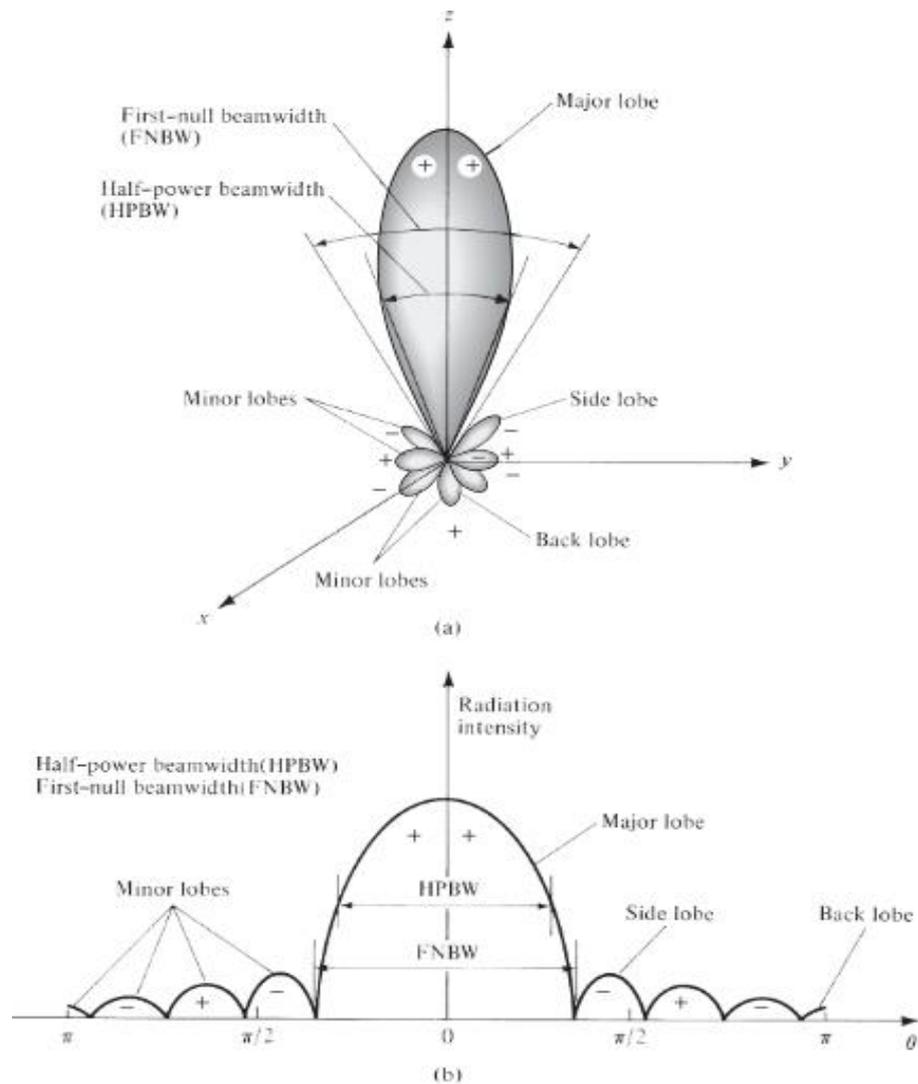
Gambar II.4 Pola Radiasi Daya (dB) [10]

## II.2.2 Radiation Pattern Lobes

Berbagai bagian dari pola radiasi dikenal sebagai *lobes*, yang diklasifikasikan menjadi *lobe* utama, minor, sisi, dan *lobe* belakang. *Radiation Lobe* adalah “bagian dari pola radiasi yang dibatasi oleh wilayah yang memiliki intensitas radiasi yang lemah. Gambar II.5a mendemonstrasikan sebuah pola radiasi tiga dimensi yang simetris dengan beberapa *radiation lobes*. Beberapa memiliki intensitas radiasi yang lebih besar dari yang lain, namun semuanya tetap disebut dengan *radiation lobes*. Gambar II.5b mengilustrasikan sebuah pola dua dimensi linear (satu ruang dengan gambar II.5a) di mana karakteristik polanya identik satu sama lain [10]. *Lobe* utama (disebut juga berkas utama) didefinisikan sebagai sebuah *lobe* radiasi yang memiliki arah radiasi maksimum. Dalam beberapa antena, biasanya terdapat lebih dari



satu *lobe* utama. *Lobe* minor adalah *lobe* lain selain *lobe* utama. *Lobe* sisi adalah *lobe* yang arahnya adalah *lobe* radiasi di segala arah selain arah berkas utama. *Lobe* belakang adalah *lobe* yang memiliki sudut 180 derajat terhadap arah tembakan radiasi dari antenna.

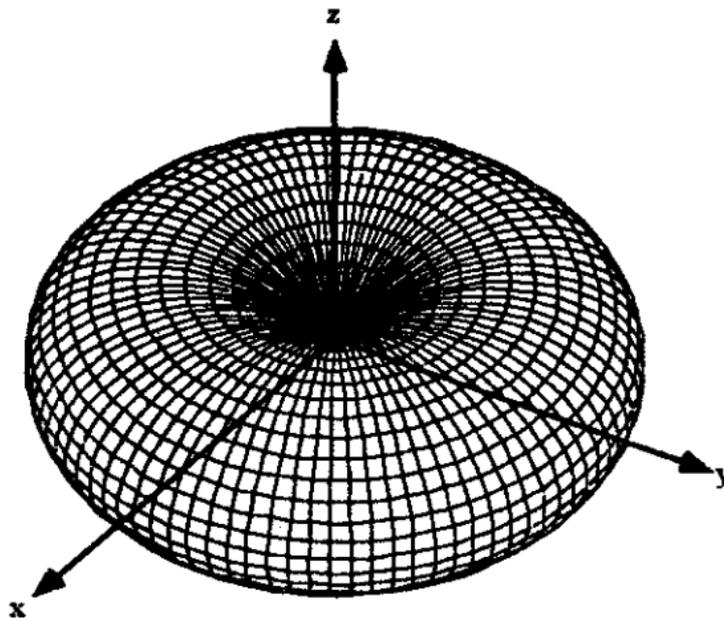


Gambar II.5 (a) *Radiation Lobes* dan *Beamwidth* pada Pola Radiasi. (b) Plot linear dari pola radiasi serta *lobe* dan *beamwidth* nya [10]



### II.2.3 Diagram Radiasi

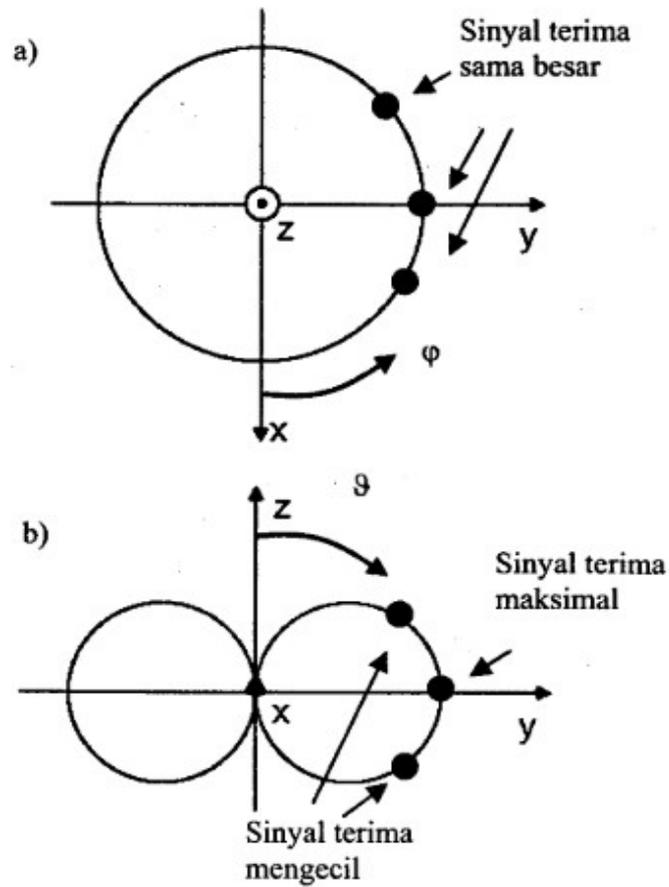
Diagram radiasi adalah besaran yang paling penting dalam antena. Diagram radiasi menggambarkan distribusi energi yang dipancarkan oleh antena di ruang. Besaran ini diukur/dihitung pada medan jauh (*far-field*) dengan jarak yang konstan ke antena, dan divariasikan terhadap sudut, biasanya phi ( $\phi$ ) dan theta ( $\theta$ ). Sehingga bisa dibedakan antena-antena yang bekerja secara *omnidirectional* maupun *directional* [8].



Gambar II.6 Diagram Radiasi Tiga Dimensi Dari Sebuah Antena Dipole [8]

Sebagai contoh sederhana adalah antena dipol yang diletakkan di sumbu asal dari sistem koordinat. Antena ini mempunyai diagram pancar secara 3 dimensi seperti pada gambar II.6. Sebuah bentuk konsentrasi energi yang berbentuk seperti donat.





Gambar II.7 Diagram Radiasi 2D Dipol (a) pada Bidang Horizontal (b) Bidang Vertikal [8]

Bentuk ini didapat dengan melakukan perhitungan atau pengukuran di atas titik-titik pengamatan yang terletak di atas sebuah bola (fiktif) dengan radius  $r$ . Jarak ini,  $r$ , harus cukup besar sehingga titik-titik ini berada di medan jauh antenna. Adapun batasan jarak  $r$ , yaitu

$$r > \frac{2D^2}{\lambda} \quad (2.3)$$



$D$  adalah dimensi terbesar antenna dan  $\lambda$  adalah panjang gelombang pada frekuensi yang digunakan. Diagram radiasi antenna secara tiga

dimensi adalah diagram radiasi yang lengkap, namun seringkali diagram radiasi 3D tidak praktis digunakan. Sebagai pengganti dipakai diagram radiasi 2D yang didapat dari pengamatan di bidang horizontal dan vertikal [8].

#### II.2.4 Direktivitas dan Gain

Karakteristik pancar antena didefinisikan pada medan jauh (*far-field*), yang mana pada kondisi medan jauh ini, pada suatu jarak/radius tertentu, kita akan mendapat medan listrik yang merupakan fungsi dari sudut phi ( $\varphi$ ) dan theta ( $\theta$ ).

$$E = E(\theta, \varphi) \quad (2.4)$$

dan medan magnet yang juga merupakan fungsi dari kedua sudut tersebut,

$$H = H(\theta, \varphi) \quad (2.5)$$

Keduanya saling terkait satu sama lain sesuai dengan

$$H(\theta, \varphi) = \frac{1}{Z_0} E(\theta, \varphi) \quad (2.6)$$

$Z_0$  adalah impedansi gelombang ruang bebas, dengan  $Z_0 = \frac{\sqrt{\mu_0}}{\epsilon_0} =$

$120\pi$  Ohm. Persamaan 2.6 memberikan hubungan proporsional antara



medan magnet dan medan listrik, tetapi secara vektor keduanya saling tegak lurus satu sama lain [8].

Antena isotrop adalah antena (fiksi) yang mempunyai intensitas pancar yang sama merata ke semua arah, jadi dari persamaan (2.4) menjadi:

$$E(\theta, \varphi) = E_0 = \text{konstan} \quad (2.7)$$

Antena direksional mengkonsentrasikan energi ke suatu arah tertentu. Jika dipergunakan daya pancar yang sama seperti pada antena isotrop, maka akan didapati perbandingan medan listrik/magnet antara antena isotrop dan direksional [8].

Direktivitas antena didefinisikan sebagai perbandingan antara intensitas radiasi pada arah yang diberikan dari suatu antena terhadap intensitas radiasi rata-rata terhadap semua arah [10], atau seberapa besar energi dikonsentrasikan pada arah tertentu itu.

$$D_0 = D(\theta, \varphi) \quad (2.8)$$

Gain antena didefinisikan sebagai perbandingan intensitas pada suatu arah tertentu, terhadap intensitas radiasi yang mungkin didapatkan jika daya yang diterima oleh antena diradiasikan secara isotropik. Intensitas radiasi yang berhubungan dengan daya radiasi isotrop sama dengan daya yang diterima oleh antena dibagi dengan  $4\pi$  [10].



$$G = \frac{4\pi U(\theta, \varphi)}{P_{in}(\text{sumber isotropik sempurna})}$$

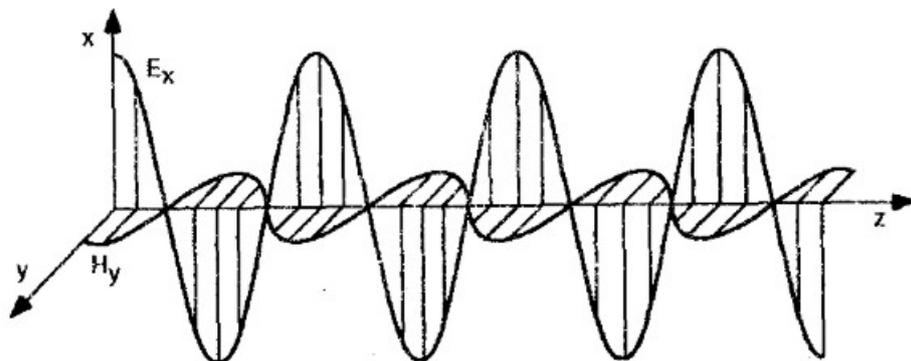
(2.9)

## II.2.5 Polarisasi

Polarisasi dari sebuah antena menginformasikan ke arah mana medan elektri memiliki orientasi dalam perambatannya [8].

### 1. Polarisasi Linear

Pada polarisasi linear, arah medan listrik tidak berubah dengan waktu, yang berubah hanyalah orientasinya saja (positif- negatif). Terdapat polarisasi linear vertikal dan horizontal.



Gambar II.8 Polarisasi Linear (vertikal)

### 2. Polarisasi Sirkular

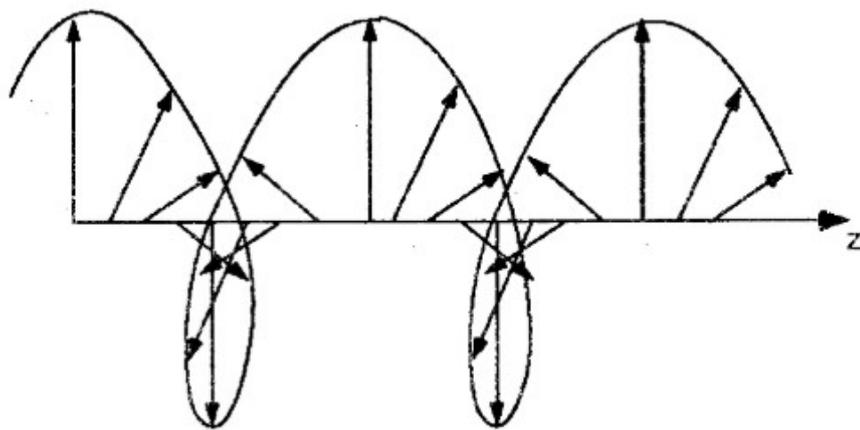
Pada polarisasi sirkular, medan listrik mengalami perputaran/rotasi pada perambatannya. Satu revolusi rotasi penuh sama dengan satu periode gelombang. Jika arah rotasi searah



jarum jam, maka disebut *right hand circular* (RHC), dan jika berlawanan arah jarum jam, maka disebut *left hand circular* (LHC).

### 3. Polarisasi eliptis

Pada polarisasi eliptis, medan listrik mengalami perputaran seperti pada sirkular, namun lintasan putarannya berbentuk elips. Polarisasi eliptis digunakan dengan tujuan mengantisipasi kemungkinan penerimaan sinyal yang tidak diketahui polarisasinya.



Gambar II.9 Polarisasi Eliptis

#### II.2.6 Return Loss dan Voltage Standing Wave Ratio (VSWR)

*Return loss* adalah nilai koefisien refleksi dalam bentuk logaritmik yang menunjukkan daya yang hilang karena antenna dan saluran transmisi tidak matching. *Return loss* dapat terjadi akibat



adanya diskontinuitas diantara saluran transmisi dengan impedansi masukan beban (antena). Sehingga tidak semua daya diradiasikan melainkan ada yang dipantulkan balik [11].

Saat kita gagal melakukan *matching* impedansi pada sebuah antenna terhadap saluran transmisinya, kualitas sistem akan menurun akibat adanya daya yang direfleksikan kembali. Impedansi input diukur terhadap impedansi karakteristik dari saluran transmisi atau sumber. Saat keduanya tidak sama, gelombang tegangan akan direfleksikan,  $\rho V$ , di mana  $\rho$  adalah koefisien refleksi tegangan [12]:

$$\rho = (Z_a - Z_o)/(Z_a + Z_o) \quad (2.10)$$

$Z_a$  adalah impedansi antena dan  $Z_o$  adalah impedansi karakteristik yang diukur. Dalam saluran transmisi dengan dua gelombang yang merambat, yaitu gelombang yang menuju antena dan refleksi, akan menghasilkan gelombang berdiri [12]:

$$V_{\max} = (1 + |\rho|)V_i \quad V_{\min} = (1 - |\rho|)V_i \quad (2.11)$$

$$VSWR = \frac{V_{\max}}{V_{\min}} = (1 + |\rho|)/(1 - |\rho|) \quad (2.12)$$

$$\text{return loss} = -20 \log |\rho| \quad (2.13)$$

### II.2.7 Bandwidth

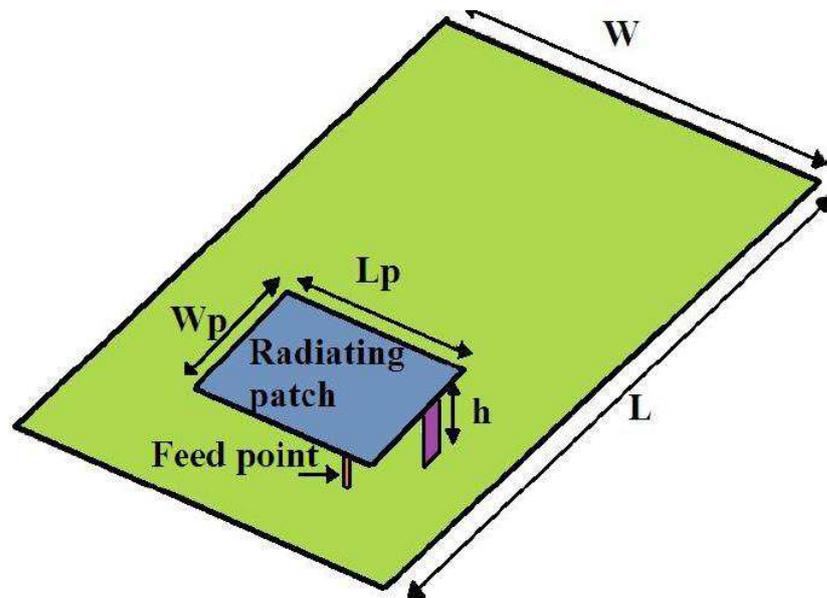
*Bandwidth* sebuah antenna didefinisikan sebagai interval frekuensi, di dalamnya antenna bekerja sesuai dengan yang ditetapkan



oleh spesifikasi yang diberikan. Spesifikasi tersebut meliputi: diagram radiasi, tinggi dari *lobe* sisi, gain, polarisasi, faktor refleksi.

### II.3 Planar Inverted F Antenna (PIFA)

Antena PIFA merupakan salah satu antena yang paling populer dan sangat sering digunakan untuk peralatan *mobile*. Hal ini dikarenakan keuntungan yang dimilikinya. Antena PIFA memiliki ukuran yang kecil, *low profile*, dan dapat dipasang di belakang layar sebuah telepon genggam. Selain itu, antena ini mudah dibuat, mudah difabrikasi, serta secara ekonomi memiliki biaya pembuatan yang murah [13]. Selain itu PIFA juga menghasilkan radiasi elektromagnetik yang kecil di bagian belakangnya yang mengarah pada tubuh pengguna, sehingga aman untuk digunakan pada perangkat *mobile* [14].



Gambar II.10 Planar Inverted-F Antenna (PIFA)



PIFA merupakan salah satu jenis *Inverted F Antenna* dengan kawat radiator yang diganti dengan sebuah lempengan datar untuk meningkatkan *bandwidth* dari antenna [15]. Secara umum terdapat tiga bagian utama dari PIFA, yaitu elemen radiator (*patch*), *ground plane*, dan plat hubung singkat (*shorting plate*).

Performansi dari antenna PIFA dapat dipengaruhi oleh panjang dan lebar dari *ground plane*, *patch*, dan posisi dari *shorting plane* serta *feeding point* [14]. Frekuensi resonansi dari antenna PIFA dapat dihitung secara kasar menggunakan persamaan:

$$L_p + W_p = \lambda/4 \quad (2.14)$$

Ketika  $W_s = L_p$ , maka;

$$L_p + h = \lambda/4 \quad (2.15)$$

Ketika  $W_s$  mendekati nol atau  $W_s \ll L_p$ , maka;

$$L_p + W_p + h = \lambda/4 \quad (2.16)$$

Di mana  $L_p$  adalah panjang *patch*,  $W_p$  adalah lebar *patch*  $H$  adalah tinggi *patch* dan  $W_s$  adalah lebar *short plate*.

Untuk meningkatkan *bandwidth* dari antenna, beberapa cara dapat dilakukan diantaranya adalah dengan menambah tinggi dari *short plate*,

optimalisasi penggunaan *ground plane*, menggunakan material dielektrik dan permitivitas yang tinggi dan lain-lain [16].



## II.4 Antena *Reconfigurable*

Antena *reconfigurable* (AR) datang dalam berbagai bentuk dan wujud yang berbeda. Operasinya dapat dianalisa melalui prinsip perancangan yang ada. Dengan menggunakan antena yang bagus sebagai desain dasar dan beberapa titik referensi untuk operasi yang diinginkan. Dengan mempertimbangkan karakteristik dari desain awal, AR dapat diklasifikasikan berdasarkan tiga kategori yang mendeskripsikan penggunaannya: (1) Rekonfigurasi parameter antena yang diinginkan, (2) Kedekatan rekonfigurasi, dan (3) Kontinuitas dari rekonfigurasi. Antena *reconfigurable* sangat dideskripsikan oleh kategori di atas, termasuk rekonfigurasi radiasi (pola dan polarisasi) dan rekonfigurasi impedansi (frekuensi dan bandwidth). Kedekatan rekonfigurasi menjelaskan sifat fisik yang melekat pada desain antena dasar, baik secara langsung atau parasitik. Kontinuitas dari rekonfigurasi dijelaskan oleh sifat dan kapabilitas dari mekanisme rekonfigurasi, baik secara diskrit (kondisi rekonfigurasi yang terbatas), atau kontinyu (rekonfigurasi dalam rentang kondisi) [10].

Antena *reconfigurable* telah menunjukkan sesuatu yang menarik dan menjanjikan untuk teknologi sistem komunikasi nirkabel saat ini. Jenis antena ini mengizinkan untuk mengkonfigurasi tidak hanya *bandwidth*, namun juga pola radiasi dan polarisasi dengan menggunakan ketangkasan frekuensi, *software defined*, dan radio kognitif untuk mengatasi dengan *multiservice*, *standard*, dan operasi *multiband*, sekaligus dengan penggunaan daya dan



spektrum yang efisien [17]. *Bandwidth* dari antenna *reconfigurable multiband* dapat dihitung dengan menjumlahkan *bandwidth* tiap *band* yang ada.

$$B_w = B_{wf1} + B_{wf2} + B_{wf3} + \dots \quad (2.17)$$

Terdapat beberapa jenis rekonfigurasi antenna, antara lain (1) rekonfigurasi dengan cara mekanik, (2) rekonfigurasi dengan cara mengganti karakteristik material, (3) rekonfigurasi dengan saklar [18].

#### 1. Rekonfigurasi dengan cara mekanik

Mensimulasikan perubahan mekanik cukup mudah, Struktur harus dibuat sedemikian rupa sehingga dapat mengganti satu atau beberapa parameter yang akan memberikan geometri antenna yang diinginkan. Salah satu contohnya adalah dengan membuat sebuah rotasi pada disk dengan beberapa geometri antenna yang telah diprint sehingga dapat berubah. Pada sudut putaran tertentu, elemen radiator akan menyentuh *feed* sehingga menjadi aktif [18].

#### 2. Rekonfigurasi dengan cara mengganti karakteristik material

Cara lain untuk merekonfigurasi tingkah laku dari sebuah antenna adalah dengan menggunakan material yang karakteristiknya berubah di bawah aplikasi dari medan luar. Beberapa jenis material dapat digunakan. Salah satu contohnya adalah *liquid crystal*, di mana permitivitasnya berubah di saat medan listrik statis bekerja padanya. Karakteristik ini dapat dieksploitasi dengan menggunakan *liquid crystal* sebagai *substrate* dari sebuah *patch array* [18].



### 3. Rekonfigurasi menggunakan saklar

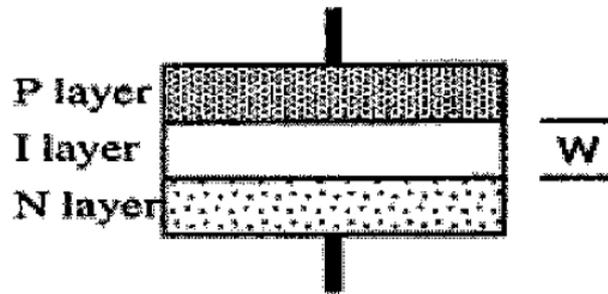
Saklar merupakan mekanisme yang paling sering digunakan untuk mencapai rekonfigurasi antena. Saklar dapat digunakan untuk melepas bagian dari struktur antena satu sama lain atau untuk menciptakan jalur yang berbeda untuk arus mengalir ke antena. Jenis saklar yang berbeda-beda memiliki kelebihan yang berbeda dalam *insertion loss*, isolasi, kecepatan *switch*, *bandwidth*, dan penggunaan bias arus dan tegangan. Saklar dapat dimodelkan pada level kompleksitas yang berbeda, tergantung pada akurasi yang dibutuhkan serta sumber daya komputasi yang dimiliki. Pada level yang sederhana, sebuah saklar dapat dibuat menggunakan sebuah *metal tab*; *switching* antara kondisi ON dan OFF hanyalah masalah simulasi model dengan dan tanpa *metal tab* tersebut. Namun untuk kompleksitas yang lebih, simulasi saklar membutuhkan simulasi sirkuit elektromagnetik [18]. Komponen elektronika yang berbeda-beda seperti dioda PIN, FET, dan MEMS digunakan untuk membuat sebuah saklar RF yang digunakan untuk frekuensi antena *reconfigurable* [19].

## II.5 Dioda PIN

Dioda PIN adalah sebuah komponen semikonduktor yang beroperasi sebagai *variable resistor* pada frekuensi radio dan *microwave*. Nilai resistansi dari sebuah dioda PIN ditentukan oleh nilai arus bias maju DC. Dioda PIN adalah semikonduktor silikon di mana terdapat daerah I intrinsik dengan konduktivitas tinggi yang berada di antara daerah P dan N. Dioda PIN



mendapatkan namanya karena memiliki tiga *layer*, berbeda dari dioda biasa yang hanya memiliki dua layer (P dan N). Dioda PIN memiliki tiga *layer* ditunjukkan pada gambar di bawah [20].



Gambar II.11 *Layer* Pada Dioda PIN

Kemampuannya untuk mengontrol sinyal RF dengan menggunakan eksitasi DC yang kecil membuat dioda PIN cocok untuk aplikasi saklar untuk sinyal RF dan *microwave*. Saklar RF dioda PIN memiliki harga murah dan menawarkan operasi dengan *losses* yang rendah. Pembatasan pada saklar dioda PIN adalah bahwa arus DC maju dibutuhkan agar membuat saklar menjadi kondisi *ON*, yang mengakibatkan pada efisiensi radiasi yang baru. Untuk saklar RF dioda, dioda yang terhubung secara seri dan shunt adalah yang paling banyak digunakan. Namun karena kemudahan integrasi dengan sirkuit, kebanyakan konfigurasi menggunakan hubungan seri pada saklar RF dan sirkuit bias dari luar [19].

## II.6 Teknologi Generasi ke 5 (5G)



Dalam teknologi telekomunikasi seluler, teknologi 5G merupakan standar yang merevolusi teknologi generasi sebelumnya. Standar-standar

terkait teknologi 5G yang akan muncul nantinya akan mengubah beberapa regulasi telekomunikasi karena regulasi tersebut akan menjadi *obsolete*. Upaya untuk mengantisipasi hal tersebut, ada beberapa hal yang harus dirumuskan untuk mempersiapkan datangnya standar yang selalu dikaitkan dengan “*The Disruptive Standard*” [21].

*International Telecommunication Union* (ITU) mengklasifikasikan layanan jaringan 5G ke dalam tiga kategori: *Enhanced Mobile Broadband* (eMBB), *Ultra-reliable and Low-latency Communications* (uRLLC), dan *Massive Machine Type Communications* (mMTC). eMBB mengarah pada kebutuhan masyarakat akan gaya hidup digital yang meningkat, dan fokus pada layanan dengan kebutuhan *bandwidth* yang tinggi, seperti *HD video*, *virtual reality*, dan lain-lain. uRLLC mengarah pada kebutuhan industri digital dan fokus pada layanan yang sensitif dengan *latency*, seperti *assisted and automated driving*, dan *remote managment*. mMTC mengarah pada kebutuhan akan kehidupan sosial yang terus berkembang dan fokus pada layanan yang membutuhkan kepadatan jaringan yang tinggi, seperti *smart city* dan *smart agriculture* [22].



## BAB III

### METODE PERANCANGAN DAN REALISASI

Pada bab ini akan menjelaskan mengenai proses perancangan antenna. Antena yang dirancang akan bekerja pada frekuensi tengah 3,5GHz dan 4,8GHz. Metodologi dari perancangan ini diawali dengan memahami teknologi antenna PIFA, termasuk di dalamnya mengenai parameter antenna seperti pola radiasi, *bandwidth*, *gain*, dan *s parameter* melalui tinjauan literatur dari buku dan jurnal referensi.

Perancangan antenna dimulai dengan menghitung dimensi antenna PIFA, kemudian melakukan modifikasi pada antenna dengan menggunakan dioda PIN untuk menghasilkan dual frekuensi. Antena dirancang menggunakan *software* CST *Microwave Studio*. Kemudian mengukur parameter-parameter antenna. Jika antenna yang dirancang telah memenuhi spesifikasi, maka antenna akan difabrikasi untuk kemudian diukur secara *real*. Hasil pengukuran akan dibandingkan dengan hasil simulasi untuk kemudian dianalisis. Parameter yang akan dibandingkan antara lain *return loss* (S11), *gain*, dan pola radiasi antenna. Setelah dianalisis kemudian akan ditarik simpulan dari penelitian ini.

#### III.1 Perangkat yang Digunakan



Perancangan dan realisasi antenna ini menggunakan perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*). Perangkat keras digunakan untuk

proses simulasi, fabrikasi antenna, dan pengukuran antenna. Sedangkan perangkat lunak digunakan untuk melakukan simulasi dan menganalisis hasil yang ada.

#### 1. Perangkat Keras

- a. *Substrate* dielektrik FR-4 ( $\epsilon=4,3$ ),  $h=1,6\text{mm}$
- b. *Pin Diode* BAR 63-03w
- c. *Anechoic Chamber*, sebagai ruang untuk melakukan pengukuran
- d. Network Analyzer, sebagai alat pengukuran pada antenna
- e. Konektor SMA 50 ohm, sebagai konektor antenna ke Network Analyzer
- f. Solder, untuk menghubungkan komponen pada antenna.
- g. Plat tembaga, sebagai penghubung *patch* dan *ground* (0,3mm)
- h. *Personal Computer*, untuk menginstal perangkat lunak yang akan digunakan.
- i. Baterai, sebagai catu daya antenna
- j. *Microcontroller*, sebagai instrument *switching* antenna

#### 2. Perangkat Lunak

- a. *CST Microwave Studio*

Perangkat lunak untuk merancang dan mensimulasikan antenna yang dibuat.

- b. *Microsoft Excel*

Perangkat lunak untuk mengolah data yang ada.



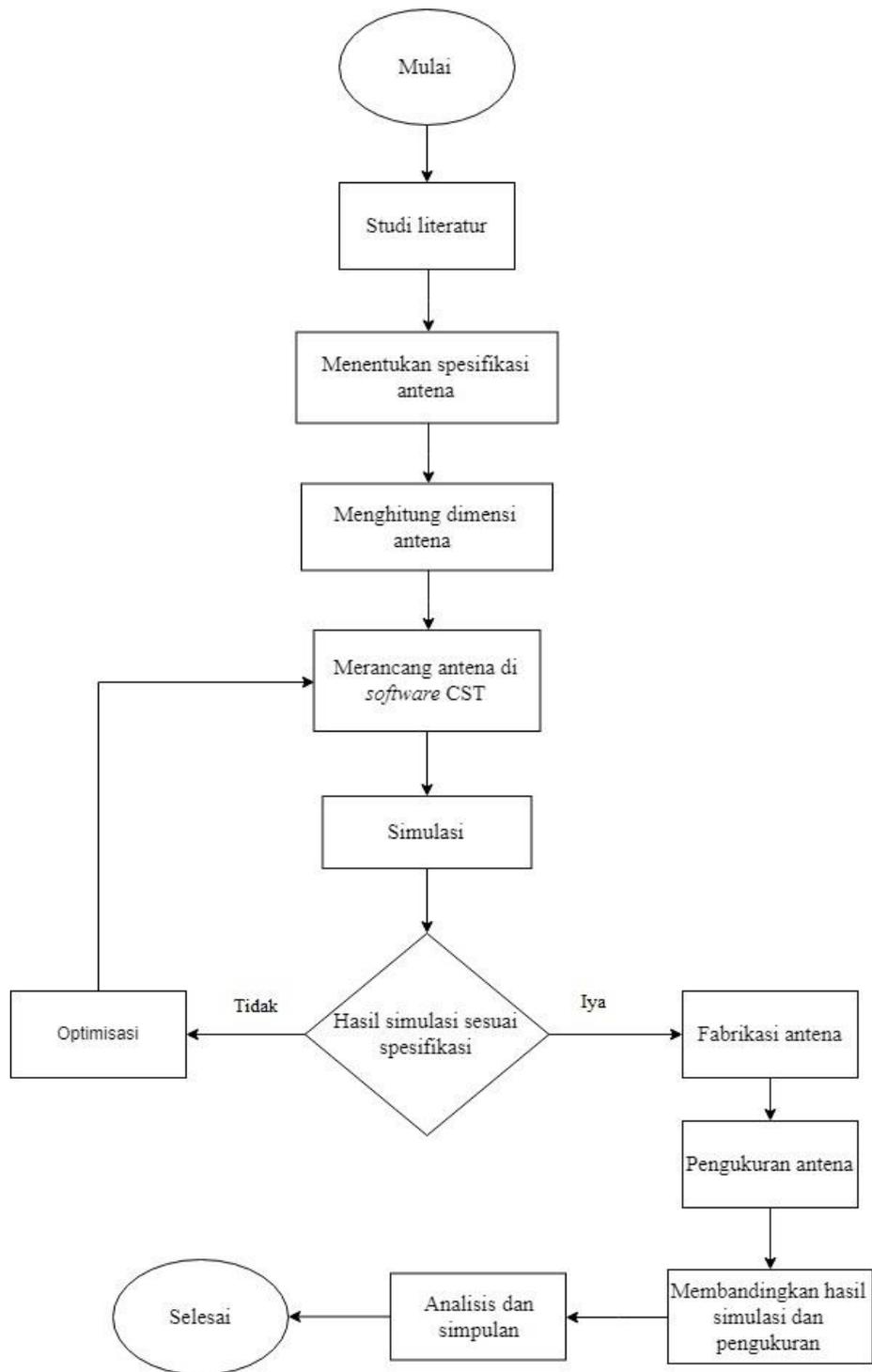
**simulasi Antena**

Antena yang akan dirancang dan direalisasikan diharapkan memiliki spesifikasi seperti ini:

- a. Frekuensi kerja :3,5GHz dan 4,8 GHz
- b. *Return Loss* :  $\leq -10\text{dB}$
- c. VSWR :  $\leq 2$
- d. *Gain* :  $\geq 2,5 \text{ dBi}$

### III.3 Diagram Alir Perancangan





## Jelasan Diagram Alir

Studi Literatur



Pada tahap ini dilakukan pengumpulan literatur berupa konsep maupun teori yang berhubungan dengan masalah-masalah yang diangkat di tugas akhir ini. Sumber literatur dapat berupa jurnal, buku, majalah, dan sumber-sumber lain yang *valid* dan dapat dipercaya. Dari literatur-literatur ini akan dipelajari mengenai konsep dasar antena, antena PIFA, antena *reconfigurable*, maupun teknologi 5G.

## 2. Menentukan Spesifikasi Antena

Pada tahap ini ditentukan spesifikasi dari antena yang dibuat seperti yang telah dijelaskan pada III.2.

## 3. Menghitung Dimensi Antena

Pada tahap ini, dimensi antena dihitung untuk masing-masing frekuensi 3,5 GHz dan 4,8 GHz sesuai teori yang telah dipelajari.

## 4. Merancang Antena di *Software CST*

Pada tahap ini, antena dirancang sesuai dengan dimensi yang didapatkan melalui perhitungan.

## 5. Simulasi

Pada tahap ini, antena yang telah dirancang disimulasikan menggunakan *software CST*. Dari hasil simulasi dilihat parameter-parameter dari antena seperti VSWR, Gain, Return Loss (S11), pola radiasi dan *Bandwidth*. Jika antena belum sesuai dengan spesifikasi yang ditetapkan, maka akan dilakukan modifikasi terhadap rancangan antena hingga

sesuai spesifikasi.

Fabrikasi Antena



Pada tahap ini, antena yang telah disimulasikan difabrikasi untuk diukur pada kondisi di lapangan.

#### 7. Pengukuran Antena

Pada tahap ini, antena yang telah difabrikasi diukur di ruang *chamber* untuk melihat nilai-nilai parameter yang telah ditentukan sebelumnya.

#### 8. Membandingkan Hasil Simulasi dan Pengukuran

Pada tahap ini, hasil simulasi di *software CST* dan hasil pengukuran di ruang *chamber* dibandingkan untuk melihat jika antena yang telah difabrikasi telah sesuai dengan antena yang dirancang di *software CST*.

#### 9. Analisis dan Simpulan

Pada tahap ini, kedua hasil simulasi dan pengukuran dianalisis untuk kemudian ditarik simpulan dari rangkaian penelitian.

### III.5 Desain Antena

#### III.5.1 Penentuan Desain Awal Antena

Desain awal antena menggunakan model *Planar Inverted F Antenna* (PIFA) untuk menghasilkan dua frekuensi kerja dengan bantuan dioda PIN. Berdasarkan persamaan 2.14, maka dimensi antena untuk frekuensi 3,5GHz dapat dihitung sebagai berikut:

$$L_P + W_P = \lambda/4$$

$$L_P + W_P = \frac{c}{4f}$$



$$L_P+W_P = \frac{3 \times 10^8}{4 \times 3,5 \times 10^9}$$

$$L_P+W_P = 21,428 \text{ mm}$$

Sedangkan untuk dimensi pada frekuensi 4,8GHz dapat dihitung sebagai berikut:

$$L_P+W_P = \lambda/4$$

$$L_P+W_P = \frac{c}{4f}$$

$$L_P+W_P = \frac{3 \times 10^8}{4 \times 4,8 \times 10^9}$$

$$L_P+W_P = 15,625 \text{ mm}$$

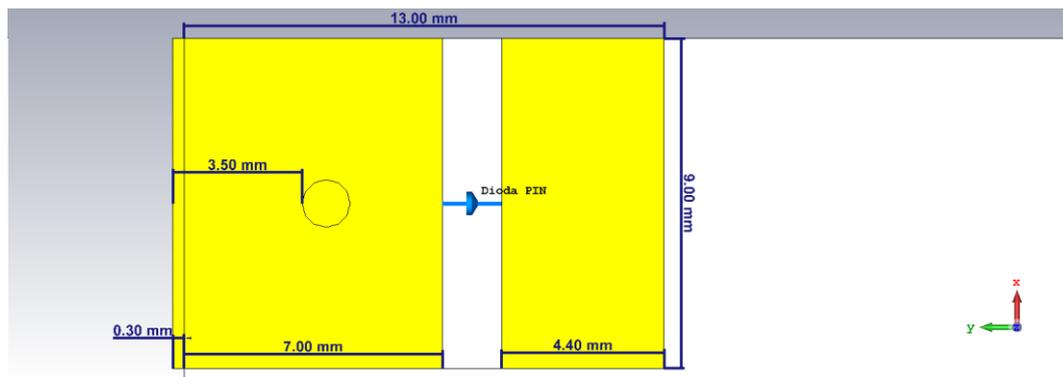
Perhitungan di atas masih merupakan perhitungan kasar, dan masih harus melalui tahap optimalisasi untuk menemukan frekuensi kerja yang tepat. Sedangkan untuk *feeding* nya menggunakan *coax feeding*. Adapun berdasarkan perhitungan awal, maka dimensi awal antenna *reconfigurable* adalah:

Dari nilai tersebut maka *patch* antenna didesain dengan ukuran panjang dan lebar sebesar 13x9mm ( $L_P+W_P = 22\text{mm}$ ) untuk frekuensi kerja 3,5GHz. Sedangkan untuk frekuensi kerja 4,8GHz sebesar 7x9mm ( $L_P+W_P = 16\text{mm}$ ). Terdapat potongan sebesar 1,6mm di tengah patch untuk meletakkan dioda PIN pada *patch* antenna.

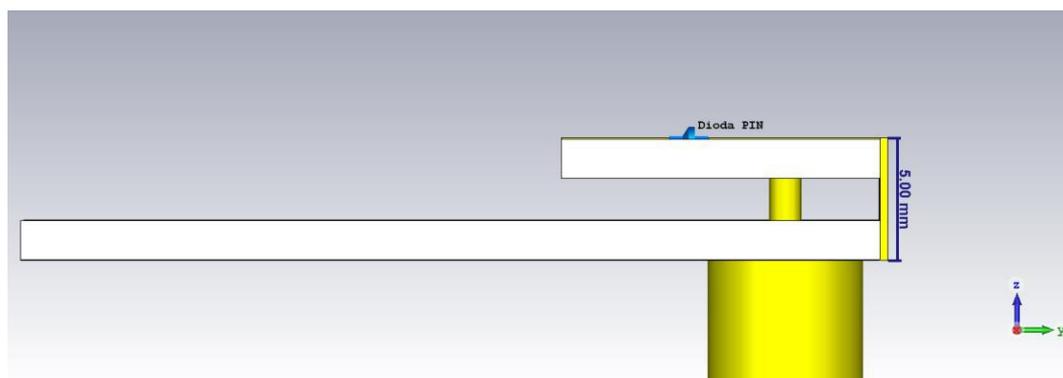
Dioda PIN digambarkan sebagai sebuah elemen *Lumped R* sebesar 3ohm pada saat bias maju, dan R 5k ohm pada saat bias. *Patch*



antena diletakkan di atas sebuah *ground plane* berukuran 65x35mm dengan ketinggian sebesar 5mm. Di pinggir *patch* terdapat *short plate* dengan ketebalan 0,3mm untuk menghubungkan *patch* ke *ground*. Sebuah pin konektor diletakkan pada *patch* antenna dan tembus hingga ke *ground plane* untuk kemudian dieksitasi.



(a)



(b)

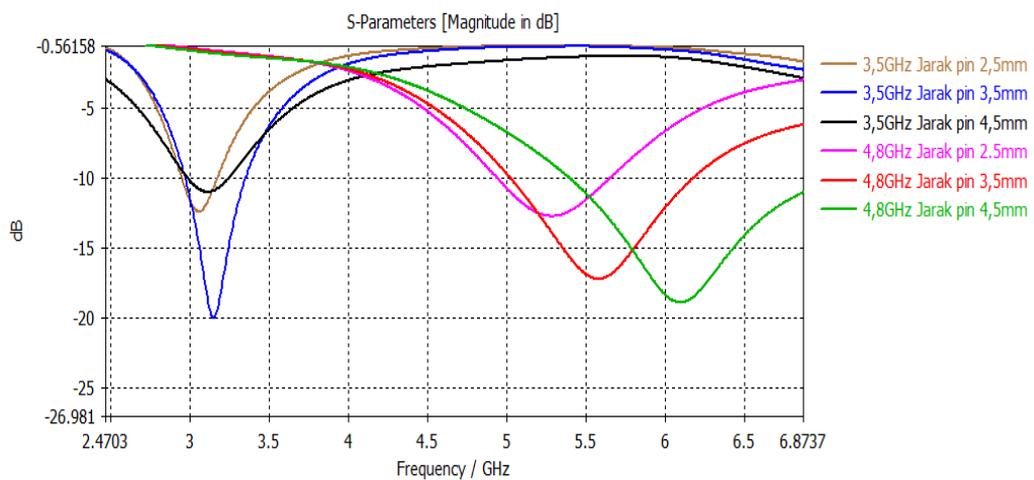
Gambar III.1 Desain Awal *Patch* Antena (a) Tampak Atas, (b) Tampak Samping

### III.5.2 Penentuan Posisi Pin Konektor

Pin konektor diletakkan pada *patch* antenna dengan posisi bervariasi sebesar 2.5mm, 3.5mm, dan 4.5mm dari ujung *short plate*



untuk melihat hasil terbaik untuk kedua frekuensi kerja. Jarak antara *short plate* dan pin konektor menentukan impedansi dari antenna PIFA. Semakin jauh jarak antara *short plate* dan pin, maka impedansi akan meningkat. Dari hasil simulasi, dipilih posisi pin sebesar 3.5mm dari ujung *patch* sebagai hasil terbaik untuk kedua frekuensi kerja. Hasil desain dapat dilihat pada gambar di bawah.



Gambar III.2 Hasil Simulasi dengan Mengubah Posisi Konektor Terhadap *Short Plate*

Pada gambar III.2 dari hasil simulasi dipilih posisi pin konektor sejauh 3.5mm dari short plate. Hal ini menjadi pertimbangan karena nilai tersebut adalah yang paling ideal diantara nilai-nilai yang ada walaupun pada grafik terlihat bahwa pada posisi pin sebesar 4.5mm dari short plate, memiliki nilai return loss yang lebih baik yaitu sebesar -19dB pada frekuensi tinggi, namun frekuensi kerjanya melenceng terlalu terlalu jauh yaitu pada frekuensi 6GHz. Hal ini akan menyulitkan pada saat memodifikasi patch untuk frekuensi tinggi,

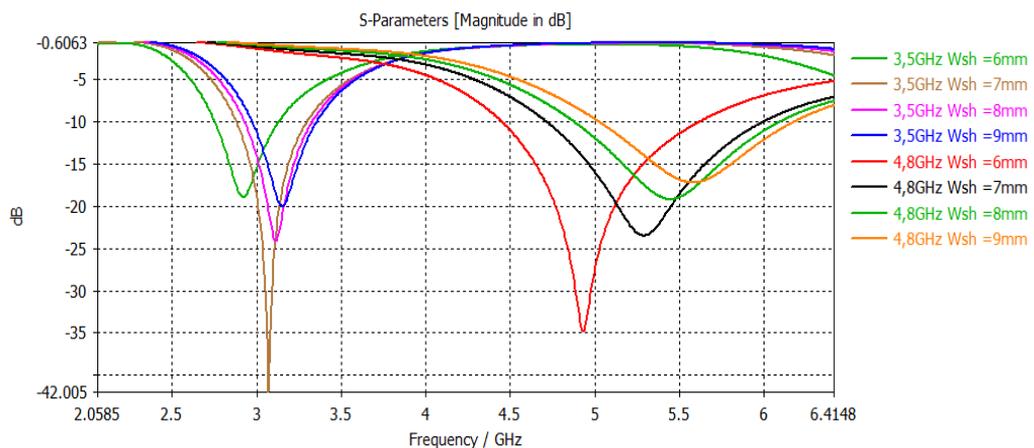


karena keterbatasan ukuran patch secara keseluruhan. Untuk itulah posisi 3mm dianggap pilihan yang terbaik dengan nilai return loss sebesar -20dB pada frekuensi 3,15GHz dan -17dB pada frekuensi 5,6GHz.

### III.5.3 Penentuan Lebar *Shortplate*

Untuk menentukan nilai terbaik, maka lebar *short plate* akan diubah mulai dari 6mm hingga 9mm. Adapun tinggi *short plate* tidak berubah karena nilai 5mm dianggap sebagai nilai yang ideal untuk ukuran antena *Smartphone*.

Dari modifikasi ukuran *short plate*, dilakukan simulasi dan diperoleh nilai *return loss* (S11) berikut.



Gambar III.3 Pengaruh Lebar *Short Plate* Terhadap *Return Loss*

Untuk frekuensi 3,5GHz, diperoleh nilai *return loss* terbaik saat lebar *shortplate* sebesar 7mm yaitu sebesar -42dB pada frekuensi tengah 3,1GHz sedangkan untuk frekuensi 4,8GHz diperoleh nilai terbaik



saat lebar *shortplate* 6mm yaitu sebesar  $-35\text{dB}$  pada frekuensi tengah 4,9GHz.

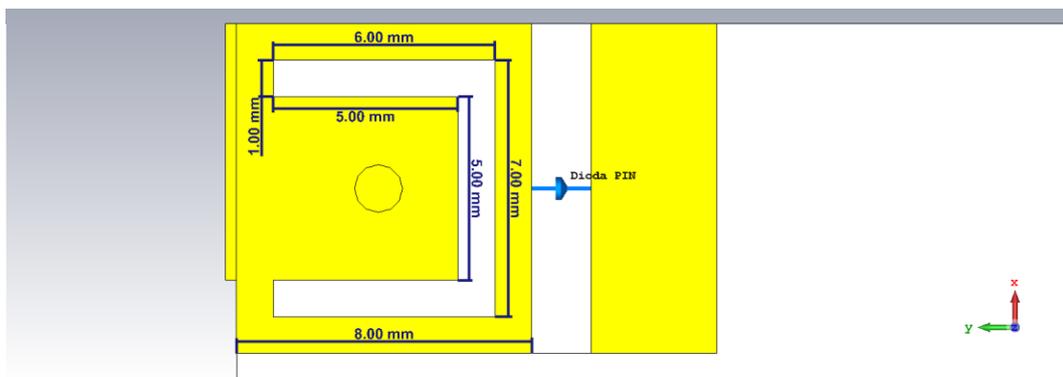
Dari hasil ini maka diambil lebar *shortplate* 7mm yang memiliki nilai *return loss* terbaik untuk frekuensi 3,5GHz dan memiliki nilai *return loss* yang cukup baik untuk frekuensi 4,8GHz yaitu sebesar  $-23\text{dB}$  pada frekuensi tengah 5,25GHz. Nilai ini diambil dengan pertimbangan bahwa perbedaan *return loss* antara lebar *short plate* 7mm dengan yang lainnya pada frekuensi 3,5GHz sangatlah jauh, Sedangkan pada frekuensi 4,8 GHz, nilai *return loss* saat lebar *shortplate* 7mm hanya lebih kecil sedikit dibanding 6mm.

#### III.5.4 Modifikasi Slot U Pada *Patch* Untuk Frekuensi 4,8GHz

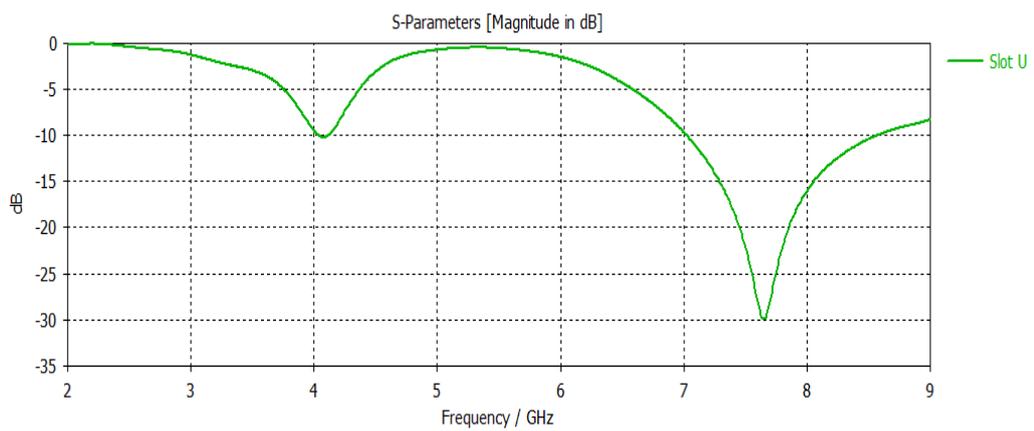
Memodifikasi *patch* untuk frekuensi 4,8GHz dilakukan terlebih dahulu sebelum modifikasi untuk frekuensi 3,5GHz dengan pertimbangan bahwa frekuensi kerja 3,5GHz juga sangat dipengaruhi oleh bentuk *patch* pada frekuensi 4,8GHz. Sedangkan untuk frekuensi 4,8GHz tidak mendapat pengaruh signifikan dari modifikasi bentuk *patch* untuk frekuensi 3,5GHz. Untuk meningkatkan performa dari antena, maka dilakukan modifikasi pada *patch* untuk frekuensi 4,8GHz. Sebelum menambahkan slot, ukuran *patch* untuk frekuensi 4,8GHz ditambah terlebih dahulu dari semula 7x9mm menjadi 8x9mm. Hal ini untuk menurunkan frekuensi kerja dari antena yang sebelumnya 5,1GHz. Kemudian modifikasi pada *patch* dilakukan dengan menambahkan slot



berbentuk U pada *patch*. Slot dibuat dengan ukuran 6x7mm dan lebar slot sebesar 1mm. Slot terletak tepat di tengah *patch* sehingga diharapkan mampu memperbaiki *return loss* dari antenna yang telah dibuat.



Gambar III.4 Penambahan Slot U pada *Patch*



Gambar III.5 Nilai *Return Loss* dari Modifikasi Bentuk *Patch* dengan Menambahkan Slot U

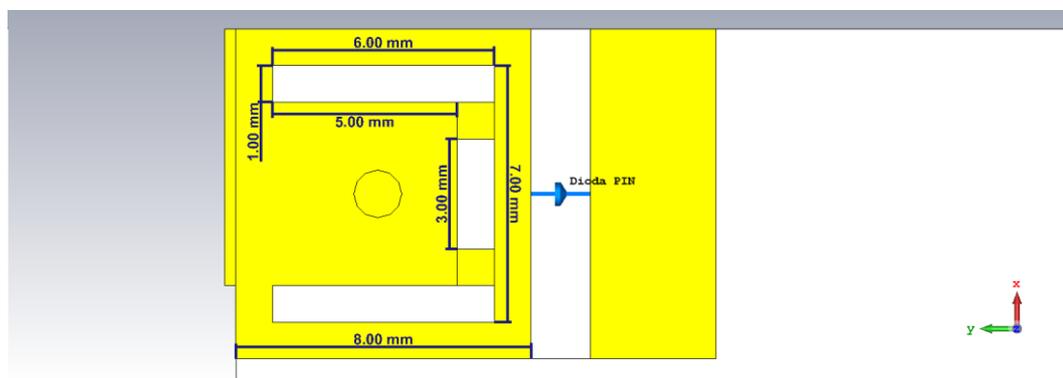


Dari hasil simulasi yang dilakukan, diketahui bahwa nilai *return loss* sangat jauh berubah, baik dari segi nilai dan frekuensi kerja.

Terbentuk dua frekuensi kerja yaitu pada frekuensi 4GHz dan frekuensi 7,6GHz dengan nilai *return loss* yang buruk, masing-masing -10dB dan -30dB. Hal ini terjadi karena total luas *patch* yang menjadi jalur arus radiasi menjadi sangat kecil sehingga frekuensi lompat ke 7,6GHz. Selain itu arus akan lebih cenderung menuju *ground plane* daripada melewati bagian luar slot yang semakin memperburuk nilai S11. Maka dari itu, dilakukan modifikasi lebih lanjut untuk mendapatkan nilai yang lebih baik.

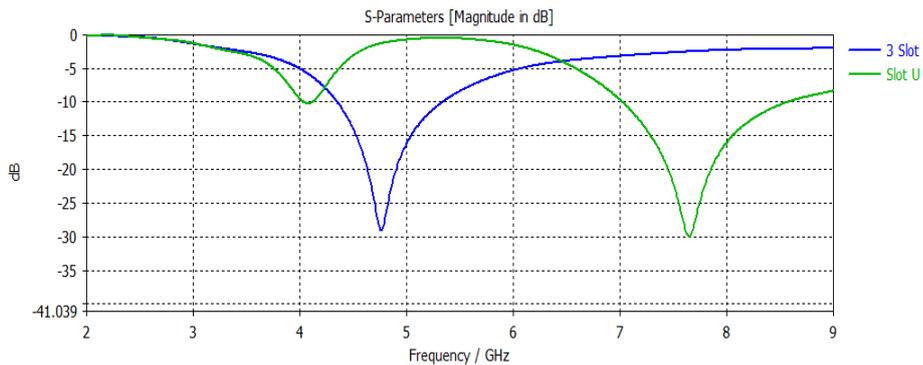
### III.5.5 Modifikasi Slot U Menjadi 3 Slot Untuk Frekuensi 4,8GHz

Untuk mendapatkan nilai *return loss* yang lebih baik maka slot U dimodifikasi dengan mengubahnya menjadi 3 buah slot. Dua slot dengan ukuran 6x1mm dan satu slot berukuran 3x1mm. Hal ini dilakukan untuk memberikan jalur arus radiasi ke bagian sisi luar *patch* sehingga diharapkan meningkatkan nilai *return loss*.



Gambar III.6 Modifikasi Slot U Menjadi 3 Slot



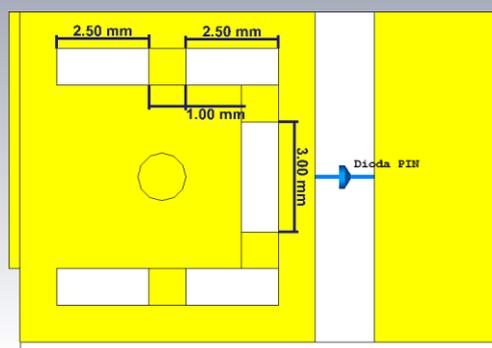


Gambar III.7 Nilai *Return Loss* 3 Slot dibandingkan dengan Slot U

Dari hasil simulasi diperoleh frekuensi kerja yang jauh lebih baik daripada sebelumnya, yaitu pada frekuensi 4,75GHz dengan *return loss* sebesar -29dB.

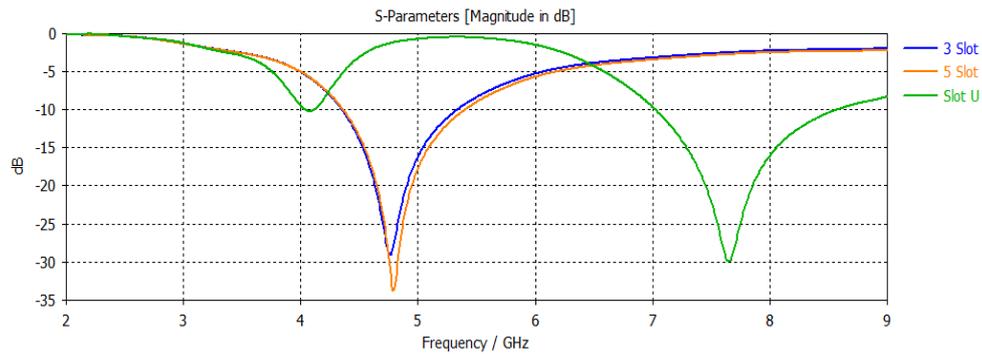
### III.5.6 Modifikasi Slot U Menjadi 5 Slot Untuk Frekuensi 4,8GHz

Untuk mendapatkan nilai *return loss* yang jauh lebih baik dari sebelumnya, dilakukan modifikasi lebih lanjut dengan membagi slot U menjadi 5 slot yang lebih kecil, masing-masing satu berukuran 3x1mm dan empat berukuran 2,5x1mm. Dengan membagi slot menjadi 5, maka jalur arus radiasi akan semakin banyak sehingga diharapkan akan meningkatkan nilai *return loss* yang ada.



Gambar III.8 Modifikasi Slot U Menjadi 5 Slot



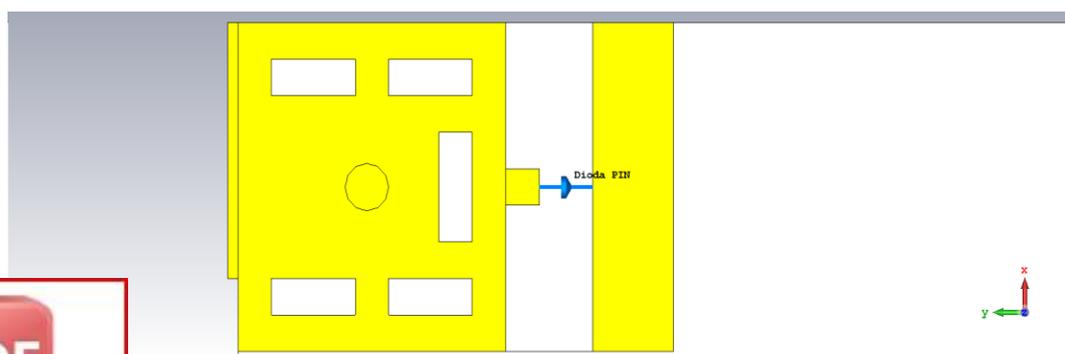


Gambar III.9 Nilai *Return Loss* 5 Slot dibandingkan dengan Slot U dan 3 Slot

Dari hasil simulasi diketahui bahwa dengan membagi slot U menjadi 5 slot, nilai *return loss* meningkat menjadi -33dB dengan frekuensi tengah sebesar 4,79GHz. Frekuensi ini sangat mendekati nilai frekuensi kerja yang diinginkan, yaitu 4,8GHz.

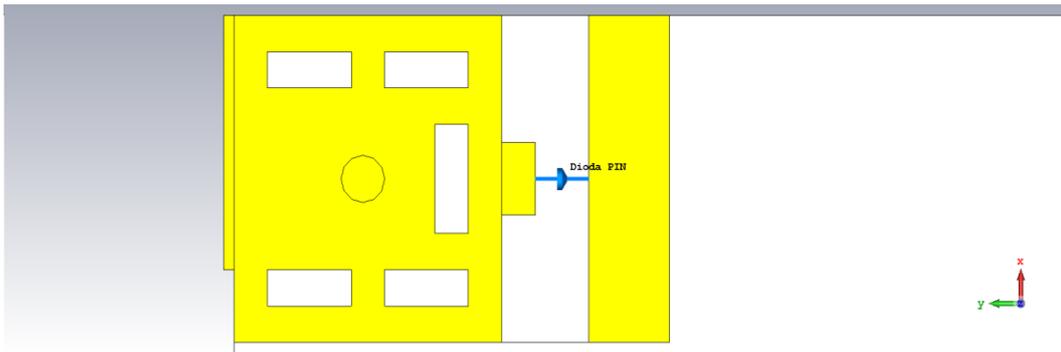
### III.5.7 Penambahan *Patch* Kecil Untuk Frekuensi 4,8GHz

Pada *patch* yang berukuran 8x9 ditambahkan sebuah *patch* kecil di ujung tengahnya dengan ukuran bervariasi dari 1mm, 2mm, dan 3mm untuk menentukan frekuensi kerja dan *return loss* yang diinginkan.

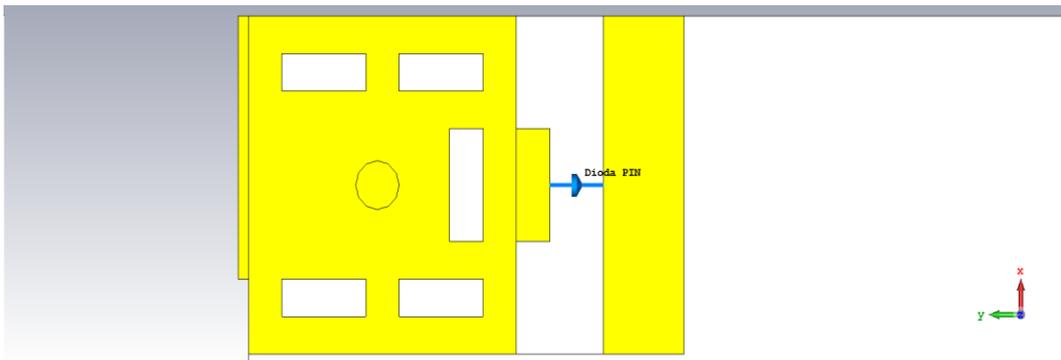


(a)



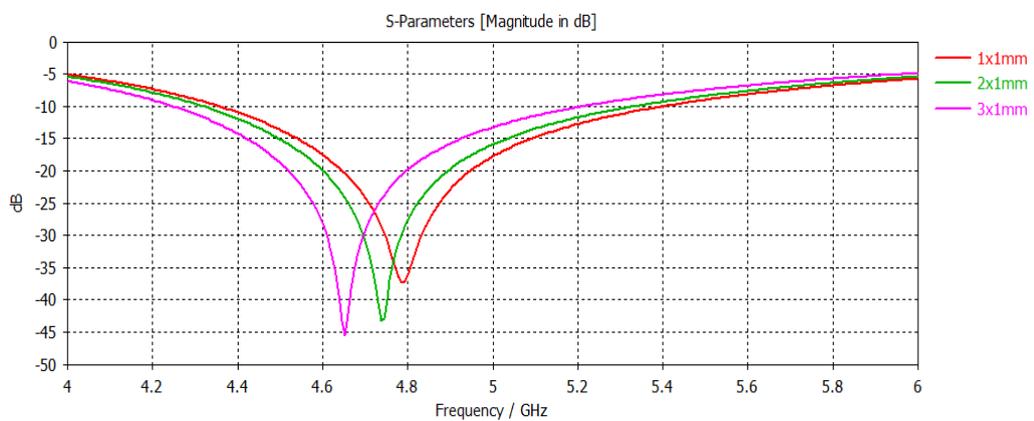


(b)



(c)

Gambar III.10 Modifikasi Bentuk *Patch* Dengan Menambahkan *Patch* baru  
(a) 1x1mm, (c) 2x1mm, (d) 3x1mm



Gambar III.11 Nilai *Return Loss* dari Modifikasi Bentuk *Patch* dengan Menambahkan *Patch* baru



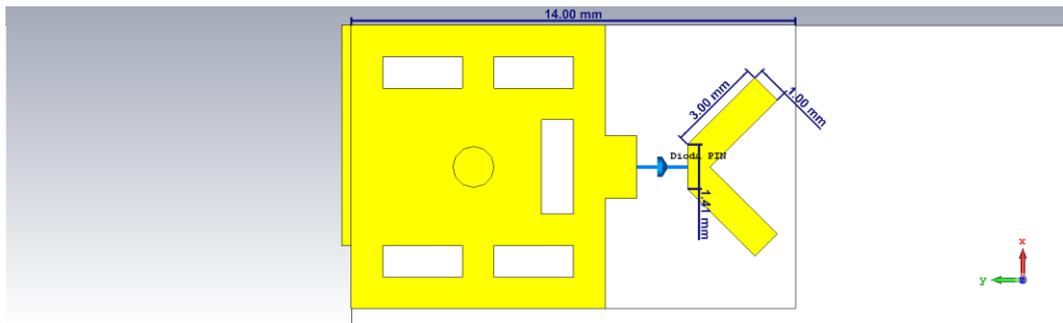
Dari hasil simulasi diketahui bahwa pada saat *patch* tambahan berukuran 1x1mm maka diperoleh nilai frekuensi mendekati 4,8GHz dengan nilai *return loss* sebesar -37dB. Sedangkan nilai *return loss* terbaik diperoleh saat *patch* tambahan berukuran 3x1mm, namun frekuensinya bergeser sangat jauh ke 4,65GHz. Maka diambil *patch* berukuran 2x1mm dengan frekuensi 3,75GHz dan *return loss* -43dB. Akan dilakukan modifikasi bentuk *patch* untuk frekuensi 3,5GHz yang diharapkan tidak akan berpengaruh signifikan terhadap frekuensi 4,8GHz.

### III.5.8 Modifikasi *Patch* Untuk Frekuensi 3,5GHz

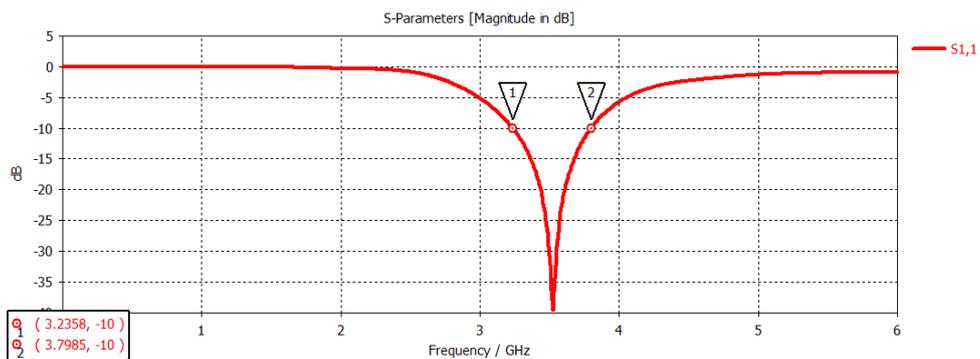
Setelah menentukan bentuk *patch* untuk frekuensi 4,8GHz. Maka selanjutnya dilakukan modifikasi pada *patch* untuk frekuensi 3,5GHz. Dikarenakan luas *patch* yang tersisa untuk memodifikasi frekuensi 3,5GHz sangat kecil, maka dilakukan penambahan panjang keseluruhan *patch* dari yang semula 13mm menjadi 14mm. Penambahan panjang *patch* secara keseluruhan dapat mempengaruhi hasil simulasi untuk 4,8GHz walaupun tidak signifikan sehingga setelah memodifikasi *patch* untuk frekuensi 3,5GHz akan dilakukan kembali simulasi untuk frekuensi 4,8GHz.

Modifikasi pada *patch* dilakukan dengan membuat *patch* berbentuk V yang memiliki sudut  $45^\circ$  terhadap sumbu X. Panjang *patch* adalah 3mm dengan lebar sebesar 1mm.



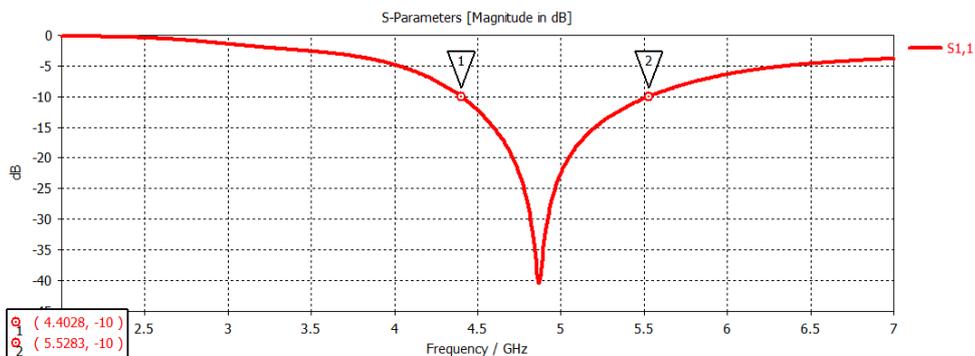


Gambar III.12 Modifikasi Dengan Menambahkan Patch Berbentuk V



Gambar III.13 Nilai Return Loss pada Frekuensi 3,5GHz Setelah ditambahkan Patch Berbentuk V

Dari hasil simulasi yang telah dilakukan, dapat dilihat bahwa nilai *return loss* pada frekuensi 3,5GHz adalah sebesar -39dB pada frekuensi tengah 3,52GHz.



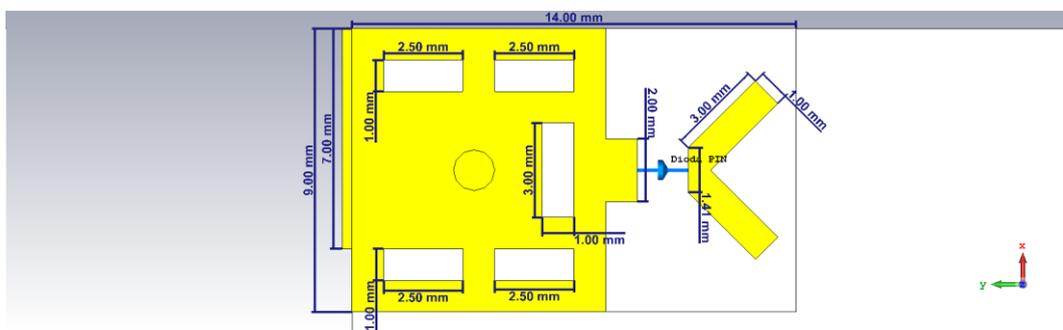
Gambar III.14 Nilai Return Loss pada Frekuensi 4,8GHz Setelah ditambahkan Patch Berbentuk V



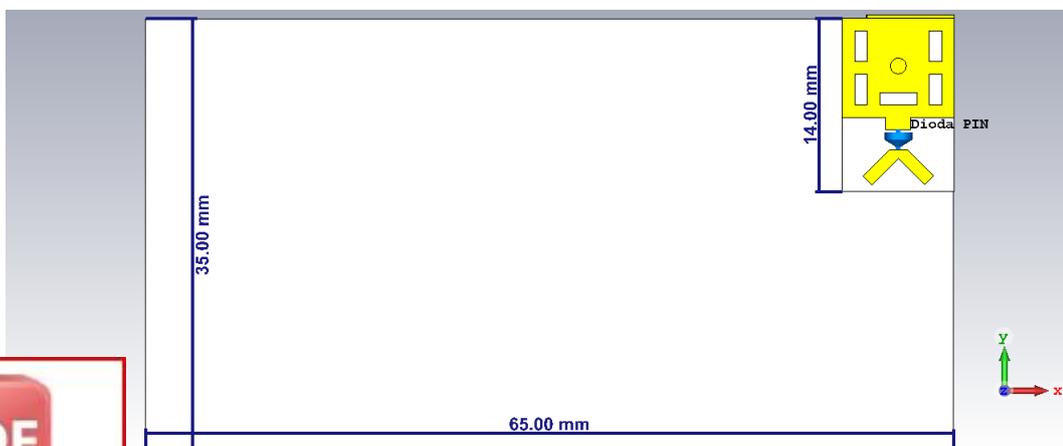
Sedangkan untuk frekuensi 4,8GHz dilakukan kembali simulasi untuk melihat pengaruh dari penambahan slot V pada frekuensi 4,8GHz. Dari hasil simulasi, diketahui bahwa terjadi pergeseran frekuensi dari yang sebelumnya 4,75GHz menjadi 4,8672GHz, selain itu terjadi peningkatan nilai *return loss* menjadi -40dB.

### III.5.9 Desain Akhir Antena

Setelah melakukan serangkaian simulasi, telah didapatkan Desain Akhir Antena PIFA yang mampu bekerja pada frekuensi 3,5GHz dan 4,8GHz seperti pada gambar berikut.

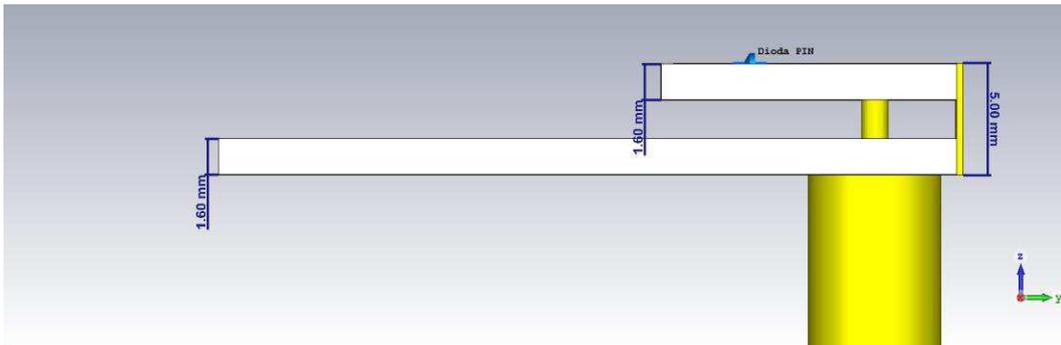


(a)

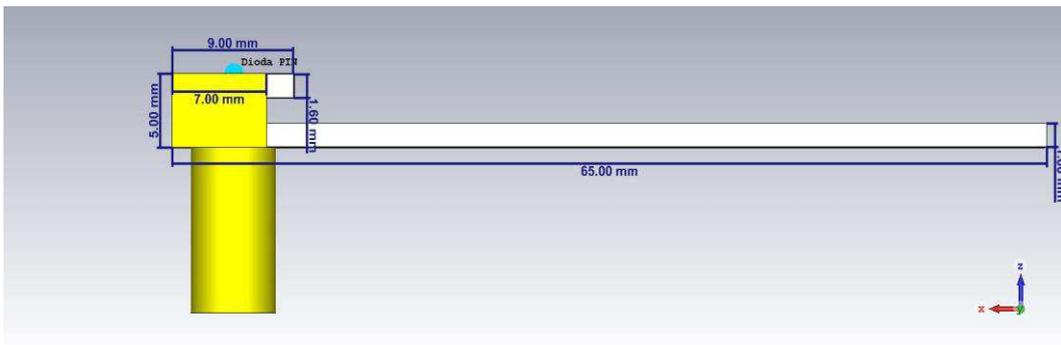


(b)

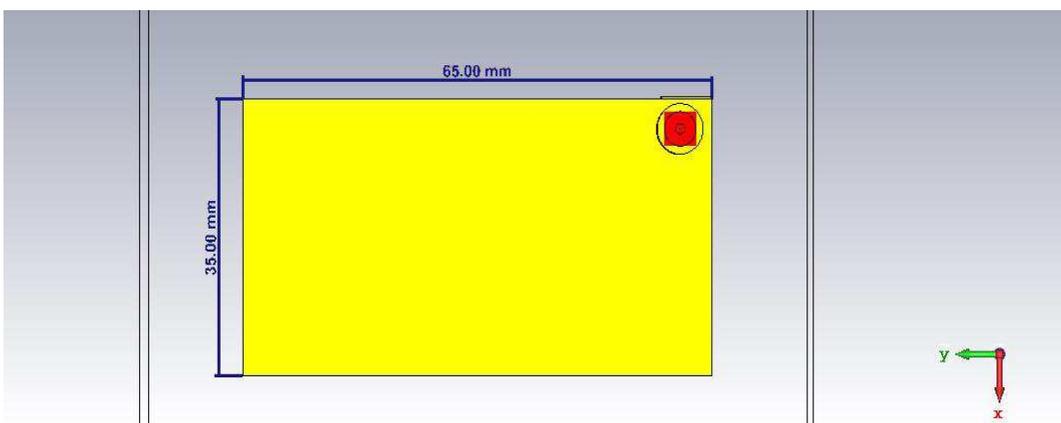




(c)



(d)



(e)

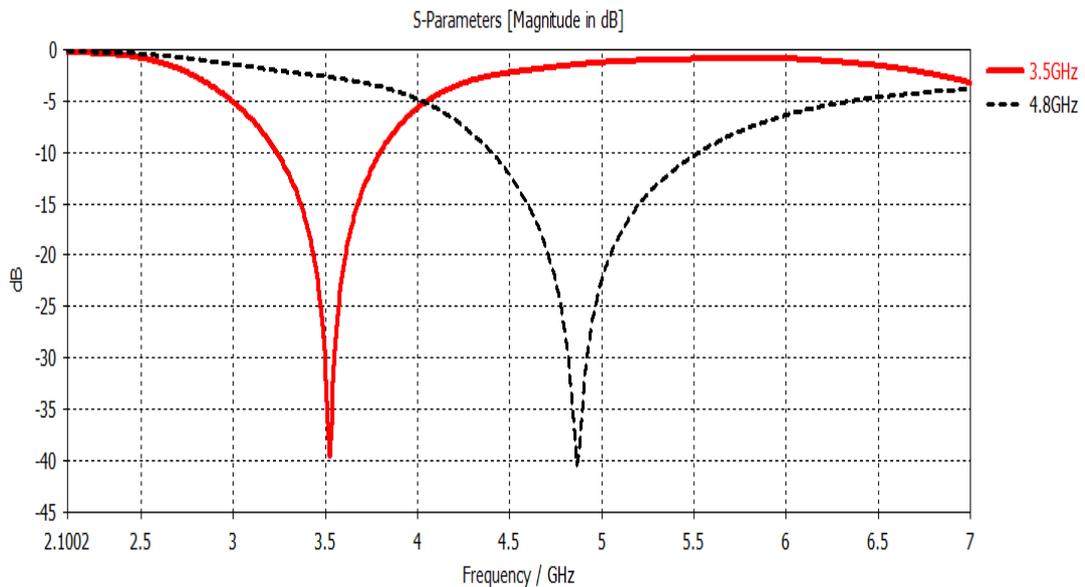
Gambar III.15 Desain Antena PIFA (a) Tampak Atas Patch, (b) Tampak Atas Struktur, (c) Tampak Depan, (d) Tampak Samping, (e) Tampak Bawah



Tabel III.1 Ukuran Desain Antena

<b>Bagian</b>	<b>Dimensi (mm)</b>
Panjang <i>ground</i> (Lgr)	65
Lebar <i>ground</i> (Wgr)	35
Panjang <i>patch</i> (Lp)	14
Lebar Patch (Wp)	9
Panjang Slot 1-4 (Ls1-4)	2,5
Lebar Slot 1-4 (Ws1-4)	1
Panjang Slot 5 (Ls5)	3
Lebar Slot 5 (Ws5)	1
Panjang <i>lumped Element</i> (Lmp)	1,6
Lebar <i>Short plate</i> (Wsh)	7
Tinggi <i>Short plate</i> (Hsh)	5
Diameter pin (d)	1,3
Panjang <i>patch V</i> (Lpv)	3
Lebar <i>patch V</i> (Wpv)	1





Gambar III.16 Hasil Akhir Simulasi PIFA pada Frekuensi 3,5GHz dan 4,8GHz

Dari hasil akhir simulasi antenna, diperoleh nilai *return loss* untuk masing-masing frekuensi 3,5GHz dan 4,8GHz. Pada frekuensi 3,5GHz diperoleh nilai *return loss* sebesar -39dB dengan frekuensi tengah 3,52GHz. Frekuensi kerja mulai dari 3,2358GHz – 3,7985GHz dengan lebar sebesar 562,7MHz. Sedangkan pada frekuensi 4,8GHz diperoleh nilai *return loss* sebesar -40dB dengan frekuensi tengah 4,8672GHz. Frekuensi kerja mulai dari 4,4028GHz – 5,5283GHz dengan lebar sebesar 1,1255GHz

Perhitungan *bandwidth* antenna dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan 3.1:

$$Bandwidth = \frac{(f_2 - f_1)}{f_c} \times 100\% \quad (3.1)$$

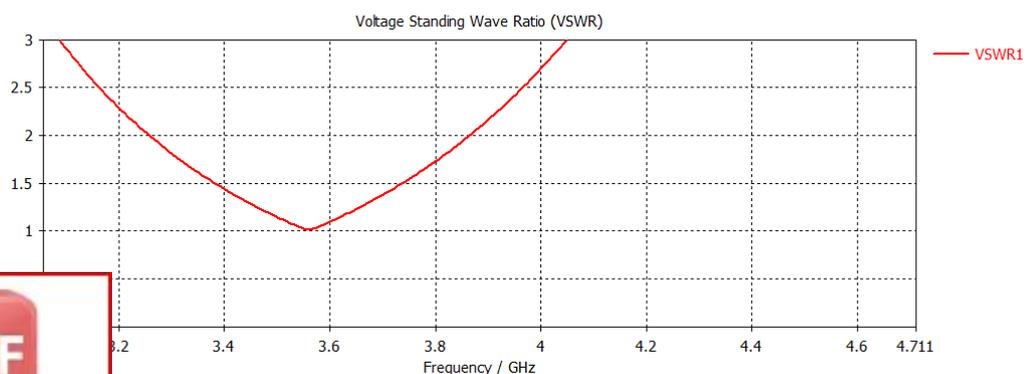


Di mana  $f_2$  merupakan batas atas frekuensi dan  $f_1$  merupakan batas bawah frekuensi, sedangkan  $f_c$  adalah frekuensi tengah. Hasil pengukuran kedua frekuensi dapat dilihat pada tabel di bawah.

Tabel III.2 Hasil Pengukuran

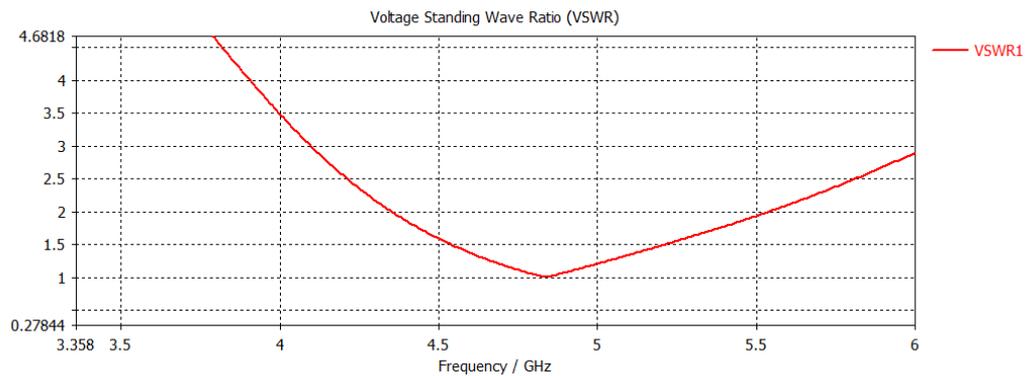
Parameter	Frekuensi kerja 3,5GHz	Frekuensi kerja 4,8GHz
<i>Bandwidth</i>	562,7MHz atau sebesar 16,077%	1,1255GHz atau sebesar 23,447%)
<i>Return loss</i>	-39dB	-40dB

Dari gambar III.17 dapat dilihat besar VSWR dari antenna yang didesain masing-masing pada frekuensi 3,5GHz dan 4,8GHz. Dari nilai ini diketahui bahwa *matching* terbaik diperoleh pada frekuensi 3,561GHz dan 4,835GHz.



(a)

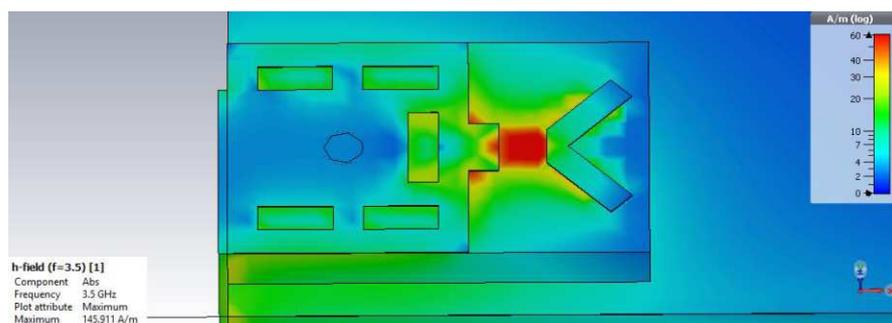




(b)

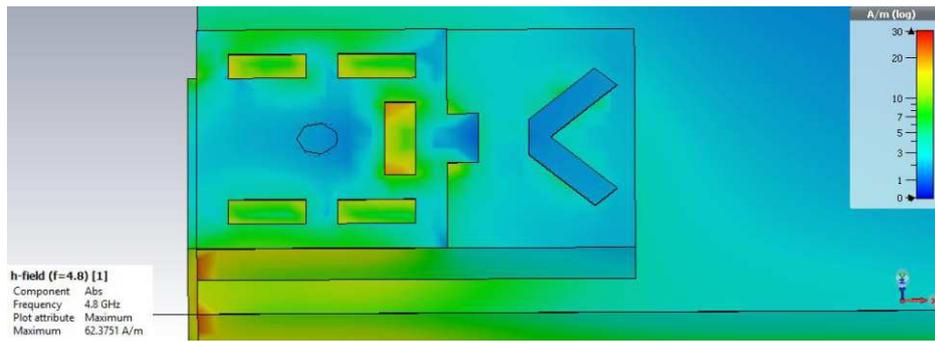
Gambar III.17 Nilai VSWR pada (a) Frekuensi 3,5GHz dan (b) Frekuensi 4,8GHz

Pada gambar III.18 dan gambar III.19 menunjukkan *h-field* dan *e-field* dari antenna pada frekuensi 3,5GHz dan 4,8GHz. Dari gambar dapat dilihat bahwa pada frekuensi 3,5GHz terjadi aliran arus pada bagian luar *patch* secara keseluruhan yang ditandai oleh gambar III.18(a), selain itu radiasi antenna berpusat pada *patch* berbentuk V yang ditandai oleh gambar III.19(a). Sedangkan untuk frekuensi 4,8GHz, aliran arus terbatas pada *patch* pertama saja seperti pada gambar III.18(b), begitu pula radiasi antenna yang ditandai oleh *e-field* hanya berpusat pada sekitaran *patch* pertama saja seperti yang ditunjukkan gambar III.19(b).



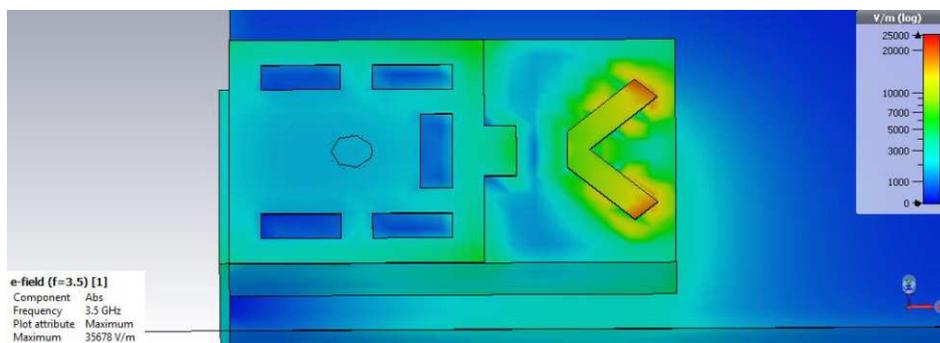
(a)



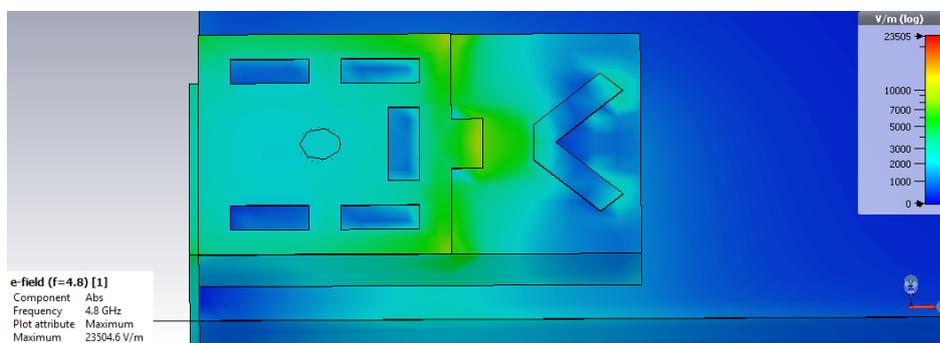


(b)

Gambar III.18 Animasi *H-Field* dari Antena (a) Frekuensi 3,5GHz (b) Frekuensi 4,8GHz



(a)

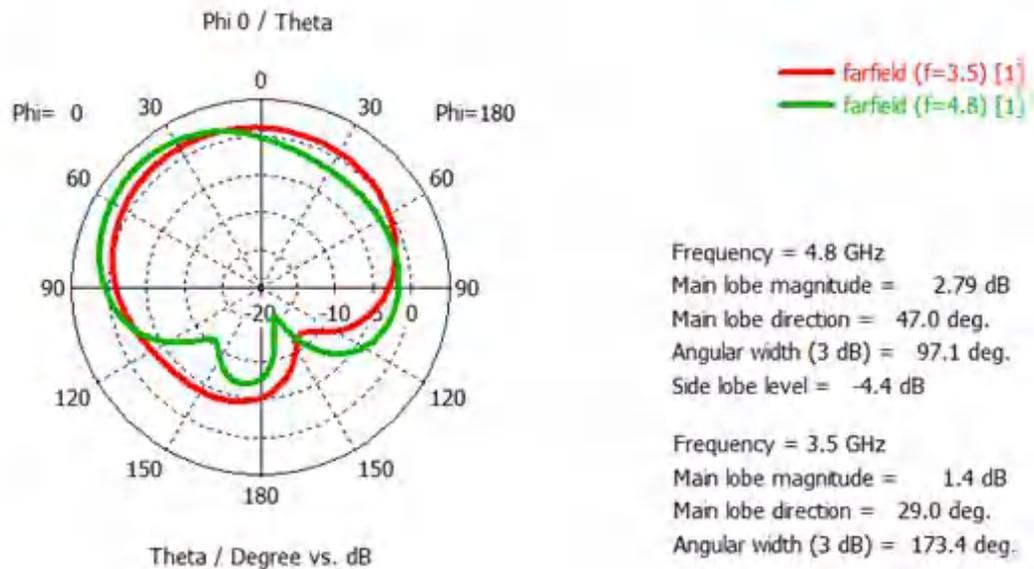


(b)

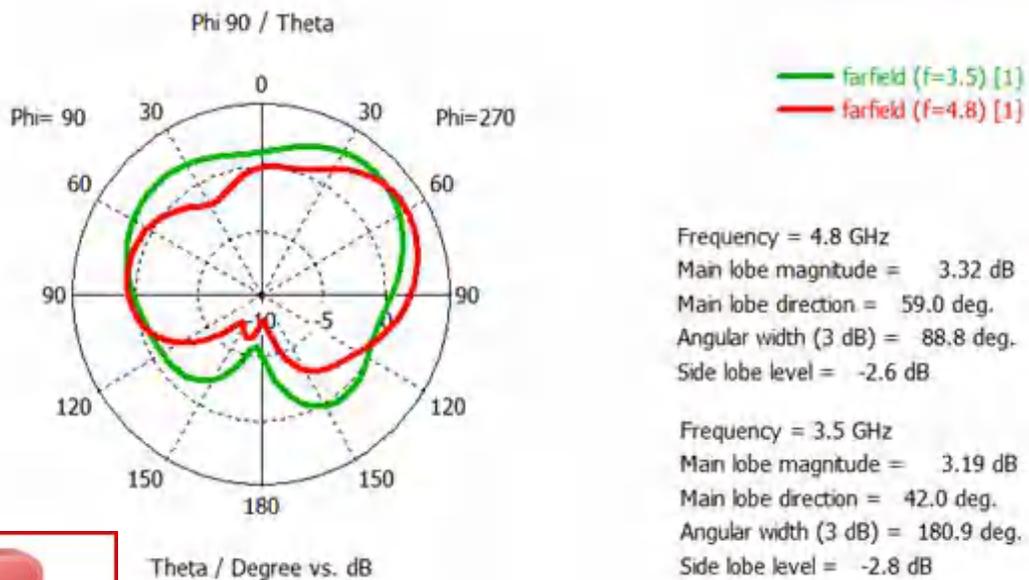
III.19 Animasi *E-Field* dari Antena (a) Frekuensi 3,5GHz (b) Frekuensi 4,8GHz



Pada gambar III.20 dan gambar III.21 masing-masing memperlihatkan pola radiasi antenna dalam bentuk polar dan 3D.

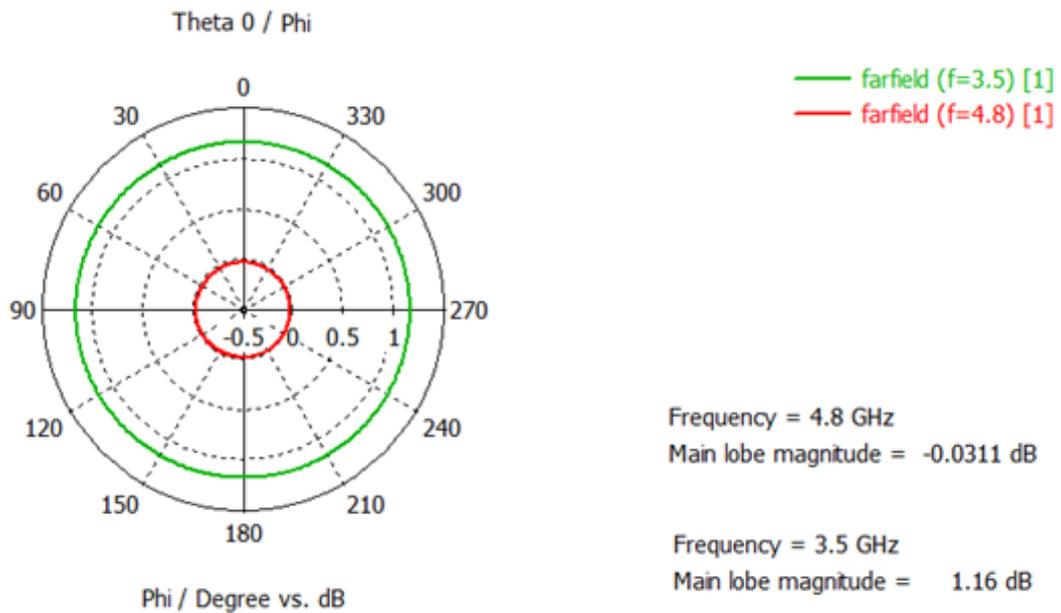


(a)



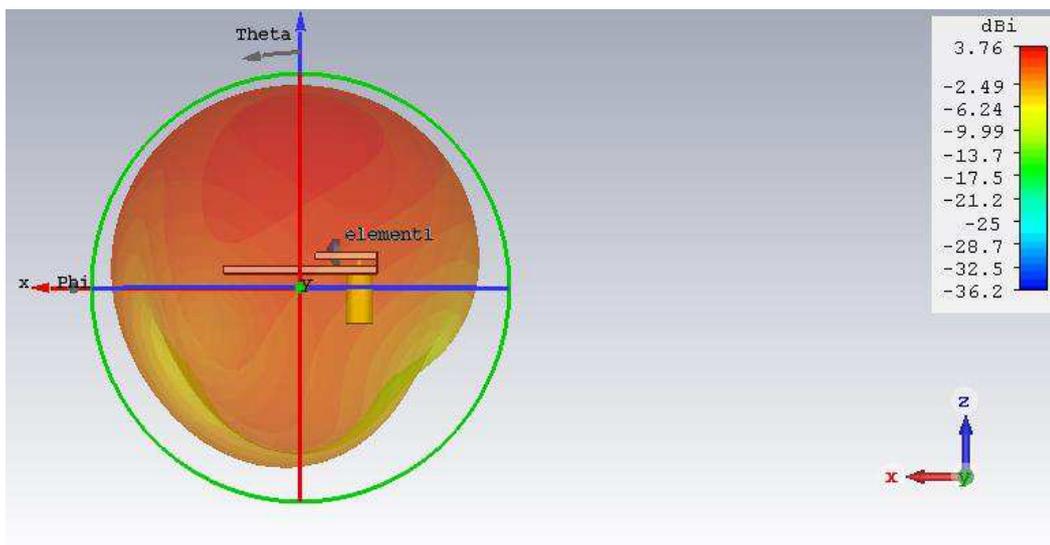
(b)





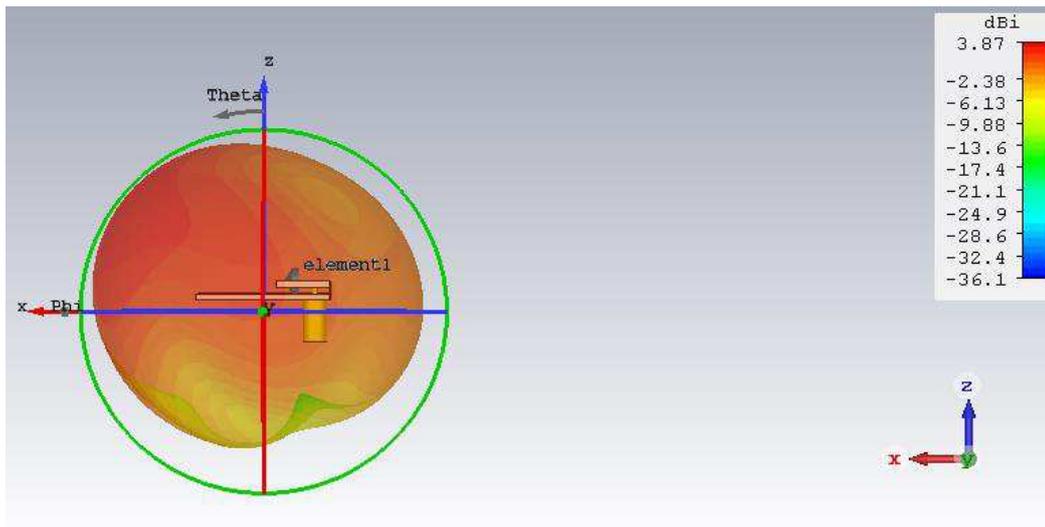
(c)

Gambar III.20 Pola Radiasi Antena Dalam Bentuk Polar (a) Plot XZ [phi 0/theta] (b) Plot YZ [phi 90/theta] (c) Plot XY [theta 0/phi]



(a)





(b)

Gambar III.21 Pola Radiasi Antena Dalam Bentuk 3D (a) Frekuensi 3.5 (b) Frekuensi 4.8GHz

Dari hasil simulasi pola radiasi antena pada gambar III.20 dan III.21, dapat dilihat bahwa pada frekuensi 3,5GHz dihasilkan magnitude tertinggi atau *gain* antena sebesar 3,19dB pada plot phi90/ theta sudut 42°. Sedangkan pada frekuensi 4,8GHz dihasilkan magnitude tertinggi atau *gain* antena sebesar 3,32dB pada plot phi 90/theta sudut 59°.

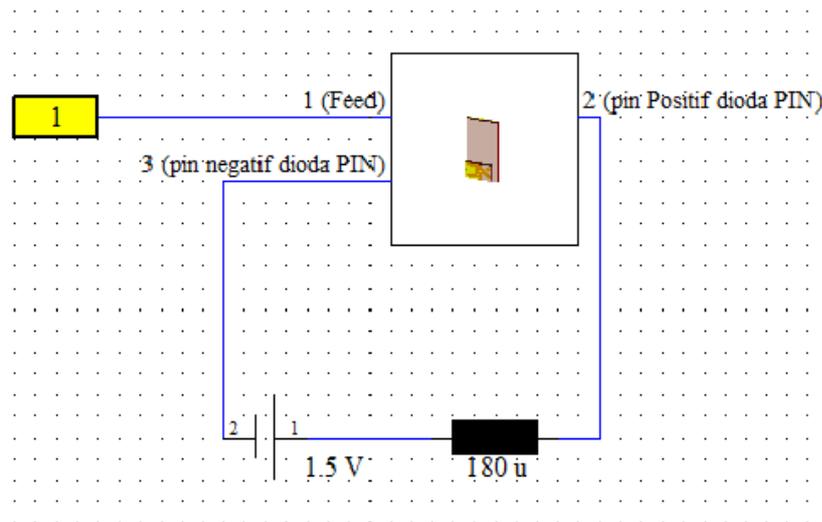


## BAB IV

### HASIL PENGUKURAN DAN ANALISIS

#### IV.1 Hasil Fabrikasi dan Konfigurasi Pengukuran

Setelah dilakukan perancangan dan simulasi seperti yang telah dijelaskan di BAB III, maka langkah selanjutnya adalah melakukan fabrikasi pada antenna yang telah dirancang. Setelah proses fabrikasi selesai, antenna dihubungkan ke rangkaian bias untuk mengaktifkan dan menonaktifkan dioda PIN. Rangkaian bias terdiri dari sebuah baterai 1,5V dan induktor 180uH. Induktor berfungsi sebagai tahanan arus agar arus dari *feeding* antenna tidak masuk ke sumber baterai. Rangkaian bias dan antenna hasil fabrikasi dapat dilihat pada gambar IV.1 dan gambar IV.2.

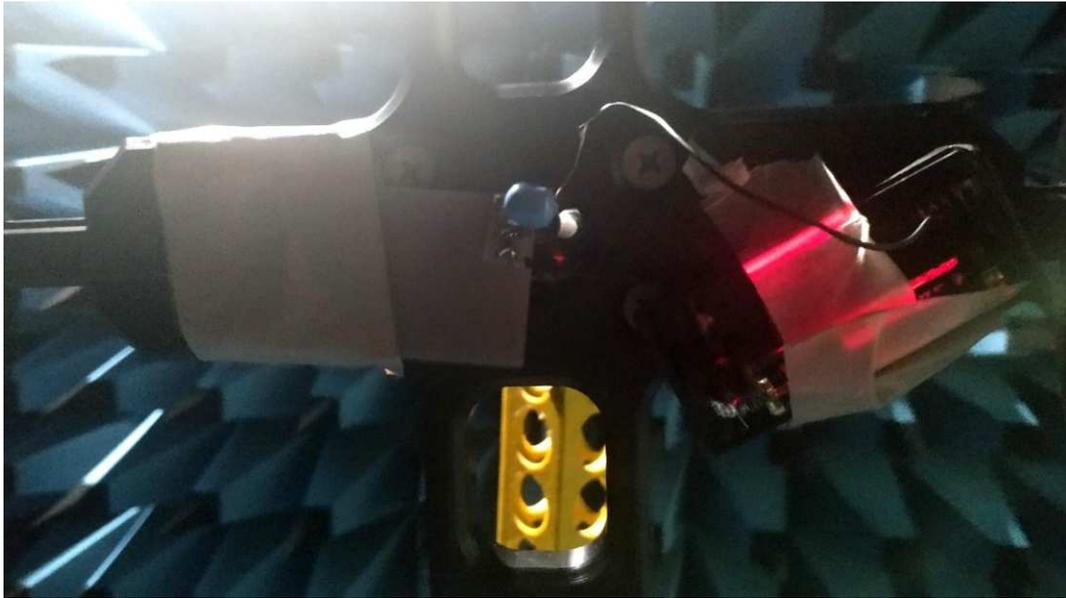


Gambar IV.1 Rangkaian Bias Antena





(a)

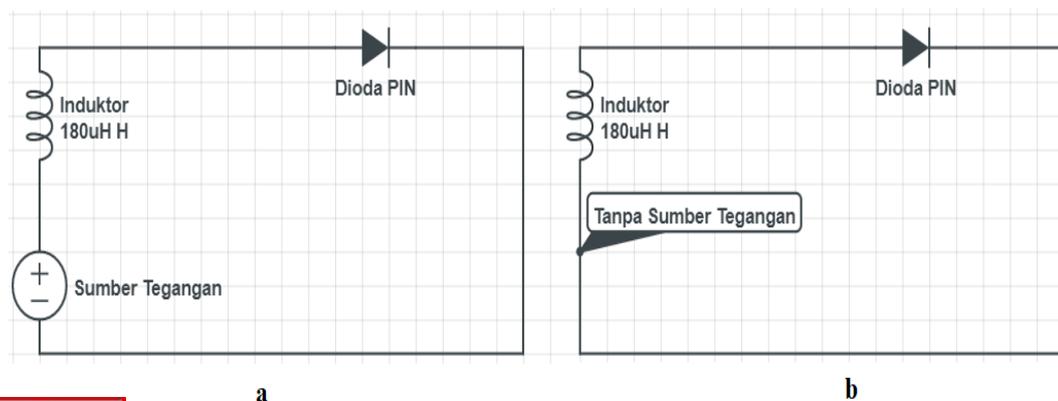


(b)

ur IV.2 Antena yang Telah Difabrikasi (a) Belum Dihubungkan dengan Rangkaian Bias (b) Pada Saat Pengukuran

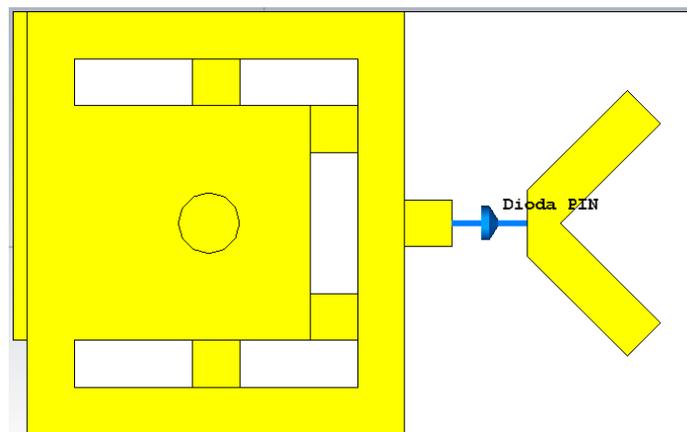


Pengukuran antenna dilakukan menggunakan dua konfigurasi, yang pertama adalah konfigurasi saat dioda PIN dalam kondisi aktif (ON) dan yang kedua adalah saat dioda PIN dalam kondisi tidak aktif (OFF). Pada konfigurasi ON, dioda akan terhubung dengan rangkaian bias yang akan membuat dioda aktif dan menjadi *short circuit* (saklar tertutup) sehingga akan membuat sinyal RF merambat melewati dioda menuju *patch V (extended patch)* yang akan menambah luasan total *patch* antenna sehingga antenna bekerja pada frekuensi rendah (3,5GHz). Sedangkan pada konfigurasi OFF, rangkaian bias tidak akan menyuplai tegangan ke dioda PIN sehingga dioda tidak akan aktif dan menjadi *open circuit* (saklar terbuka) sehingga sinyal RF tidak dapat merambat melewati dioda. Hal ini akan mengurangi luasan total *patch* antenna sehingga antenna bekerja pada frekuensi tinggi (4,8GHz). Gambar konfigurasi Pengukuran dan pengaruhnya terhadap luasan *patch* aktif antenna (meradiasikan sinyal) dapat dilihat pada gambar IV.3 dan gambar IV.4.

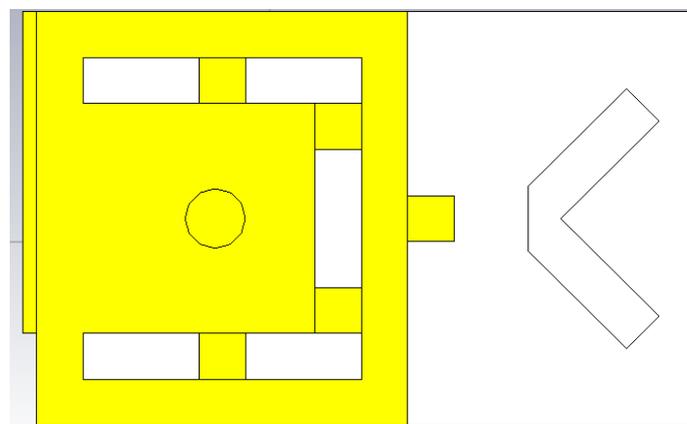


IV.3 Konfigurasi Pengukuran (a) Kondisi Dioda ON (b) Kondisi Dioda OFF





(a)



(b)

Gambar IV.4 Kondisi *Patch* Aktif Antena pada Kondisi (a) dioda ON (b) dioda OFF

Dari gambar IV.3 dan IV.4 dapat kita lihat bahwa pada konfigurasi dioda ON, dioda PIN akan aktif dan bekerja seperti *short circuit* sehingga sinyal dapat merambat ke *patch V* yang membuat luasan total *patch* aktif pada antena bertambah. Sedangkan pada konfigurasi dioda OFF (tidak ada sumber tegangan, dioda PIN tidak aktif dan bekerja seperti *open circuit* sehingga sinyal akan diblok oleh dioda yang membuat luasan total *patch* aktif pada antena berkurang.



## IV.2 Hasil Pengukuran

Pengukuran antenna dilakukan di ruangan *Anechoic Chamber Room* Departamen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Ruangan tersebut mampu menyerap gelombang elektromagnetik sehingga meningkatkan tingkat akurasi pada pengukuran. *Anechoic Chamber Room* memiliki keterbatasan hanya dapat mengukur plot pola radiasi antenna, sehingga untuk pengukuran *return loss* (S11) dilakukan menggunakan *Antenna Analyzer Portable*.

Pengukuran antenna meliputi parameter-parameter seperti *return loss*, pola radiasi, dan *gain*. Pengukuran yang dilakukan menggunakan pengukuran port tunggal untuk mengukur s11 dan port ganda untuk mengukur pola radiasi dan *gain*. Pengukuran *return loss* dilakukan dengan menggunakan dua kondisi. Kondisi I adalah ketika antenna menggunakan saklar manual untuk mengubah frekuensi kerja dari antenna dan kondisi II adalah ketika antenna menggunakan *microcontroller* untuk mengubah frekuensi kerjanya.

### IV.2.1 Hasil Pengukuran *Return Loss* dan VSWR pada Kondisi I

Pengukuran *return loss* dan VSWR menggunakan port tunggal yang dhibungkan secara langsung ke antenna yang telah difabrikasi. Pengukuran menggunakan *network analyzer* dengan format S11. Hasil pengukuran S11 pada frekuensi 3,5GHz dan 4,8GHz pada kondisi I dapat dilihat pada gambar IV.5





(a)

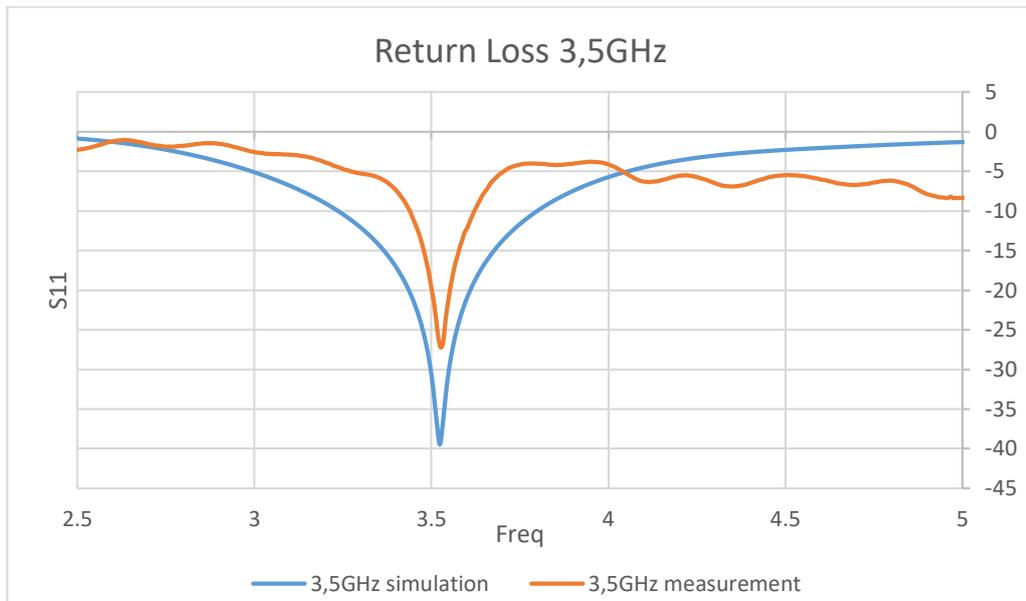


(b)

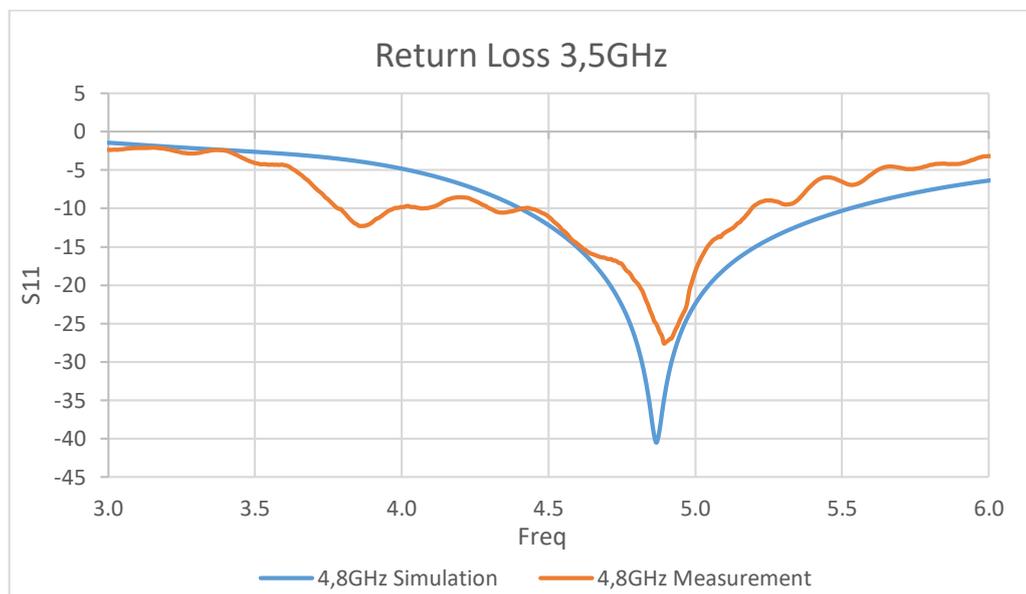
Gambar IV.5 Hasil Pengukuran *Return Loss* pada Kondisi I (a) Frekuensi 3,5GHz  
(b) Frekuensi 4,8GHz

Perbandingan antara *return loss* hasil pengukuran dengan hasil simulasi dapat dilihat pada gambar IV.6.





(a)



(b)

Gambar IV.6 Perbandingan *Return Loss* Pengukuran dan Simulasi (a) Frekuensi 3,5GHz (b) Frekuensi 4,8GHz



Pengukuran antenna pada frekuensi 3,5GHz dilakukan saat dioda PIN berada dalam kondisi ON. Dari hasil pengukuran pada frekuensi 3,5 GHz dapat dilihat bahwa antenna fabrikasi memiliki nilai *return loss* terbaik sebesar -27,2208dB pada frekuensi 3,53GHz. Sedangkan hasil pengukuran antenna pada frekuensi 4,8GHz dilakukan pada saat dioda PIN berada dalam kondisi OFF. Dari hasil pengukuran dapat dapat dilihat bahwa antenna fabrikasi memiliki nilai *return loss* terbaik sebesar -27.5751dB pada frekuensi 4,89GHz. Frekuensi ini bergeser sebesar 90MHz dari frekuensi yang diinginkan, yaitu 4,8GHz. Namun hasil *return loss* yang baik masih mencakupi frekuensi 4,8GHz dengan nilai *return loss* sebesar -19,6195dB. Jadi, antenna mampu bekerja pada dua frekuensi kerja 5G yaitu frekuensi 3,5GHz dan 4,8GHz dengan dua konfigurasi dioda PIN yang berbeda (ON dan OFF).

Gambar IV.7 menunjukan grafik VSWR dari antenna yang telah diukur.





(a)



(b)

IV.7 Hasil Pengukuran Nilai VSWR (a) Frekuensi 3,5GHz (b) Frekuensi 4,8GHz



Dari hasil pengukuran dan pengolahan data VSWR, pada frekuensi kerja 3,5GHz untuk nilai VSWR  $\leq 2$  yaitu pada rentang frekuensi 3,433GHz – 3,6267GHz. Sedangkan pada frekuensi kerja 4,8GHz untuk nilai VSWR  $\leq 2$  yaitu pada rentang frekuensi 4,2467 – 5,1867GHz.

Tabel IV.1 dan tabel IV.2 menunjukkan perbandingan hasil antara simulasi dan hasil pengukuran masing-masing pada frekuensi 3,5GHz dan 4,8GHz.

Tabel IV.1 Perbandingan Hasil Simulasi dan Pengukuran pada Frekuensi 3,5GHz

Parameter	Hasil Simulasi	Hasil Pengukuran
<i>Bandwidth</i>	3,2358GHz – 3,7985GHz (562,7MHz atau sebesar 16,077%)	3,44GHz – 3,62GHz (180MHz atau sebesar 5,14%)
<i>Return loss</i>	-39dB	-27,2208dB
<i>Frekuensi Tengah</i>	3,52GHz	3,53GHz

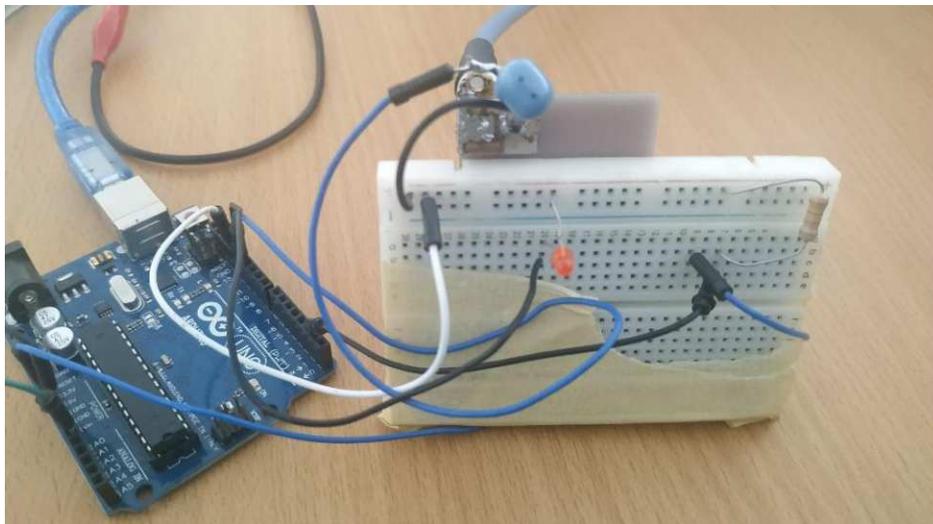
Tabel IV.2 Perbandingan Hasil Simulasi dan Pengukuran pada Frekuensi 4,8GHz

Parameter	Hasil Simulasi	Hasil Pengukuran
<i>Bandwidth</i>	4,4028GHz – 5,5283GHz (1,1255GHz atau sebesar 23,447%)	4,293GHz – 5.193GHz (900MHz atau sebesar 18,74%)
<i>Return loss</i>	-40dB	-27.5751dB
<i>Frekuensi Tengah</i>	4,8672GHz	4,89GHz



## IV.2.2 Hasil Pengukuran *Return Loss* pada Kondisi II

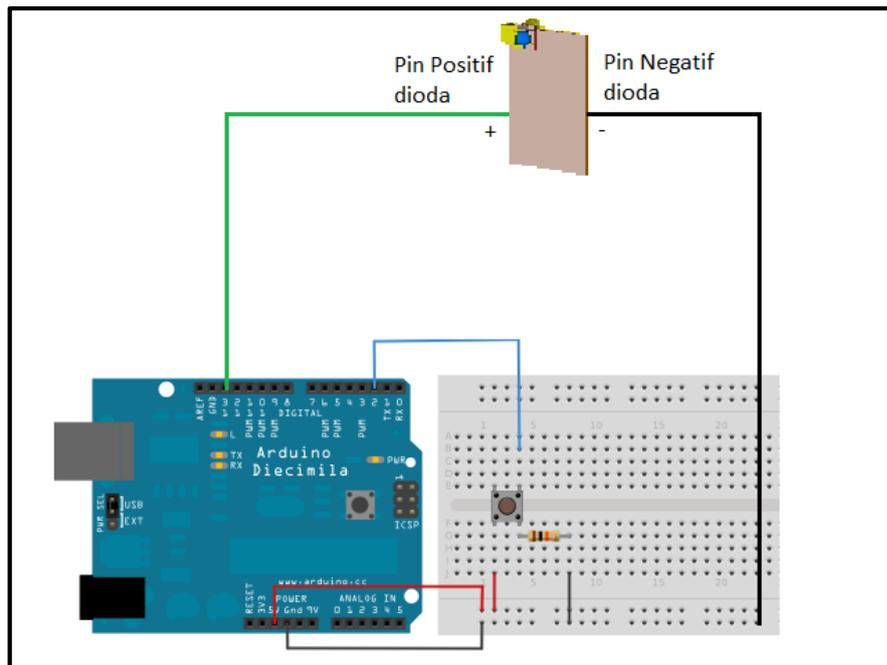
Pada pengukuran *return loss* sebelumnya, antena langsung dihubungkan dengan catu daya berupa baterai untuk memberi daya pada rangkaian bias. Sedangkan pada pengukuran kali ini, antena akan diberi catu daya dari *microcontroller* yang sekaligus berfungsi sebagai *instrument switching* dari antenna. Antena dengan menggunakan *microcontroller* sebagai saklar dapat dilihat pada gambar IV.8.



Gambar IV.8 Antena Saat Menggunakan *Microcontroller Sebagai Saklar*

Rangkaian bias antena akan diberi catu daya sebesar 5V dari *output microcontroller*. *Microcontroller* sendiri akan berperan sebagai saklar untuk menentukan frekuensi kerja dari antenna. Sebuah *push button* akan digunakan untuk melakukan *switching* frekuensi antara 3,5GHz dan 4,8GHz. Rangkaian konfigurasi antena dapat dilihat pada gambar IV.9.





Gambar IV.9 Rangkaian Konfigurasi Antena Menggunakan *Microcontroller*

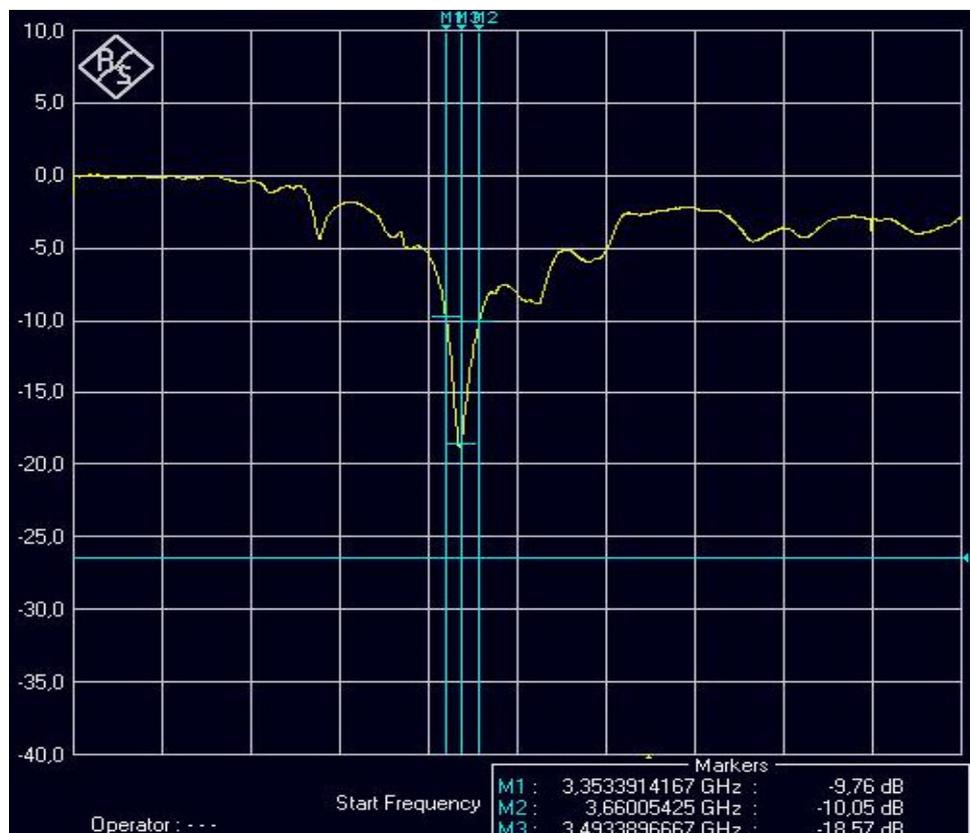
Pada rangkaian di atas dapat dilihat bahwa *push button* di salah satu sisinya terhubung dengan pin daya 5V dari *microcontroller*. Sedangkan sisi lainnya terhubung dengan pin 2 dan sebuah resistor 10k ohm yang terhubung ke *ground*. Pin positif dioda PIN terhubung dengan pin 13 dari *microcontroller* sedangkan pin negatif dioda PIN terhubung dengan *ground*. Pin 2 dan Pin 13 masing-masing berfungsi sebagai *input* dan *output*, sedangkan resistor berfungsi sebagai *pull-up* resistor. Program untuk konfigurasi antena dapat dilihat pada lampiran 6.

Prinsip kerja dari rangkaian ini adalah ketika *push button* ditekan, maka pin daya 5V dan pin 2 akan terhubung sehingga pin 2 (*input*) akan menjadi aktif. *Microcontroller* akan diprogram sedemikian rupa sehingga saat pin 2 dalam kondisi aktif, maka pin



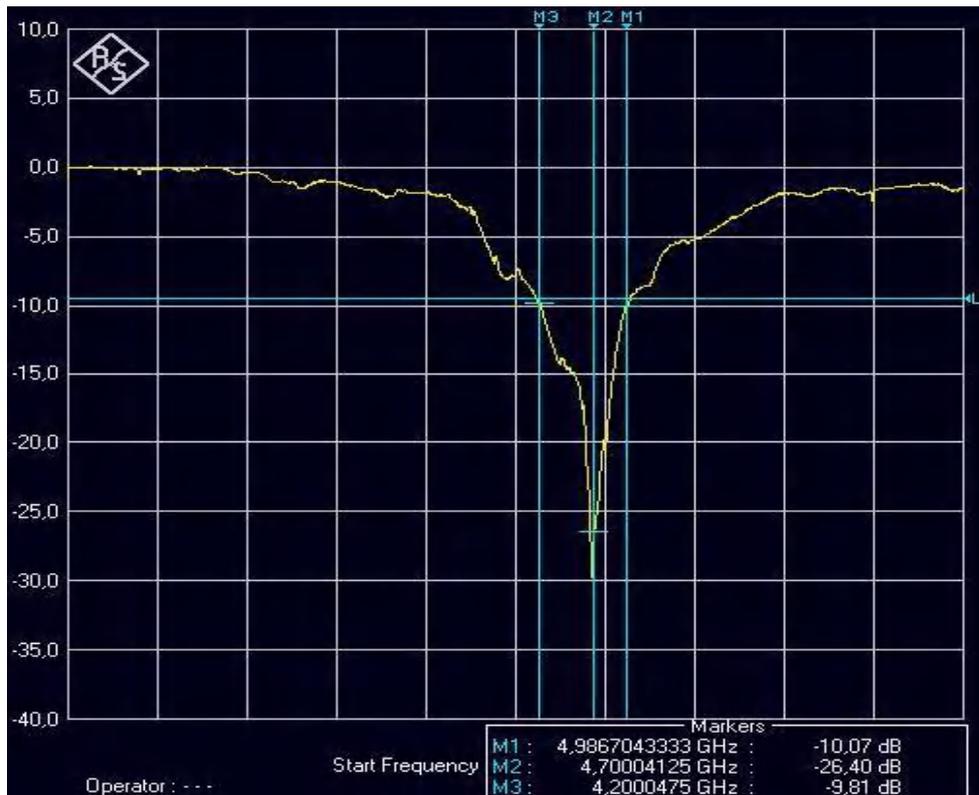
13 (output) akan menjadi aktif dan menghasilkan keluaran sebesar 5V. Tegangan 5V ini yang kemudian memberikan catu daya ke dioda PIN sehingga dioda PIN juga menjadi aktif (ON). Sesuai konfigurasi pengukuran yang ada, ketika dioda PIN aktif maka antenna bekerja di frekuensi 3,5GHz. Begitu pun sebaliknya ketika dioda PIN tidak aktif (OFF), maka antenna bekerja di frekuensi 4,8GHz.

Hasil pengukuran *return loss* pada kondisi II dapat dilihat pada gambar IV.10.



(a)



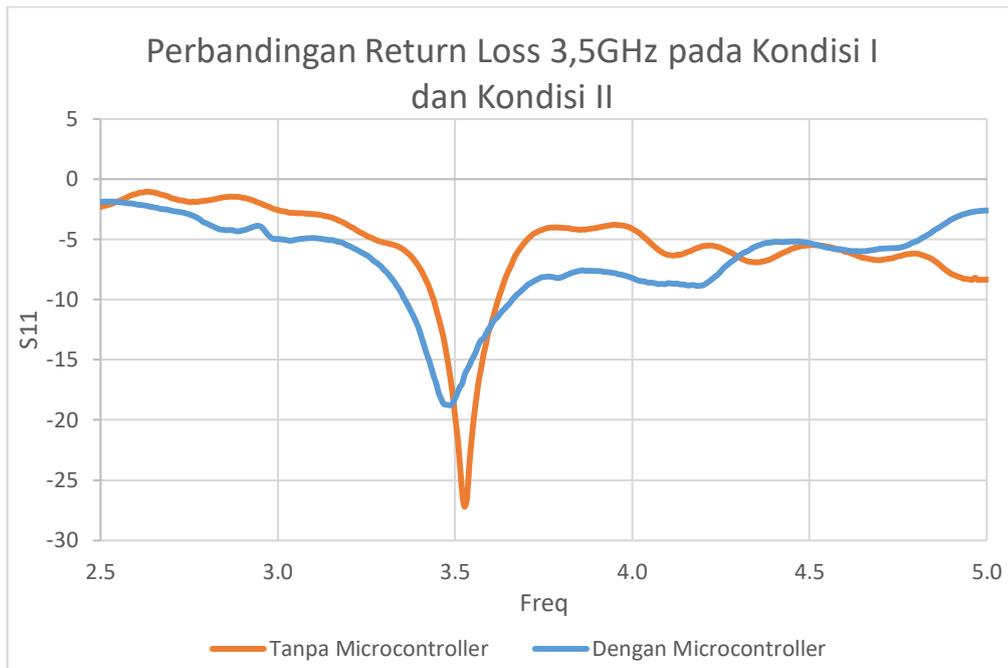


(b)

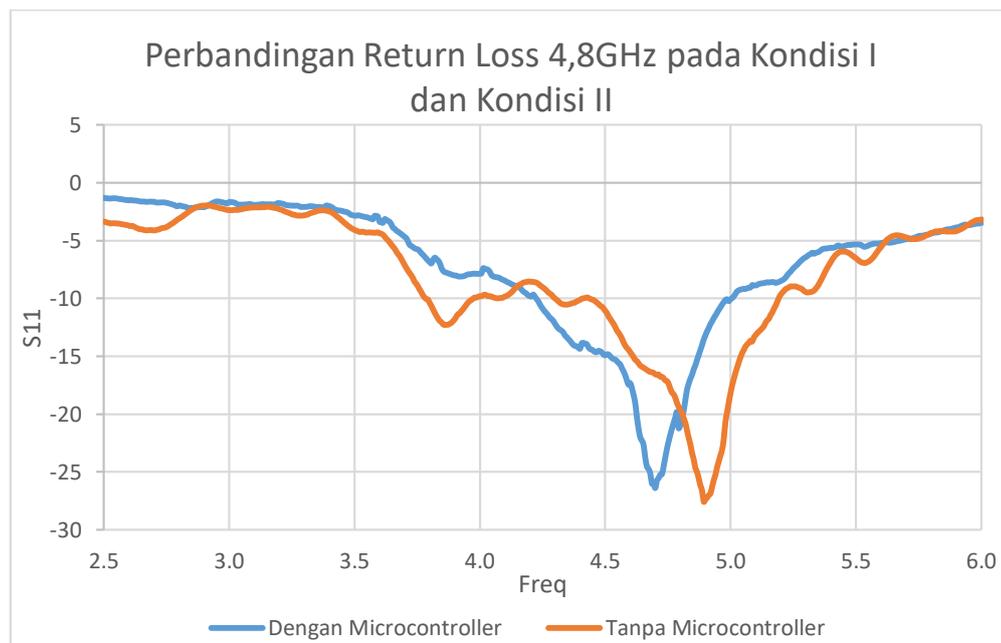
Gambar IV.10 *Return Loss* Antena pada Kondisi II (a) Frekuensi 3,5GHz  
(b) Frekuensi 4,8GHz

Nilai *return loss* ini kemudian dibandingkan dengan saat pengukuran pertama tanpa menggunakan *microcontroller*. Hasil perbandingan dari *return loss* pada kondisi I dan Kondisi II dapat dilihat pada gambar IV.11.





(a)



(b)



par IV.11 Perbandingan Hasil *Return Loss* Antena pada Kondisi I dan Kondisi II (a) Frekuensi 3,5GHz (b) Frekuensi 4,8GHz

Dari gambar IV.11 dapat dilihat bahwa terdapat perbedaan antara nilai *return loss* antenna ketika menggunakan *microcontroller* dengan saat tidak menggunakan *microcontroller*. Hasil ini kemudian akan dibahas lebih lanjut di bagian analisis.

Tabel IV.3 dan Tabel IV.4 menunjukkan perbandingan hasil pengukuran pada kondisi I dan II, masing-masing pada frekuensi 3,5GHz dan 4,8GHz.

Tabel IV.3 Perbandingan Hasil Pengukuran pada Kondisi I dan Kondisi II di Frekuensi 3,5GHz

Parameter	Tanpa <i>Microcontroller</i>	Dengan <i>Microcontroller</i>
<i>Bandwidth</i>	3,44GHz – 3,62GHz (180MHz atau sebesar 5,14%)	3,353GHz – 3,66GHz (313MHz atau sebesar 8,94%)
<i>Return loss</i>	-27,2208dB	-18,57dB
<i>Frekuensi Tengah</i>	3,53GHz	3,49GHz

Tabel IV.4 Perbandingan Hasil Pengukuran pada Kondisi I dan Kondisi II di Frekuensi 4,8GHz

Parameter	Tanpa <i>Microcontroller</i>	Dengan <i>Microcontroller</i>
<i>Bandwidth</i>	4,293GHz – 5.193GHz (900MHz atau sebesar 18,74%)	4,200GHz – 4.986GHz (786MHz atau sebesar 16,375%)
<i>Return loss</i>	-27.5751dB	-26.4dB
<i>Frekuensi Tengah</i>	4,89GHz	4,7GHz

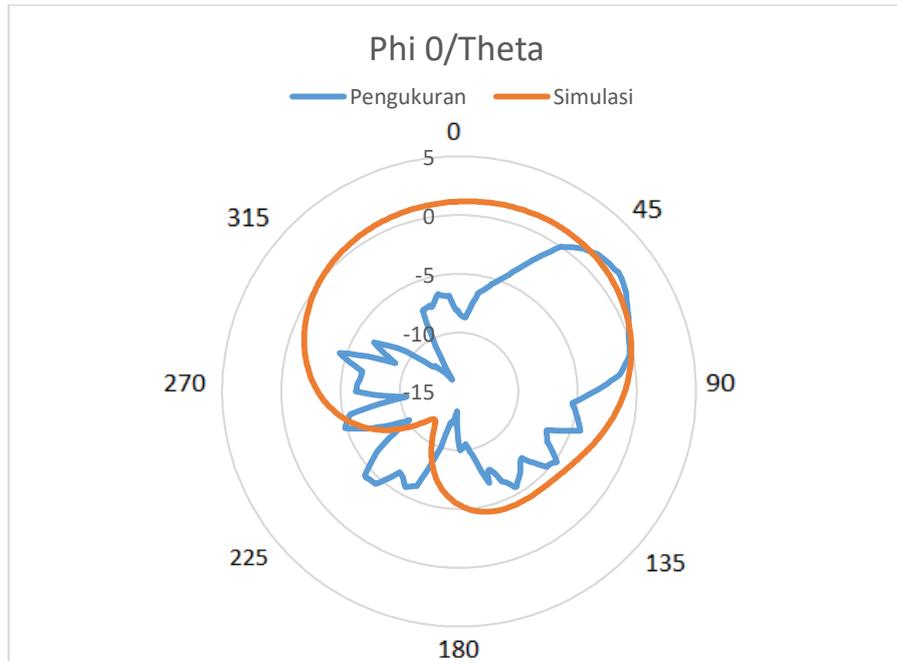


### IV.2.3 Hasil Pengukuran Pola Radiasi dan *Gain*

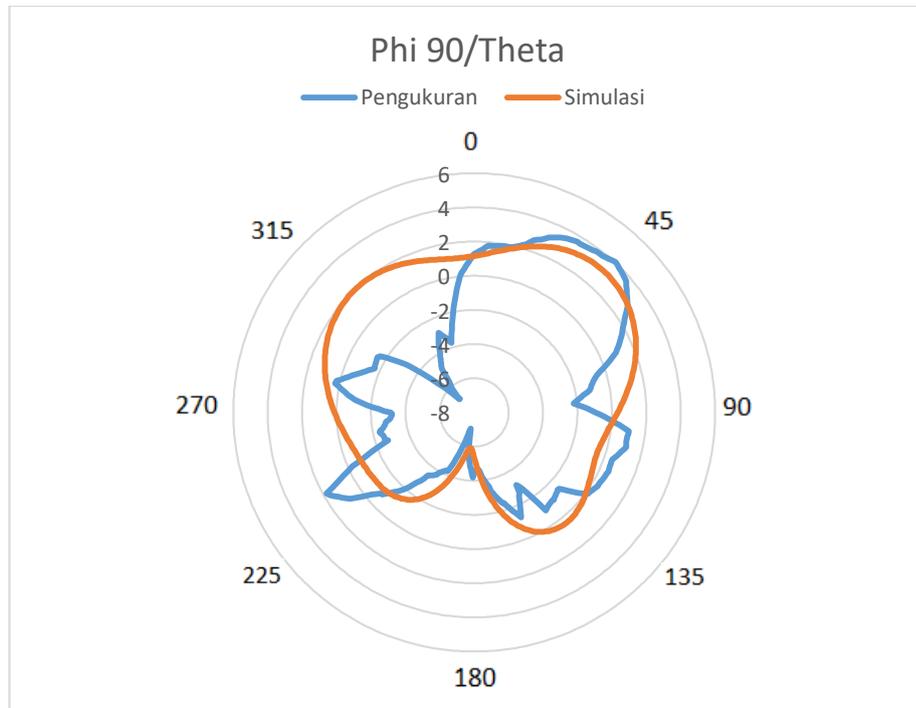
Pengukuran pola radiasi menggunakan port 1 dan port 2 pada *network analyzer* di mana port 1 dihubungkan ke antena yang telah difabrikasi, dan port 2 dihubungkan ke antena referensi yang terdapat di dalam *anechoic chamber room*. Kabel penyambung yang digunakan dalam pengukuran adalah kabel yang memiliki impedansi karakteristik 50 ohm.

Pengukuran pola radiasi dilakukan pada jarak yang lebih jauh dari *far field region* yang dapat dihitung menggunakan persamaan 2.3. Pengukuran pola radiasi dilakukan pada frekuensi 3,5GHz dan 4,8GHz. Antena yang telah difabrikasi dihubungkan pada kabel *coax* yang terhubung ke port 1. Kemudian antena diukur pada interval  $0^{\circ}$ - $360^{\circ}$  dengan interval  $1^{\circ}$  masing-masing pada saat konstan  $\phi$   $0/\theta$ , konstan  $\phi$   $90/\theta$ , dan konstan  $\theta$   $0/\phi$  yang masing-masing mewakili koordinat XZ, YZ, dan XY. Data yang diterima merupakan hasil perbandingan daya yang dipancarkan dan diterima antena dalam skala dB. Data ini kemudian diolah sehingga menghasilkan pola radiasi dalam bentuk plot polar (lampiran 2). Gambar IV.12 menunjukkan pola radiasi antena fabrikasi pada frekuensi 3,5GHz.



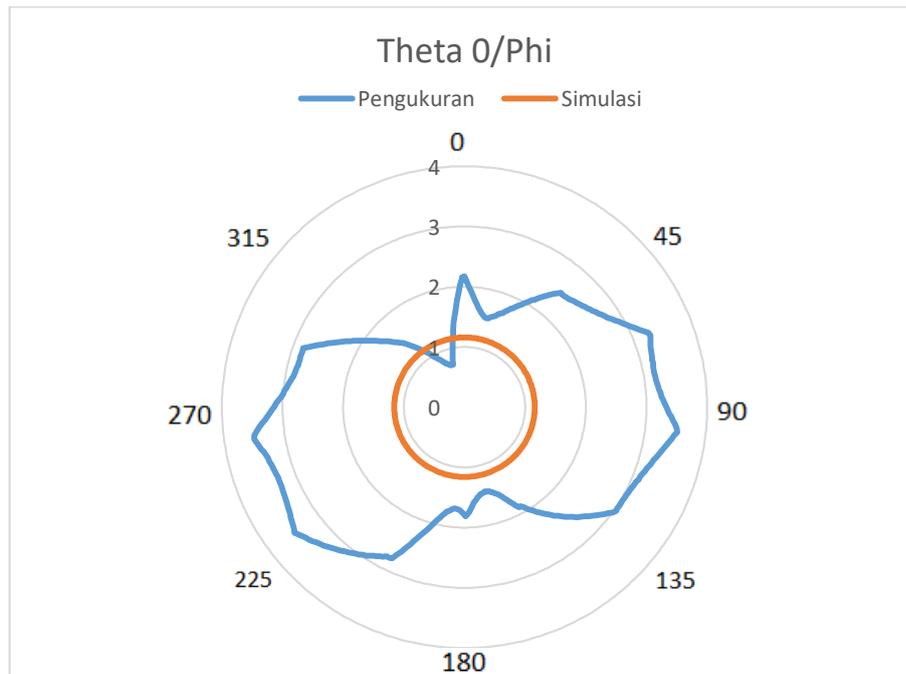


(a)



(b)





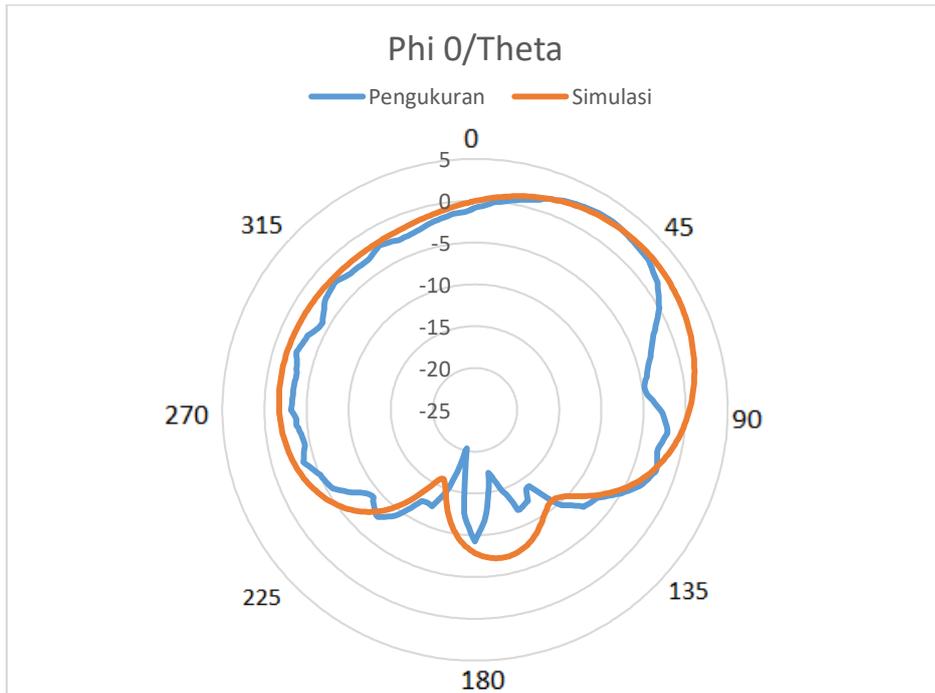
(c)

Gambar IV.12 Pola Radiasi pada Frekuensi 3,5GHz (a) Phi 0/ theta (b) Phi 90/theta (c) Theta 0/phi

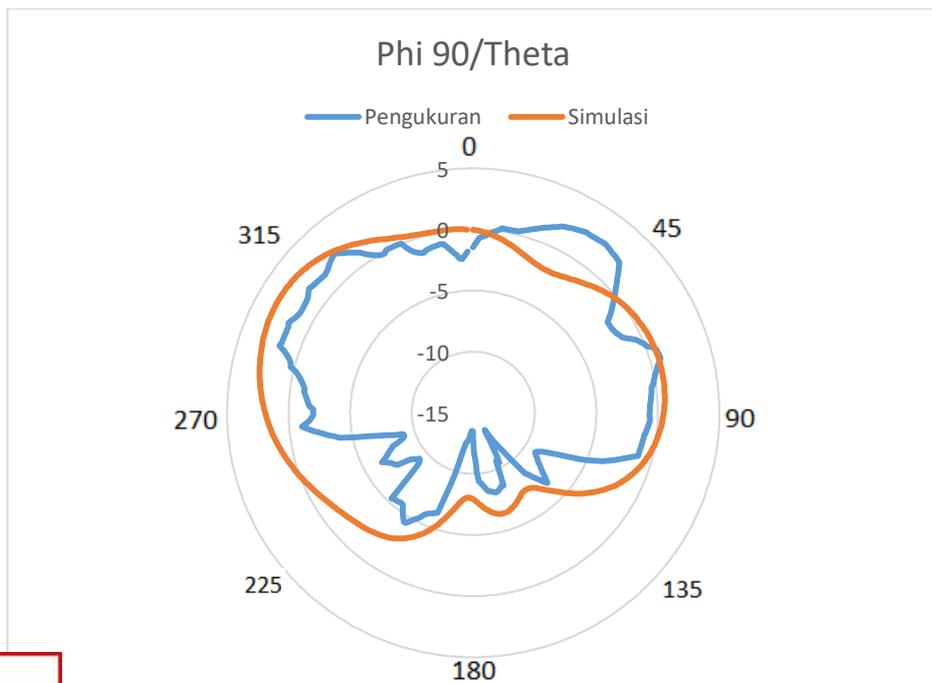
Dari gambar pola radiasi hasil pengukuran khususnya pada plot phi 0/theta dan phi 90/theta terlihat bahwa antenna meradiasikan daya sebagian besar pada bagian sisi atas antenna, sedangkan sisi bawah (*ground*) cenderung memiliki radiasi yang kecil dengan sudut lobe maksimum  $53^\circ$  pada plot phi 0/theta, sudut lobe maksimum  $43^\circ$  pada plot phi 90/theta, serta sudut lobe maksimum  $97^\circ$  pada plot theta 0/ phi.

Selain itu Gambar IV.13 menunjukkan pola radiasi antenna fabrikasi pada frekuensi 4,8GHz.



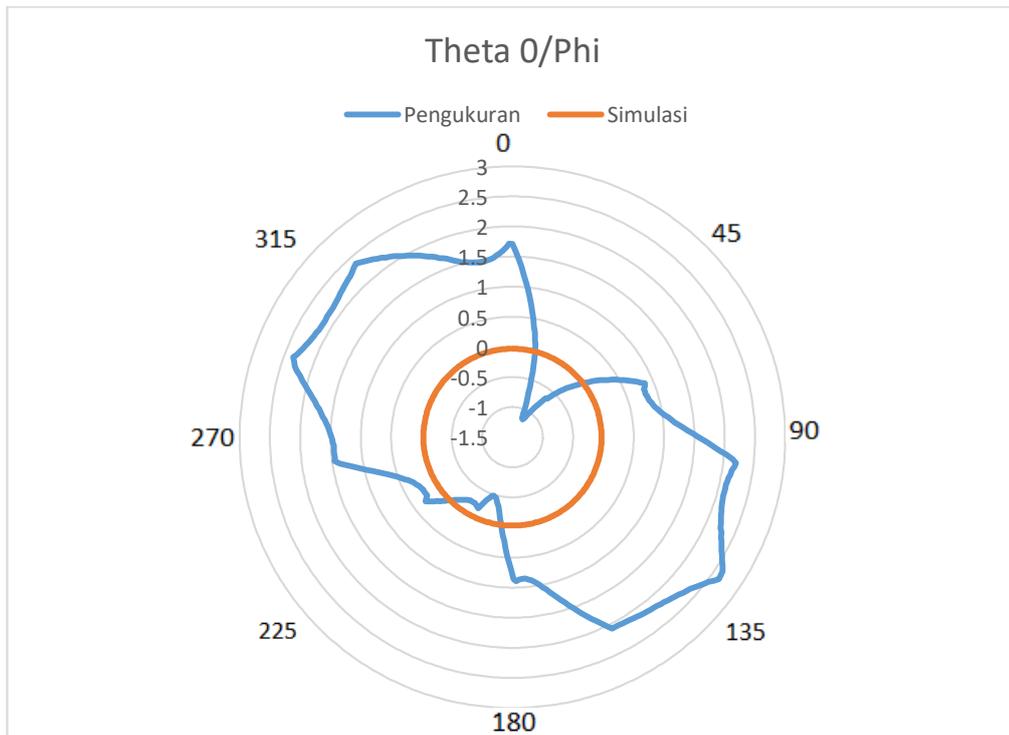


(a)



(b)





(c)

Gambar IV.13 Pola Radiasi pada Frekuensi 4,8GHz (a) Phi 0/Theta (b) Phi 90/Theta (c) Theta 0/Phi

Dari gambar pola radiasi hasil pengukuran pada frekuensi 4,8GHz terdapat kemiripan dengan bentuk pola radiasi pada frekuensi 3,5GH, di mana pada plot phi 0/Theta dan phi 90/theta terlihat bahwa antenna meradiasikan daya sebagian besar pada bagian sisi atas antenna, sedangkan sisi bawah (*ground*) cenderung memiliki radiasi yang kecil dengan sudut lobe maksimum  $37^\circ$  pada plot phi 0/theta, sudut lobe maksimum  $48^\circ$  pada plot Phi 90/theta, serta sudut lobe maksimum  $125^\circ$  pada plot theta 0/phi.



Terdapat hal menarik pada plot pola radiasi theta 0/ phi, baik pada frekuensi 3,5GHz dan 4,8GHz. Dalam simulasi, antena seharusnya meradiasikan sinyal maksimum ke segala arah sama besar (*omnidirectional*), namun pada hasil pengukuran antena meradiasikan sinyal maksimum ke dua arah yang berlawanan. Hal ini akan dijelaskan lebih lanjut pada bab IV.3.3 analisis pola radiasi.

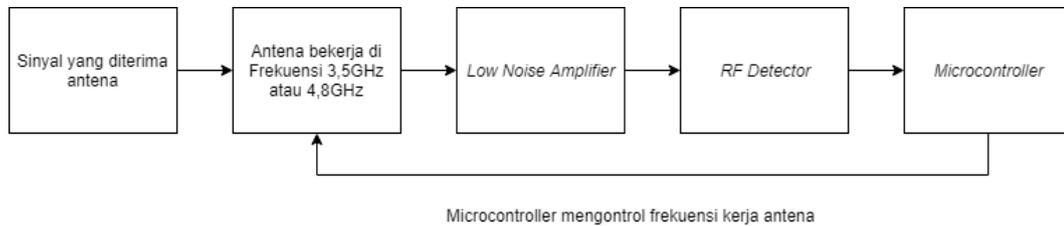
Selain pola radiasi, dapat dilihat juga nilai *gain* maksimum pada antena yang telah difabrikasi. Pada saat antena bekerja di frekuensi 3,5GHz (dioda ON), antena memiliki *gain* maksimum sebesar 4,03dB pada plot phi 90/theta sudut 43°. Sedangkan pada saat antena bekerja di frekuensi 4,8GHz (dioda OFF), antena memiliki *gain* maksimum sebesar 2,82dB pada plot phi 0/theta sudut 37°.

#### **IV.2.4 Hasil Simulasi *Switching* Otomatis pada Antena**

Setelah melakukan pengukuran pada parameter-parameter antenna, selanjutnya dilakukan sebuah simulasi *switching* otomatis untuk melihat bagaimana antena perubahan frekuensi kerja antenna secara otomatis. Simulasi ini menggambarkan pengaplikasian antenna pada kondisi *real* di lapangan. Dalam simulasi ini sebuah *Low Noise Amplifier* (LNA) dan *RF detector* digunakan masing-masing untuk memperkuat sinyal masukan yang diterima oleh antena dan mengubah sinyal RF menjadi tegangan DC.



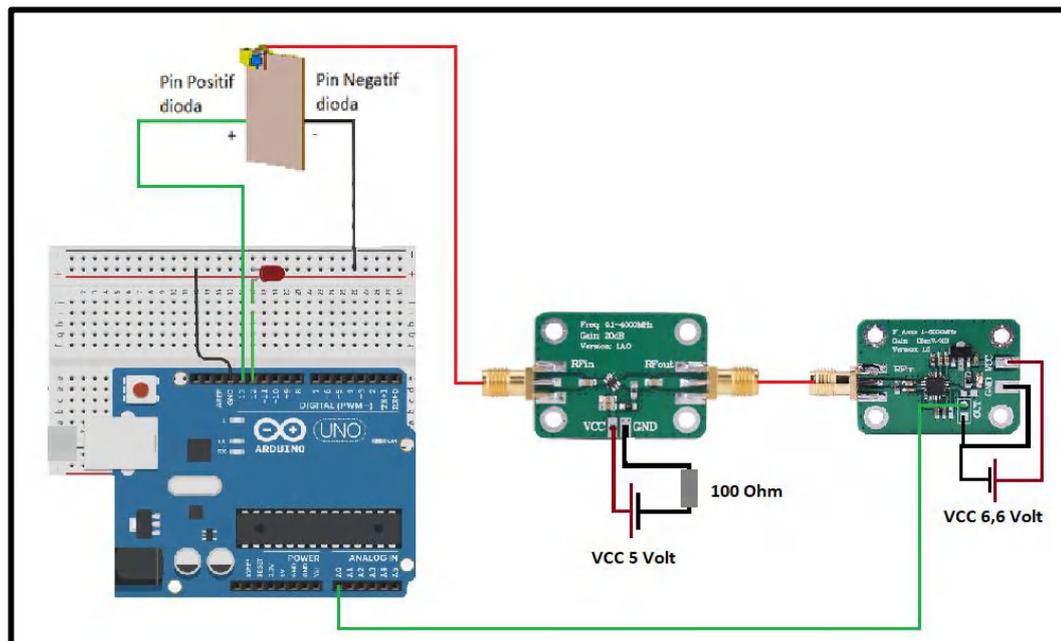
Prinsip kerja dari *switching* otomatis ini dapat dilihat pada diagram alir di bawah ini.



Gambar IV.14 Diagram Alir *Switching* otomatis pada Antena

Dari gambar di atas dapat dilihat bahwa ketika sinyal telah diterima oleh antenna, maka akan diteruskan menuju LNA untuk dikuatkan terlebih dahulu. Setelah itu kemudian akan menuju *RF detector* untuk mendeteksi dan mengubah sinyal RF yang masuk menjadi tegangan DC. Tegangan DC ini kemudian akan menjadi *input* ke *microcontroller* yang mana kemudian *microcontroller* ini yang akan menentukan frekuensi kerja antenna apakah itu di frekuensi 3,5GHz maupun 4,8GHz. Sesuai diagram alir di atas, maka antenna dikonfigurasi terlebih dahulu agar mampu mengubah frekuensi kerjanya sesuai frekuensi sinyal masuk yang terdeteksi oleh antenna tersebut. Gambar konfigurasi antenna dapat dilihat pada gambar IV.15 berikut ini:





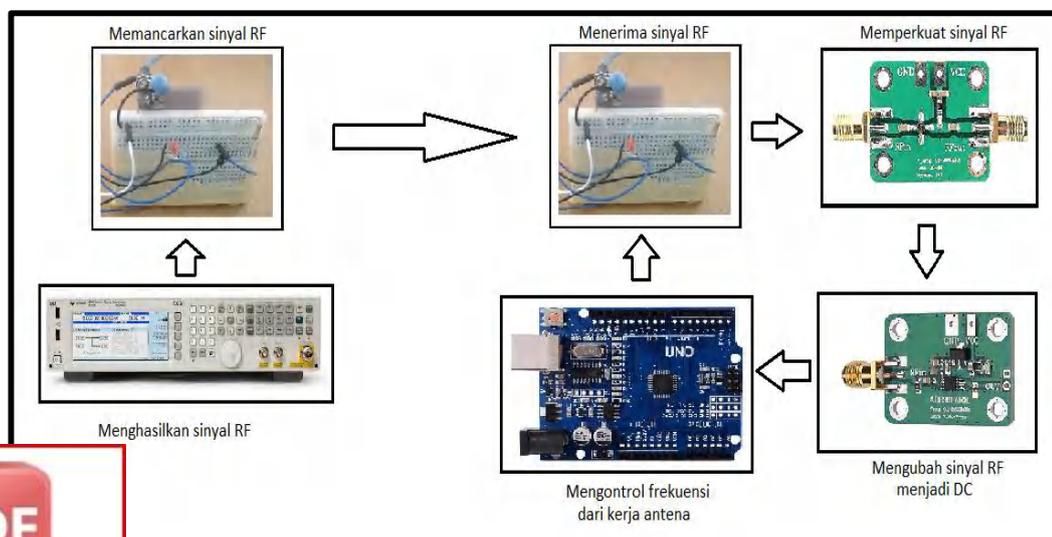
Gambar IV.15 Konfigurasi *Switching* Otomatis Pada Antena

Dari konfigurasi di atas, dapat dilihat bahwa antena bekerja sebagai penerima (*receiver*), di mana pin konektor dari antena akan menjadi *output* sinyal menuju ke *input* LNA. LNA sendiri sebelumnya diberikan catu daya VCC sebesar 5V agar dapat bekerja. Selain itu terdapat resistor 100 $\Omega$  untuk membatasi arus yang masuk. Selanjutnya *Output* dari LNA akan terhubung ke *input* dari *RF detector*. Di sini *RF detector* diberi catu daya sebesar 6,6V. Catu daya sebesar 6,6V dipilih karena memiliki hasil yang paling baik setelah dilakukan uji coba karakterisasi sebelumnya. Output dari *RF detector* ini berupa sinyal DC yang kemudian dihubungkan ke pin analog A0 pada *microcontroller*. Pin ini yang akan menjadi *trigger* untuk menentukan frekuensi kerja dari antena. Kemudian di pin 12 dan 13 dari



*microcontroller* terhubung masing-masing ke LED dan antena. Kedua pin ini berfungsi sebagai *output*. Jika pin 12 dan 13 berada dalam kondisi ON, maka antena bekerja pada frekuensi 3,5GHz yang ditandai oleh LED yang menyala. Begitu pun sebaliknya, jika pin 12 dan 13 berada dalam kondisi OFF, maka antena bekerja pada frekuensi 4,8GHz yang ditandai oleh LED yang tidak menyala.

Agar *microcontroller* dapat menentukan frekuensi kerja dari antena maka sebelumnya harus ada *input* sinyal yang masuk ke antena untuk kemudian diteruskan ke *microcontroller*, sehingga dalam simulasi kali ini akan digunakan dua buah antena identik yang masing-masing berfungsi sebagai pemancar dan penerima. Sinyal input dari antena pemancar berasal dari sebuah *RF Generator (Vector Signal Generator)*. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar IV.16.



IV.16 Algoritma Kerja dari Simulasi *Switching* otomatis pada Antena

Algoritma kerja dari simulasi *switching otomatis* ini cukup sederhana. Pertama, antenna penerima akan berada pada mode *searching*, di mana frekuensi kerja antenna akan berubah secara periodik untuk mencari sinyal masukan RF yang tepat. Kemudian *RF generator* akan membangkitkan sinyal RF yang kemudian akan di-*feed* ke antenna pemancar. Antenna pemancar akan memancarkan sinyal RF tersebut ke antenna penerima. Dari antenna penerima, sinyal akan masuk ke LNA untuk dikuatkan, kemudian akan diteruskan ke *RF detector* untuk mengubah sinyal RF tersebut menjadi keluaran tegangan DC. Tegangan DC ini akan menjadi *trigger* ke *microcontroller* untuk menentukan frekuensi kerja dari antenna penerima. Jika tegangan DC mencapai nilai tertentu (*threshold*), maka *microcontroller* akan otomatis mengubah dan mempertahankan frekuensi kerja antenna pada kondisi tersebut.

Setelah melewati serangkaian uji coba, maka dipilih nilai *threshold* sebesar 2,09V untuk frekuensi 3,5GHz dan 2,02V untuk frekuensi 4,8GHz. Karena *RF detector* yang digunakan bekerja secara *invert* (lampiran 5), maka semakin besar sinyal input yang masuk ke *RF detector*, maka tegangan output dari *RF detector* akan semakin kecil. Oleh karena itu *microcontroller* diprogram sehingga ketika sinyal *trigger* lebih rendah dari 2,09V maka antenna akan bekerja pada frekuensi 3,5GHz (ditandai oleh LED yang ON). Kemudian jika



sinyal *trigger* lebih rendah dari 2,05V maka antenna bekerja pada frekuensi 4,8GHz (ditandai oleh LED yang OFF). Adapun jika sinyal *trigger* lebih besar dari 2,09 maka antenna akan berada pada mode *searching* (ditandai oleh LED yang ON/OFF secara periodik). Program untuk *microcontroller* dapat dilihat pada lampiran 7.

Sebelum melakukan simulasi, terlebih dahulu dilakukan uji coba untuk melihat sensitivitas dari *RF detector* untuk membaca sinyal RF yang masuk dari antenna penerima, hasilnya *RF detector* mampu bekerja dengan baik ketika *RF generator* membangkitkan sinyal mulai dari 17dBm (*output* maksimum dari *RF generator*) hingga 5dBm. Ketika sinyal *output* dari *RF generator* berada di bawah 5dBm, *RF detector* sudah tidak mampu membacanya. Setelah itu dilakukan simulasi *switching* otomatis dengan meletakkan antenna pemancar dan penerima pada posisi yang saling berhadapan, masing-masing dengan jarak 1m, 5m, 10m, 15m, dan 20m. Selanjutnya antenna pemancar akan memancarkan sinyal berdasarkan *input* yang diberikan oleh *RF generator*. Sinyal dari antenna pemancar akan diterima oleh antenna penerima untuk selanjutnya diproses sesuai algoritma yang telah dijelaskan sebelumnya. Proses simulasi dapat dilihat pada gambar IV.17.





Gambar IV.17 Proses Simulasi *Switching* Otomatis pada Antena

Dari simulasi ini, diperoleh hasil kondisi *switching* pada saat bekerja pada frekuensi 3,5GHz, 4,8GHz, maupun saat *switching* berada pada mode searching. Untuk lebih jelasnya, hasil simulasi dapat dilihat pada tabel IV.5 dan IV.6.

Tabel IV.5 Hasil Simulasi *Switching* Otomatis Pada Antena

Frekuensi Kerja	Kondisi <i>Switching</i> (Ditandai oleh LED yang ON dan OFF)				
	Jarak 1m	Jarak 5m	Jarak 10m	Jarak 15m	Jarak 20m
3,5GHz	ON	ON	ON	ON/ OFF (periodik)	ON/ OFF (periodik)
4,8GHz	OFF	OFF	OFF	ON/ OFF (periodik)	ON/ OFF (periodik)
<i>Mode Searching</i>	ON/ OFF (periodik)	ON/ OFF (periodik)	ON/ OFF (periodik)	ON/ OFF (periodik)	ON/ OFF (periodik)



Tabel IV.6 Tegangan *Trigger* dari *RF Detector*

Frekuensi Kerja	Tegangan <i>Trigger</i> dari <i>RF Detector</i> (Volt)														
	Jarak 1m			Jarak 5m			Jarak 10m			Jarak 15m			Jarak 20m		
	Min	Max	Avg	Min	Max	Avg	Min	Max	Avg	Min	Max	Avg	Min	Max	Avg
3,5GHz	2,03	2,08	2,04	2,05	2,9	2,05	2,06	2,12	2,07	2,09	2,19	2,10	2,10	2,19	2,10
4,8GHz	1,89	1,98	1,94	1,98	2,01	1,98	2,01	2,10	2,01	2,01	2,19	2,10	2,10	2,19	2,10
<i>Searching</i>	2,10	2,19	2,10	2,10	2,19	2,10	2,10	2,19	2,10	2,10	2,19	2,10	2,10	2,19	2,10

Dari tabel IV.5 dan IV.6 di atas dapat dilihat bahwa pada saat antena pemancar dan penerima berada pada jarak 1m dan 5m, *switching* otomatis bekerja secara normal, di mana nilai tegangan *trigger* dari *RF detector* yang masuk ke *microcontroller* masih berada di bawah *threshold* yang telah ditentukan sebelumnya. Namun ketika simulasi dilakukan pada jarak 10m, mulai terlihat bahwa tegangan *trigger* maksimum baik pada frekuensi 3,5GHz maupun 4,8GHz telah melewati batas *threshold*, yang membuat antena masuk ke mode *searching*. Walaupun begitu, rata-rata nilai tegangan *trigger* dari *RF detector* masih berada di bawah *threshold* sehingga secara umum *switching* otomatis pada antena masih bekerja dengan baik. Ketika simulasi dilakukan pada jarak 15m, tegangan *trigger* rata-rata telah melewati nilai *threshold* baik pada frekuensi 3,5GHz dan 4,8GHz, yang berarti antena penerima telah sulit menangkap sinyal yang dipancarkan oleh antena pemancar. Hal ini membuat kondisi antena penerima sebagian besar berada pada mode *searching*. Dan ketika simulasi dilakukan pada jarak 20m, antena secara keseluruhan berada



pada mode *searching* di mana tegangan *trigger* telah melewati batas *threshold*, baik pada nilai minimum. Dari simulasi ini dapat diketahui bahwa *switching* otomatis bekerja secara efektif hingga pada jarak 10m. Analisis mengenai hasil simulasi *switching* otomatis akan dipaparkan lebih lanjut di bab IV.3.

### IV.3 Analisis Hasil Pengukuran

#### IV.3.1 Analisis *Return Loss* pada Kondisi I

Dari hasil pengukuran *return loss*, dapat diketahui bahwa antenna bekerja pada frekuensi yang telah ditentukan, yaitu frekuensi 3,5GHz dan frekuensi 4,8GHz. Namun terjadi penurunan performansi antenna fabrikasi dibandingkan dengan hasil simulasi yang dilakukan sebelumnya. Hal ini dapat dilihat dari nilai *return loss* yang lebih rendah dan *bandwidth* yang lebih sempit bila dibandingkan dengan hasil simulasi.

Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi frekuensi kerja dari antenna PIFA, antara lain adalah ukuran elemen peradiasi (*patch*), lebar *short plate*, posisi *feed* dan tinggi *patch* dari *ground plane*. Antena yang telah difabrikasi mampu bekerja pada frekuensi yang diinginkan menandakan bahwa antenna hasil fabrikasi telah mendekati hasil desain yang dibuat dan disimulasikan sebelumnya. Adapun pergeseran frekuensi dan penurunan performansi antenna dibandingkan hasil simulasi dipengaruhi oleh proses fabrikasi yang tidak sempurna,



bahan material yang tidak murni baik itu *substrate* FR4 maupun plat tembaga yang digunakan, ataupun pengaruh eksternal seperti tempat pengukuran yang tidak ideal maupun pengaruh rangkaian bias dioda pada antena. Selain itu proses penyolderan dan pemasangan konektor yang tidak sempurna juga menyebabkan adanya rugi-rugi daya pada sambungan. Hal yang tidak kalah penting yang mempengaruhi performansi antena adalah penggunaan kabel penghubung. Saat dilakukan pengukuran, lekukan kabel sangat berperan pada hasil pengukuran. Saat melakukan pengukuran, kondisi lekukan kabel dibuat sedemikian rupa agar hasil yang didapatkan optimal.

#### IV.3.2 Analisis *Return Loss* pada Kondisi II

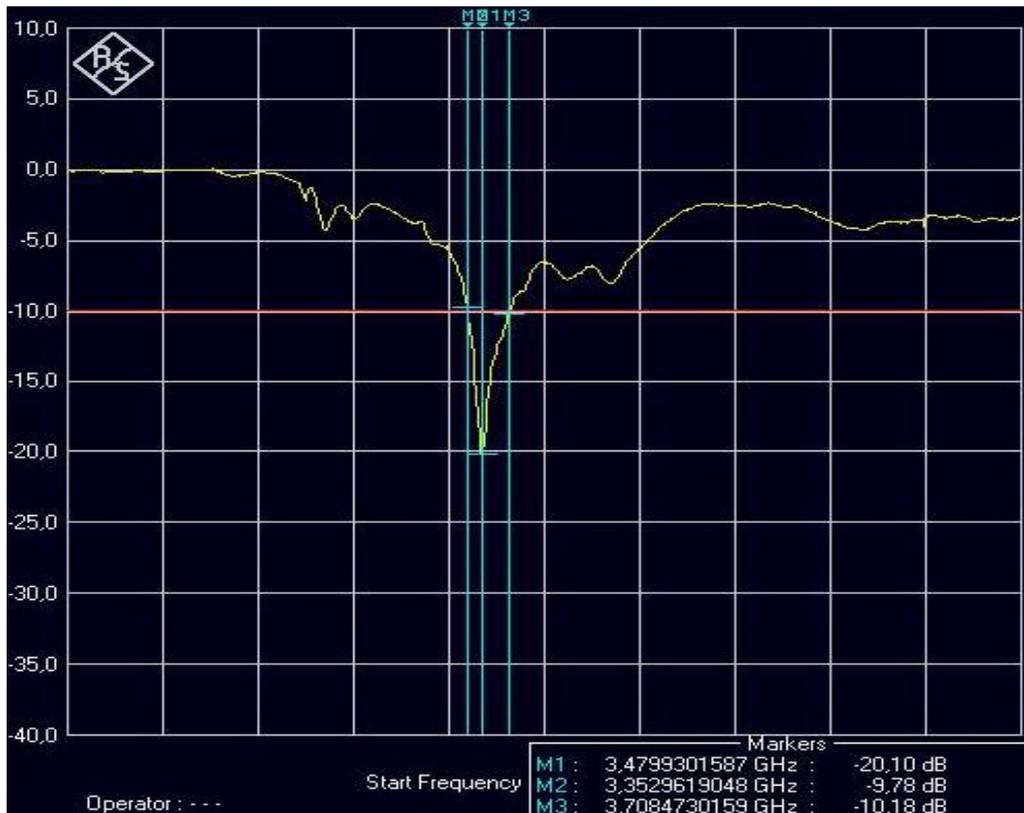
Dari hasil pengukuran *return loss* pada kondisi II sebelumnya, diketahui bahwa terjadi perbedaan hasil dengan pengukuran pada kondisi I, baik dari nilai *return loss* maupun pergeseran frekuensi. Pada saat menggunakan *microcontroller*, terjadi penurunan performansi yang ditandai oleh nilai *return loss* yang lebih rendah dibandingkan saat tidak menggunakan *microcontroller*. Selain itu terjadi pergeseran frekuensi kerja baik di frekuensi 3,5GHz maupun frekuensi 4,8GHz di mana pada frekuensi 3,5GHz terjadi pergeseran frekuensi tengah dari yang semula 3,53GHz menjadi 3,49GHz, sedangkan pada frekuensi 4,8GHz terjadi pergeseran frekuensi tengah dari yang semula 4,89GHz menjadi 4,7GHz. Selain itu terjadi penurunan *bandwidth* pada frekuensi 4,8GHz dari yang semula



900MHz menjadi 786MHz. Hal ini disebabkan karena pengaruh adanya *microcontroller*, di mana ketika menggunakan *microcontroller* maka penggunaan kabel penghubung semakin banyak yang kemudian menyebabkan terjadinya rugi-rugi daya (*losses*) yang membuat *return loss* menjadi lebih buruk dari sebelumnya. Selain itu penggunaan kabel penghubung yang lebih banyak membuat luas *patch* antena secara keseluruhan menjadi lebih besar yang mengakibatkan frekuensi kerja antena menjadi turun.

Namun bila diperhatikan *bandwidth* antena pada frekuensi 3,5GHz ketika menggunakan *microcontroller* terjadi penambahan *bandwidth* bila dibandingkan ketika tidak menggunakan *microcontroller* dari yang sebelumnya 180MHz menjadi 313MHz. Hal ini disebabkan karena kondisi pengukuran pertama kali yang kurang baik, di mana kabel penghubung dari pin negatif diode ke *ground* cukup Panjang dan lekukan kabel saat melakukan pengukuran kurang baik sehingga menghasilkan *bandwidth* yang lebih kecil. Pada pengukuran dengan menggunakan *microcontroller* kondisi kabel disesuaikan sehingga menghasilkan hasil yang jauh lebih baik. Untuk membuktikan pengaruh kabel terhadap *bandwidth* dilakukan pengukuran kembali tanpa menggunakan *microcontroller* (kondisi I) khususnya pada frekuensi 3,5GHz. Hasil pengukuran dapat dilihat pada gambar IV.18.





Gambar IV.18 Hasil Pengukuran Ulang Antena Tanpa *Microcontroller* Pada Frekuensi 3,5GHz

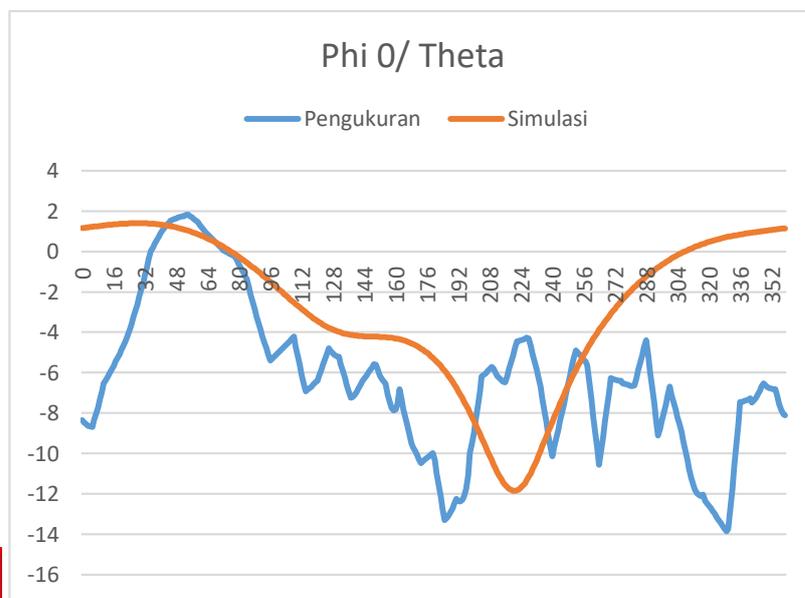
Dari hasil pengukuran yang kembali dilakukan, dapat dilihat bahwa *bandwidth* antena mengalami peningkatan dari yang semula 180MHz menjadi 355,5MHz. *Bandwidth* ini juga lebih besar dibandingkan saat menggunakan *microcontroller* yaitu sebesar 313MHz. Hal ini membuktikan bahwa kondisi pengukuran pertama antena sebelumnya kurang baik, dalam hal ini kondisi kabel penghubung pada pin negatif dioda yang kurang baik saat pengukuran pertama kali dilakukan.



### 3.3 Analisis Pola Radiasi dan Gain

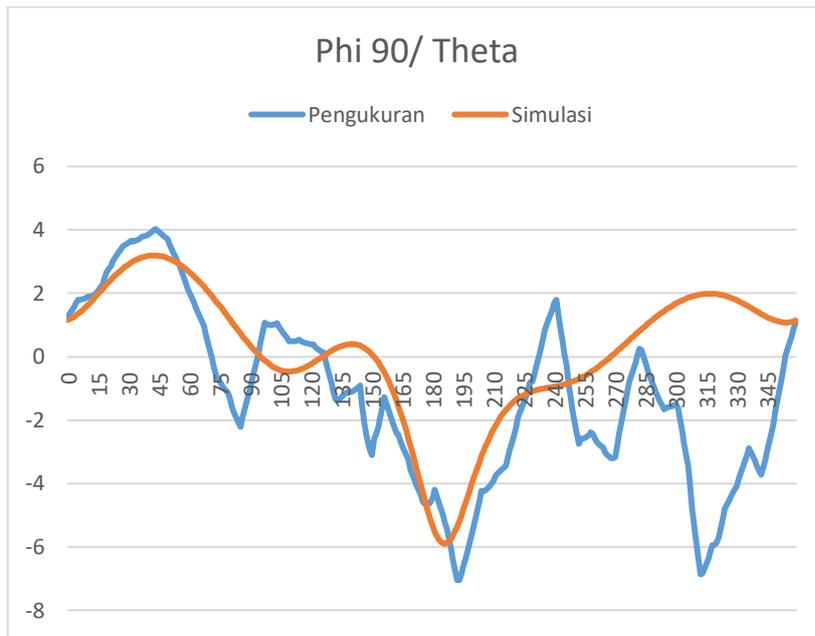
Setelah mendapatkan pola radiasi dan *gain* dari antena yang telah difabrikasi, maka tahap selanjutnya adalah menganalisis serta

membandingkan dengan hasil yang didapatkan pada simulasi. Dari gambar IV.19 dan gambar IV.20, dapat dilihat baik pada frekuensi kerja 3,5GHz maupun 4,8GHz terjadi distorsi pada pola radiasi hasil pengukuran, berbeda dengan pola radiasi hasil simulasi yang memiliki bentuk yang bagus tanpa adanya distorsi. Walaupun begitu, jika kita perhatikan secara seksama, secara umum bentuk pola radiasi yang didapatkan dalam pengukuran memiliki bentuk yang mirip dengan simulasi, kecuali pada plot theta 0/phi yang nanti akan dibahas lebih lanjut. Untuk lebih jelasnya, pola radiasi dalam bentuk polar diubah ke dalam bentuk *scattering plot* untuk melihat lebih jelas perbandingan pola radiasi dari hasil simulasi dan pengukuran. Hasil *scattering plot* dari pola radiasi frekuensi 3,5GHz dapat dilihat pada gambar IV.19.

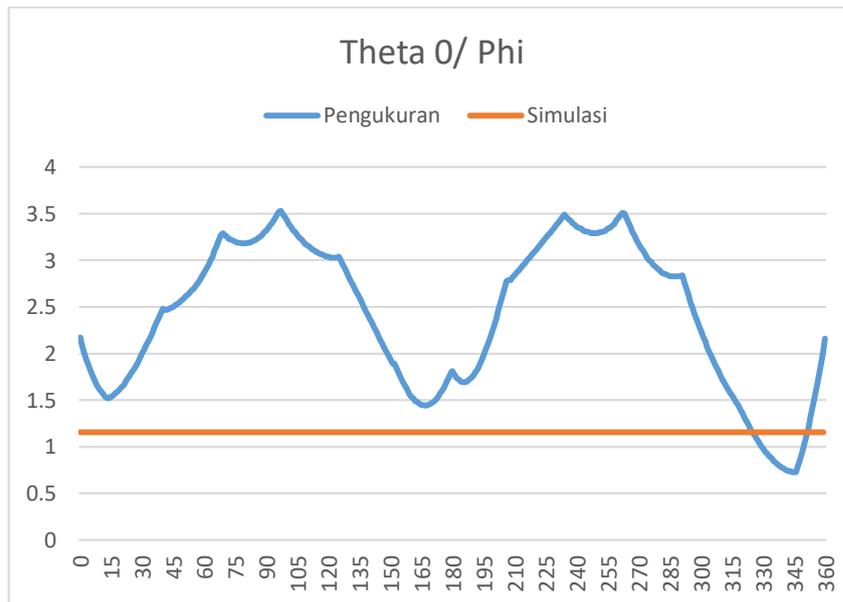


(a)





(b)

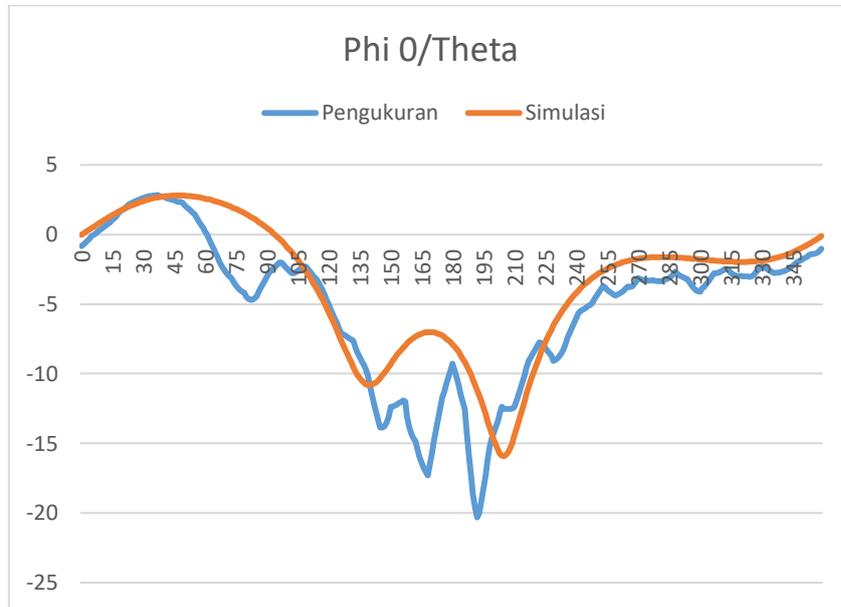


(c)

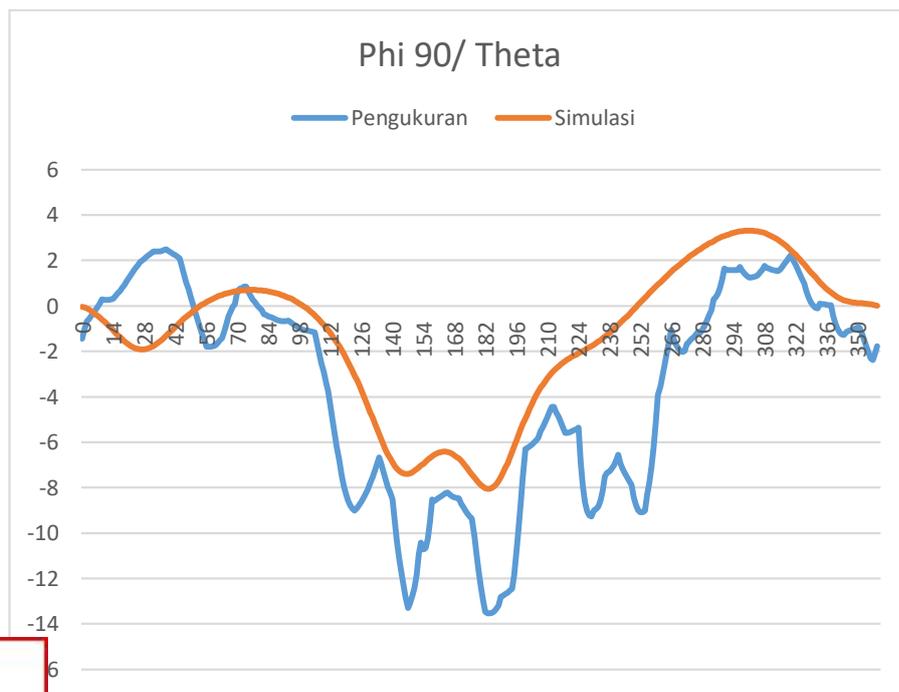
Gambar IV.19 Scattering Plot Pola Radiasi pada Frekuensi 3,5GHz (a) Phi 0/Theta (b) Phi 90/Theta (c) Theta 0/Phi



Sedangkan untuk *scattering plot* dari pola radiasi frekuensi 4,8GHz dapat dilihat pada gambar IV.20.

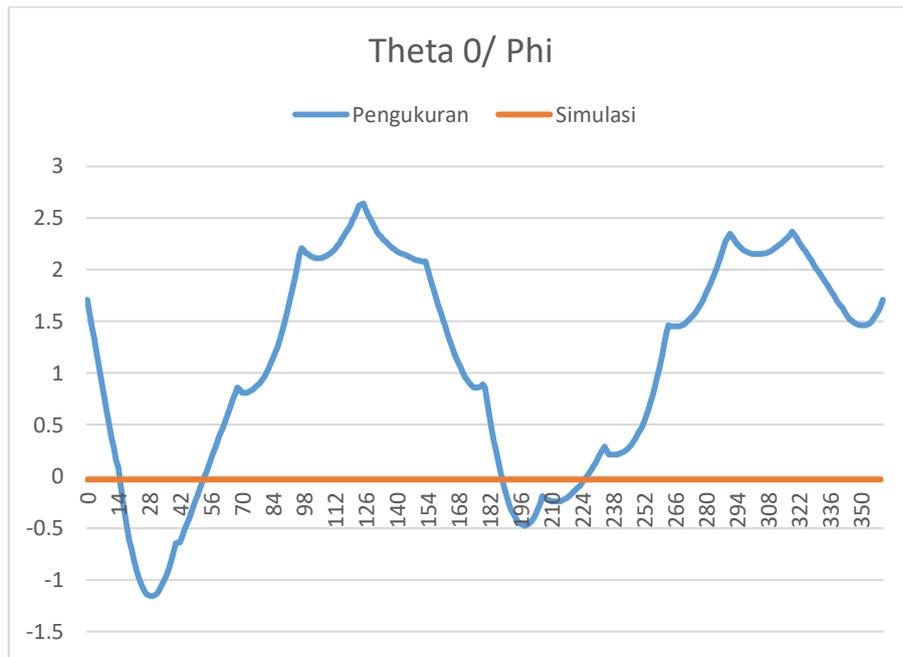


(a)



(b)





(c)

Gambar IV.20 *Scattering Plot* Pola Radiasi pada Frekuensi 4,8GHz (a) Phi 0/ Theta (b) Phi 90/Theta (c) Theta 0/Phi

Dari *scattering plot* yang dibuat baik untuk frekuensi 3,5GHz dan 4,8GHz dapat dilihat bahwa bentuk pola radiasi hasil pengukuran dan simulasi jika mengabaikan distorsi yang ada sebenarnya memiliki kemiripan bentuk, walaupun tidak dapat dipungkiri bahwa distorsi yang ada mempengaruhi bentuk dan arah pola radiasi antenna. Selain itu terdapat pergeseran fasa pada hasil pengukuran yang juga mempengaruhi bentuk pola radiasi secara umum.

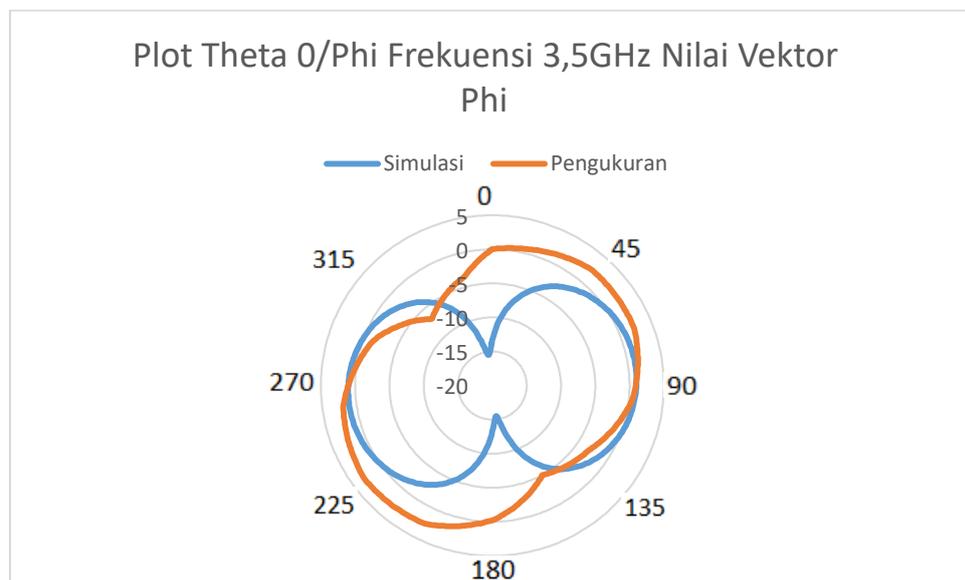
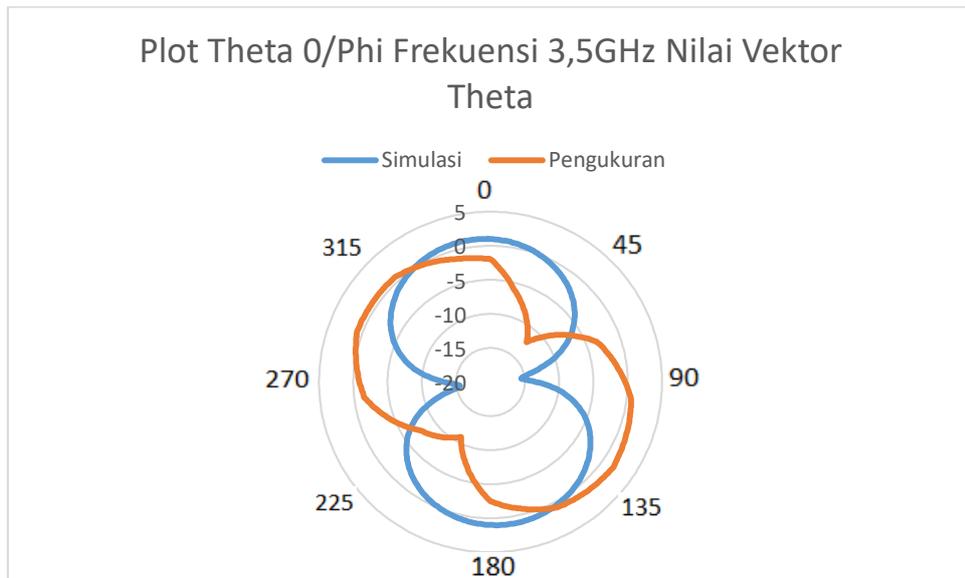
Terdapat 2 hal menarik yang dapat dilihat pada pola radiasi antenna. Yang pertama, pada pola radiasi di frekuensi 3,5GHz terdapat redaman pada *gain* antenna di sekitar sudut  $270^{\circ} - 360^{\circ}$  yang



menyebabkan antenna tidak dapat meradiasikan sinyal secara maksimal ke arah sudut tersebut. Namun hal ini tidak terjadi pada pola radiasi di frekuensi 4,8GHz. Terjadinya redaman dapat disebabkan karena pengaruh rangkaian eksternal bias dioda yang mana pada frekuensi 3,5GHz dalam kondisi ON. Hal ini mengakibatkan pada saat pengukuran, radiasi antenna tidak maksimal pada arah tertentu dikarenakan posisi rangkaian eksternal bias dioda (Gambar IV.2 b).

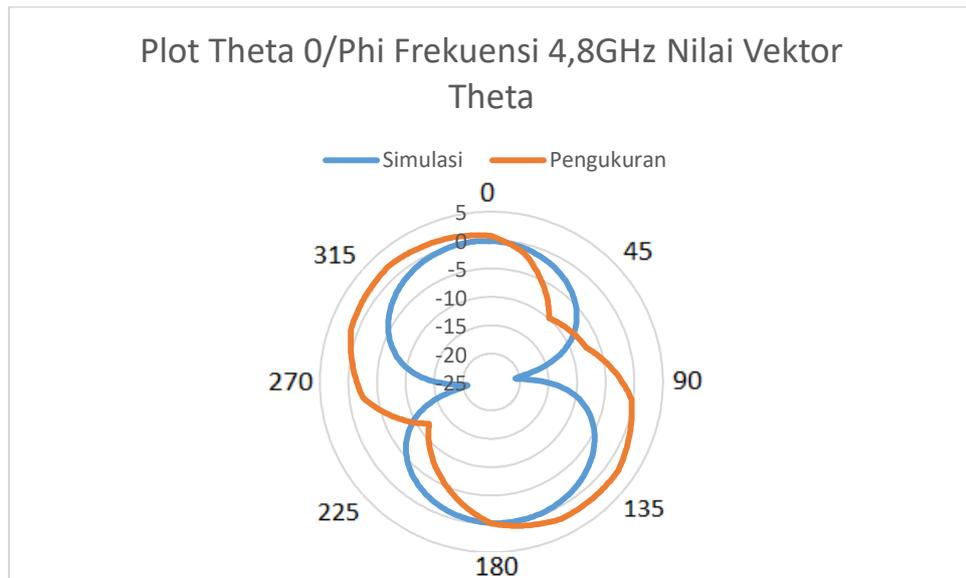
Yang kedua, pada pola radiasi plot theta  $\theta$ /Phi baik pada frekuensi 3,5GHz dan 4,8GHz (gambar IV.19c dan gambar IV.20c) memiliki bentuk yang tidak sesuai dengan hasil simulasi di mana pada hasil simulasi, pola radiasi antenna sama besar ke segala arah (*omnidirectional*) sedangkan pada hasil pengukuran pola radiasi antenna cenderung ke dua arah. Kemudian dilakukan analisis lebih lanjut untuk mengetahui penyebab terjadinya perbedaan pola radiasi. Seperti yang telah diketahui bahwa *gain* dan pola radiasi antenna merupakan fungsi vektor dari sudut phi ( $\varphi$ ) dan theta( $\theta$ ) (persamaan 2.9). Sehingga bila pola radiasi pada plot theta  $\theta$ /Phi dipecah menjadi komponen-komponen vektor penyusunnya, terdapat kemiripan antara hasil simulasi dan pengukuran. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar IV.21 dan IV.22.



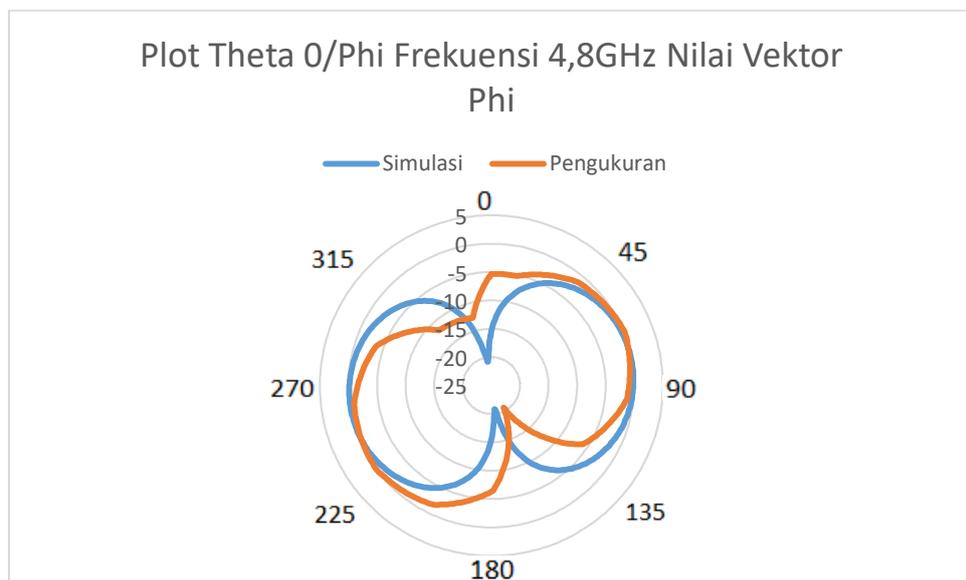


Gambar IV.21 Plot Theta 0/Phi Frekuensi 3,5GHz (a) Vektor Theta (b) Vektor Phi





(a)



(b)

Gambar IV.22 Plot Theta  $\theta$ /Phi Frekuensi 4,8GHz (a) Vektor Theta (b) Vektor Phi



Dari gambar pola radiasi masing-masing komponen vektor phi dan theta, dapat dilihat bahwa pola radiasi dari komponen vektor antara simulasi dan pengukuran sebenarnya memiliki bentuk yang

mirip. Namun, vektor phi dan theta dari hasil pengukuran memiliki bentuk yang tidak simetris satu sama lain, tidak seperti hasil simulasi yang memiliki bentuk simetris. Berdasarkan hasil simulasi bila masing-masing komponen vektor dijumlahkan maka seharusnya terbentuk pola radiasi yang yang *omnidirectional* ke sama besar ke segala arah dikarenakan komponen vektor yang saling simetris dan tegak lurus satu sama lain. Namun pada plot pola radiasi pada hasil pengukuran ketika komponen vektornya dijumlahkan tidak akan terbentuk pola radiasi *omnidirectional* karena salah satu vektornya lebih besar dari yang lain. Selain itu terjadi pergeseran fasa dari plot pola radiasi hasil pengukuran terhadap hasil simulasi. Hal inilah yang kemudian membuat pola radiasi hasil pengukuran pada plot theta / phi tidak sama dengan hasil simulasi.

Untuk *gain* antena, berdasarkan hasil pengukuran memiliki *gain* sebesar 4,03dB pada frekuensi 3,5GHz dan 2,82dB pada frekuensi 4,8GHz. Jika dibandingkan dengan hasil simulasi yang sebesar 3,19dB dan 3,21dB untuk masing-masing frekuensi 3,5GHZ dan 4,8GHz maka dapat dianalisis bahwa nilai *gain* pada antena hasil pengukurani untuk frekuensi 3,5GHz lebih besar dibandingkan hasil simulasi, sedangkan pada frekuensi 4,8GHz *gain* antena hasil pengukuran lebih kecil dari hasil simulasi. Setelah dianalisis lebih lanjut, diketahui bahwa dari hasil pola radiasi antena hasil pengukuran untuk frekuensi 3,5GHz memiliki pola yang lebih terpusat pada arah



tertentu dibandingkan hasil simulasi. Hal ini yang kemudian membuat *gain* antena hasil pengukuran pada frekuensi 3,5GHz jauh lebih besar dari hasil simulasi.

#### IV.3.4 Analisis Simulasi *Switching* Otomatis pada Antena

Dari hasil simulasi yang telah dilakukan sebelumnya, diketahui bahwa secara umum *switching* otomatis pada antena mampu bekerja efektif pada saat antena pemancar dan penerima berada pada jarak maksimum 10m. Adapun ketika berada pada jarak 15m dan 20m, *switching* otomatis pada antena sudah tidak mampu bekerja dengan baik. Hal ini terjadi karena antena penerima sudah tidak mampu menerima sinyal dengan baik pada jarak tersebut sehingga *RF detector* tidak mampu membaca sinyal input yang masuk. Hal ini dipengaruhi oleh kualitas antena yang difabrikasi tidak sempurna. Selain itu dalam proses simulasi *switching* banyak digunakan kabel konektor yang tentu menghasilkan rugi-rugi daya. Kemudian dalam simulasi juga terdapat komponen-komponen aktif seperti *microcontroller*, laptop, bahkan LNA maupun *RF detector* yang dapat mempengaruhi hasil simulasi. Selain itu, koneksi antara komponen-komponen yang digunakan sebagian besar masih menggunakan kabel jumper dan *breadboard* yang juga menambah rugi-rugi daya yang ada.

Kemudian dilakukan penelusuran lebih lanjut untuk mencari tahu faktor lain mempengaruhi hasil simulasi, dan setelah ditelusuri diketahui bahwa *output* dari *RF generator* tidak sesuai dengan yang



ditampilkan di layar. Terjadi penurunan yang bersifat hampir linear kira-kira sebesar 16,32dBm. Sehingga ketika di layar *RF generator* terlihat membangkitkan sinyal *output* sebesar 17dBm, maka sebenarnya *RF generator* menghasilkan sinyal sebesar 0,68dBm.

#### IV.3.4 Karakteristik *Bandwidth*

Berdasarkan hasil simulasi maupun hasil pengukuran menunjukkan dua *bandwidth* yang merupakan frekuensi kerja dari antenna, masing-masing sebesar 180MHz untuk frekuensi kerja 3,5GHz dan 900MHz untuk frekuensi kerja 4,8GHz. *Bandwidth* total antenna dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.17

Sehingga *bandwidth* total antenna yang telah dibuat adalah:

$$\textit{Bandwidth} \text{ total antenna} = 180\text{MHz} + 900\text{MHz} = 1080\text{MHz}$$

Terbentuknya dua *bandwidth* ini dikarenakan dioda PIN bekerja sebagai saklar pada antenna yang berfungsi untuk menghubungkan dan memutuskan jalur *patch* pada antenna. Sehingga terbentuk dua luasan *patch* peradiasi yang menghasilkan dua frekuensi kerja yang berbeda. Adapun dari hasil simulasi dan hasil pengukuran terdapat perbedaan *bandwidth* baik pada frekuensi 3,5GHz maupun 4,8GHz. Hal ini sangat mungkin terjadi dikarenakan proses fabrikasi yang tidak sempurna. Selain itu komponen tembaga dan *substrate* FR4 yang digunakan bukan merupakan bahan murni sehingga akan



menimbulkan perbedaan nilai permitivitas dielektrik bahan dan mempengaruhi hasil fabrikasi.

#### IV.3.5 Nilai *Error*

Persentasi *error* dari frekuensi kerja antenna yang difabrikasi terhadap hasil desain simulasi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 4.2

$$Error = \left| \frac{f.Pengukuran - f.simulasi}{f.Simulasi} \right| \times 100\% \quad (4.2)$$

Untuk batas bawah frekuensi kerja 3,5GHz:

$$Error = \left| \frac{3,44 - 3,2358}{3,2358} \right| \times 100\% = 6,31\%$$

Untuk batas atas frekuensi kerja 3,5GHz:

$$Error = \left| \frac{3,62 - 3,7985}{3,7985} \right| \times 100\% = 4,699\%$$

Untuk batas bawah frekuensi kerja 4,8GHz:

$$Error = \left| \frac{4,293 - 4,4028}{4,4028} \right| \times 100\% = 2,49\%$$

Untuk batas atas frekuensi kerja 4,8GHz:

$$Error = \left| \frac{5,193 - 5,5283}{5,5283} \right| \times 100\% = 6,065\%$$



Terdapat beberapa faktor yang dapat mempengaruhi perbedaan hasil antara simulasi dan pengukuran. Faktor-faktor ini antara lain:

1. Hasil simulasi berada pada kondisi ideal, sedangkan pengukuran walaupun telah dilakukan dalam ruang *anechoic chamber room*, namun tetap saja dapat terjadi interferensi dari lingkungan percobaan terhadap hasil pengukuran.
2. Ketidaktepatan dalam fabrikasi, diantaranya pada saat pemotongan pcb yang tidak pas sehingga terdapat selisih dengan hasil simulasi, peletakan dioda PIN yang tidak pas, posisi kontak *feeder* dan *patch* yang tidak pas, posisi kontak *shortplate* dan *patch* yang tidak pas, tembaga *shortplate* yang memiliki ukuran tidak pas serta mengalami pembengkokan. pelubangan *patch* dan *ground plane* yang tidak pas, serta penggunaan solder yang terlalu banyak dan kurang rapi.
3. Penyolderan konektor ke antena yang kurang pas dapat memberikan rugi-rugi daya, selain itu ukuran pin konektor yang tidak sesuai dengan simulasi, dikarenakan harus menambah kabel tembaga untuk menghubungkan konektor ke *patch* antena.
4. Material tembaga yang digunakan bukan tembaga murni yang menyebabkan terjadinya variasi nilai *loss tangent* dan permitivitas dielektri, selain itu material FR-4 yang digunakan juga bukan material murni serta memiliki permitivitas dielektrik yang bervariasi antara 3,8 – 4,5 berbeda dengan hasil simulasi yang memiliki permitivitas dielektrik 4,3.



5. Adanya rangkaian eksternal yang terdiri dari sumber tegangan baterai dan sebuah induktor yang juga masuk di dalam proses pengukuran, di mana dapat mempengaruhi hasil pengukuran yang ada.
6. Penggunaan kabel penghubung yang menghubungkan antena dan rangkaian bias sangat mempengaruhi hasil pengukuran yang ada.



## BAB V

### PENUTUP

#### V.1 Simpulan

Dari serangkaian percobaan yang telah dilakukan, diperoleh simpulan sebagai berikut:

1. Antena yang dibuat pada penelitian ini merupakan antena jenis *Planar Inverted F Antenna* (PIFA) yang dikonfigurasi menggunakan sebuah dioda PIN yang berfungsi sebagai saklar sehingga antena dapat bekerja pada dua frekuensi kerja, yaitu 3,5GHz dan 4,8GHz.
2. Antena hasil simulasi menunjukkan *return loss* sebesar -39dB dan -40dB pada frekuensi 3,5GHz dan 4,8GHz. Pada pola radiasi menunjukkan bahwa antena cenderung memiliki pola berbentuk *unidirectional* dengan *gain* sebesar 3,19dB dan 3,32 dB pada frekuensi 3,5GHz dan 4,8GHz.
3. Antena hasil fabrikasi bekerja pada frekuensi 3,44GHz – 3,62GHz pada kondisi dioda PIN ON dan 4,293GHz – 5.193GHz pada kondisi dioda PIN OFF. Antena ini memiliki *bandwidth* sebesar 180MHz pada frekuensi kerja 3,5GHz dan 900MHz pada frekuensi kerja 4,8GHz dengan total *bandwidth* sebesar 1080MHz. Hasil pengukuran pola radiasi antena menunjukkan bahwa pola radiasi cenderung berbentuk *unidirectional* dengan *gain* sebesar 4,03dB pada frekuensi 3,5GHz dan 2,82dB pada frekuensi 4,8GHz. Pada simulasi *switching* otomatis antena, diketahui bahwa antena mampu mengubah-ubah frekuensi kerjanya secara otomatis sesuai sinyal *input* yang diterima hingga jarak 10 meter.



4. Dari hasil simulasi dan pengukuran menunjukkan bahwa antenna yang telah difabrikasi secara umum telah sesuai dengan simulasi yang dilakukan sebelumnya. Adapun faktor-faktor yang mempengaruhi perbedaan hasil simulasi dan pengukuran antara lain adalah kondisi pengukuran yang tidak ideal, ketidaksempurnaan dalam proses fabrikasi, penyolderan yang kurang pas, material yang digunakan bukan merupakan material murni yang menyebabkan terjadinya *losses* komponen, adanya rangkaian eksternal, dan penggunaan kabel penghubung pada antenna.

## V.2 Saran

1. Sebaiknya menggunakan komponen khususnya material *substrate* yang memiliki nilai permitivitas dielektrik yang konstan.
2. Pada proses fabrikasi sebaiknya dilakukan dengan lebih teliti agar hasil yang dihasilkan maksimal.
3. Pada proses perancangan, desain konektor yang dibuat sebaiknya sama dengan konektor yang akan digunakan pada fabrikasi.
4. Pada proses pengukuran sebaiknya dilakukan lebih teliti agar hasil yang diperoleh lebih akurat.
5. Sebaiknya mengurangi penggunaan kabel penghubung pada antenna dan rangkaian bias untuk mengurangi rugi-rugi daya pada antenna. Caranya yaitu membuat sebuah rangkaian terintegrasi untuk menghubungkan antenna dengan rangkaian biasanya.



## DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. P. Deshmukh, "Evolution of wireless technology from 0G to 5G : A review," vol. 3, no. 1, pp. 67–70, 2016.
- [2] Statista.com, "Number of mobile phone users worldwide from 2015 to 2020 (in billions)," 2018. [Online]. Available: <https://www.statista.com/statistics/274774/forecast-of-mobile-phone-users-worldwide/>. [Accessed: 29-Nov-2018].
- [3] Huawei, "5G spectrum Public Policy Position," 2017. [Online]. Available: [https://www-file.huawei.com/-/media/CORPORATE/PDF/public-policy/public\\_policy\\_position\\_5g\\_spectrum.pdf?la=en](https://www-file.huawei.com/-/media/CORPORATE/PDF/public-policy/public_policy_position_5g_spectrum.pdf?la=en).
- [4] V. R. Tumati and J. Cheruku, "Design and Study of Frequency Reconfigurable Antenna for Wireless Applications Venkateswara," vol. 434, pp. 491–499, 2018.
- [5] A. Miguel, *Reconfigurable Antenna for Mobile Terminal*. Lisbon: Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, 2015.
- [6] E. Palantei, D. V. Thiel, and S. G. O'Keefe, "Rectangular patch with parasitic folded dipoles: A reconfigurable antenna," *Conf. Proc. 2008 IEEE Int. Work. Antenna Technol. Small Antennas Nov. Metamaterials, IWAT 2008*, pp. 251–254, 2008.
- [7] R. Hallas, *Basic Antennas Understanding, Practical Antennas and Design*. Newington: American Radio Relay League, 2009.
- [8] Alaydrus, *Antena: Prinsip dan Aplikasi*. Yogyakarta: Graha Ilmu, 2011.



- [9] R. C. Johnson, *Antenna Engineering Handbook*. New York: McGraw-Hill, Inc, 1993.
- [10] C. A. Balanis, *Modern Antenna Handbook*. New Jersey: John Wiley & Sons Ltd., 2008.
- [11] J. Wardhianto, *Desain antena dengan teknologi Ultra Wideband Pada Frekuensi 5.6 GHz*. Yogyakarta: Universitas Islam Indonesia, 2018.
- [12] T. Milligan, *Modern Antenna Design, 2nd Ed.* New Jersey: John Wiley & Sons Ltd., 2005.
- [13] F. N. M. Redzwan, M. T. Ali, M. N. Md. Tan, and N. F. Miswadi, "Dual-band Planar Inverted F Antenna with parasitic element for LTE and WiMAX mobile communication," *ISTMET 2014 - 1st Int. Symp. Technol. Manag. Emerg. Technol. Proc.*, no. Istmet, pp. 62–67, 2014.
- [14] R. Bansal, A. Bisht, S. Verma, and H. S. Saini, "AN OVERVIEW ON PIFA ANTENNA DESIGN," *Int. J. Electron. Electr. Eng.*, vol. 4, no. 3, pp. 2–4, 2017.
- [15] D. Angela, D. Yamato, and C. Panjaitan, "Desain dan Realisasi Planar Inverted-F Antenna ( PIFA ) Berbentuk U -Slot dan L- Slot pada Frekuensi 1800 MHz dan 2300 MHz," vol. 11, no. 2, pp. 55–62, 2016.
- [16] N. Kumar and G. Saini, "A Novel Low profile Planar Inverted-F Antenna ( PIFA ) for Mobile Handsets," vol. 3, no. 3, pp. 3–6, 2013.

F. Da Costa *et al.*, "Optically controlled reconfigurable antenna for 5G future broadband cellular communication networks," *J. Microwaves*,



*Optoelectron. Electromagn. Appl.*, vol. 16, no. 1, pp. 208–217, 2017.

- [18] V. Sokol, “Reconfigurable Antenna Simulation,” no. November, p. 2013, 2014.
- [19] J. Kumar, B. B. Corresponding, and F. A. Talukdar, “Modeling of a PIN Diode RF Switch for Reconfigurable Antenna Application,” vol. 2, pp. 1–14.
- [20] W. B. M. Jubadi, *A Study Of Variable I-Region Thickness Effects on PIN Diode Switching Speed*. Batu Pahat: Universiti Tun Hussein Onn Malaysia, 2010.
- [21] A. F. S. Admaja, “Kajian Awal 5G Indonesia (5G Indonesia Early Preview),” *Bul. Pos dan Telekomun.*, vol. 13, no. 2, p. 97, 2015.
- [22] Huawei, “5G network architecture : A High-Level Perspective,” 2016.  
[Online]. Available:  
[https://www.huawei.com/minisite/5g/img/5G\\_Network\\_Architecture\\_A\\_High-Level\\_Perspective\\_en.pdf](https://www.huawei.com/minisite/5g/img/5G_Network_Architecture_A_High-Level_Perspective_en.pdf).



# LAMPIRAN

