



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**RANCANG BANGUN ANTENA UNTUK APLIKASI  
*COGNITIVE RADIO* PADA ALOKASI SPEKTRUM  
1,8 GHz DAN 2,35 GHz**

**SKRIPSI**

**ANNE WIDIASTRI  
07 06 26 75 21**

**FAKULTAS TEKNIK  
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
DEPOK  
JULI 2011**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**RANCANG BANGUN ANTENA UNTUK APLIKASI  
*COGNITIVE RADIO* PADA ALOKASI SPEKTRUM  
1,8 GHz DAN 2,35 GHz**

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik**

**ANNE WIDIASTRI  
07 06 26 75 21**

**FAKULTAS TEKNIK  
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
DEPOK  
JULI 2011**

ii

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

**Nama : Anne Widiastri**

**NPM : 0706267521**

**Tanda Tangan :**



**Tanggal : 11 Juli 2011**

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :  
Nama : Anne Widiastri  
NPM : 0706267521  
Program Studi : Teknik Elektro  
Judul Skripsi : Rancang Bangun Antena untuk Aplikasi *Cognitive Radio* pada Alokasi Spektrum 1,8 GHz dan 2,35 GHz

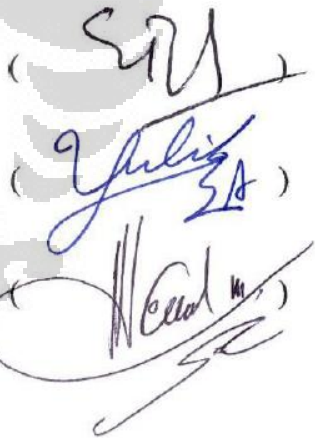
Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

### DEWAN PENGUJI

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

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

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



Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 11 Juli 2011

## UCAPAN TERIMA KASIH

Puji dan syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas segala rahmat dan penyertaan-Nya skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik dan tepat waktu. Saya menyadari bahwa skripsi ini tidak akan dapat terselesaikan tanpa bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Prof. Ir. Eko Tjipto Rahardjo, M.Sc., Ph.D. selaku dosen pembimbing utama yang telah banyak memberikan waktu, arahan, nasihat, dan masukan sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini;
2. Ibu Dr. Fitri Yuli Zulkifli, S.T., M.Sc. selaku dosen pembimbing kedua yang juga telah banyak membantu saya dalam proses mengerjakan skripsi ini;
3. Daryanto, Rudi Saputra, Ulil Ulya, Achmad Fauzi, Yudha Dwi Prasetyo, Subroto F. Siddiq, Nofrizal, Aditya Inzani, Muhamad Tajudin, dan teman – teman AMRG (*Antenna Propagation and Microwave Research Group*) lainnya atas kesempatan untuk bertanya, bertukar pikiran, berdiskusi, serta dukungan yang telah diberikan demi penyelesaian skripsi ini;
4. Bapak, Mama, Gita, Yosi, Bela, serta seluruh keluarga yang selalu memberikan dukungan, semangat, dan doa kepada saya;
5. Teddy Febrianto, seluruh rekan mahasiswa/i Teknik Elektro Universitas Indonesia, dan para sahabat yang selalu memberi motivasi dan semangat;
6. Seluruh Sivitas Akademika Departemen Teknik Elektro yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu.

Akhir kata, semoga Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini bermanfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan di masa mendatang.

Depok, Juli 2011

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

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

Nama : Anne Widiastri  
NPM : 0706267521  
Program Studi : Teknik Elektro  
Departemen : Teknik Elektro  
Fakultas : Teknik  
Jenis Karya : Skripsi

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

**RANCANG BANGUN ANTENA UNTUK APLIKASI *COGNITIVE RADIO*  
PADA ALOKASI SPEKTRUM 1,8 GHz DAN 2,35 GHz**

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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 11 Juli 2011

Yang menyatakan,



(Anne Widiastri)

## ABSTRAK

Nama : Anne Widiastri  
Program studi : Teknik Elektro  
Judul : Rancang Bangun Antena untuk Aplikasi *Cognitive Radio* pada Alokasi Spektrum 1,8 GHz dan 2,35 GHz

*Cognitive radio* merupakan teknologi telekomunikasi yang memberikan solusi untuk masalah keterbatasan ketersediaan sumber daya spektrum frekuensi dan rendahnya efisiensi penggunaan spektrum yang ada. Skripsi ini membahas rancang bangun antena yang sesuai untuk aplikasi *cognitive radio* yang dapat digunakan pada alokasi frekuensi 1,8 GHz dan 2,35 GHz. Rancang bangun antena terdiri dari dua antena *printed monopole* di atas substrat FR4 dengan menggunakan *ground* sebagian. Antena pertama berfungsi sebagai *sensing antenna* dengan karakteristik *wideband* dan memiliki pola radiasi *omnidirectional*. Antena kedua merupakan *communicating antenna* dimana pada struktur antena diberi *switch* sehingga antena ini dapat merekonfigurasi frekuensi kerja. Hasil pengukuran menunjukkan *sensing antenna* memiliki *impedance bandwidth* 5,197 GHz pada kondisi *switch OFF* dan *impedance bandwidth* 10,328 GHz pada kondisi *switch ON* yang diukur pada batas  $RL \leq -10$  dB. Sedangkan *reconfigurable communicating antenna* memiliki frekuensi kerja 2,35 GHz pada kondisi *switch OFF* dan frekuensi kerja 1,8 GHz pada kondisi *switch ON*.

Kata kunci:

*Cognitive radio, printed monopole, wideband, rekonfigurasi frekuensi*

## ABSTRACT

Name : Anne Widiastri  
Study Program : Electrical Engineering  
Title : Antenna Design for Cognitive Radio Application at 1.8 GHz and 2.35 GHz Spectrum Allocation

Cognitive radio is technology developed nowadays to be the solution for limited frequency spectrum resource and inefficiency spectrum utilization issues. Design of antenna for cognitive radio application is proposed in this final project. The antenna is designed to work at 1.8 GHz and 2.35 GHz frequency allocation. The design consists of two printed monopole antenna printed over FR4 substrate sharing a common partial ground. The first antenna is the sensing antenna for spectrum sensing, having wideband characteristic and omnidirectional radiation pattern. The second one is the communicating antenna which is a frequency reconfigurable antenna with the existing switch on the antenna's structure so that the antenna will have two different working frequencies. The measurement shows that the sensing antenna has 5.197 GHz impedance bandwidth when the switch is OFF and 10.328 GHz impedance bandwidth when the switch is ON which is measured at return loss below -10 dB. While, the reconfigurable communicating antenna is working at 2.35 GHz when the switch is OFF and it is working at 1.8 GHz when the switch is ON.

Key words:

Cognitive radio, printed monopole, wideband, frequency reconfiguration

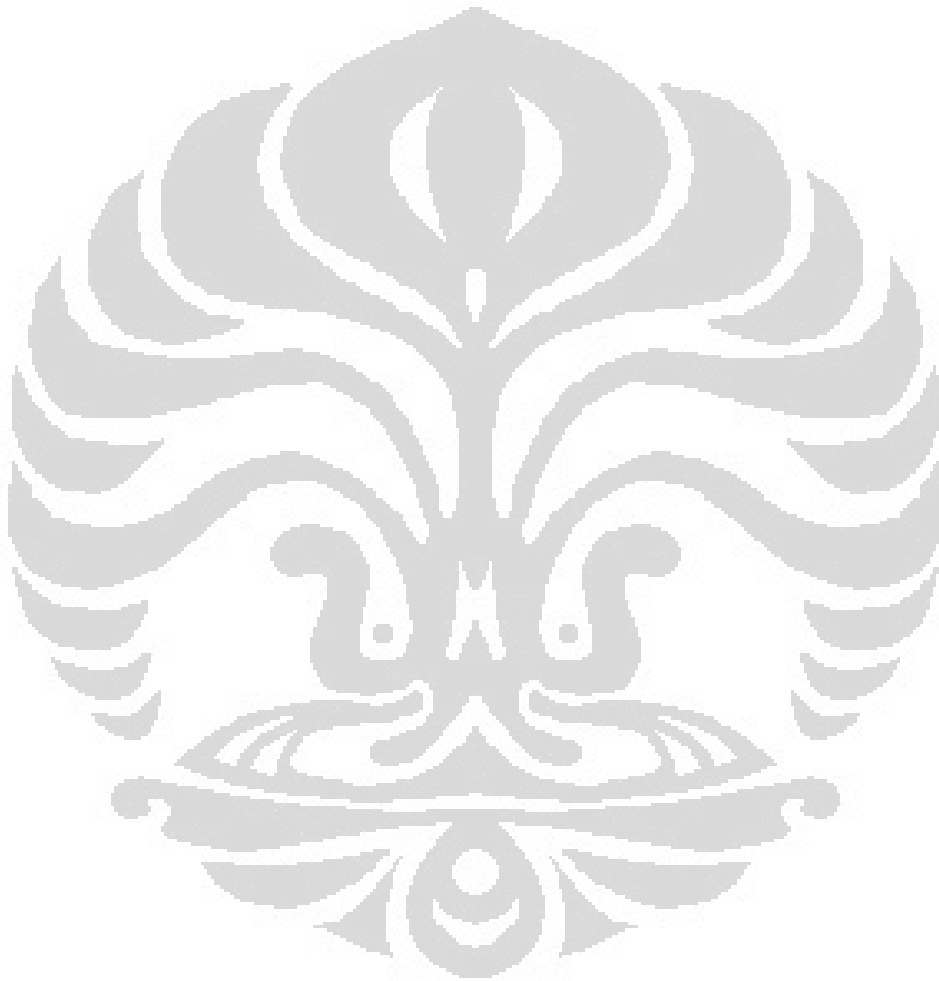


## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	ii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS .....	iii
HALAMAN PENGESAHAN .....	iv
UCAPAN TERIMA KASIH .....	v
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH .....	vi
ABSTRAK .....	vii
ABSTRACT .....	viii
DAFTAR ISI .....	ix
DAFTAR GAMBAR .....	xii
DAFTAR TABEL .....	xv
DAFTAR SINGKATAN .....	xvi
<b>BAB 1 PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	4
1.3 Tujuan .....	4
1.4 Batasan Masalah .....	4
1.5 Metode Penelitian .....	5
1.6 Sistematika Penulisan .....	5
<b>BAB 2 COGNITIVE RADIO DAN ANTENA PRINTED MONOPOLE .....</b>	<b>7</b>
2.1 <i>Cognitive Radio</i> (CR) .....	7
2.2 Antena .....	9
2.2.1 Parameter Antena .....	10
2.2.1.1 Impedansi Masukan ( <i>Input Impedance</i> ) .....	10
2.2.1.2 <i>Voltage Standing Wave Ratio</i> (VSWR) .....	11
2.2.1.3 <i>Return Loss</i> (RL) .....	13
2.2.1.4 <i>Bandwidth</i> .....	13
2.2.1.5 Pola Radiasi .....	15
2.2.2 Propagasi Gelombang .....	16
2.2.2.1 Daerah Medan Radiasi Antena .....	16
2.2.2.2. Daerah Fresnel .....	18
2.3 Antena Mikrostrip (MSA) .....	20
2.3.1 Struktur dan Prinsip Kerja MSA .....	20
2.3.2 Keunggulan dan Keterbatasan MSA .....	21
2.4 Teknik Pencatuan MSA .....	23
2.5 Antena <i>Printed Monopole</i> .....	26
2.5.1 Struktur Antena <i>Printed Monopole</i> .....	26
2.5.2 Perbandingan MSA dengan Antena <i>Printed Monopole</i> .....	29
2.5.3 Perhitungan Frekuensi Bawah Antena <i>Printed Monopole</i> .....	29
<b>BAB 3 METODOLOGI PERANCANGAN ANTENA.....</b>	<b>33</b>
3.1 Spesifikasi Antena .....	33
3.2 Alat dan Bahan yang Digunakan .....	35
3.3 Diagram Alir Perancangan Antena .....	36
3.4 Perhitungan Lebar <i>Microstrip Feed Line</i> .....	37
3.5 Perhitungan Dimensi Antena .....	38

3.5.1 Perhitungan Dimensi <i>Sensing Antenna</i> .....	38
3.5.2 Perhitungan Dimensi <i>Communicating Antenna</i> .....	39
3.5.3 Penentuan Dimensi dan Parameter Rancang Bangun Antena ...	41
<b>BAB 4 SIMULASI DAN KARAKTERISASI ANTENA .....</b>	<b>43</b>
4.1 Kondisi Simulasi Antena .....	43
4.2 Simulasi Rancang Bangun Awal .....	44
4.2.1 Hasil Simulasi Rancang Bangun Awal <i>Sensing Antenna</i> .....	45
4.2.2 Hasil Simulasi Rancang Bangun Awal <i>Communicating Antenna</i> .....	46
4.3 Karakterisasi Rancang Bangun Antena .....	48
4.3.1 Karakterisasi <i>Sensing Antenna</i> .....	49
4.3.1.1 Karakterisasi Parameter Radius Mayor .....	49
4.3.1.2 Karakterisasi Parameter Rasio Elips .....	50
4.3.1.3 Karakterisasi Parameter Jarak Antara Elips dengan <i>Partial Ground</i> .....	51
4.3.2 Karakterisasi <i>Communicating Antenna</i> .....	52
4.3.2.1 Karakterisasi Parameter Koordinat y Struktur Segitiga Ganda .....	52
4.3.2.2 Karakterisasi Parameter Panjang Sisi Segitiga Bawah....	53
4.3.2.3 Karakterisasi Parameter Panjang Sisi Segitiga Atas .....	54
4.3.2.4 Karakterisasi Parameter Jarak Antara Segitiga Ganda....	56
4.4 Simulasi Rancang Bangun Akhir .....	57
4.4.1 Hasil Simulasi Rancang Bangun Akhir <i>Sensing Antenna</i> .....	57
4.4.2 Hasil Simulasi Rancang Bangun Akhir <i>Communicating Antenna</i> .....	60
<b>BAB 5 HASIL PENGUKURAN DAN ANALISIS.....</b>	<b>62</b>
5.1 Kondisi Pengukuran Antena.....	62
5.1.1 Perhitungan Jarak <i>Far – Field</i> .....	62
5.1.2 Perhitungan Ketinggian Antena.....	63
5.2 Peralatan yang Digunakan.....	63
5.2.1 Perangkat Keras ( <i>Hardware</i> ).....	63
5.2.2 Perangkat Lunak ( <i>Software</i> ) .....	64
5.3 Pengukuran <i>Port Tunggal</i> .....	64
5.3.1 Pengukuran <i>Sensing Antenna</i> pada Kondisi <i>Switch OFF</i> .....	64
5.3.2 Pengukuran <i>Sensing Antenna</i> pada Kondisi <i>Switch ON</i> .....	66
5.3.3 Pengukuran <i>Communicating Antenna</i> pada Kondisi <i>Switch OFF</i> .....	68
5.3.4 Pengukuran <i>Communicating Antenna</i> pada Kondisi <i>Switch ON</i> .....	70
5.3.5 Hasil Pengukuran <i>Port Tunggal</i> Antena .....	72
5.4 Pengukuran <i>Port Ganda</i> .....	73
5.4.1 Pengukuran Parameter <i>Isolation between Port</i> ( $S_{12}$ ) .....	73
5.4.2 Pengukuran Pola Radiasi Antena.....	75
5.4.2.1 <i>Sensing Antenna</i> pada Kondisi <i>Switch OFF</i> .....	76
5.4.2.2 <i>Sensing Antenna</i> pada Kondisi <i>Switch ON</i> .....	77
5.4.2.3 <i>Communicating Antenna</i> pada Kondisi <i>Switch OFF</i> ....	79
5.4.2.4 <i>Communicating Antenna</i> pada Kondisi <i>Switch ON</i> .....	79
5.4.2.5 Hasil Pengukuran Pola Radiasi Antena.....	80

5.5 Analisis Perbandingan Hasil Pengukuran dengan Simulasi .....	81
5.5.1 <i>Sensing Antenna</i> pada Kondisi <i>Switch OFF</i> .....	81
5.5.2 <i>Sensing Antenna</i> pada Kondisi <i>Switch ON</i> .....	82
5.5.3 <i>Communicating Antenna</i> pada Kondisi <i>Switch OFF</i> .....	83
5.5.4 <i>Communicating Antenna</i> pada Kondisi <i>Switch ON</i> .....	83
5.5.5 Analisis Perbandingan Pengukuran dan Simulasi Parameter <i>Return Loss Antena</i> .....	84
5.6 Analisis Kesalahan Umum.....	85
<b>BAB 6 KESIMPULAN .....</b>	<b>87</b>
DAFTAR REFERENSI .....	88
LAMPIRAN .....	91



## DAFTAR GAMBAR

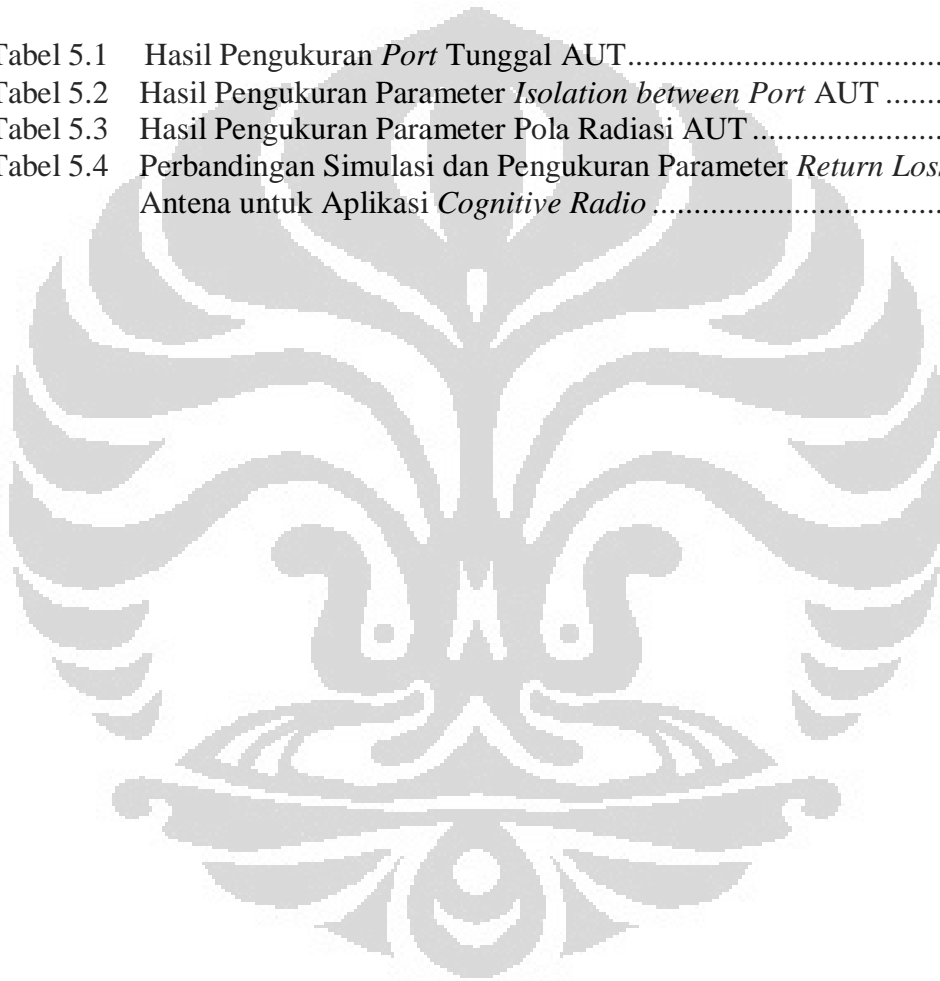
Gambar 2.1	Arsitektur Sistem <i>Cognitive Radio</i> (a) Kategori A; (b) Kategori B [12].....	8
Gambar 2.2	Blok Diagram <i>Transmitter</i> dan <i>Receiver</i> .....	10
Gambar 2.3	<i>Impedance Bandwidth</i> Berdasarkan Standar (a) <i>Return Loss</i> $\leq -9,54$ dB, (b) <i>VSWR</i> $\leq 2$ .....	14
Gambar 2.4	Pola Radiasi <i>Omnidirectional</i> [13] .....	16
Gambar 2.5	Daerah Medan Radiasi Antena [13].....	18
Gambar 2.6	Daerah Fresnel [16].....	19
Gambar 2.7	Distribusi Medan Listrik Antara <i>Radiating Patch</i> dengan <i>Ground</i> pada MSA [13].....	20
Gambar 2.8	Konfigurasi Struktur MSA Bentuk <i>Patch Ellipsoid</i> dengan Pencatuan Menggunakan <i>Microstrip Line</i> [13]. .....	21
Gambar 2.9	Teknik Pencatuan MSA dengan Menggunakan <i>Coaxial Feed</i> Tampak Atas dan Tampak Samping [17].....	23
Gambar 2.10	Geometri Saluran Transmisi Mikrostrip [15] .....	24
Gambar 2.11	Ketebalan Substrat <i>h</i> pada MSA Menentukan Panjang <i>Probe</i> Pencatuan [17] .....	26
Gambar 2.12	Konfigurasi MSA dengan Pencatuan <i>Probe</i> pada Bagian Tepi <i>Patch</i> dan Diberi <i>Ground Plane</i> Tegak Lurus Terhadap Substrat [17].....	27
Gambar 2.13	Konfigurasi MSA Tanpa <i>Ground Plane</i> pada Bagian Bawah Substrat Menghasilkan Struktur Antena <i>Planar Monopole</i> [17]..	27
Gambar 2.14	Struktur Antena <i>Printed Monopole</i> Tampak Samping.....	28
Gambar 2.15	Bentuk dan Konfigurasi <i>Elliptical Monopole</i> dan <i>Triangular Monopole</i> [17].....	32
Gambar 3.1	Rancang Bangun Antena untuk Aplikasi <i>Cognitive Radio</i> yang Terdiri dari Dua Elemen Peradiasi dan Menggunakan <i>Partial Ground</i> Bersama – sama .....	35
Gambar 3.2	Diagram Alir Perancangan Antena untuk Aplikasi <i>Cognitive Radio</i> pada Alokasi Frekuensi 1,8 GHz dan 2,35 GHz.....	36
Gambar 3.3	Jarak Antara <i>Partial Ground</i> Dengan Elemen Peradiasi ( <i>h</i> ) Merupakan Parameter yang Menentukan Performa <i>Bandwidth</i> pada Konfigurasi Antena <i>Printed Monopole</i> [22].....	41
Gambar 4.1	Kondisi Simulasi dan Pengukuran Antena (a) <i>Sensing Antenna</i> pada Kondisi <i>Switch OFF</i> ; (b) <i>Sensing Antenna</i> pada Kondisi <i>Switch ON</i> ; (c) <i>Communicating Antenna</i> pada Kondisi <i>Switch OFF</i> ; (d) <i>Communicating Antenna</i> pada Kondisi <i>Switch ON</i> .....	43
Gambar 4.2	Grafik <i>Return Loss</i> Terhadap Frekuensi Hasil Simulasi Rancang Bangun Awal <i>Sensing Antena</i> pada Kondisi <i>Switch OFF</i> .....	45
Gambar 4.3	Grafik <i>Return Loss</i> Terhadap Frekuensi Hasil Simulasi Rancang Bangun Awal <i>Sensing Antena</i> pada Kondisi <i>Switch ON</i> .....	46

Gambar 4.4	Grafik <i>Return Loss</i> Terhadap Frekuensi Hasil Simulasi Rancang Bangun Awal <i>Communicating Antenna</i> pada Kondisi <i>Switch OFF</i> .....	47
Gambar 4.5	Grafik <i>Return Loss</i> Terhadap Frekuensi Hasil Simulasi Rancang Bangun Awal <i>Communicating Antenna</i> pada Kondisi <i>Switch ON</i> .....	48
Gambar 4.6	Grafik Hasil Karakterisasi Parameter Radius Mayor Elips Terhadap <i>Bandwidth Sensing Antenna</i> .....	49
Gambar 4.7	Grafik Hasil Karakterisasi Rasio Elips Terhadap Frekuensi Bawah <i>Sensing Antenna</i> .....	50
Gambar 4.8	Grafik Hasil Karakterisasi Jarak Antara Elips dengan <i>Partial Ground</i> Terhadap Frekuensi Bawah <i>Sensing Antenna</i> .....	51
Gambar 4.9	Grafik Hasil Karakterisasi Koordinat <i>y</i> Segitiga Ganda Terhadap Level <i>Return Loss Communicating Antenna</i> .....	53
Gambar 4.10	Grafik Hasil Karakterisasi Panjang Sisi Segitiga Bawah Terhadap Frekuensi Resonansi <i>Communicating Antenna</i> .....	54
Gambar 4.11	Grafik Hasil Karakterisasi Panjang Sisi Segitiga Atas Terhadap Level <i>Return Loss Communicating Antenna</i> .....	55
Gambar 4.12	Grafik Hasil Karakterisasi Panjang Sisi Segitiga Atas Terhadap Frekuensi Resonansi <i>Communicating Antenna</i> .....	56
Gambar 4.13	Grafik Hasil Karakterisasi Jarak Antara Segitiga Ganda Terhadap Level <i>Return Loss Communicating Antenna</i> .....	57
Gambar 4.14	Grafik <i>Return Loss</i> Terhadap Frekuensi Hasil Simulasi Rancang Bangun Akhir <i>Sensing Antena</i> pada Kondisi <i>Switch OFF</i> .....	59
Gambar 4.15	Grafik <i>Return Loss</i> Terhadap Frekuensi Hasil Simulasi Rancang Bangun Akhir <i>Sensing Antena</i> pada Kondisi <i>Switch ON</i> .....	59
Gambar 4.16	Grafik <i>Return Loss</i> Terhadap Frekuensi Hasil Simulasi Rancang Bangun Akhir <i>Communicating Antenna</i> pada Kondisi <i>Switch OFF</i> .....	60
Gambar 4.17	Grafik <i>Return Loss</i> Terhadap Frekuensi Hasil Simulasi Rancang Bangun Akhir <i>Communicating Antenna</i> pada Kondisi <i>Switch ON</i> .....	61
Gambar 5.1	Grafik <i>Return Loss</i> Hasil Pengukuran <i>Sensing Antenna</i> pada Kondisi <i>Switch OFF</i> .....	65
Gambar 5.2	Grafik VSWR Hasil Pengukuran <i>Sensing Antenna</i> pada Kondisi <i>Switch OFF</i> .....	65
Gambar 5.3	<i>Smith Chart Input Impedance</i> Hasil Pengukuran <i>Sensing Antenna</i> pada Kondisi <i>Switch OFF</i> .....	66
Gambar 5.4	Grafik <i>Return Loss</i> Hasil Pengukuran <i>Sensing Antenna</i> pada Kondisi <i>Switch ON</i> .....	67
Gambar 5.5	Grafik VSWR Hasil Pengukuran <i>Sensing Antenna</i> pada Kondisi <i>Switch ON</i> .....	67
Gambar 5.6	<i>Smith Chart Input Impedance</i> Hasil Pengukuran <i>Sensing Antenna</i> pada Kondisi <i>Switch ON</i> .....	68
Gambar 5.7	Grafik <i>Return Loss</i> Hasil Pengukuran <i>Communicating Antenna</i> pada Kondisi <i>Switch OFF</i> .....	69

Gambar 5.8	Grafik VSWR Hasil Pengukuran <i>Communicating Antenna</i> pada Kondisi <i>Switch OFF</i> .....	69
Gambar 5.9	<i>Smith Chart Input Impedance</i> Hasil Pengukuran <i>Communicating Antenna</i> pada Kondisi <i>Switch OFF</i> .....	70
Gambar 5.10	Grafik <i>Return Loss</i> Hasil Pengukuran <i>Communicating Antenna</i> pada Kondisi <i>Switch ON</i> .....	71
Gambar 5.11	Grafik VSWR Hasil Pengukuran <i>Communicating Antenna</i> pada Kondisi <i>Switch ON</i> .....	71
Gambar 5.12	<i>Smith Chart Input Impedance</i> Hasil Pengukuran <i>Communicating Antenna</i> pada Kondisi <i>Switch ON</i> .....	72
Gambar 5.13	Grafik $S_{12}$ Hasil Pengukuran Antena Saat Kondisi <i>Switch OFF</i> ..	74
Gambar 5.14	Grafik $S_{12}$ Hasil Pengukuran Antena Saat Kondisi <i>Switch ON</i> .....	75
Gambar 5.15	Hasil Pengukuran Pola Radiasi E-Co vs H-Co <i>Sensing Antenna</i> pada Kondisi <i>Switch OFF</i> di Frekuensi Kerja 1,8 GHz.....	76
Gambar 5.16	Hasil Pengukuran Pola Radiasi E-Co vs H-Co <i>Sensing Antenna</i> pada Kondisi <i>Switch OFF</i> di Frekuensi Kerja 2,35 GHz.....	77
Gambar 5.17	Hasil Pengukuran Pola Radiasi E-Co vs H-Co <i>Sensing Antenna</i> pada Kondisi <i>Switch ON</i> di Frekuensi Kerja 1,8 GHz.....	78
Gambar 5.18	Hasil Pengukuran Pola Radiasi E-Co vs H-Co <i>Sensing Antenna</i> pada Kondisi <i>Switch ON</i> di Frekuensi Kerja 2,35 GHz.....	78
Gambar 5.19	Hasil Pengukuran Pola Radiasi E-Co vs H-Co <i>Communicating Antenna</i> pada Kondisi <i>Switch OFF</i> di Frekuensi Kerja 2,35 GHz.....	79
Gambar 5.20	Hasil Pengukuran Pola Radiasi E-Co vs H-Co <i>Communicating Antenna</i> pada Kondisi <i>Switch OFF</i> di Frekuensi Kerja 1,8 GHz ..	80
Gambar 5.21	Grafik <i>Return Loss</i> Perbandingan Antara Simulasi dan Hasil Pengukuran <i>Sensing Antenna</i> pada Kondisi <i>Switch OFF</i> .....	81
Gambar 5.22	Grafik <i>Return Loss</i> Perbandingan Antara Simulasi dan Hasil Pengukuran <i>Sensing Antenna</i> pada Kondisi <i>Switch ON</i> .....	82
Gambar 5.23	Grafik <i>Return Loss</i> Perbandingan Antara Simulasi dan Hasil Pengukuran <i>Communicating Antenna</i> pada Kondisi <i>Switch OFF</i> ..	83
Gambar 5.24	Grafik <i>Return Loss</i> Perbandingan Antara Simulasi dan Hasil Pengukuran <i>Communicating Antenna</i> pada Kondisi <i>Switch ON</i> ..	84

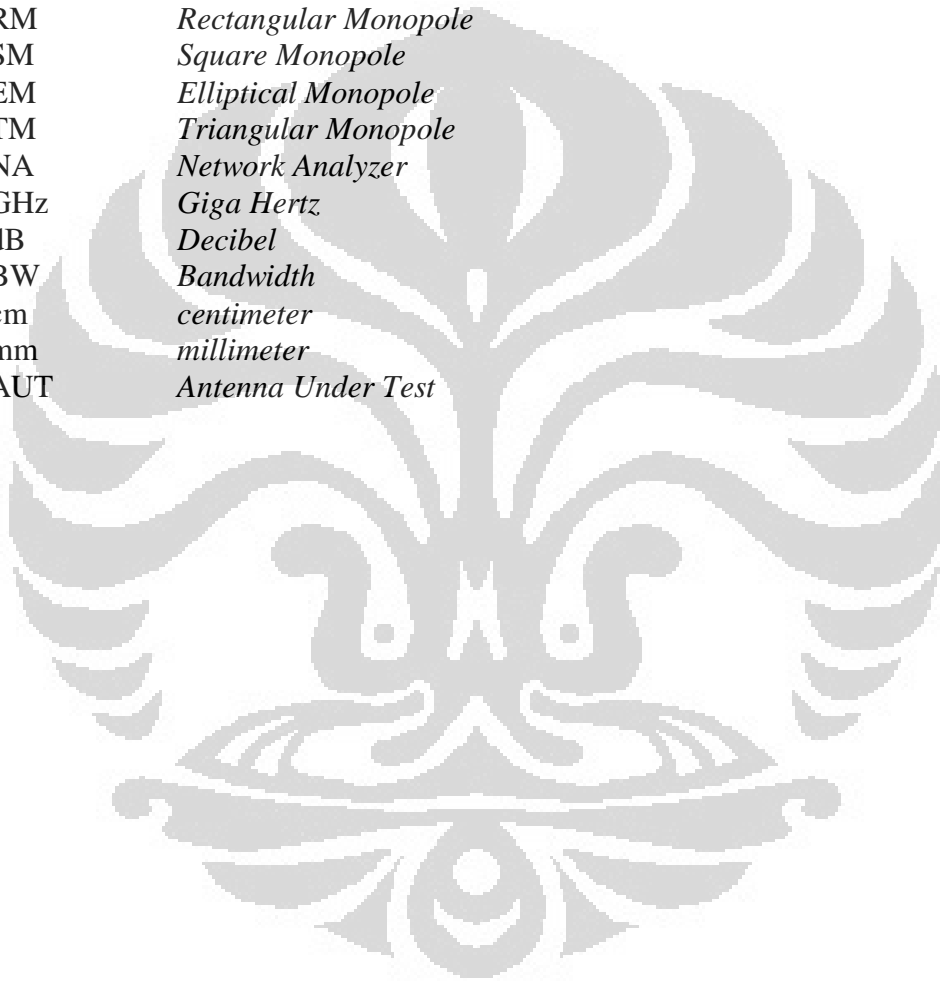
## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Spesifikasi Parameter Kerja Rancang Bangun Antena Untuk Aplikasi <i>Cognitive Radio</i> .....	34
Tabel 4.1	Parameter Awal Rancang Bangun Antena untuk Aplikasi <i>Cognitive Radio</i> .....	44
Tabel 4.2	Parameter Akhir Rancang Bangun Antena untuk Aplikasi <i>Cognitive Radio</i> .....	58
Tabel 5.1	Hasil Pengukuran <i>Port</i> Tunggal AUT.....	73
Tabel 5.2	Hasil Pengukuran Parameter <i>Isolation between Port</i> AUT .....	74
Tabel 5.3	Hasil Pengukuran Parameter Pola Radiasi AUT.....	80
Tabel 5.4	Perbandingan Simulasi dan Pengukuran Parameter <i>Return Loss</i> Antena untuk Aplikasi <i>Cognitive Radio</i> .....	85



## DAFTAR SINGKATAN

DSA	<i>Dynamic Spectrum Access</i>
CR	<i>Cognitive Radio</i>
SDR	<i>Software Defined Radio</i>
RL	<i>Return Loss</i>
VSWR	<i>Voltage Standing Wave Ratio</i>
MSA	<i>Microstrip Antenna</i>
RF	<i>Radio Frequency</i>
RM	<i>Rectangular Monopole</i>
SM	<i>Square Monopole</i>
EM	<i>Elliptical Monopole</i>
TM	<i>Triangular Monopole</i>
NA	<i>Network Analyzer</i>
GHz	<i>Giga Hertz</i>
dB	<i>Decibel</i>
BW	<i>Bandwidth</i>
cm	<i>centimeter</i>
mm	<i>millimeter</i>
AUT	<i>Antenna Under Test</i>





# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Berkembangnya teknologi telekomunikasi dan semakin banyaknya variasi layanan telekomunikasi nirkabel tentu sangat berkaitan dengan penggunaan spektrum frekuensi. Spektrum frekuensi yang ada telah dibagi dan dialokasikan untuk berbagai kebutuhan telekomunikasi nirkabel. Namun dengan banyaknya pengguna spektrum frekuensi yang sudah mendapat lisensi resmi dari regulator, pada kenyataannya penggunaan spektrum tersebut belum maksimal. Sedangkan spektrum frekuensi sendiri merupakan sumber daya terbatas pada bidang telekomunikasi nirkabel. Sehingga demikian pengembangan penggunaan media telekomunikasi nirkabel menjadi sangat terbatas.

Terdapat dua masalah mendasar pada kondisi tersebut. Pertama, spektrum frekuensi sangat terbatas, sedangkan permintaan akan penggunaan spektrum sangat tinggi. Kedua, spektrum yang terbatas tersebut belum digunakan secara maksimal sehingga dapat dikatakan efisiensi penggunaan sumber daya spektrum yang ada masih rendah. Nilai efisiensi tersebut dapat ditingkatkan jika spektrum frekuensi dapat diakses dan digunakan tidak hanya oleh pengguna primer yang memegang lisensi tetapi juga oleh pengguna sekunder yang tidak memiliki lisensi terhadap spektrum tersebut. Dengan demikian masalah yang ada dapat teratasi. Spektrum frekuensi dapat diakses dan digunakan oleh seluruh pengguna layanan telekomunikasi nirkabel sehingga efisiensi penggunaan spektrum frekuensi dapat ditingkatkan.

Tanpa perlu merubah kondisi yang sudah ada sekarang, maka diperlukan sistem komunikasi yang dapat beradaptasi dengan kondisi yang sudah ada dan memberikan solusi terhadap masalah keterbatasan spektrum frekuensi dan efisiensi penggunaan spektrum. Berawal dari konsep *dynamic spectrum access* (DSA) bahwa spektrum frekuensi tertentu dapat diakses tidak hanya oleh pengguna primer tetapi juga oleh pengguna sekunder dengan syarat pengguna primer mendapatkan prioritas utama. Dengan kata lain, pengguna sekunder dapat

mengakses dan menggunakan spektrum yang ada ketika spektrum tersebut sedang tidak digunakan oleh pengguna primer [1]. Konsep inilah yang kemudian menjadi konsep utama teknologi *cognitive radio* (CR) [2].

*Cognitive radio* (CR) pertama kali diperkenalkan oleh John Mitola pada tahun 1999 melalui artikel yang ditulisnya bersama Macguire. Pada artikel tersebut Mitola dan Macguire mendeskripsikan *cognitive radio* sebagai sistem radio yang dapat mengerti keadaan di sekitarnya dan dapat menempatkan dirinya dengan tepat pada lingkungan tersebut sehingga dapat melakukan komunikasi sesuai dengan konsep yang didapatnya dari mengenali lingkungan sekitarnya [1]. Atau *cognitive radio* dapat dideskripsikan sebagai sistem yang sangat peka terhadap lingkungan di sekitarnya, kemudian dapat memilih spektrum frekuensi yang tersedia dan menentukan metode transmisi berdasarkan hasil pemindaian spektrum pada lingkungan tersebut [3].

Sistem komunikasi *cognitive radio* dibentuk dari penggabungan infrastruktur perangkat keras dan perangkat lunak yang mendukung algoritma kerja sistem [4]. Sistem *cognitive radio* memiliki tiga fungsi utama sesuai dengan algoritma kinerja sistemnya, yaitu observasi, penentuan keputusan, dan pelaksanaan [1]. Perangkat lunak yang digunakan pada sistem adalah *Software Defined Radio* (SDR) yang merupakan *platform* utama *cognitive radio*. SDR inilah yang menjadikan sistem *cognitive radio* sangat adaptif terhadap kondisi yang ada. Perangkat keras yang digunakan harus dapat memfasilitasi kemampuan perangkat lunak SDR tersebut. Salah satu bagian dari infrastruktur perangkat keras adalah *RF front end* [4]. Termasuk di dalam *RF front end* adalah antena sebagai terminal akhir pengirim dan penerima pada sistem komunikasi nirkabel.

Berdasarkan kemampuan kerja sistem *cognitive radio*, maka antena yang digunakan pada sistem ini harus dapat melakukan dua fungsi, yaitu pemindaian spektrum frekuensi dan melakukan komunikasi pada frekuensi yang sedang tidak digunakan. Oleh karena itu antena yang digunakan pada sistem ini terdiri dari dua bagian yang berbeda. Bagian yang pertama adalah *sensing antenna* yang berfungsi melakukan pemindaian spektrum dimana antena ini harus memiliki *bandwidth* yang lebar agar cakupan observasi dapat meliputi semua frekuensi

yang ada di sekitarnya. Sedangkan bagian yang kedua adalah *communicating antenna* yang memiliki *bandwidth* yang sempit (*narrowband*) untuk melakukan komunikasi pada frekuensi tertentu. Karakteristik komunikasi yang dilakukan oleh sistem ditentukan oleh hasil pemindaian spektrum sehingga antena yang digunakan untuk aplikasi *cognitive radio* harus memiliki kemampuan merekonfigurasi parameter kerja antena, yang meliputi frekuensi resonansi, *bandwidth*, pola radiasi, dan parameter lainnya [2][5-9]. Kemampuan rekonfigurasi ini dapat diterapkan untuk merekonfigurasi antara *sensing* dan *communicating antenna*, atau hanya diterapkan untuk rekonfigurasi parameter kerja *communicating antenna* saja.

Pada [5], *sensing antenna* dan *communicating antenna* yang dirancang untuk aplikasi *cognitive radio* merupakan dua struktur antena *printed monopole* yang berbeda dan terpisah namun dicetak pada satu substrat yang sama dan berbagi menggunakan *partial ground* yang sama. Elemen peradiasi *sensing antenna* berbentuk telur dengan pencatutan *tapered microstrip line* yang memiliki karakteristik UWB (*Ultra - Wideband*) dengan *impedance bandwidth* 3 – 11 GHz. Sedangkan *communicating antenna* memiliki elemen peradiasi berupa *strip line* yang dihubungkan dengan segitiga pada ujungnya. Dua *switch* diberikan pada struktur *strip line*, dan satu *switch* ditempatkan pada bagian penghubung antara *strip line* dan segitiga. Dengan mengatur kondisi ketiga *switch* tersebut, panjang elemen peradiasi *communicating antenna* akan berubah – ubah sehingga menyebabkan frekuensi resonansi antena juga berubah. *Communicating antenna* pada [5] memiliki enam frekuensi kerja berbeda yang berada pada rentang frekuensi 4 GHz hingga 8 GHz.

Rancang bangun antena yang dibuat pada skripsi ini akan mengadaptasi konsep antena pada [5] dengan memberikan perubahan pada bentuk elemen peradiasi. Berbagai perubahan bentuk dan ukuran dilakukan untuk mendapatkan frekuensi bawah *impedance bandwidth sensing antenna* yang lebih rendah dari frekuensi 3 GHz dan juga untuk mendapatkan frekuensi kerja yang berbeda untuk *communicating antenna*. Frekuensi kerja yang diharapkan untuk *communicating antenna* adalah 2,35 GHz pada kondisi *switch OFF* dan 1,8 GHz pada kondisi *switch ON*.

## 1.2 Perumusan Masalah

Sistem komunikasi *cognitive radio* yang dapat melakukan pemindaian spektrum frekuensi dan kemudian melakukan komunikasi pada frekuensi yang tidak terpakai membutuhkan perangkat antena yang menunjang kinerja sistem. Antena yang digunakan pada sistem ini harus memiliki karakteristik *wideband* agar dapat melakukan pemindaian spektrum frekuensi dan dapat direkonfigurasi sehingga dapat melakukan komunikasi pada spektrum yang tersedia.

## 1.3 Tujuan

Tujuan dari skripsi ini adalah membuat rancang bangun antena untuk aplikasi *cognitive radio*. Antena yang dibuat adalah *microstrip printed monopole* dengan *partial ground* yang menggunakan teknik pencatutan *microstrip feed line*. *Sensing antenna* dan *frequency reconfigurable communicating antenna* akan ditempatkan pada satu substrat yang sama. Rancang bangun antena akan disimulasikan dengan menggunakan perangkat lunak Ansoft HFSS versi 11.1.1. Sedangkan pengukuran parameter antena akan dilakukan di dalam *anechoic chamber* (ruang anti gema).

## 1.4 Batasan Masalah

Topik pada skripsi ini dibatasi dengan membuat simulasi rancang bangun antena yang memiliki spesifikasi sebagai berikut. Sistem antena yang dibuat terdiri dari dua antena yang ditempatkan pada satu substrat. *Sensing antenna* memiliki *impedance bandwidth* 2 GHz (1 GHz – 3 GHz) pada  $VSWR \leq 1,9$  atau  $RL \leq -10$  dB. Sedangkan *reconfigurable communicating antenna* memiliki dua frekuensi resonansi di 1,8 GHz dan 2,35 GHz, masing – masing memiliki *impedance bandwidth* 200 MHz pada  $VSWR \leq 1,9$  atau  $RL \leq -10$  dB.

Rancang bangun antena kemudian akan difabrikasi. Prototip antena akan diukur untuk mengetahui parameter kinerja antenanya. Parameter antena yang akan diukur meliputi parameter  $S_{11}$  (*return loss*, *VSWR*, dan *input impedance*),  $S_{12}$  (*isolation between port*), dan pola radiasi.

## 1.5 Metode Penelitian

Metode yang digunakan pada penelitian dan penulisan skripsi ini adalah:

### a. Studi Kepustakaan

Penelitian dan penulisan dilakukan berdasarkan pada bahan literatur dan jurnal – jurnal penelitian yang telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya.

### b. Simulasi Perangkat Lunak

Menggunakan perangkat lunak khusus untuk mensimulasikan rancangan antenna, dan melihat parameter antenna berdasarkan hasil simulasi.

### c. Pengukuran Antena

Pengukuran prototip antenna dilakukan untuk melihat parameter antenna sesungguhnya, dan kemudian dapat dibandingkan dengan hasil simulasi.

## 1.6 Sistematika Penulisan

Pembahasan topik skripsi ini akan dibagi ke dalam enam bab sebagai berikut.

### BAB 1 PENDAHULUAN

Bab ini memberikan gambaran umum mengenai topik penelitian yang diangkat. Terdiri didalamnya latar belakang masalah, perumusan masalah, tujuan, batasan masalah, metode penulisan, dan sistematika penulisan.

### BAB 2 *COGNITIVE RADIO* DAN ANTENA *PRINTED MONOPOLE*

Bab 2 berisi penjelasan tentang teknologi *cognitive radio*, antenna dan parameter – parameter antenna, dan juga menjelaskan lebih khusus tentang antenna mikrostrip dan teknik pencatuannya. Antena *printed monopole* merupakan hasil modifikasi antenna mikrostrip yang memiliki *bandwidth* yang lebar.

### BAB 3 METODOLOGI PERANCANGAN ANTENA

Bab 3 berisi tentang alur dan proses perancangan antenna, termasuk perhitungan dimensi saluran pencatu dan elemen peradiasi.

## BAB 4 SIMULASI DAN KARAKTERISASI ANTENA

Bab 4 berisi hasil simulasi awal dan karakterisasi rancangan antena sehingga didapatkan rancangan antena yang memiliki performa yang paling optimal.

## BAB 5 HASIL PENGUKURAN DAN ANALISIS

Bab 5 berisi hasil pengukuran parameter prototip antena. Hasil pengukuran tersebut kemudian dibandingkan dengan hasil simulasi.

## BAB 6 KESIMPULAN

Bab 6 ini berisi kesimpulan dari seluruh proses penelitian rancang bangun antena untuk aplikasi *cognitive radio* ini.



## BAB 2

### *COGNITIVE RADIO DAN ANTENA PRINTED MONOPOLE*

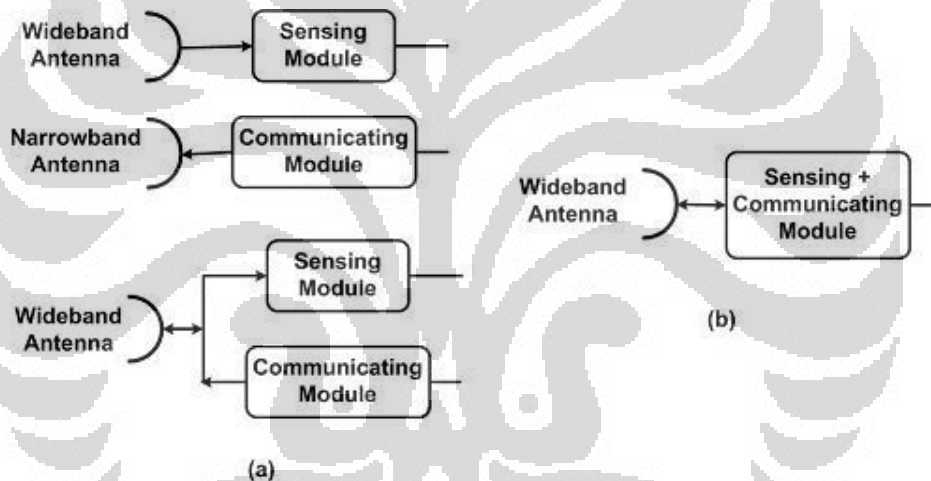
#### **2.1 Cognitive Radio (CR)**

Menurut *Federal Communication Commission* (FCC), *cognitive radio* merupakan radio yang dapat mengubah parameter komunikasi pengiriman (*transmitting*) berdasarkan keadaan tempat pengoperasiannya [10]. Sedangkan menurut IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineer*), *cognitive radio* merupakan jenis radio dimana sistem komunikasinya dapat mengenali lingkungan dan kemampuan dirinya dan dapat menentukan keputusan mengenai bagaimana sistem beroperasi berdasarkan informasi dan parameter – parameter yang telah ditentukan sebelumnya [11]. Sehingga berdasarkan deskripsi dari IEEE dan FCC tersebut, antena yang digunakan pada sistem *cognitive radio* harus dapat mengenali lingkungan sekitarnya dan dapat melakukan fungsi komunikasi sesuai keputusan sistem yang berdasarkan pada hasil observasi yang telah dilakukan sebelumnya.

Sistem *cognitive radio* menggunakan dua antena yang fungsinya berbeda satu sama lain [2][5-9][12]. Pertama, *sensing antenna* yang digunakan untuk observasi spektrum frekuensi. Antena ini memiliki karakteristik utama *bandwidth* yang sangat lebar (*wideband*) dan pola radiasi *omnidirectional* sehingga dapat memindai semua spektrum frekuensi yang ada pada lokasi tersebut [12]. Sedangkan antena kedua adalah *communicating antenna* yang digunakan untuk berkomunikasi pada alokasi frekuensi tertentu berdasarkan keputusan yang ditentukan oleh SDR. Berbeda dengan *sensing antenna*, *communicating antenna* ini memiliki *bandwidth* yang lebih sempit (*narrowband*) dan memiliki pola radiasi terarah. Struktur *communicating antenna* harus dapat direkonfigurasi sehingga memiliki beberapa frekuensi resonansi berbeda [12].

Terdapat dua kategori sistem antena yang dapat diterapkan pada sistem *cognitive radio*, yaitu kategori A dan B [2][12]. Konfigurasi sistem antena kategori A terdiri dari modul *spectrum sensing* dan *communicating* yang terpisah dan bekerja secara paralel. Kategori ini terbagi menjadi dua tipe. Pada tipe

pertama, *sensing antenna* dan *communicating antenna* merupakan dua antena yang berbeda dan terpisah. Sedangkan pada tipe kedua, *sensing antenna* dan *communicating antenna* yang merupakan satu antena *wideband* yang sama. Perbedaan antara kedua tipe tersebut adalah pada tipe pertama fungsi *sensing* dan *communicating* dilakukan oleh dua antena yang berbeda dan antena yang dapat direkonfigurasi adalah *communicating antenna* saja. Sedangkan pada tipe kedua fungsi *sensing* dan *communicating* berada pada satu antena *wideband*, sehingga antena tersebut harus dapat direkonfigurasi menjadi *sensing antenna* dan *communicating antenna* secara bergantian, dan juga dapat merekonfigurasi *communicating antenna*.



Gambar 2.1 Arsitektur Sistem *Cognitive Radio* (a) Kategori A; (b) Kategori B [12].

Sedangkan pada kategori B, pelaksanaan fungsi pemindaian spektrum dan komunikasi dilakukan oleh satu modul sehingga perbedaan pelaksanaan kedua fungsi tersebut ditentukan oleh batas ambang (*threshold*) dari *link quality*. Terdapat dua batas ambang yang digunakan dimana masing – masing batas telah ditentukan sedemikian rupa untuk menentukan apakah sistem melakukan pemindaian atau melakukan komunikasi. Seperti yang terlihat pada Gambar 2.1, antena yang digunakan pada kategori B ini menggunakan satu antena *wideband* sebagai *sensing antenna* dan *communicating antenna* sehingga antena harus dapat direkonfigurasi menjadi *sensing antenna* dan *communicating antenna* secara



bergantian dan juga harus dapat merekonfigurasi karakteristik komunikasi *communicating antenna*.

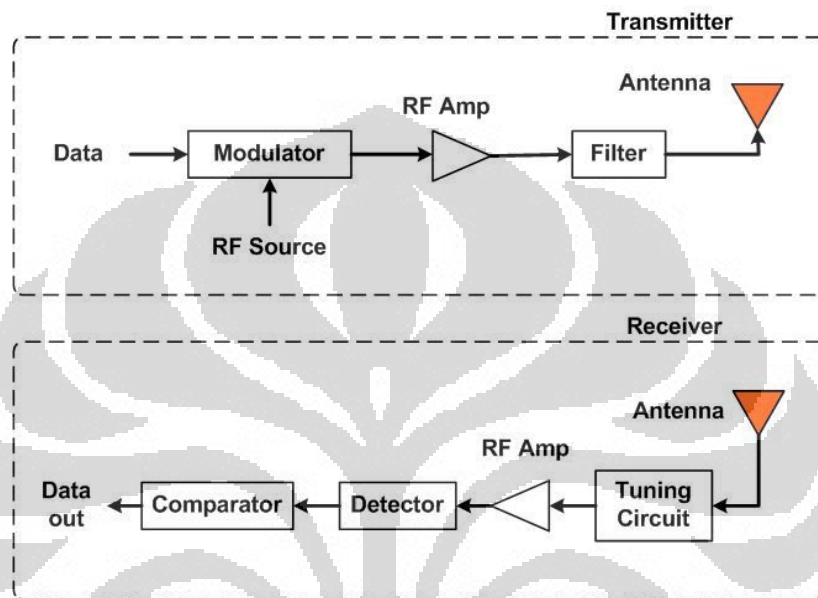
Antena yang dipakai pada sistem *cognitive radio* merupakan antena yang dapat direkonfigurasi. Kemampuan rekonfigurasi ini berkaitan dengan kemampuan sistem untuk mengubah parameter kinerja antena yang meliputi parameter frekuensi resonansi, *bandwidth*, pola radiasi, polarisasi, dan parameter – parameter lainnya. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk merekonfigurasi parameter antena adalah mengubah struktur antena dengan memberikan *switch* pada struktur antena [5-9][12]. Perubahan struktur antena tentu akan mengubah frekuensi resonansinya yang juga dapat merubah parameter kerja antena lainnya. *Switch* yang dipakai dapat berupa rangkaian elektronika eksternal, misalnya dioda PIN, GaAs FETs, MEMS, atau untuk simulasi sederhana dapat menggunakan plat konduktor sebagai komponen *switching* [12].

Rancang bangun antena untuk aplikasi *cognitive radio* yang dibuat pada skripsi ini merupakan antena yang dirancang untuk sistem kategori A, dimana fungsi pemindaian spektrum dan komunikasi berada pada dua antena yang berbeda. *Sensing antenna* akan memiliki karakteristik *wideband* dengan pola radiasi *omnidirectional*. Sedangkan *communicating antenna* dibuat dengan memberikan *switch* pada struktur antena sehingga dapat merekonfigurasi frekuensi kerja pada frekuensi 2,35 GHz dan 1,8 GHz. Struktur kedua antena, *sensing* dan *communicating*, tersebut akan berbeda dan terpisah namun tetap berada pada satu media substrat yang sama.

## 2.2 Antena

Berdasarkan *IEEE Standard Definitions of Term for Antennas* (IEEE Std 145-1983), antena didefinisikan sebagai sesuatu untuk meradiasikan atau menerima gelombang radio [13]. Pada sistem komunikasi nirkabel, antena merupakan terminal akhir pada sisi *transmitter* (pengirim) sebagai perangkat yang berfungsi meradiasikan sinyal informasi dari *transmitter* dalam bentuk gelombang RF (*Radio Frequency*) dan merupakan terminal pertama pada sisi penerima (*receiver*) yang menerima gelombang RF yang membawa sinyal informasi.

Gelombang RF tersebut diradiasikan oleh antena sehingga informasi berpropagasi melalui media udara. Dengan demikian antena tidak akan ditemukan pada sistem komunikasi kabel dimana pengiriman sinyal informasi tidak melalui propagasi udara.



Gambar 2.2 Blok Diagram *Transmitter* dan *Receiver*.

### 2.2.1 Parameter Antena

Antena memiliki beberapa parameter yang menentukan performansi kerja dari antena tersebut. Parameter – parameter tersebut meliputi *input impedance*, *VSWR*, *return loss*, *bandwidth*, dan pola radiasi.

#### 2.2.1.1 Impedansi Masukan (*Input Impedance*)

Sebagai sebuah struktur yang terbuat dari bahan tertentu, elemen peradiasi antena tentu saja memiliki nilai hambatan dan dapat dianggap sebagai beban (*load*) pada sistem. Nilai hambatan antena juga disebut sebagai impedansi masukan yang merupakan perbandingan antara besar tegangan terhadap arus pada terminal sambungan antara antena dengan saluran transmisi [13]. Impedansi masukan antena dirumuskan secara matematis sebagai berikut.

$$Z_A = R_A + jX_A \quad (2.1)$$

dimana  $Z_A$  adalah impedansi antena,  $R_A$  adalah resistansi antena, dan  $X_A$  merupakan reaktansi antena.

Resistansi antena terdiri dari dua komponen, yaitu resistansi radiasi ( $R_r$ ) dan resistansi karena rugi-rugi ( $R_L$ ). Resistansi radiasi adalah resistansi yang digunakan untuk meradiasikan gelombang elektromagnetik, sedangkan resistansi rugi – rugi merupakan resistansi yang menyebabkan hilangnya daya dalam bentuk energi panas. Desain antena yang baik memiliki nilai resistansi radiasi yang tinggi dan resistansi rugi – rugi yang rendah. Nilai resistansi antena merupakan penggabungan nilai resistansi radiasi dan resistansi rugi – rugi.

$$R_A = R_r + R_L \quad (2.2)$$

Pada praktisnya, nilai impedansi antena harus dibuat sedemikian rupa agar bernilai sama dengan nilai impedansi saluran transmisi. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan kondisi *matching* sehingga gelombang yang ditransmisikan dari saluran transmisi ke antena dapat diteruskan seluruhnya dan tidak ada gelombang yang dipantulkan kembali. Jika nilai impedansi antena tidak sama dengan impedansi karakteristik saluran transmisi, *matching circuit* (rangkaiannya pembuat *matching*) harus diberikan untuk menghubungkan dua struktur yang memiliki nilai impedansi yang berbeda.

#### 2.2.1.2 Voltage Standing Wave Ratio (VSWR)

Gelombang datang dari medium tertentu dan merambat menuju medium yang berbeda kerapatannya dapat diteruskan seluruhnya, diteruskan sebagian, atau juga dapat dipantulkan kembali. Hal yang sama juga terjadi jika gelombang merambat dari satu struktur menuju struktur lainnya yang masing-masing memiliki nilai impedansi tertentu. Jika medium atau nilai impedansi tidak sama, maka gelombang datang, baik sebagian atau seluruhnya, akan dipantulkan kembali. Perbandingan antara gelombang yang dipantulkan kembali terhadap gelombang datang disebut juga sebagai koefisien refleksi. Dalam hal ini gelombang yang dimaksud adalah gelombang tegangan, sehingga koefisien

refleksi didapatkan dari perbandingan tegangan yang dipantulkan ( $V_o^-$ ) terhadap tegangan yang diberikan ( $V_o^+$ ).

$$\Gamma = \frac{V_o^-}{V_o^+} = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} \quad (2.3)$$

Dimana:

$V_o^-$  = tegangan pantul [V]

$V_o^+$  = tegangan datang [V]

$Z_L$  = impedansi beban [Ohm]

$Z_0$  = impedansi karakteristik saluran [Ohm]

Koefisien refleksi tegangan ( $\Gamma$ ) dapat direpresentasikan dalam bentuk bilangan kompleks yang terdiri dari komponen riil dan imajiner. Bilangan ini menunjukkan bahwa koefisien refleksi memiliki magnitudo dan fasa. Terdapat tiga kondisi koefisien refleksi ketika komponen imajiner bernilai nol.

- $\Gamma = 0$ , merupakan saluran transmisi dan beban dalam kondisi *matching*, yaitu tidak ada gelombang yang dipantulkan dan seluruhnya diteruskan ke beban.
- $\Gamma = +1$ , koefisien refleksi positif maksimum ketika nilai impedansi beban menuju tak terhingga ( $\infty$ ) atau dengan kata lain saluran transmisi berada pada kondisi *open circuit* sehingga seluruh gelombang datang akan dipantulkan kembali.
- $\Gamma = -1$ , koefisien refleksi negatif minimum ketika nilai impedansi beban nol (0) atau saluran transmisi berada pada kondisi *short circuit* dimana pada kondisi ini seluruh gelombang akan terus dialirkan pada saluran transmisi.

Superposisi antara gelombang datang dengan gelombang pantul akan menghasilkan gelombang berdiri [14]. SWR (*Standing Wave Ratio*) merupakan perbandingan antara amplitudo maksimum dan amplitudo minimum gelombang

berdiri tersebut. Pada gelombang tegangan, perbandingan amplitudo tersebut akan disebut sebagai VSWR (*Voltage Standing Wave Ratio*).

$$VSWR = \frac{V_{\max}}{V_{\min}} = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \quad (2.4)$$

Rentang nilai VSWR berada diantara 1 hingga  $\infty$ , dimana kondisi yang paling baik adalah VSWR = 1. Pada VSWR = 1, saluran berada pada kondisi *matching* sempurna sehingga tidak ada tegangan yang dipantulkan kembali. Frekuensi resonansi antenna dilihat dari frekuensi yang memiliki nilai VSWR paling minimal.

#### 2.2.1.3 Return Loss (RL)

Jika nilai impedansi beban tidak sama dengan impedansi karakteristik saluran transmisi, maka hal tersebut akan menyebabkan saluran transmisi tidak *matching*. Kondisi ini menyebabkan tidak semua daya dari sumber (*generator*) diterima oleh beban, ada daya yang dikembalikan. Daya yang dikembalikan ini disebut sebagai *Return Loss* [15]. Daya ini dinyatakan dalam satuan dB (desibel). Nilai *return loss* dapat ditentukan berdasarkan persamaan berikut [15].

$$\text{Return Loss} = -20 \log_{10} |\Gamma| = -20 \log_{10} \left( \frac{VSWR - 1}{VSWR + 1} \right) \quad (2.5)$$

Nilai RL memiliki hubungan logaritmik basis 10 dengan nilai VSWR. Rentang nilai RL adalah dari  $-\infty$  hingga 0 dB, dimana kondisi yang paling baik adalah nilai RL sekecil – kecilnya. Sama seperti VSWR, nilai *return loss* juga dapat digunakan untuk menentukan frekuensi resonansi antenna, dimana resonansi yang paling baik terjadi pada frekuensi dengan nilai RL yang paling rendah.

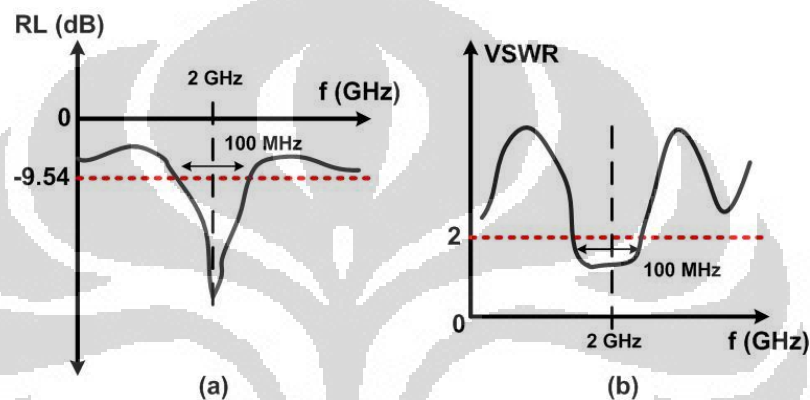
#### 2.2.1.4 Bandwidth

*Bandwidth* sebuah antenna dapat didefinisikan sebagai rentang frekuensi dimana performa antenna sesuai dengan standar yang ditetapkan [13]. Besarnya *bandwidth* ini ditentukan oleh parameter kerja antenna lainnya, seperti impedansi masukan, VSWR, *return loss*, pola radiasi, *beamwidth*, *gain*, dan polarisasi. Oleh

karena itu, terdapat dua jenis *bandwidth* yang dibedakan berdasarkan parameter standar penentunya, yaitu *pattern bandwidth* dan *impedance bandwidth*.

a. *Pattern bandwidth*

*Bandwidth* ini ditentukan dari *gain*, *beamwidth*, *beam direction*, polarisasi, dan *side lobe level* antenna. Sehingga secara umum *pattern bandwidth* sangat ditentukan dari parameter yang berhubungan dengan efek radiasi antenna.



Gambar 2.3 *Impedance Bandwidth* Berdasarkan Standar (a) *Return Loss*  $\leq -9,54$  dB, (b) *VSWR*  $\leq 2$ .

b. *Impedance bandwidth*

Rentang frekuensi ini dihitung berdasarkan parameter impedansi masukan, standar *VSWR*, dan *return loss* yang telah ditentukan. Gambar 2.3 menunjukkan penentuan *bandwidth* pada frekuensi resonansi 2 GHz dengan standar  $RL \leq -9,54$  dB dan  $VSWR \leq 2$ . Gambar tersebut menunjukkan *bandwidth* pada frekuensi kerja 2 GHz adalah sebesar 100 MHz.

*Bandwidth* dapat dinotasikan dalam bentuk perbandingan antara frekuensi atas dan frekuensi bawah, misalnya *bandwidth* 5:1 yang berarti frekuensi atas adalah lima kali frekuensi bawah [13]. Atau dapat juga dinotasikan dalam bentuk persentase seperti ditunjukkan oleh persamaan 2.6.

$$BW = \frac{f_h - f_l}{f_c} \times 100\% \quad (2.6)$$

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

Dimana:

$f_h$  = frekuensi tertinggi dalam *band* [x-Hz]

$f_l$  = frekuensi terendah dalam *band* [x-Hz]

$f_c$  = frekuensi tengah dalam *band* [x-Hz]

### 2.2.1.5 Pola Radiasi

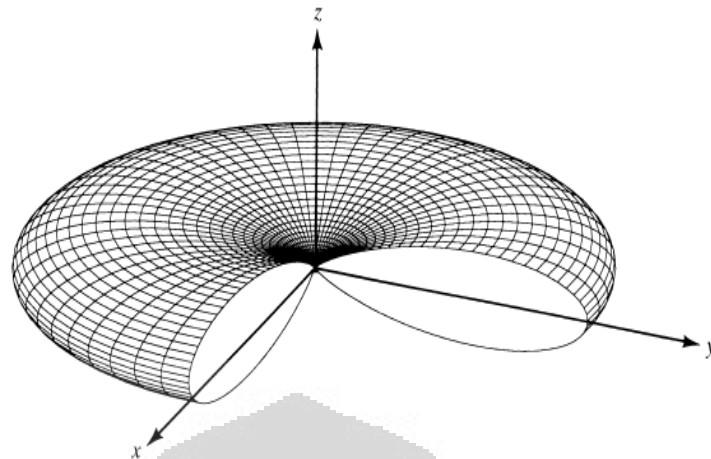
Antena merupakan perangkat pada sistem komunikasi yang meradiasikan sinyal informasi dalam bentuk sinyal elektromagnetik. Sinyal diradiasikan agar dapat berpropagasi ke tujuan yang berada pada jarak tertentu dari pengirim. Radiasi merupakan hasil perubahan arus terhadap waktu atau akselerasi (atau deselerasi) muatan [13]. Radiasi yang dihasilkan antena akan memiliki pola tertentu dan pola ini akan berbeda untuk jenis antena yang berbeda. Pola radiasi dapat didefinisikan sebagai fungsi matematis maupun representasi grafis fenomena radiasi antena yang merupakan fungsi dari koordinat ruang [13]. Terdapat tiga tipe pola radiasi antena, yaitu isotropik, *directional*, dan *omnidirectional* [13].

#### a. Isotropik

Pola isotropik dihasilkan oleh antena yang tidak memiliki rugi-rugi sehingga besar radiasinya sama di semua arah. Pola ini merupakan pola radiasi ideal yang sulit direalisasikan sehingga pola ini sering dijadikan sebagai referensi untuk melihat pola radiasi antena lainnya.

#### b. *Directional* (terarah)

Antena yang memiliki pola radiasi ini akan meradiasikan dan dapat menerima gelombang elektromagnetik lebih efektif pada arah tertentu saja dibandingkan pada arah lainnya. Pola radiasi ini berkaitan erat dengan keterarahan dan penguatan yang lebih dominan pada arah tertentu. Pola ini dapat ditemukan pada antena *horn* dan yagi uda.



Gambar 2.4 Pola Radiasi *Omnidirectional* [13].

### c. *Omnidirectional*

Pola radiasi ini dibentuk dengan penggabungan pola dari dua bidang yang saling orthogonal dimana pola pada salah satu bidang tidak terarah sedangkan pola pada bidang lainnya merupakan pola terarah. Gambar 2.4 menunjukkan bahwa pola radiasi *omnidirectional* berbentuk pola seperti donat.

## 2.2.2 Propagasi Gelombang

Berikut ini adalah dua hal yang berkaitan erat dengan mekanisme propagasi gelombang yang diradiasikan antenna. Keduanya harus diperhitungkan untuk mengetahui kondisi pengukuran yang tepat agar didapatkan hasil pengukuran yang valid. Bahkan lebih dari itu, kedua kondisi propagasi gelombang berikut ini sangat krusial pada proses perancangan dan instalasi jalur *microwave point – to – point*.

### 2.2.2.1 Daerah Medan Radiasi Antena

Daerah medan radiasi antenna terbagi menjadi tiga daerah [13]. Pada masing – masing daerah ini karakteristik distribusi medan akan berbeda. Perbedaan karakteristik distribusi medan pada masing – masing daerah terletak pada fungsi distribusi medan terhadap jarak.



a. *Reactive Near – Field Region*

Daerah ini merupakan daerah yang paling dekat dengan antenna, dimana medan reaktif paling mendominasi dibandingkan dengan medan radiasi. Distribusi medan merupakan fungsi terhadap jarak  $1/r^3$ . Sehingga setiap penambahan jarak  $1/r^3$  distribusi medan akan bervariasi [16]. Oleh karena itu medan radiasi antenna pada daerah ini belum stabil dan daerah ini tidak dapat digunakan sebagai daerah propagasi antenna untuk transmisi.

b. *Radiating Near – Field Region*

Daerah ini merupakan daerah transisi antara daerah *reactive near – field* dan daerah *far – field*. Batas daerah ini dimulai dari jarak  $R_1$  dari antenna sampai pada batas *far – field*.

$$R_1 = 0,62 \times \sqrt{\frac{D^3}{\lambda}} \quad (2.8)$$

Daerah ini didominasi oleh medan radiasi dan distribusi medan angular sangat tergantung pada jarak  $1/r^2$ . Kekuatan medan memang tidak secara signifikan berkurang dengan bertambahnya jarak, namun medan pada daerah ini akan memiliki karakter osilator (bolak – balik) sehingga daerah transisi ini belum dapat digunakan untuk menghitung *gain* antenna [16].

c. *Far – Field Region*

*Far – field region* merupakan daerah dimana pola radiasi antenna tidak bergantung pada jarak. Medan radiasi pada daerah ini sudah stabil, sehingga pengukuran parameter antenna seperti pola radiasi dan *gain* dilakukan pada daerah ini. Daerah *far – field* antenna dimulai pada jarak  $R_2$ .

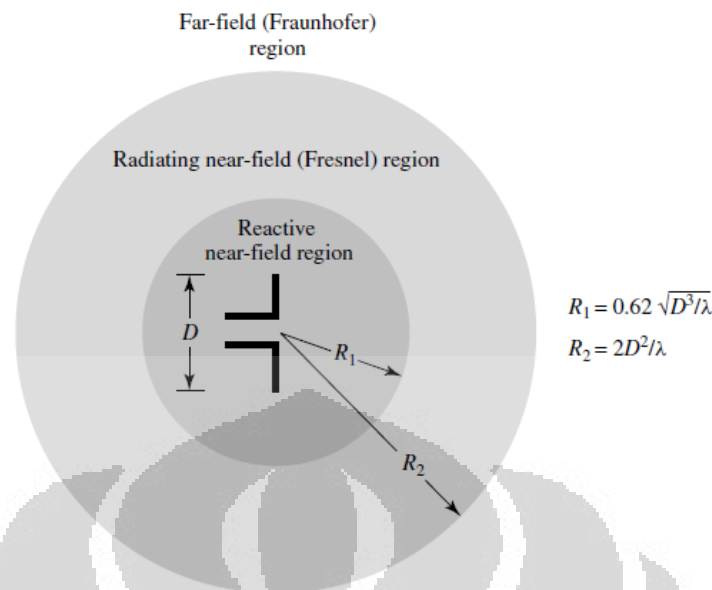
Pada praktiknya, agar propagasi gelombang dari antenna pengirim menuju antenna penerima berhasil, jarak antara pengirim dan penerima harus memenuhi jarak *far – field* ini.

$$R_2 = \frac{2D^2}{\lambda} \quad (2.9)$$

Dimana:

$D$  = dimensi linier terbesar dari antenna [m]

$\lambda$  = panjang gelombang [m]



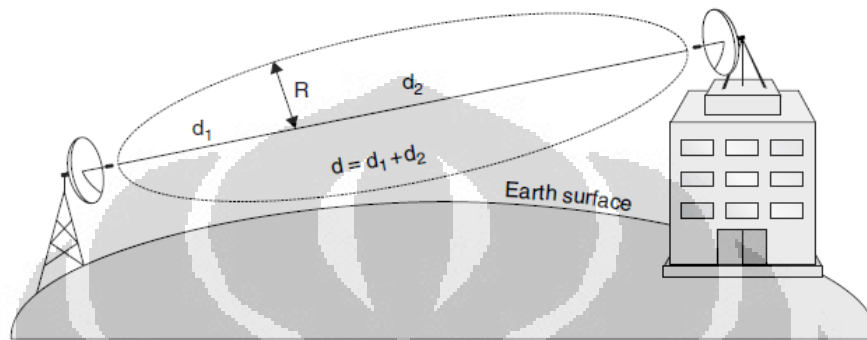
Gambar 2.5 Daerah Medan Radiasi Antena [13].

#### 2.2.2.2 Daerah Fresnel

Seorang ilmuwan fisika dari Perancis bernama Austin Fresnel menemukan bahwa ketika cahaya merambat dan melewati jalur yang berdekatan dengan benda padat, maka cahaya tersebut dapat dibelokkan atau mengalami difraksi (penyebaran). Difraksi yang terjadi dapat menyebabkan intensitas cahaya datang berkurang atau meningkat. Dan karena cahaya dan gelombang radio memiliki kesamaan sifat berdasarkan hukum fisika, maka karakteristik cahaya tersebut juga berlaku pada radiasi elektromagnetik gelombang radio. Jika terdapat objek berupa pohon atau bangunan pada jalur sinyal radio, maka objek-objek tersebut akan mempengaruhi kualitas dan kekuatan sinyal ketika diterima. Hal ini dapat terjadi bahkan ketika objek tersebut tidak secara visual menghalangi jalur sinyal radio. Fenomena ini dikenal dengan Efek Fresnel [16].

Untuk menghindari terjadinya degradasi kualitas dan kekuatan sinyal, jalur sinyal radio antara pengirim dan penerima harus dibuat LOS (*Line of Sight*), yaitu kondisi dimana pada jalur sinyal tidak terdapat objek yang menghalangi. Kondisi LOS sendiri terdiri dari dua kategori, yaitu visual LOS dan radio LOS. Visual LOS adalah ketika jalur secara visual (penglihatan mata manusia) bebas

dari objek penghalang. Namun walaupun telah memenuhi visual LOS, Efek Fresnel masih dapat terjadi. Hal tersebut dikarenakan jalur propagasi belum memenuhi syarat radio LOS. Kondisi radio LOS akan terpenuhi jika daerah Fresnel pertama (*First Fresnel Zone*) bebas dari objek penghalang [16].



Gambar 2.6 Daerah Fresnel [16].

Daerah Fresnel merupakan daerah propagasi sinyal yang muncul karena sinyal berpropagasi pada ketinggian tertentu dengan kerapatan udara yang heterogen. Kerapatan udara berbanding terbalik dengan ketinggian, sehingga pada posisi yang semakin tinggi, kerapatan udara akan semakin rendah. Kondisi udara yang heterogen ini menyebabkan sinyal elektromagnet yang berpropagasi akan terefraksi karena adanya perbedaan kerapatan udara sehingga sinyal yang dikirimkan dari pengirim ke penerima akan membentuk pola *ellipsoid* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.6. Daerah propagasi yang berbentuk *ellipsoid* itulah yang disebut sebagai Daerah Fresnel.

Agar jalur propagasi LOS, maka daerah Fresnel harus bebas dari objek penghalang, hal ini dapat dilakukan dengan mengetahui radius daerah Fresnel tersebut sehingga ketinggian penempatan antenna dapat ditentukan. Persamaan 2.10 berikut ini dapat digunakan untuk mencari radius daerah Fresnel pertama. Dengan mengetahui radius ini, maka ketinggian antenna dapat dihitung terhadap ketinggian objek penghalang dan atau permukaan bumi sehingga jalur propagasi LOS.

$$F_1 = 17,3 \times \sqrt{\frac{d_1 d_2}{f(d_1 + d_2)}} \quad (2.10)$$

Dimana:

$F_1$  = radius daerah Fresnel pertama [m]

$d$  = jarak antara antenna ( $d_1 + d_2$ ) [km]

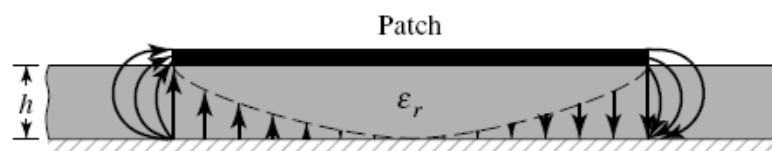
$f$  = frekuensi [GHz]

### 2.3 Antena Mikrostrip (MSA)

*Microstrip Antenna* (MSA) merupakan salah satu jenis antena yang memiliki kelebihan diantara jenis antena lainnya dalam hal dimensi dan ruang serta mudah proses pembuatannya. Konsep antena ini mulai diperhitungkan untuk digunakan pada tahun 1970-an, walaupun konsepnya sendiri sudah mulai diteliti sejak tahun 1953 [13][17].

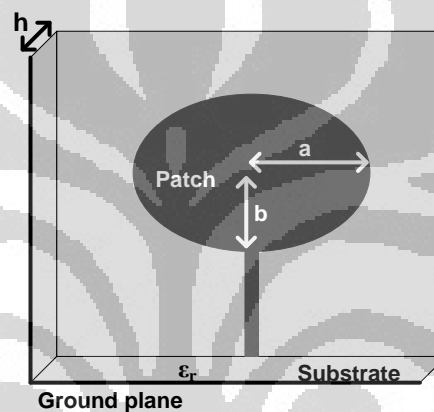
#### 2.3.1 Struktur dan Prinsip Kerja MSA

Pada bentuk yang paling sederhana, antena mikrostrip memiliki tiga bagian utama, yaitu elemen peradiasi (*radiating patch*), substrat berbahan dielektrik, dan elemen pentanahan (*ground*). Elemen peradiasi (bahan konduktor) dicetak pada salah satu sisi substrat dan elemen pentanahan dicetak pada sisi lainnya. Radiasi pada MSA terjadi oleh karena adanya *fringing field* antara tepi elemen peradiasi dengan elemen pentanahan [17].



Gambar 2.7 Distribusi Medan Listrik Antara *Radiating Patch* dengan *Ground* pada MSA [13].

*Fringing field* merupakan efek yang terjadi jika elemen peradiasi dicatu dengan tegangan tertentu relatif terhadap pentanahan. Beda tegangan antara *radiating patch* dengan pentanahan akan membangkitkan medan listrik dari elemen peradiasi menuju pentanahan. Namun karena ukuran elemen peradiasi selalu lebih kecil dari elemen pentanahan maka pada tepi elemen peradiasi akan ditemukan intensitas medan yang lebih banyak sehingga seolah – olah elemen peradiasi terlihat lebih besar secara elektris dibandingkan secara fisik, seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2.7.



Gambar 2.8 Konfigurasi Struktur MSA Bentuk *Patch Ellipsoid* dengan Pencatuan Menggunakan *Microstrip Line* [13].

Oleh karena radiasi pada MSA disebabkan oleh adanya *fringing fields*, maka metode untuk meningkatkan radiasi yang dihasilkan MSA dapat dilakukan dengan memperbesar *fringing field* yang terjadi. Meningkatkan *fringing field* pada MSA dapat dilakukan dengan menggunakan substrat yang memiliki konstanta dielektrik ( $\epsilon_r$ ) yang rendah dan atau mempertebal ketebalan substrat yang digunakan. Sedangkan pada MSA dengan bentuk *patch* elips seperti konfigurasi pada Gambar 2.8, selain memperkecil  $\epsilon_r$  dan mempertebal substrat, *fringing field* dapat ditingkatkan dengan memperbesar dimensi  $a$  dan  $b$ .

### 2.3.2 Keunggulan dan Keterbatasan MSA

MSA memiliki karakter unik yang berbeda dengan jenis antenna lainnya. Hal ini dapat dilihat dari sifat dominan yang menjadikannya lebih baik, namun juga memiliki keterbatasan dibandingkan antenna lainnya [17-18].

Keunggulan MSA:

- Ringan, kecil, dan konfigurasi planar sehingga dapat digunakan untuk berbagai aplikasi.
- Proses fabrikasinya mudah dan murah sehingga cocok untuk produksi dalam jumlah besar.
- Mudah diintegrasikan dengan *microwave integrated circuits* (MIC) pada satu bidang substrat yang sama.
- Mudah untuk mendapatkan polarisasi linier maupun melingkar dengan menggunakan sistem pencatuan yang sederhana.
- Dapat dibuat untuk memiliki dual frekuensi bahkan multi frekuensi, serta dapat dibuat agar memiliki dual polarisasi.
- Saluran pencatuan dan rangkaian pembuat *matching* dapat disertakan pada struktur antenna sehingga memudahkan proses fabrikasi.

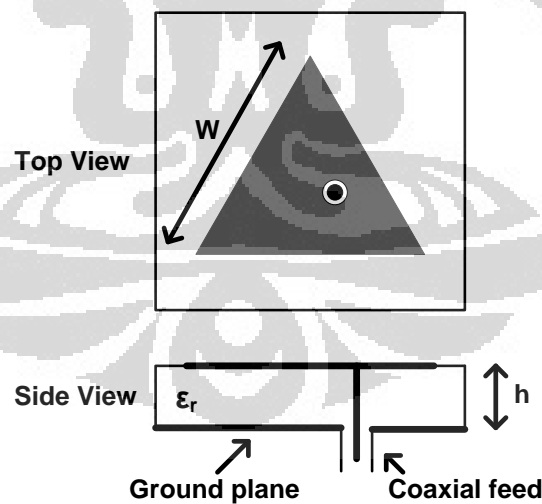
Keterbatasan MSA meliputi beberapa hal berikut ini.

- *Bandwidth* yang dihasilkan sempit, hal ini merupakan karakteristik MSA yang sangat membatasi penggunaan MSA pada berbagai aplikasi, terutama pada aplikasi yang membutuhkan *bandwidth* yang besar.
- Polarisasinya dapat tercampur dengan jenis polarisasi lain (linier dan melingkar).
- Kebanyakan MSA hanya meradiasikan ke arah tertentu saja (pola radiasi *directional*).
- Adanya radiasi tambahan dari sistem saluran pencatuan.
- Tingkat *cross – polarization* yang tinggi.
- Adanya gelombang permukaan (*surface waves*).
- Semakin tinggi konstanta dielektrik dari bahan substrat yang digunakan, efisiensinya semakin rendah dan *bandwidth* semakin sempit.

## 2.4 Teknik Pencatuan MSA

Pencatuan *radiating patch* pada MSA dapat dilakukan secara langsung maupun tidak langsung [17]. Pencatuan secara langsung merupakan teknik pencatuan dimana *radiating patch* dengan saluran transmisi terhubung langsung melalui bahan konduktor. Sedangkan pada teknik pencatuan tidak langsung, tidak ada struktur konduktor yang menghubungkan saluran transmisi dengan *radiating patch*.

Selain teknik pencatuan dengan *aperture coupled* dan *electromagnetically coupled*, *co-planar waveguide* (CPW) juga merupakan teknik pencatuan secara tidak langsung. Pada pencatuan dengan CPW, bagian *ground plane* berada pada bidang yang sama dengan *radiating patch* seperti teknik pencatuan yang digunakan pada [2]. Teknik pencatuan ini pun dapat dikombinasikan dengan teknik *electromagnetically coupled* dan *aperture coupled*. Salah satu nilai tambah dari teknik pencatuan secara tidak langsung ini adalah dapat menghasilkan MSA dengan *bandwidth* yang lebar.

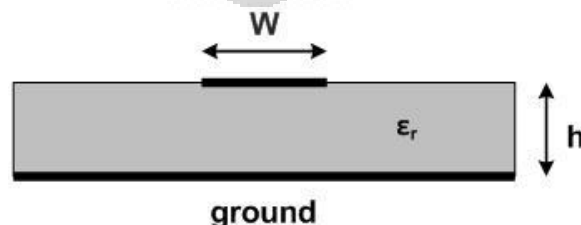


Gambar 2.9 Teknik Pencatuan MSA dengan Menggunakan *Coaxial Feed* Tampak Atas dan Tampak Samping [17].

Pencatuan secara langsung menggunakan struktur konduktor penghubung sehingga saluran transmisi dan *radiating patch* terhubung secara langsung. Teknik

pertama adalah menggunakan *coaxial feed*. Untuk menggunakan teknik pencatuan ini, MSA hanya terdiri dari elemen substrat, *radiating patch*, dan *ground plane*. *Ground plane* dan *radiating patch* akan dihubungkan dengan memasang konektor SMA yang menembus substrat. Pemasangan konektor SMA pada teknik pencatuan *coaxial feed* pada *rectangular MSA* dapat dilihat pada Gambar 2.9, dimana pada praktiknya ujung konduktor dari konektor SMA akan disolder pada *radiating patch*. Letak konektor SMA pada *radiating patch* akan menentukan level *matching* antara impedansi karakteristik saluran transmisi terhadap impedansi masukan MSA. Keterbatasan MSA karena penggunaan teknik pencatuan ini adalah konfigurasi MSA tidak lagi menjadi planar dan bahkan menjadi tidak simetris.

Teknik pencatuan secara langsung yang kedua adalah dengan menggunakan *microstrip line* yang menghubungkan saluran transmisi dengan *radiating patch*. Konfigurasi MSA yang menggunakan teknik pencatuan *microstrip line* dapat dilihat pada Gambar 2.8. Pada gambar tersebut struktur MSA terdiri dari elemen peradiasi, elemen pentanahan dan *microstrip line*. *Microstrip line* merupakan struktur saluran transmisi planar yang berupa *patch* di atas bahan substrat dengan bidang pentanahan pada sisi lain dari substrat tersebut. Gambar 2.10 menunjukkan struktur tampak samping saluran transmisi *microstrip line*. Bahan konduktor tipis dengan lebar  $W$  dicetak di atas substrat dielektrik dengan ketebalan  $h$  dan permitivitas relatif  $\epsilon_r$  [15]. Salah satu nilai tambah pencatuan dengan *microstrip line* adalah pencatuan ini berada pada satu bidang yang sama dengan *radiating patch*.



Gambar 2.10 Geometri Saluran Transmisi Mikrostrip [15].



Jika terdapat *microstrip line* dengan lebar  $W$  dan ketebalan substrat  $h$  yang diketahui, maka nilai impedansi karakteristik saluran transmisi tersebut dapat diketahui. Persamaan 2.11 digunakan untuk mencari nilai impedansi karakteristik dari *microstrip line*.

$$Z_0 = \begin{cases} \frac{60}{\sqrt{\epsilon_e}} \ln\left(\frac{8h}{W} + \frac{W}{4h}\right) & \text{for } W/h \leq 1 \\ \frac{120\pi}{\sqrt{\epsilon_e} [W/h + 1.393 + 0.667 \ln(W/h + 1.444)]} & \text{for } W/h \geq 1 \end{cases} \quad (2.11)$$

Dimana  $\epsilon_e$  merupakan permitivitas/ konstanta dielektrik efektif yang menjadi interpretasi dari sifat bahan yang heterogen antara bahan dielektrik dengan udara.

$$\epsilon_e = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \frac{1}{\sqrt{1 + 12h/W}} \quad (2.12)$$

Sedangkan jika ingin merancang saluran transmisi dengan nilai impedansi karakteristik  $Z_0$  yang telah ditentukan pada substrat dengan ketebalan  $h$ , maka persamaan 2.13 dan 2.14 merupakan persamaan matematis yang digunakan untuk menghitung lebar  $W$  *microstrip line* [14].

$$\frac{W}{h} = \begin{cases} \frac{8e^A}{e^{2A} - 2} & \text{for } W/h < 2 \\ \frac{2}{\pi} \left[ B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} \left\{ \ln(B - 1) + 0.39 - \frac{0.61}{\epsilon_r} \right\} \right] & \text{for } W/h > 2 \end{cases} \quad (2.13)$$

Dimana

$$A = \frac{Z_0}{60} \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1} \left( 0.23 + \frac{0.11}{\epsilon_r} \right)} \quad (2.14)$$

$$B = \frac{377\pi}{2Z_0\sqrt{\epsilon_r}}$$

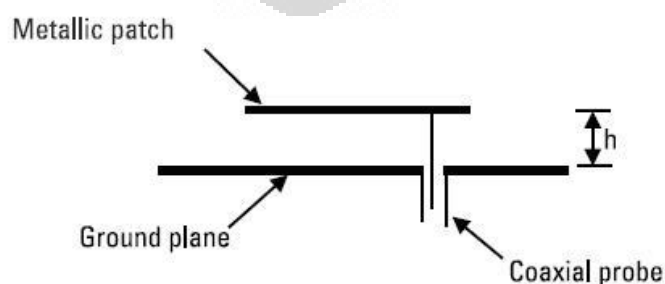
Kinerja *microstrip line* hanya ditentukan oleh lebar saluran ( $W$ ). Lebar  $W$  dari *microstrip line* sangat dipengaruhi oleh ketebalan substrat  $h$  dan nilai impedansi karakteristik saluran yang diharapkan. Sehingga menurut persamaan matematis di atas, panjang saluran *microstrip line* tidak mempengaruhi kinerja saluran transmisi tersebut.

## 2.5 Antena *Printed Monopole*

Antena *printed monopole* merupakan modifikasi dari MSA dimana strukturnya menyerupai antena *monopole* namun planar. Modifikasi ini merupakan salah satu cara agar MSA memiliki *bandwidth* yang lebar. Modifikasi ini diperlukan agar antena memiliki performa yang lebih baik dengan adanya keterbatasan pada teknik – teknik dasar memperlebar *bandwidth* MSA. Konfigurasi ini terutama digunakan untuk aplikasi UWB yang membutuhkan *bandwidth* yang lebar [21 – 31].

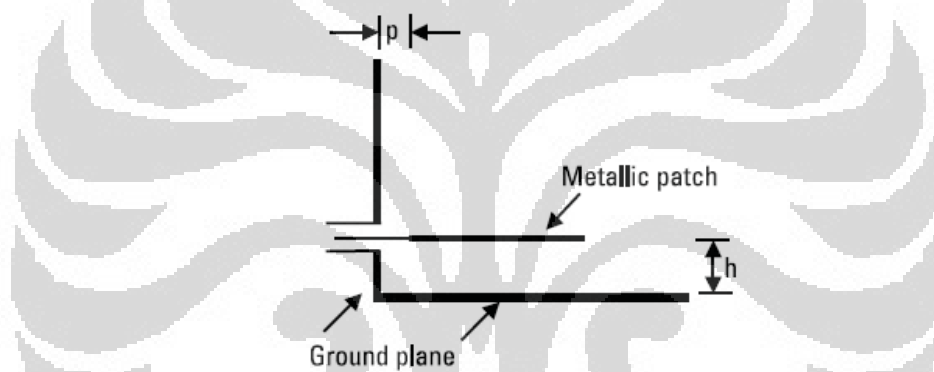
### 2.5.1 Struktur Antena *Printed Monopole*

Dengan menggunakan bahan substrat dengan konstanta dielektrik yang rendah dan bahan yang dibuat lebih tebal, *bandwidth* MSA dapat meningkat sebesar 5% hingga 10% [17]. Namun dengan mempertebal ketebalan substrat, efisiensi MSA semakin berkurang dan juga menyebabkan tingkat *cross – polarization* yang tidak diharapkan menjadi semakin tinggi. Pada MSA yang menggunakan teknik pencatuan *coaxial feed* seperti yang terlihat pada Gambar 2.11, semakin tebal bahan substrat ( $h$ ), maka dibutuhkan *probe* konektor SMA yang semakin panjang sesuai dengan ketebalan substrat. Probe yang semakin panjang akan menjadi bersifat induktif sehingga memberikan sifat induktif pada nilai impedansi masukan keseluruhan MSA [17]. Impedansi antena yang bersifat induktif akan menyebabkan kondisi tidak *matching* antara saluran transmisi dengan MSA.

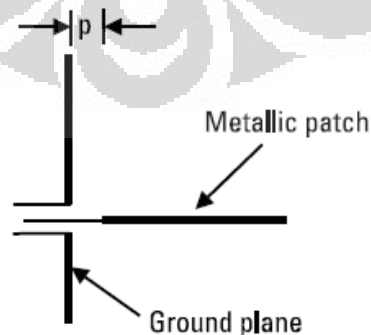


Gambar 2.11 Ketebalan Substrat  $h$  pada MSA Menentukan Panjang *Probe* Pencatuan [17].

Munculnya sifat induktif pada impedansi masukan dapat diatasi dengan menggunakan *probe* ( $p$ ) yang lebih pendek. Karena panjang *probe* terbatas ( $p < h$ ), maka pencatuan dilakukan pada bagian tepi dari *radiating patch* dan diperlukan tambahan *ground plane* yang tegak lurus substrat. Konfigurasi ini dapat dilihat pada Gambar 2.12. Jika ketebalan substrat terus ditambah maka *ground plane* pada bagian bawah substrat tidak akan memberikan pengaruh pada antenna sehingga keberadaan *ground plane* tersebut dapat diabaikan. Struktur MSA tanpa *ground plane* di bawah substrat dan hanya terdapat *ground plane* yang tegak lurus terhadap substrat terlihat pada Gambar 2.13. Sehingga demikian konfigurasi MSA pada Gambar 2.13 tersebut menjadi seperti antenna *planar monopole*.



Gambar 2.12 Konfigurasi MSA dengan Pencatuan *Probe* pada Bagian Tepi *Patch* dan Diberi *Ground Plane* Tegak Lurus Terhadap Substrat [17].

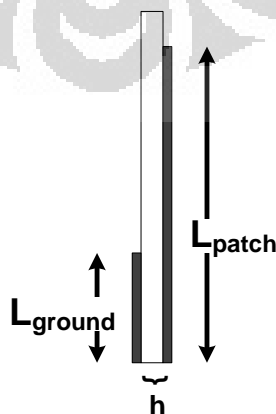


Gambar 2.13 Konfigurasi MSA Tanpa *Ground Plane* pada Bagian Bawah Substrat Menghasilkan Struktur Antena *Planar Monopole* [17].

Struktur antenna *planar monopole* ini akan menghasilkan *bandwidth* yang lebar. Struktur *planar monopole* dapat dibentuk dengan dua cara berikut ini [17].

- a. Antena *monopole* merupakan antenna yang terdiri dari kabel atau plat tipis dari bahan konduktor yang diposisikan secara vertikal dan tegak lurus terhadap bidang pentanahan.
- b. Antena *planar monopole* juga merupakan MSA pada substrat yang sangat tebal dengan permitivitas udara ( $\epsilon_r = 1$ ).

Salah satu kekurangan yang muncul jika MSA dimodifikasi menjadi berstruktur *monopole* seperti pada Gambar 2.13 adalah MSA menjadi tidak planar karena *ground plane* berada pada posisi tegak lurus terhadap substrat. Agar *ground plane* tidak berada pada posisi tegak lurus substrat, pencatuan *probe* diganti dengan sistem pencatuan *microstrip line*. Sistem pencatuan ini membutuhkan *ground plane* di bawah struktur konduktor  $W$  pada sisi lain substrat seperti yang tampak pada Gambar 2.10. Oleh karena itu *ground plane* yang tegak lurus substrat kemudian dicetak di bagian bawah konduktor  $W$ . *Ground plane* yang dicetak pada antenna hanya digunakan untuk keperluan sistem pencatuan *microstrip line*. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan karakteristik antenna *monopole* pada *printed antenna* (MSA). Sehingga dengan demikian struktur antenna ini disebut sebagai antenna *printed monopole*, yang ditunjukkan pada Gambar 2.14.



Gambar 2.14 Struktur Antena *Printed Monopole* Tampak Samping.

### 2.5.2 Perbandingan MSA dengan Antena *Printed Monopole*

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, antena *printed monopole* merupakan modifikasi dari MSA. Hasil modifikasi ini memberikan karakteristik yang berbeda pada antena *printed monopole*.

- a. Hal yang paling signifikan membedakan MSA dengan *printed monopole* adalah *bandwidth*. Dibandingkan MSA, *bandwidth* yang dihasilkan antena *printed monopole* sangat lebar sekalipun pencatuan yang digunakan pada *printed monopole* menggunakan *microstrip line* dimana secara konvensional teknik pencatuan tersebut akan menghasilkan *bandwidth* yang sempit.
- b. Bidang *ground* yang berada di bagian bawah substrat ditiadakan sehingga perhitungan frekuensi resonansi dan dimensi elemen peradiasi tidak dapat menggunakan persamaan matematis yang sama untuk menghitung frekuensi resonansi dan dimensi *radiating patch* pada MSA.
- c. Analisis yang diterapkan pada antena *printed monopole* ini tidak sama dengan analisis yang digunakan pada MSA murni. Namun karena pada *printed monopole* menggunakan *ground* sebagian di bawah *microstrip line*, analisis dan perhitungan lebar  $W$  *microstrip line* tetap menggunakan analisis yang sama.
- d. Penggunaan struktur *printed monopole* ini akan menghasilkan antena dengan pola radiasi *omnidirectional* [21 – 31], dimana pada MSA pola radiasi ini sulit ditemukan karena elemen pentanahan berfungsi sebagai bidang reflektor.

### 2.5.3 Perhitungan Frekuensi Bawah Antena *Printed Monopole*

Perhitungan frekuensi bawah *bandwidth* yang diinginkan dan dimensi elemen peradiasi antena *printed monopole* akan mengadaptasi dari perhitungan antena *planar monopole*. Hal ini dapat dilakukan karena elemen peradiasi pada konfigurasi *printed monopole* dan *planar monopole* memiliki kondisi yang hampir sama. Metode perhitungan frekuensi bawah antena *planar monopole* adalah dengan menyamakan luas area *planar monopole* (berbagai bentuk) dengan antena *cylindrical monopole* yang memiliki panjang  $L$  dan radius  $r$ .

Penurunan persamaan umum untuk perhitungan frekuensi bawah *bandwidth* yang diinginkan dari struktur *planar monopole* akan menggunakan bentuk elemen peradiasi berupa persegi panjang. Persamaan ekivalensi antara luas persegi (panjang sisi  $W$  dan  $L$ ) dengan luas selimut tabung (*cylindrical monopole*) berjari – jari  $r$  dan ketinggian  $L$  ditunjukkan oleh persamaan 2.15.

$$2\pi rL = WL \quad (2.15)$$

$$r = \frac{W}{2\pi} \quad (2.16)$$

Impedansi masukan pada  $\lambda/4$  antena *monopole* bernilai setengah dari impedansi masukan  $\lambda/2$  antena *dipole* [17]. Oleh karena itu impedansi masukan pada antena *monopole* bersifat induktif  $36,5 + j 21,25 \Omega$ . Agar antena *monopole* memiliki nilai riil, panjang *monopole*  $L$  yang digunakan harus lebih pendek [13].

$$L = 0.24\lambda F \quad (2.17)$$

Dimana

$$F = \frac{L/r}{1 + L/r} = \frac{L}{L + r} \quad (2.18)$$

Sehingga berdasarkan persamaan 2.17 dan 2.18, nilai panjang gelombang adalah sebagai berikut.

$$\lambda = \frac{L + r}{0.24} \quad (2.19)$$

Dengan nilai panjang gelombang yang didapatkan dari persamaan 2.19, frekuensi bawah dapat dicari dengan persamaan 2.20 berikut ini [17].

$$f_L = \frac{c}{\lambda} = \frac{30 \times 0.24}{L + r} = \frac{7.2}{L + r} \text{ GHz} \quad (2.20)$$

Persamaan 2.20 tersebut tidak memperhitungkan pengaruh panjang *microstrip line*  $p$  yang digunakan. Jika panjang *microstrip line* ditambah, maka frekuensi akan bergeser turun karena *microstrip line* juga menambah luas elemen peradiasi sehingga panjang *microstrip line* yang digunakan harus diperhitungkan pada perhitungan frekuensi bawah. Oleh karena itu persamaan 2.20 disempurnakan menjadi persamaan di bawah ini [17].

$$f_L = \frac{7.2}{L + r + p} \text{ GHz} \quad (2.21)$$

Dimana:

$L$  = panjang antena *planar* dan *cylindrical monopole* [cm]

$r$  = radius antena *cylindrical monopole* [cm]

$p$  = panjang *probe (microstrip line)* [cm]

Persamaan 2.15 dan 2.16 merupakan persamaan ekivalensi yang digunakan untuk menghitung frekuensi bawah *rectangular monopole* (RM) dan *square monopole* (SM). Sedangkan untuk bentuk – bentuk lainnya, persamaan ekivalensinya terhadap antena *cylindrical monopole* akan berbeda. Bentuk dan konfigurasi *elliptical monopole* (EM) dan *triangular monopole* (TM) dapat dilihat pada Gambar 2.15. Berikut ini adalah persamaan ekivalensi yang digunakan untuk menghitung frekuensi bawah pada EM dan TM [17]. Selanjutnya persamaan ekivalensi tersebut dimasukkan ke persamaan umum 2.21 untuk menghitung frekuensi bawah *bandwidth* yang diinginkan.

a. *Elliptical Monopole* (EM)

$$2\pi rL = \pi ab \quad (2.22)$$

Seperti yang terlihat pada Gambar 2.15, terdapat dua jenis konfigurasi EM, yaitu EMA dan EMB. EMA adalah konfigurasi EM jika pencatuan berada pada sumbu minor. Berikut ini adalah persamaan ekivalensinya.

$$\begin{aligned} L &= 2b \\ r &= \frac{a}{4} \end{aligned} \quad (2.23)$$

Sedangkan EMB adalah konfigurasi EM jika pencatuan berada di sumbu mayor. Persamaan ekivalensinya berkebalikan dengan persamaan ekivalen konfigurasi EMA.

$$\begin{aligned} L &= 2a \\ r &= \frac{b}{4} \end{aligned} \quad (2.24)$$

Dimana:

$a$  = radius mayor [cm]

$b$  = radius minor [cm]

b. *Triangular Monopole* (TM)

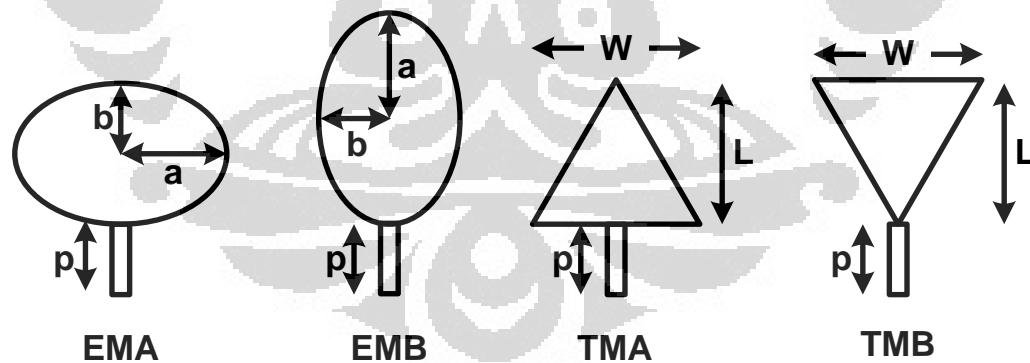
Sama halnya dengan EM, TM juga memiliki dua konfigurasi, TMA dan TMB. Perbedaan konfigurasi ini dapat dilihat pada Gambar 2.15. Namun walaupun konfigurasinya berbeda, persamaan ekuivalen kedua konfigurasi ini sama.

$$L = \sqrt{\frac{3W}{2}}$$

$$r = \frac{W}{4\pi}$$
(2.25)

Dimana:

$W$  = panjang sisi segitiga sama sisi [cm]



Gambar 2.15 Bentuk dan Konfigurasi *Elliptical Monopole* dan *Triangular Monopole* [17].



## BAB 3

### METODOLOGI PERANCANGAN ANTENA

#### 3.1 Spesifikasi Antena

Rancang bangun antena yang dibuat pada skripsi ini adalah rancang bangun antena untuk aplikasi *cognitive radio*. Antena yang dibuat terdiri dari dua antena yang masing – masing memiliki fungsi berbeda, yaitu *sensing antenna* dan *communicating antenna*. Karena berfungsi untuk memindai spektrum frekuensi, maka *sensing antenna* dibuat dengan memiliki karakteristik *bandwidth* yang lebar dan pola radiasi *omnidirectional*. *Sensing antenna* dirancang untuk memiliki *impedance bandwidth* dari 1 – 3 GHz (2 GHz) pada batas RL < -10 dB atau setara dengan VSWR < 1,9. *Impedance bandwidth* tersebut ditentukan sebagai *bandwidth* minimal yang mencakup kedua frekuensi kerja *communicating antenna*. Sedangkan *communicating antenna* dirancang untuk memiliki kemampuan rekonfigurasi frekuensi kerja. Struktur antena ini akan diberi *switch*, dimana kondisi *switch OFF* dan *ON* akan merubah struktur antena sehingga frekuensi antena dapat berubah. Pada kondisi *switch OFF*, antena dirancang untuk memiliki frekuensi kerja pada 2,35 GHz. Sedangkan pada kondisi *switch ON*, frekuensi kerja antena akan berubah ke frekuensi 1,8 GHz. Kedua frekuensi kerja tersebut dirancang memiliki spesifikasi *impedance bandwidth* yang sama, yaitu *impedance bandwidth* selebar 200 MHz yang dihitung pada batas RL < -10 dB atau setara dengan VSWR < 1,9. Spesifikasi rancang bangun *sensing antenna* dan *communicating antenna* yang dibuat pada skripsi ini diberikan pada Tabel 3.1.

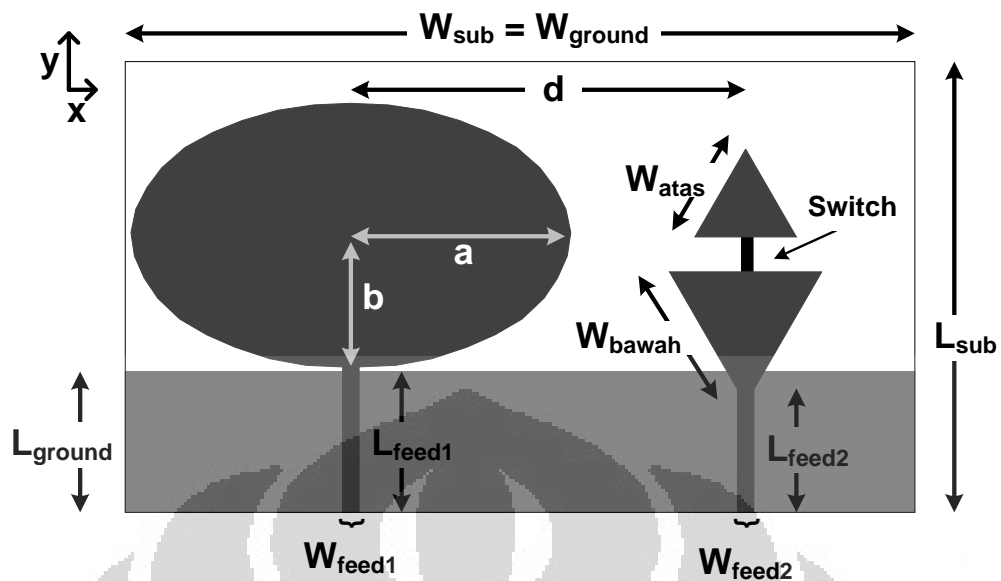
Antena untuk aplikasi *cognitive radio* ini akan dibuat dalam bentuk antena mikrostrip (MSA). Jenis antena ini dipilih karena MSA memiliki keunggulan mudah difabrikasi dan ringkas sehingga memudahkan proses integrasi dengan perangkat lainnya pada sistem. Sedangkan untuk mengatasi keterbatasan MSA yang memiliki *bandwidth* yang relatif sempit, maka MSA akan dimodifikasi dengan mengadaptasi konsep antena *printed monopole* sehingga diharapkan dengan menggunakan konsep ini *sensing antenna* maupun *communicating antenna* akan memiliki *bandwidth* yang lebar. Keunggulan penggunaan konsep

*printed monopole* untuk memperlebar *bandwidth* dibanding dengan menggunakan metode lain untuk memperlebar *bandwidth* MSA adalah karena dengan menjadikan MSA sebagai *printed monopole*, dimensi antenna, baik ketebalan maupun luas permukaan antenna, dapat dibuat tetap ringkas dan rancang bangun antenna yang dibuat pun menjadi tidak rumit.

Tabel 3.1 Spesifikasi Parameter Kerja Rancang Bangun Antena Untuk Aplikasi *Cognitive Radio*.

Antena	Frekuensi Resonansi	Impedance Bandwidth (RL < -10 dB)
<i>Sensing antenna</i>	-	2 GHz (1 – 3 GHz)
<i>Communicating antenna</i>	1,8 GHz	200 MHz (1,7 – 1,9 GHz)
	2,35 GHz	200 MHz (2,25 – 2,45 GHz)

*Sensing antenna* dan *communicating antenna* dibuat sebagai dua antenna yang strukturnya berbeda dan terpisah. Rancang bangun antenna untuk aplikasi *cognitive radio* yang dibuat pada skripsi ini dapat dilihat pada Gambar 3.1. *Sensing antenna* menggunakan elemen peradiasi berbentuk elips, sedangkan *communicating antenna* memiliki elemen peradiasi berupa segitiga ganda dimana kedua segitiga tersebut akan dihubungkan oleh *switch*. Kondisi *switch OFF* dan *ON* akan merubah struktur *communicating antenna*. Ketika *switch* pada kondisi *ON*, kedua segitiga akan terhubung sehingga elemen peradiasi akan bertambah besar. Perubahan ukuran elemen peradiasi, dan perubahan struktur antenna secara keseluruhan, dapat merubah parameter kerja antenna. Pada rancang bangun antenna yang dibuat pada skripsi ini, perubahan struktur *communicating antenna* yang disebabkan berubahnya kondisi *switch* diharapkan dapat merubah frekuensi kerja antenna. Teknik pencatuan yang digunakan untuk mencatu *sensing antenna* maupun *communicating antenna* adalah pencatuan *microstrip line*. Kedua antenna tersebut akan dicetak pada substrat FR4 dan menggunakan *partial ground* secara bersama – sama (*sharing partial ground*). Elemen pentanahan hanya diberikan sebagian di bawah saluran pencatuan *microstrip line*.



Gambar 3.1 Rancang Bangun Antena untuk Aplikasi *Cognitive Radio* yang Terdiri dari Dua Elemen Peradiasi dan Menggunakan *Partial Ground* Bersama – sama.

### 3.2 Alat dan Bahan yang Digunakan

Alat dan bahan yang digunakan pada tahap perancangan dan simulasi antena *cognitive radio* ini meliputi perangkat lunak simulator antena dan bahan substrat.

#### a. Simulator Antena

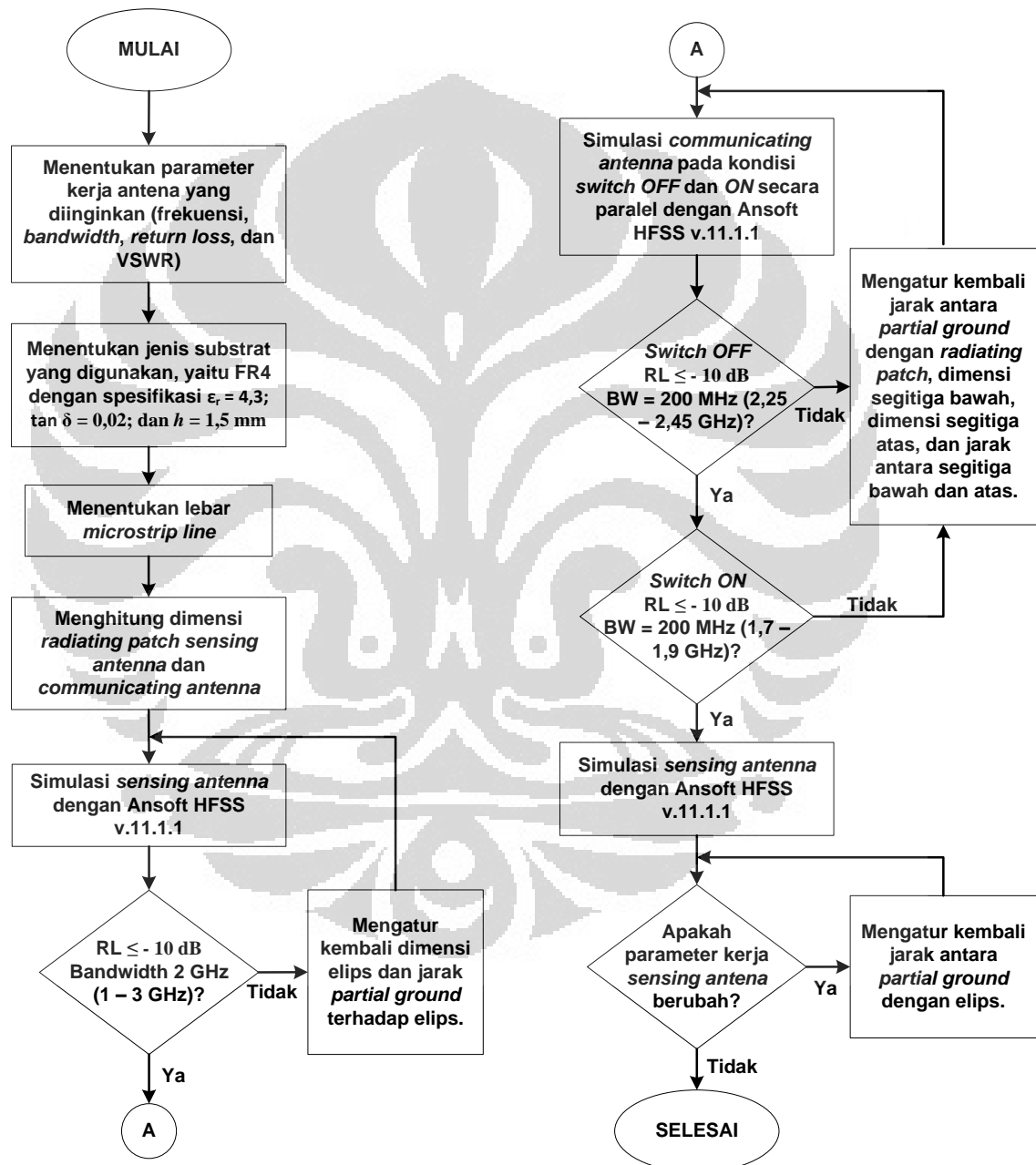
Simulator antena adalah perangkat lunak yang berfungsi untuk melakukan simulasi rancang bangun antena. Tujuan dilakukannya simulasi pada proses perancangan antena adalah untuk mendapat gambaran parameter kerja antena yang dirancang sebelum akhirnya antena difabrikasi. Simulator antena yang digunakan untuk menyimulasikan rancang bangun antena untuk aplikasi *cognitive radio* pada skripsi ini adalah Ansoft HFSS versi 11.1.1.

#### b. Bahan Substrat

Antena untuk aplikasi *cognitive radio* ini akan dibuat pada bahan substrat FR4 (epoxy) yang memiliki konstanta dielektrik ( $\epsilon_r$ ) 4,3; *dielectric loss tangent* ( $\tan \delta$ ) sebesar 0,02; dan ketebalan substrat 1,5 mm. Substrat ini dipilih karena harganya yang relatif murah dan mudah didapatkan.

### 3.3 Diagram Alir Perancangan Antena

Proses rancang bangun antena untuk aplikasi *cognitive radio* yang dibuat pada skripsi ini terangkum pada diagram alir yang ditunjukkan oleh Gambar 3.2 berikut ini.



Gambar 3.2 Diagram Alir Perancangan Antena untuk Aplikasi *Cognitive Radio* pada Alokasi Frekuensi 1,8 GHz dan 2,35 GHz.

### 3.4 Perhitungan Lebar *Microstrip Feed Line*

Pada awal bab ini telah dijelaskan bahwa teknik pencatutan yang digunakan pada rancang bangun antenna pada skripsi ini adalah pencatutan *microstrip line*. Perhitungan dimensi *microstrip line* ini akan menggunakan persamaan 2.13 dan 2.14 yang telah dijelaskan pada Bab 2. Persamaan tersebut menjelaskan bahwa dimensi dari *microstrip line* yang memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kinerja antenna adalah lebar *microstrip line*. Lebar *microstrip line* ini akan menentukan besarnya nilai impedansi *microstrip line* yang nilainya harus sama dengan nilai impedansi karakteristik saluran transmisi dan nilai *input impedance* antenna. Saluran transmisi secara umum memiliki nilai impedansi 50 Ohm atau 75 Ohm. Alat ukur yang digunakan untuk pengukuran pada skripsi ini memiliki nilai impedansi saluran transmisi sebesar 50 Ohm. Oleh karena saluran transmisi memiliki nilai impedansi karakteristik sebesar 50 Ohm, maka *microstrip line* juga harus memiliki nilai impedansi karakteristik ( $Z_0$ ) sebesar 50 Ohm.

Dengan mengetahui nilai  $Z_0 = 50$  Ohm,  $h = 1,5$  mm, dan dielektrik konstan ( $\epsilon_r$ ) = 4,3 pada persamaan 2.13 dan 2.14 maka perhitungan lebar *microstrip line* yang digunakan sebagai pencatu *raditing patch* antenna *cognitive radio* adalah sebagai berikut.

$$A = \frac{Z_0}{60} \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1} \left( 0,23 + \frac{0,11}{\epsilon_r} \right)}$$

$$A = \frac{50}{60} \sqrt{\frac{5,3}{2} + \frac{3,3}{5,3} \left( 0,23 + \frac{0,11}{4,3} \right)}$$

$$A = 1,5157$$

$$\frac{W}{h} = \frac{8e^A}{e^{2A} - 2}$$

$$\frac{W}{1,5} = \frac{8 \times e^{1,5157}}{e^{3,0314} - 2}$$

$$\frac{W}{1,5} = 1,945$$

$$W = 2,917 \text{ mm} \approx 2,92 \text{ mm}$$

Dengan demikian lebar *microstrip line* untuk antenna aplikasi *cognitive radio* yang menggunakan substrat FR4 dengan konstanta dielektrik 4,3, ketebalan 1,5 mm, serta memiliki impedansi karakteristik 50 Ohm adalah 2,92 mm.

### 3.5 Perhitungan Dimensi Antena

Perhitungan dimensi elemen peradiasi *sensing antenna* maupun *communicating antenna* akan menggunakan persamaan 2.20 yang telah dijelaskan pada Bab 2. Pada dasarnya persamaan tersebut diturunkan dengan menggunakan pendekatan konstanta dielektrik bahan sama dengan konstanta dielektrik udara ( $\epsilon_r = 1$ ). Sehingga dengan demikian penggunaan persamaan tersebut kurang tepat jika digunakan untuk mencari dimensi *radiating patch* antenna yang dibuat di atas substrat FR4 dengan konstanta dielektrik ( $\epsilon_r$ ) 4,3. Walaupun demikian, persamaan 2.20 tersebut tetap digunakan untuk menghitung dimensi *radiating patch* antenna *cognitive radio* pada skripsi ini dan akan diikuti dengan penyesuaian melalui proses karakterisasi rancang bangun antenna untuk mendapatkan spesifikasi antenna yang diinginkan.

#### 3.5.1 Perhitungan Dimensi *Sensing Antenna*

Elemen peradiasi *sensing antenna* akan menggunakan bentuk elips dengan konfigurasi EMA. Bentuk ini dipilih agar medan terdistribusi pada *radiating patch* dan energi tidak terserap oleh struktur antenna. Semakin sedikit energi yang terserap, semakin kecil faktor kualitas, sehingga *bandwidth* akan semakin lebar [13][17]. Rancang bangun antenna ini dapat dilihat kembali pada Gambar 3.1.

Panjang *microstrip line* ( $L_{\text{feed1}}$ ) akan ditetapkan sepanjang 26 mm dengan lebar ( $W_{\text{feed1}}$ ) yang telah dihitung adalah 2,92 mm.  $L_{\text{feed1}}$  akan dianggap sebagai panjang *probe p* pada perhitungan yang menggunakan persamaan 2.20. Sedangkan rasio antara radius minor ( $b$ ) dengan radius mayor ( $a$ ) akan ditetapkan sebesar 0,6. Ekuivalensi antara elemen peradiasi elips EMA dengan *cylindrical monopole* didapatkan dengan menggunakan persamaan 2.23. Perhitungan dimensi dengan menggunakan persamaan – persamaan tersebut harus dilakukan dalam satuan sentimeter (cm). Berikut ini adalah perhitungan untuk mendapatkan nilai

radius  $a$  dan  $b$  pada konfigurasi elemen peradiasi elips EMA untuk mendapatkan frekuensi bawah ( $f_L$ ) pada 1 GHz.

$$\frac{b}{a} = 0,6$$

$$b = 0,6a$$

$$L = 2b$$

$$r = \frac{a}{4}$$

$$f_L = \frac{7,2}{L+r+p} \text{ GHz}$$

$$1 = \frac{7,2}{2b + \frac{a}{4} + 2,6}$$

$$2b + \frac{a}{4} + 2,6 = 7,2$$

$$2b + \frac{a}{4} = 4,6$$

$$1,2a + 0,25a = 4,6$$

$$1,45a = 4,6$$

$$a = 3,17 \text{ cm} = 31,7 \text{ mm}$$

$$b = 1,9 \text{ cm} = 19 \text{ mm}$$

Berdasarkan hasil perhitungan di atas, maka radius mayor ( $a$ ) bernilai 31,7 mm dan radius minor ( $b$ ) bernilai 19 mm. Nilai kedua dimensi tersebut harus disesuaikan pada proses karakterisasi rancang bangun antenna karena hasil perhitungan tersebut tidak sepenuhnya tepat karena antenna yang dirancang memiliki kondisi yang berbeda dengan kondisi pendekatan persamaan matematis.

### 3.5.2 Perhitungan Dimensi *Communicating Antenna*

Struktur elemen peradiasi antenna ini merupakan segitiga sama sisi ganda yang terdiri dari dua bagian terpisah seperti terlihat pada Gambar 3.1. Kedua bagian tersebut akan dihubungkan dengan *switch* untuk menjadikan antenna ini dapat merekonfigurasi frekuensi kerjanya. Secara garis besar rancang bangun antenna ini menggunakan *printed monopole* berbentuk segitiga sama sisi dengan

konfigurasi TMB yang diberi tambahan elemen peradiasi berupa segitiga sama sisi pada bagian atas struktur TMB. Perhitungan panjang sisi yang menggunakan persamaan 2.20 dan 2.25 akan difokuskan untuk menghitung panjang sisi segitiga bawah dengan frekuensi bawah 2,25 GHz. Hasil perhitungan tersebut akan disesuaikan melalui proses karakterisasi karena ada penambahan elemen segitiga atas, dan juga disesuaikan untuk antena dengan kondisi *switch ON*.

Persamaan 2.25 digunakan untuk menghitung ekivalensi antara *triangular monopole* dengan *cylindrical monopole*. Kemudian panjang sisi segitiga sama sisi bawah akan dihitung dengan menggunakan persamaan 2.20.  $L_{\text{feed2}}$  bernilai sama seperti pada *sensing antenna*, yaitu 26 mm dan  $W_{\text{feed2}} = 2,92$  mm. Didapatkan dari hasil perhitungan panjang sisi segitiga sama sisi ( $W_{\text{bawah}}$ ) = 6,3 mm.

$$L = \frac{1}{2} W \sqrt{3}$$

$$r = \frac{W}{4\pi}$$

$$f_L = \frac{7,2}{L + r + p} \text{ GHz}$$

$$2,25 = \frac{7,2}{L + r + 2,6}$$

$$2,25(L + r) + 5,85 = 7,2$$

$$2,25(L + r) = 1,35$$

$$L + r = 0,6$$

$$\frac{\sqrt{3}}{2} W + \frac{1}{4\pi} W = 0,6$$

$$\frac{2\pi\sqrt{3} + 1}{4\pi} W = 0,6$$

$$(2\pi\sqrt{3} + 1)W = 7,54$$

$$W = \frac{7,54}{2\pi\sqrt{3} + 1}$$

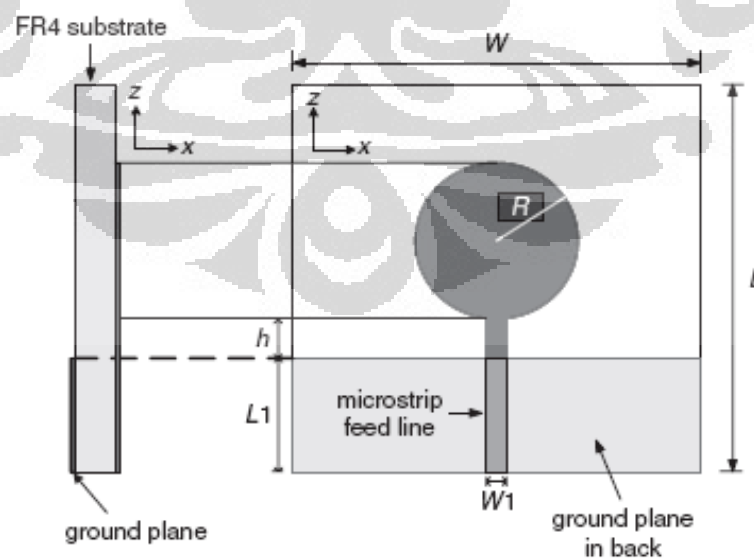
$$W = 0,63 \text{ cm} = 6,3 \text{ mm}$$



### 3.5.3 Penentuan Dimensi dan Parameter Rancang Bangun Antena

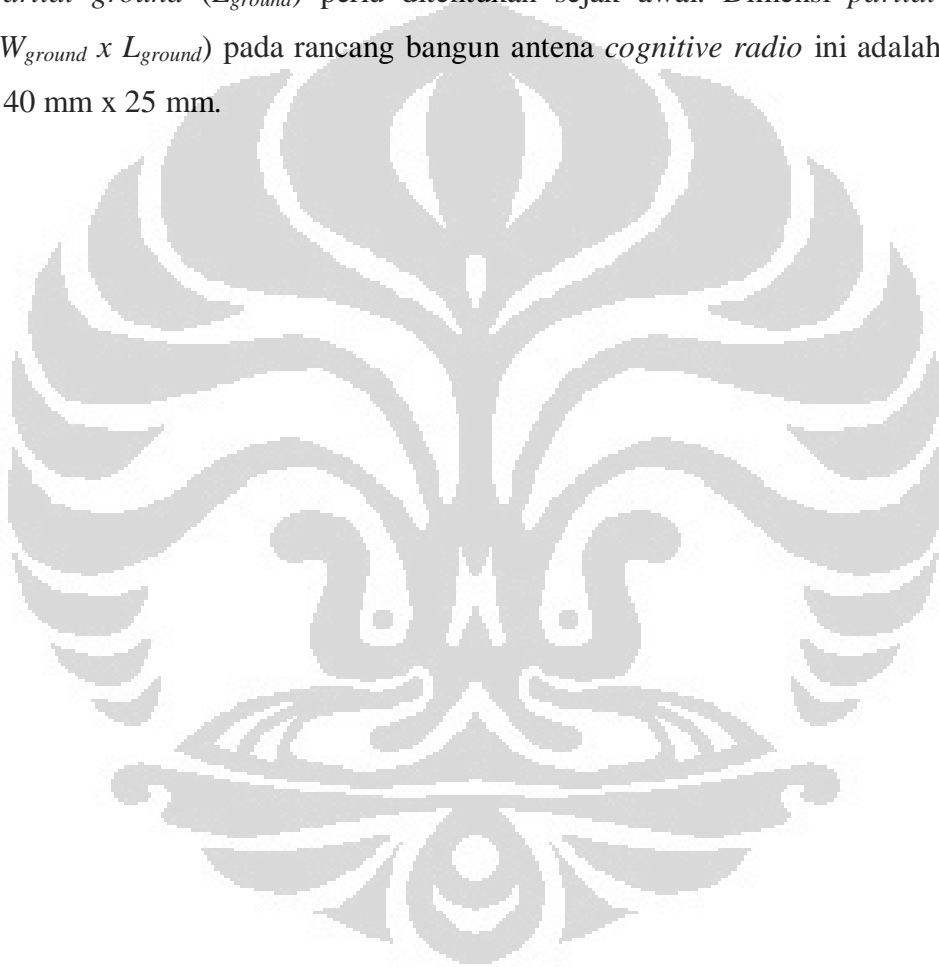
Dimensi dan parameter – parameter rancang bangun antena selain dimensi elemen peradiasi dan *microstrip line* juga harus ditentukan sejak awal perancangan. Hal ini dilakukan untuk mengurangi parameter yang akan dikarakterisasi lebih lanjut pada proses perancangan antena.

Jarak antar antena merupakan salah satu parameter yang penting dalam proses perancangan dimana parameter ini juga akan mempengaruhi dimensi antena, dan juga sebaliknya. Jarak kedua struktur antena harus dibuat sedemikian rupa sehingga distribusi medan masing – masing antena tidak saling mempengaruhi satu terhadap lainnya. Sedangkan dimensi antena harus dijaga tetap kecil sesuai dengan perkembangan kebutuhan akan perangkat yang semakin ringkas. Namun jika dimensi antena terlalu kecil, hal ini akan berpengaruh pada jarak antara struktur antena yang semakin dekat. Hal tersebut dapat menyebabkan kinerja masing – masing antena terganggu oleh karena keberadaan antena lainnya. Sehingga demikian jarak antara struktur antena ( $d$ ) akan ditentukan sejauh 70 mm dengan total dimensi antena ( $W_{sub} \times L_{sub}$ ) adalah 140 mm x 80 mm. Jarak antara antena tersebut diukur dari masing – masing sumbu tengah tiap struktur antena.



Gambar 3.3 Jarak Antara *Partial Ground* Dengan Elemen Peradiasi ( $h$ ) Merupakan Parameter yang Menentukan Performa *Bandwidth* pada Konfigurasi Antena *Printed Monopole* [22].

Jarak antara *partial ground* dengan elemen peradiasi merupakan parameter yang sangat menentukan besarnya *bandwidth* yang dihasilkan pada struktur antenna *printed monopole*. Gambar 3.3 menunjukkan bahwa jarak  $h$  antara *partial ground* dengan *radiating patch* merupakan parameter penting pada antenna *printed monopole* untuk mendapatkan *bandwidth* yang lebar [21 – 31]. Parameter ini merupakan salah satu parameter yang akan dikarakterisasi baik pada struktur *sensing antenna* maupun pada struktur *communicating antenna*, sehingga lebar *partial ground* ( $L_{ground}$ ) perlu ditentukan sejak awal. Dimensi *partial ground* ( $W_{ground} \times L_{ground}$ ) pada rancang bangun antenna *cognitive radio* ini adalah sebesar 140 mm x 25 mm.

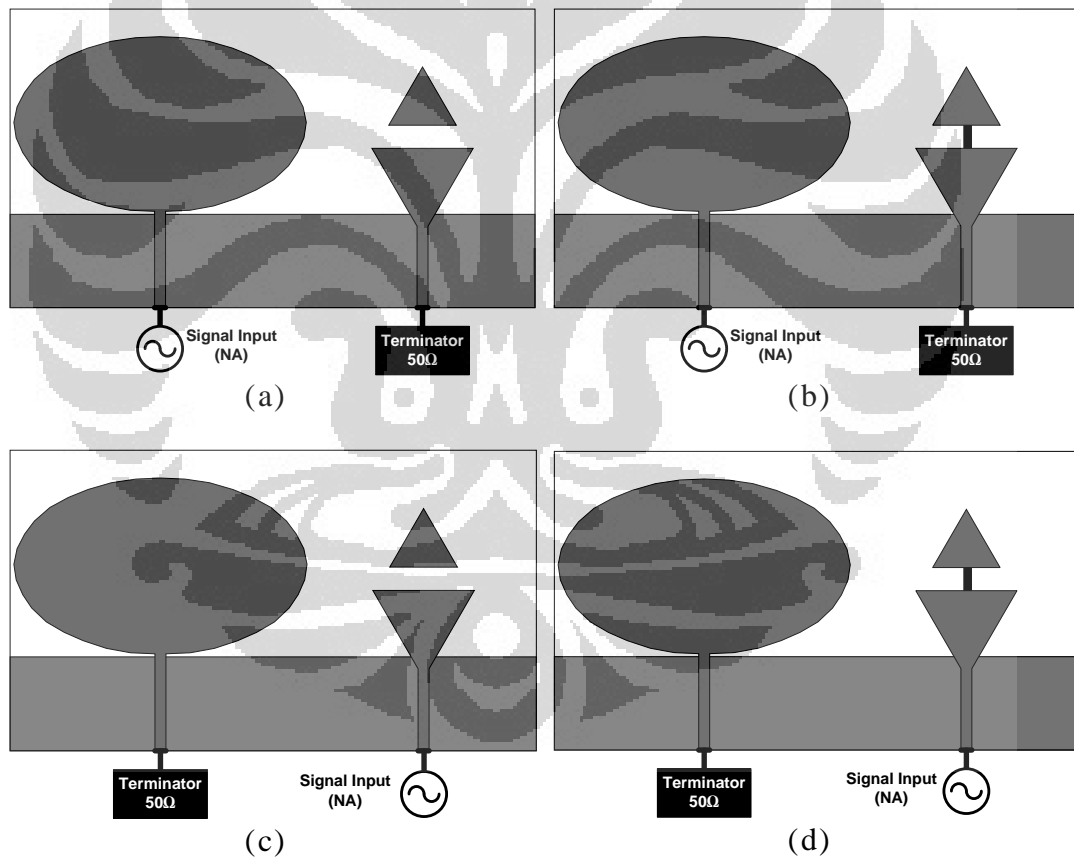


## BAB 4

### SIMULASI DAN KARAKTERISASI ANTENA

#### 4.1 Kondisi Simulasi Antena

Karena kondisi *switch* merubah struktur antenna, simulasi *sensing antenna* dan *communicating antenna* dilakukan baik pada kondisi *switch OFF* dan juga pada kondisi *ON*. Kondisi *switch* ini menghasilkan empat kombinasi kondisi simulasi antenna yang dapat dilihat pada Gambar 4.1. Keempat kondisi ini juga diberlakukan pada pengukuran antenna yang telah difabrikasi.



Gambar 4.1 Kondisi Simulasi dan Pengukuran Antena (a) *Sensing Antenna* pada Kondisi *Switch OFF*; (b) *Sensing Antenna* pada Kondisi *Switch ON*; (c) *Communicating Antenna* pada Kondisi *Switch OFF*; (d) *Communicating Antenna* pada Kondisi *Switch ON*.

Keempat kondisi simulasi dan pengukuran antenna adalah sebagai berikut.

- Kondisi pertama adalah pengukuran *sensing antenna* (*sensing antenna* dicatu) dimana *switch* berada pada keadaan *OFF* sedangkan *communicating antenna* diberi terminator 50 Ohm. Pemberian terminator 50 Ohm ini bertujuan agar struktur *communicating antenna* tidak memberikan pengaruh pada kinerja *sensing antenna*.
- Kondisi kedua adalah pengukuran *sensing antenna* dimana *switch* berada pada kondisi *ON* dan *communicating antenna* diberi terminator 50 Ohm.
- Kondisi ketiga adalah pengukuran *communicating antenna* dengan *switch* pada keadaan *OFF* dan *sensing antenna* diberi terminator 50 Ohm.
- Kondisi keempat adalah pengukuran *communicating antenna* dengan *switch* pada kondisi *ON* dan *sensing antenna* diberi terminator 50 Ohm.

#### 4.2 Simulasi Rancang Bangun Awal

Parameter dan nilai – nilai parameter awal rancang bangun antenna untuk aplikasi *cognitive radio* ditunjukkan pada Tabel 4.1 berikut ini.

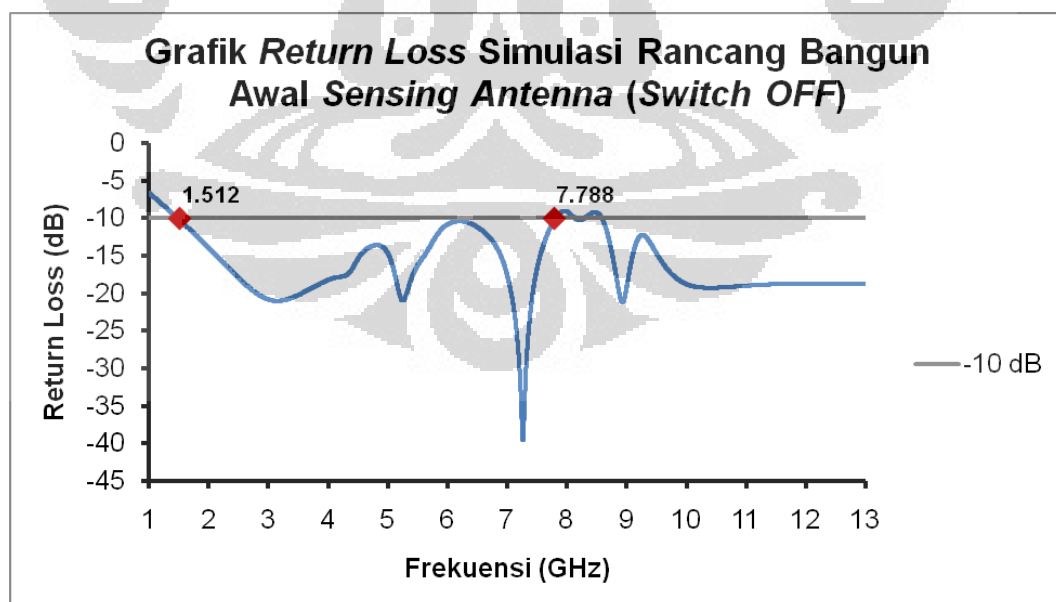
Tabel 4.1 Parameter Awal Rancang Bangun Antena untuk Aplikasi *Cognitive Radio*.

	Parameter	Nilai
Parameter Antena Umum	$W_{sub} \times L_{sub}$	140 mm x 80 mm
	$W_{ground} \times L_{ground}$	140 mm x 25 mm
	$L_{feed1} = L_{feed2}$	26 mm
	$W_{feed1} = W_{feed1}$	2,92 mm
	d	70 mm
	h (tebal substrat)	1,5 mm
	$\epsilon_r$ (dielectric constant)	4.3
	Dielectric loss tangent ( $\alpha$ )	0.02
Parameter Sensing Antenna	a (major radius)	31,7 mm
	b (minor radius)	19 mm
	Koordinat titik tengah elips (x,y)	40 mm, 44,5 mm
Parameter Communicating Antenna	$W_{bawah}$	7 mm
	$W_{atas}$	7 mm
	Jarak segitiga atas dan bawah	2 mm
	Koordinat titik bawah segitiga (x,y)	110 mm, 25 mm

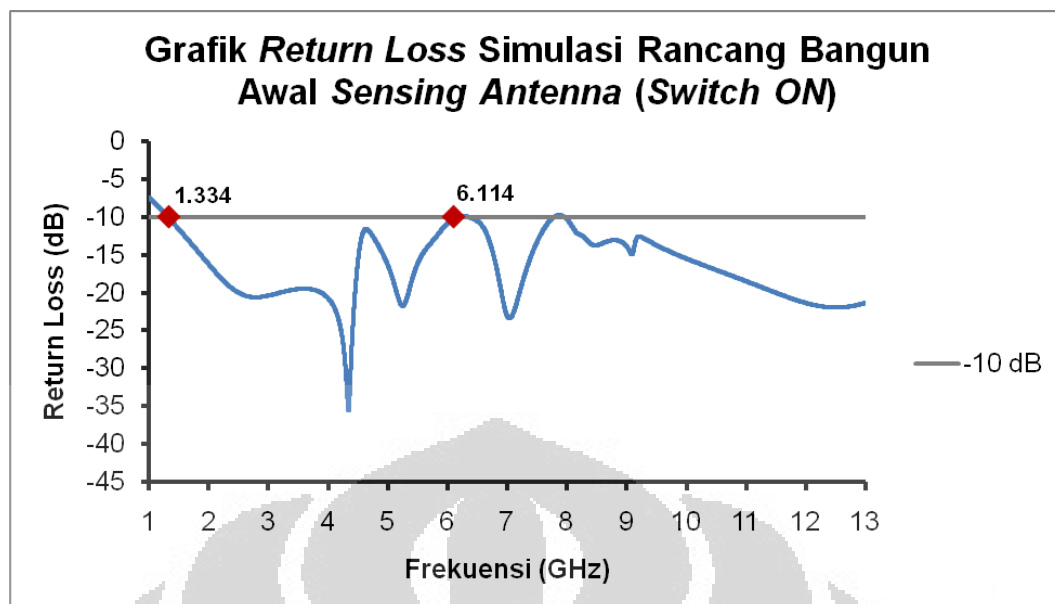
Nilai – nilai parameter tersebut didapatkan dari hasil perancangan dan perhitungan rancang bangun antenna yang telah dijelaskan pada Bab 3. Rancang bangun awal antenna ini kemudian disimulasikan untuk dapat mengetahui kinerja antenna berdasarkan hasil perhitungan. Simulasi dilakukan pada keempat kondisi simulasi antenna yang telah dijelaskan di atas. Hasil simulasi rancang bangun awal antenna ini menunjukkan bahwa perlu dilakukan karakterisasi parameter – parameter antenna untuk mendapatkan performa antenna yang diharapkan.

#### 4.2.1 Hasil Simulasi Rancang Bangun Awal Sensing Antenna

Hasil simulasi rancang bangun awal *sensing antenna* pada kondisi *switch OFF* ditunjukkan oleh Gambar 4.2 di bawah ini. Grafik *return loss* tersebut menunjukkan bahwa *sensing antenna* memiliki *impedance bandwidth* dari 1,512 GHz hingga 7,788 GHz pada batas  $RL \leq -10$  dB. Sedangkan pada kondisi *switch ON*, *sensing antenna* memiliki *impedance bandwidth* dari 1,334 GHz hingga 6,114 GHz dengan batas  $RL \leq -10$  dB. Grafik *return loss* hasil simulasi *sensing antenna* pada kondisi *switch ON* ditunjukkan oleh Gambar 4.3.



Gambar 4.2 Grafik *Return Loss* Terhadap Frekuensi Hasil Simulasi Rancang Bangun Awal *Sensing Antenna* pada Kondisi *Switch OFF*.



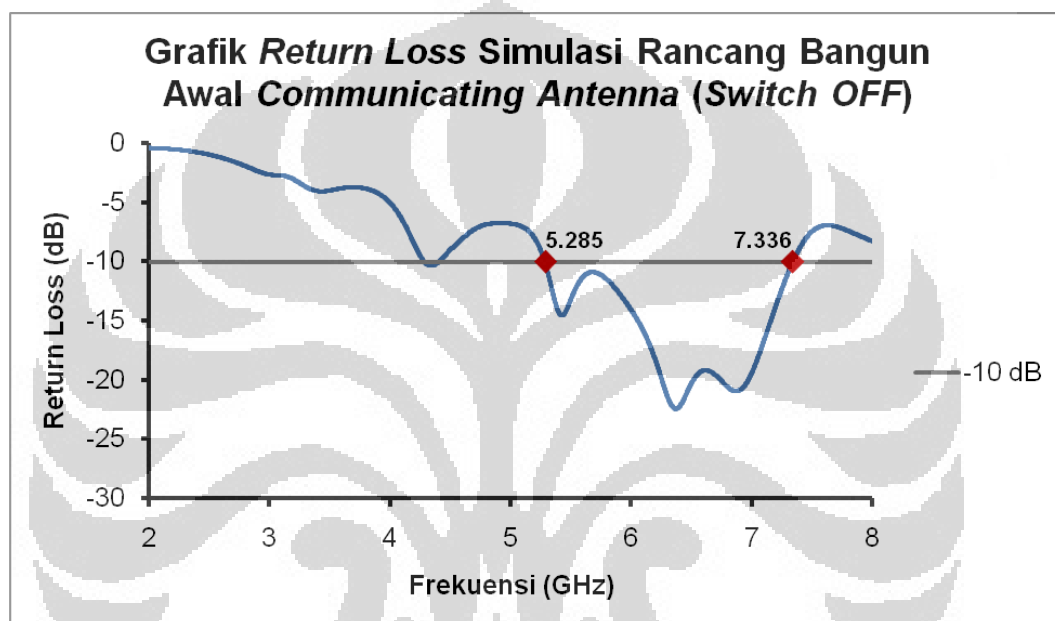
Gambar 4.3 Grafik *Return Loss* Terhadap Frekuensi Hasil Simulasi Rancang Bangun Awal *Sensing Antena* pada Kondisi *Switch ON*.

Kedua hasil simulasi tersebut menunjukkan bahwa rancang bangun awal *sensing antenna* telah memiliki karakter *wideband* namun harus dikarakterisasi kembali untuk mendapatkan karakter *wideband* yang optimal dan disesuaikan dengan performa *communicating antenna*. Rancang bangun *sensing antenna* juga perlu dikarakterisasi kembali karena frekuensi bawah dari *bandwidth* yang diinginkan masih berada di atas 1 GHz. Parameter pada struktur *sensing antenna* yang akan dikarakterisasi meliputi parameter radius mayor elips, rasio elips (rasio radius minor terhadap radius mayor), dan jarak elemen peradiasi terhadap *partial ground*.

#### 4.2.2 Hasil Simulasi Rancang Bangun Awal *Communicating Antenna*

Hasil simulasi *communicating antenna* pada kondisi *switch OFF* yang ditunjukkan pada Gambar 4.4 menunjukkan bahwa frekuensi resonansi antena berada pada rentang frekuensi 5,285 GHz - 7,336 GHz. Hal ini belum sesuai dengan frekuensi resonansi yang diinginkan yang berada pada rentang frekuensi 2,25 GHz - 2,45 GHz pada batas  $RL \leq -10\text{dB}$ .

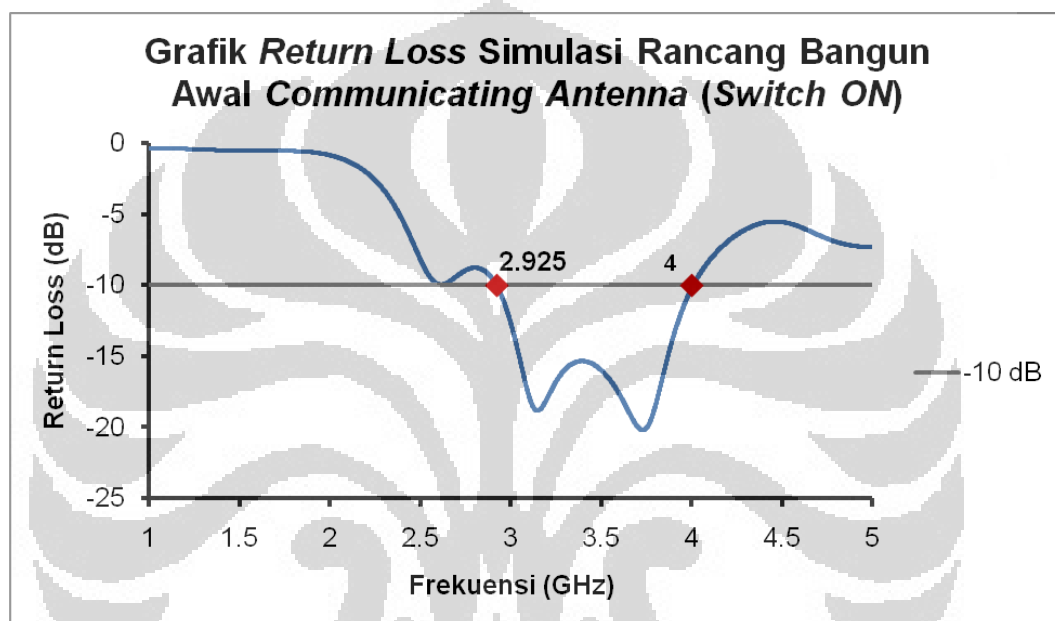
Sama halnya dengan hasil simulasi pada kondisi *switch OFF*, hasil simulasi *communicating antenna* pada kondisi *switch ON* juga menunjukkan frekuensi resonansi berada pada rentang frekuensi yang lebih tinggi, yaitu 2,925 GHz - 4 GHz. Hal ini belum sesuai dengan frekuensi kerja yang diinginkan, yaitu antenna beresonansi pada rentang frekuensi 1,7 GHz – 1,9 GHz pada batas  $RL \leq -10$  dB. Grafik *return loss* hasil simulasi antenna ini ditunjukkan oleh Gambar 4.5.



Gambar 4.4 Grafik *Return Loss* Terhadap Frekuensi Hasil Simulasi Rancang Bangun Awal *Communicating Antenna* pada Kondisi *Switch OFF*.

Simulasi rancang bangun awal *communicating antenna*, baik pada kondisi *switch OFF* maupun *ON*, menunjukkan hasil yang tidak sesuai dengan performa yang diharapkan. Grafik tersebut menunjukkan bahwa frekuensi resonansi berada pada frekuensi yang lebih tinggi dibandingkan dengan frekuensi resonansi yang diharapkan yang disebabkan karena dimensi segitiga ganda terlalu kecil. Agar frekuensi resonansi dapat digeser ke frekuensi yang lebih rendah, maka dimensi segitiga ganda harus diperbesar. Hasil simulasi ini tidak sesuai dengan hasil perhitungan, karena proses perhitungan dimensi segitiga tidak mengikutsertakan nilai konstanta dielektrik bahan dan adanya elemen peradiasi

segitiga atas sehingga kedua hal tersebut turut menyebabkan perbedaan antara hasil simulasi dengan perhitungan. Karena hasil simulasi ini belum menunjukkan kesesuaian dengan performa yang diinginkan, maka beberapa parameter pada *communicating antenna* akan dikarakterisasi. Parameter yang akan dikarakterisasi meliputi posisi koordinat y segitiga ganda, dimensi segitiga bawah, dimensi segitiga atas, dan jarak antara segitiga bawah dan segitiga atas.



Gambar 4.5 Grafik *Return Loss* Terhadap Frekuensi Hasil Simulasi Rancang Bangun Awal *Communicating Antenna* pada Kondisi *Switch ON*.

### 4.3 Karakterisasi Rancang Bangun Antena

Karakterisasi antena ini dilakukan setelah melihat hasil simulasi rancang bangun awal yang belum sesuai dengan hasil yang diharapkan. Tujuan karakterisasi ini adalah mengetahui pengaruh perubahan nilai – nilai parameter antena terhadap performa kerja antena sehingga didapatkan nilai parameter yang menghasilkan performa antena yang paling optimal. Dengan melakukan karakterisasi parameter antena ini diharapkan didapatkan nilai – nilai parameter sehingga antena bekerja pada spesifikasi yang diinginkan.

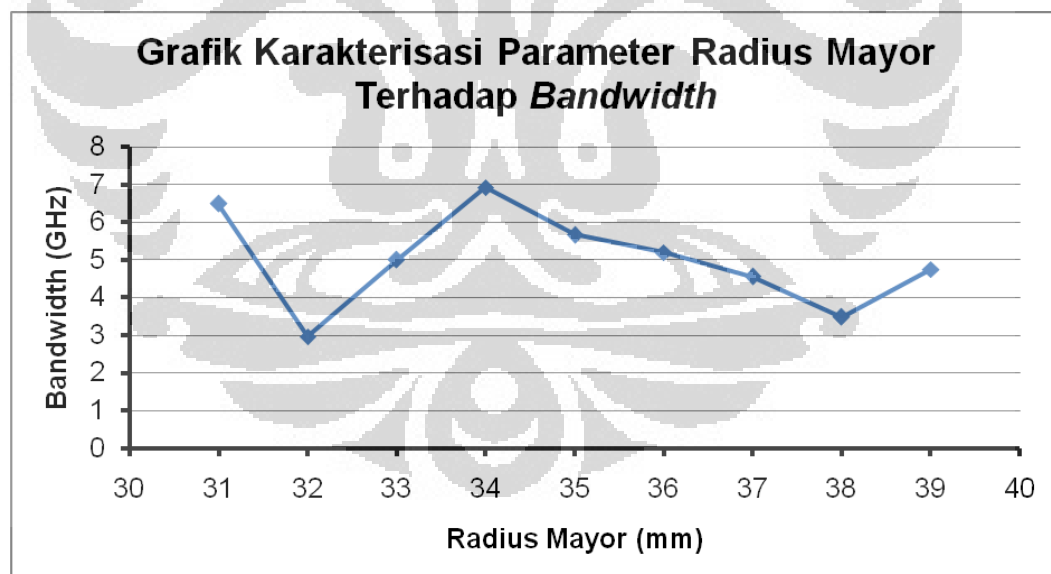


### 4.3.1 Karakterisasi *Sensing Antenna*

Subbab ini akan menjelaskan hasil karakterisasi tiga parameter pada struktur *sensing antenna*. Ketiga parameter tersebut meliputi radius mayor elips, rasio radius mayor terhadap radius minor, dan jarak elemen peradiasi terhadap *partial ground*. Karakterisasi masing – masing parameter tersebut menunjukkan adanya pola perubahan performa antenna akibat pengaruh perubahan nilai parameter yang diberikan.

#### 4.3.1.1 Karakterisasi Parameter Radius Mayor

Proses karakterisasi ini dilakukan dengan merubah – rubah nilai radius mayor dari 31 mm sampai 39 mm dengan parameter rasio dan jarak antara elemen peradiasi dan *partial ground* dibuat tetap. Rasio antara radius mayor dan radius minor tetap 0,6. Sedangkan jarak antara elemen peradiasi dengan *partial ground* ditentukan sejauh 0,7 mm.



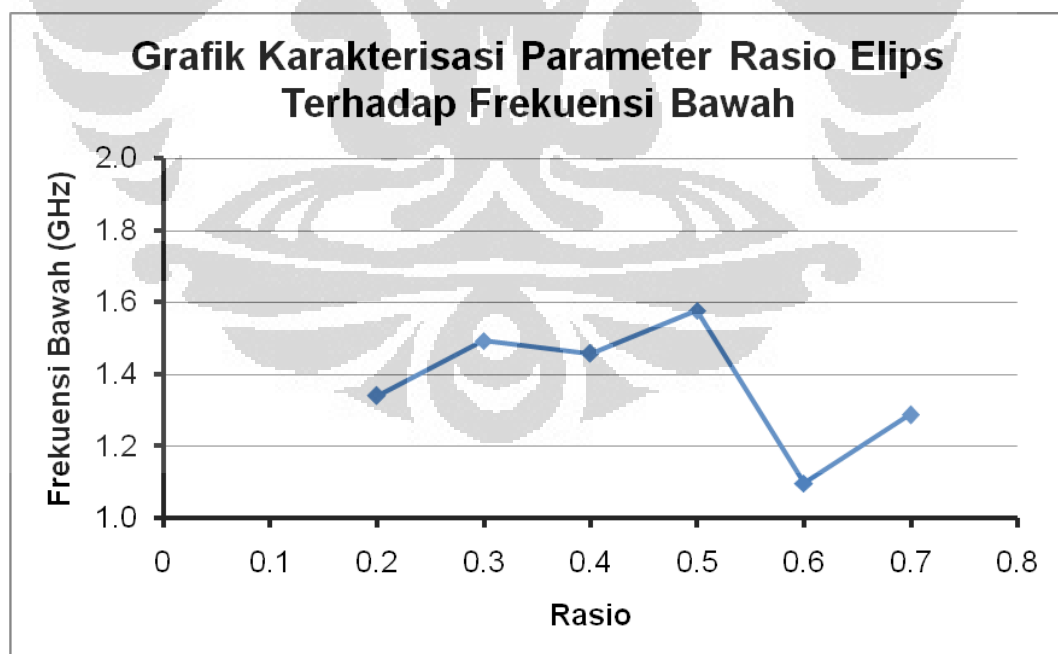
Gambar 4.6 Grafik Hasil Karakterisasi Parameter Radius Mayor Elips Terhadap *Bandwidth Sensing Antenna*.

Gambar 4.6 menunjukkan grafik hubungan perubahan radius mayor terhadap *bandwidth* yang dihasilkan. Hasil karakterisasi ini menunjukkan bahwa

perubahan parameter radius mayor *sensing antenna* akan mempengaruhi *bandwidth* yang dihasilkan. Pola perubahan hampir bersifat linier, dimana semakin besar radius mayor elips, *bandwidth* antena juga akan semakin lebar. Nilai radius yang diambil untuk proses karakterisasi selanjutnya adalah radius 39 mm. Nilai tersebut diambil agar frekuensi bawah *bandwidth* tetap pada frekuensi rendah sehingga *bandwidth* juga semakin lebar.

#### 4.3.1.2 Karakterisasi Parameter Rasio Elips

Karakterisasi ini dilakukan dengan menggunakan nilai radius mayor 39 mm dan jarak antara elemen peradiasi terhadap *partial ground* sejauh 0,7 mm. sedangkan rasio elips (rasio antara radius mayor terhadap rasio minor bentuk elips) dikarakterisasi dari 0,2 – 0,7. Nilai rasio yang dikarakterisasi terbatas karena dimensi substrat yang terbatas. Pada rasio 0,7 besar elemen peradiasi sudah melebihi sedikit batas substrat. Namun karakterisasi tetap dilakukan hingga rasio 0,7 agar hasilnya dapat dibandingkan terhadap nilai rasio sebelumnya.

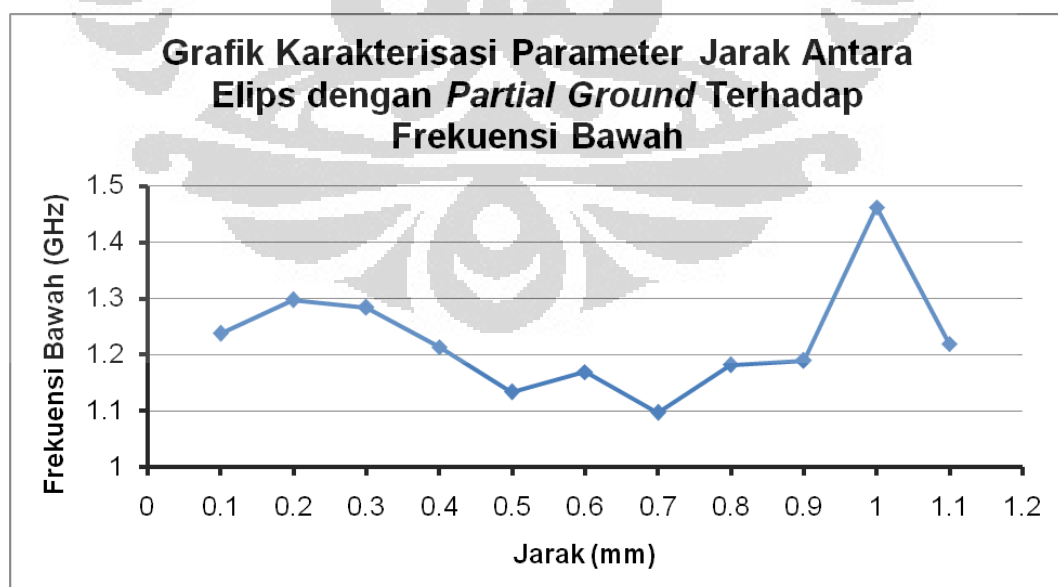


Gambar 4.7 Grafik Hasil Karakterisasi Rasio Elips Terhadap Frekuensi Bawah *Sensing Antenna*.

Grafik hasil karakterisasi rasio elips dapat dilihat pada Gambar 4.7. Grafik tersebut menunjukkan bahwa perubahan parameter rasio elips berpengaruh pada perubahan frekuensi bawah *bandwidth* yang dihasilkan. Dari rentang rasio yang dikarakterisasi tersebut dapat dilihat bahwa rasio yang memberikan frekuensi bawah paling rendah adalah rasio 0,6. Hal ini dapat dibandingkan dengan performa pada rasio 0,7 dimana seharusnya frekuensi bawahnya lebih rendah karena ada faktor heterogenitas nilai konstanta dielektrik yang disebabkan adanya sebagian kecil elemen peradiasi yang melebihi substrat. Namun performa yang paling baik ditunjukkan oleh rasio elips 0,6.

#### 4.3.1.3 Karakterisasi Parameter Jarak Antara Elips dengan *Partial Ground*

Karakterisasi terakhir yang dilakukan pada struktur *sensing antenna* adalah karakterisasi jarak antara elemen peradiasi dengan *partial ground*. Karakterisasi dilakukan dengan menggunakan radius mayor 39 mm dan rasio elips 0,6. Jarak dikarakterisasi dari 0,1 hingga 1,1. Dengan karakterisasi ini diharapkan didapatkan nilai parameter jarak yang dapat menghasilkan *bandwidth* paling optimal.



Gambar 4.8 Grafik Hasil Karakterisasi Jarak Antara Elips dengan *Partial Ground* Terhadap Frekuensi Bawah *Sensing Antenna*.

Karakterisasi ini menunjukkan bahwa jarak antara elemen peradiasi dan *partial ground* berpengaruh terhadap nilai frekuensi bawah *bandwidth*. Gambar 4.8 menunjukkan grafik hubungan perubahan jarak terhadap frekuensi bawah. Dari hasil karakterisasi tersebut didapatkan bahwa jarak 0,7 mm memberikan frekuensi bawah yang paling rendah, sehingga dengan demikian juga akan mempengaruhi lebar *bandwidth*.

#### 4.3.2 Karakterisasi *Communicating Antenna*

Karakterisasi juga akan dilakukan pada struktur *communicating antenna* karena hasil simulasi awal tidak menunjukkan kesesuaian dengan performa antena yang diinginkan. Karakterisasi yang dilakukan pada antena ini meliputi empat parameter, yaitu koordinat  $y$  struktur segitiga ganda, panjang sisi segitiga bawah, panjang sisi segitiga atas, dan jarak antara segitiga bawah dan segitiga atas. Karakterisasi parameter – parameter tersebut akan dilakukan secara berurutan sesuai dengan urutan penjelasan hasil karakterisasi parameter berikut ini untuk mendapatkan nilai parameter yang memberikan performa antena paling optimal.

##### 4.3.2.1 Karakterisasi Parameter Koordinat $y$ Struktur Segitiga Ganda

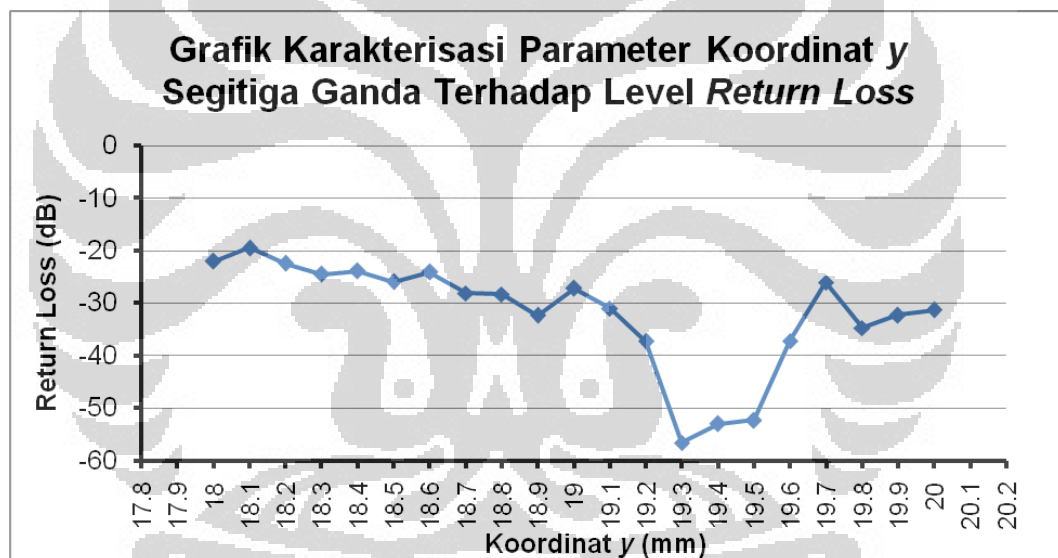
Parameter ini adalah parameter yang harus dikarakterisasi pertama kali pada struktur *communicating antenna* sebelum dilanjutkan dengan karakterisasi parameter selanjutnya. Parameter ini tidak lain merupakan parameter jarak antara elemen peradiasi terhadap *partial ground*. Namun karena konfigurasi bentuk segitiga yang dipakai, jarak yang dimaksud tersebut menjadi relatif pada koordinat sumbu  $y$ . Sehingga penamaan parameter ini pada struktur *communicating antenna* adalah parameter koordinat  $y$  struktur segitiga ganda.

Karakterisasi ini dilakukan dengan menentukan parameter lainnya bernilai tetap. Parameter panjang sisi segitiga bawah adalah 32 mm, panjang sisi segitiga atas adalah 18 mm, dan jarak antara segitiga ganda sejauh 4,6 mm.

Karakterisasi parameter ini memberikan pengaruh pada level *return loss* antena. Hal ini dapat dilihat pada grafik hasil karakterisasi parameter koordinat  $y$

struktur segitiga ganda pada Gambar 4.9. Inilah alasan mengapa karakterisasi parameter ini harus dilakukan sebelum karakterisasi parameter lainnya, karena struktur antenna harus berada dalam kondisi *matching* terlebih dahulu. Jika antenna telah *matching*, maka tahap selanjutnya adalah menggeser frekuensi resonansinya.

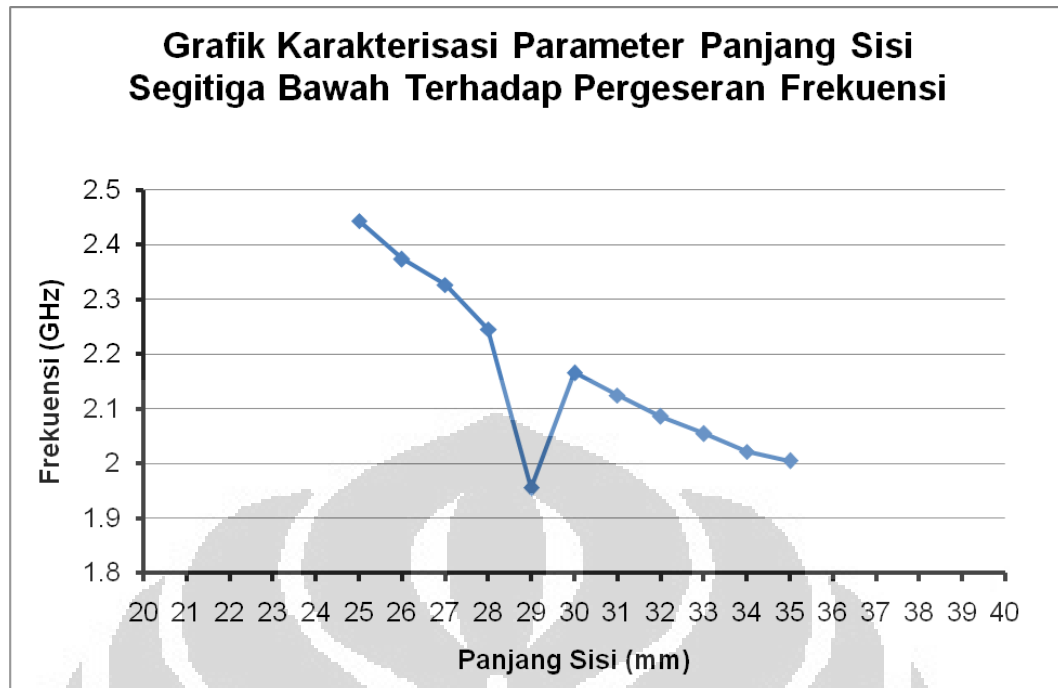
Dari hasil karakterisasi ini didapatkan koordinat  $y$  paling bawah dari struktur segitiga ganda adalah pada  $y = 19,3$  mm. Pola perubahan level *return loss* yang tampak pada Gambar 4.9 menunjukkan bahwa seiring perubahan koordinat  $y$ , level *return loss* menjadi semakin baik, dan pada puncaknya adalah pada  $y = 19,3$  mm. Setelah melalui titik puncak tersebut, level *return loss* akan berangsur – angsur turun kembali.



Gambar 4.9 Grafik Hasil Karakterisasi Koordinat  $y$  Segitiga Ganda Terhadap Level *Return Loss* Communicating Antenna.

#### 4.3.2.2 Karakterisasi Parameter Panjang Sisi Segitiga Bawah

Struktur antenna telah ditempatkan pada posisi yang menghasilkan level *matching* paling baik. Langkah selanjutnya adalah menggeser frekuensi resonan. Karakterisasi panjang sisi segitiga bawah dilakukan lebih dulu dibanding panjang sisi segitiga atas. Hal ini karena segitiga bawah merupakan elemen peradiasi utama, terutama pada antenna ketika kondisi *switch OFF*.



Gambar 4.10 Grafik Hasil Karakterisasi Panjang Sisi Segitiga Bawah Terhadap Frekuensi Resonansi *Communicating Antenna*.

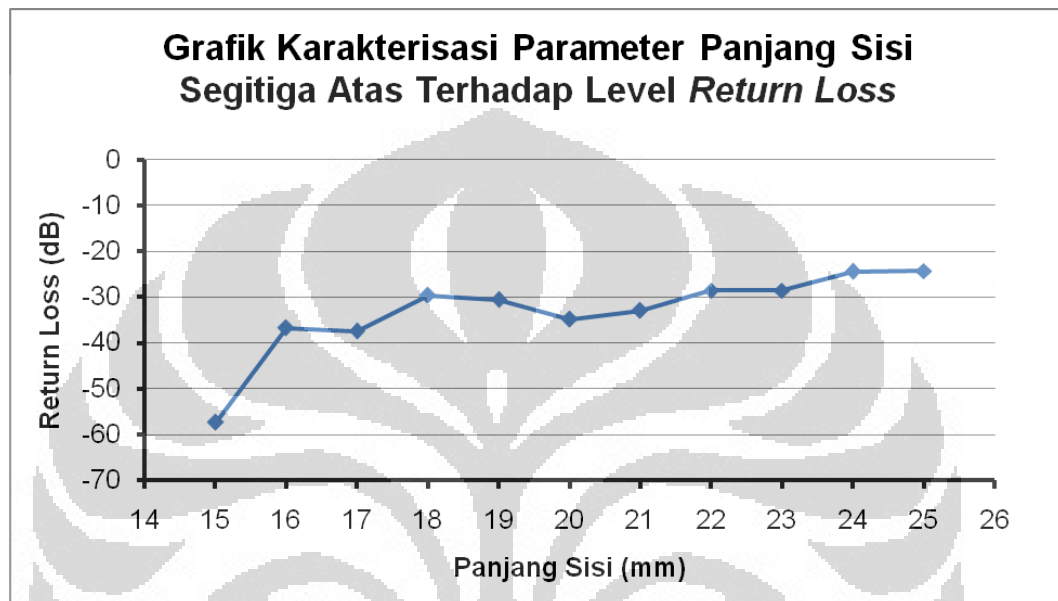
Proses karakterisasi parameter ini dilakukan pada kondisi parameter koordinat  $y$  segitiga ganda berada pada  $y = 19,3$  mm, panjang sisi segitiga atas 18 mm, dan jarak antara segitiga adalah 4,6 mm. Hasil karakterisasi parameter ini ditunjukkan oleh Gambar 4.10. Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa secara umum frekuensi bergeser ke frekuensi rendah seiring dengan bertambahnya panjang sisi segitiga bawah. Hal ini dikarenakan semakin panjang sisi segitiga, semakin besar dimensi elemen peradiasi, sehingga frekuensi menjadi lebih rendah. Pengaruh perubahan panjang sisi segitiga terhadap pergeseran frekuensi membentuk hubungan linier yang berbanding terbalik.

Untuk mendapatkan frekuensi resonansi pada 2,35 GHz, nilai parameter panjang sisi segitiga bawah yang diambil adalah 26 mm.

### 3.7.2.3 Karakterisasi Parameter Panjang Sisi Segitiga Atas

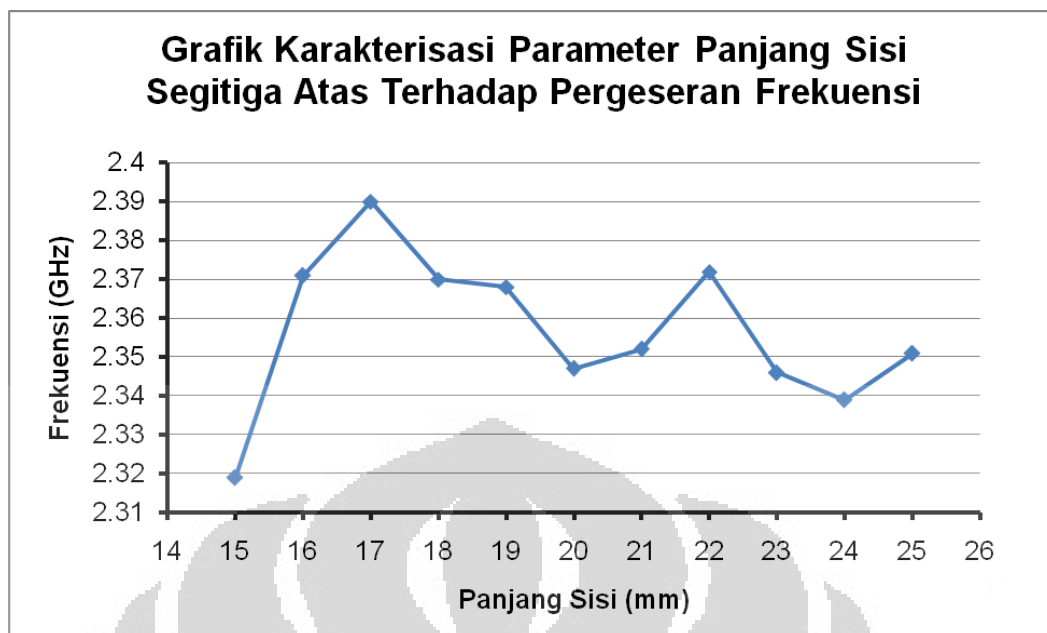
Proses karakterisasi dilanjutkan dengan mengarakterisasi parameter panjang sisi segitiga atas. Karakterisasi ini dilakukan untuk mendapatkan

performa antenna yang lebih baik dari hasil karakterisasi sebelumnya. Kondisi karakterisasi dilakukan dengan menggunakan nilai parameter koordinat sumbu y pada 19,3 mm, panjang sisi segitiga bawah adalah 26 mm, dan jarak antar segitiga ganda pada 4,6 mm.



Gambar 4.11 Grafik Hasil Karakterisasi Panjang Sisi Segitiga Atas Terhadap Level *Return Loss Communicating Antenna*.

Karakterisasi parameter ini memberikan pengaruh pada perubahan level *return loss* dan pergeseran frekuensi. Hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.11 dan 4.12. Grafik pada Gambar 4.11 menunjukkan bahwa penambahan panjang sisi segitiga atas akan menurunkan level *return loss* antenna. Hubungan antara penambahan panjang sisi segitiga atas dan level *return loss* bersifat linier dan berbanding terbalik. Sedangkan perubahan panjang sisi segitiga atas juga berpengaruh pada pergeseran frekuensi. Pada Gambar 4.12 terlihat bahwa frekuensi akan bergeser ke frekuensi yang lebih rendah jika panjang sisi segitiga atas semakin panjang atau dimensi segitiga atas semakin besar. Karakterisasi ini menghasilkan nilai parameter panjang sisi segitiga atas adalah 17 mm dilihat dari hasil level *return loss* dan frekuensi resonansinya.



Gambar 4.12 Grafik Hasil Karakterisasi Panjang Sisi Segitiga Atas Terhadap Frekuensi Resonansi *Communicating Antenna*.

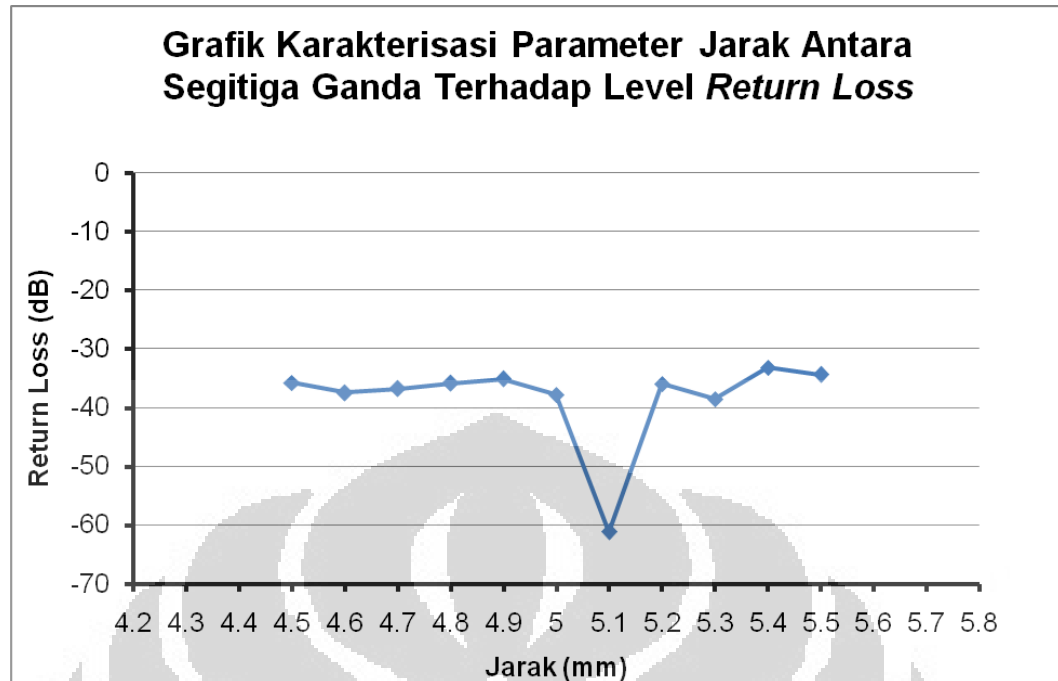
#### 4.3.2.4 Karakterisasi Parameter Jarak Antara Segitiga Ganda

Karakterisasi terakhir yang dilakukan adalah karakterisasi jarak antara segitiga ganda. Karakterisasi ini dilakukan terakhir dari keseluruhan proses karakterisasi parameter struktur *communicating antenna* sebagai tahap akhir untuk mendapatkan performa antena yang paling optimal dan sesuai dengan yang diharapkan, baik pada kondisi *switch OFF* maupun pada kondisi *ON*.

Karakterisasi ini dilakukan dengan menggunakan nilai – nilai parameter yang telah didapatkan dari proses karakterisasi sebelumnya, yaitu posisi koordinat sumbu *y* struktur *communicating antenna* pada  $y = 19,3$  mm, panjang sisi segitiga bawah = 26 mm, dan panjang sisi segitiga atas = 17 mm.

Hasil karakterisasi parameter ini ditunjukkan pada Gambar 4.13. Gambar tersebut menunjukkan bahwa perubahan jarak antara segitiga ganda berpengaruh pada level *return loss*. Berdasarkan hasil karakterisasi parameter ini didapatkan jarak antara segitiga ganda adalah sebesar 5,1 mm yang menghasilkan level *return loss* paling bagus dibandingkan dengan nilai jarak lainnya.





Gambar 4.13 Grafik Hasil Karakterisasi Jarak Antara Segitiga Ganda Terhadap Level *Return Loss Communicating Antenna*.

#### 4.4 Simulasi Rancang Bangun Akhir

Karakterisasi parameter – parameter antena yang telah dilakukan pada subbab 4.3 telah memberikan nilai baru dari parameter – parameter antena dan menghasilkan performa antena paling optimal. Tabel 4.2 merangkum nilai parameter antena yang digunakan pada rancang bangun akhir antena untuk aplikasi *cognitive radio* pada skripsi ini. Hasil simulasi rancang bangun akhir antena memberikan performa antena yang sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan sehingga rancang bangun antena ini kemudian difabrikasi.

##### 4.4.1 Hasil Simulasi Rancang Bangun Akhir *Sensing Antenna*

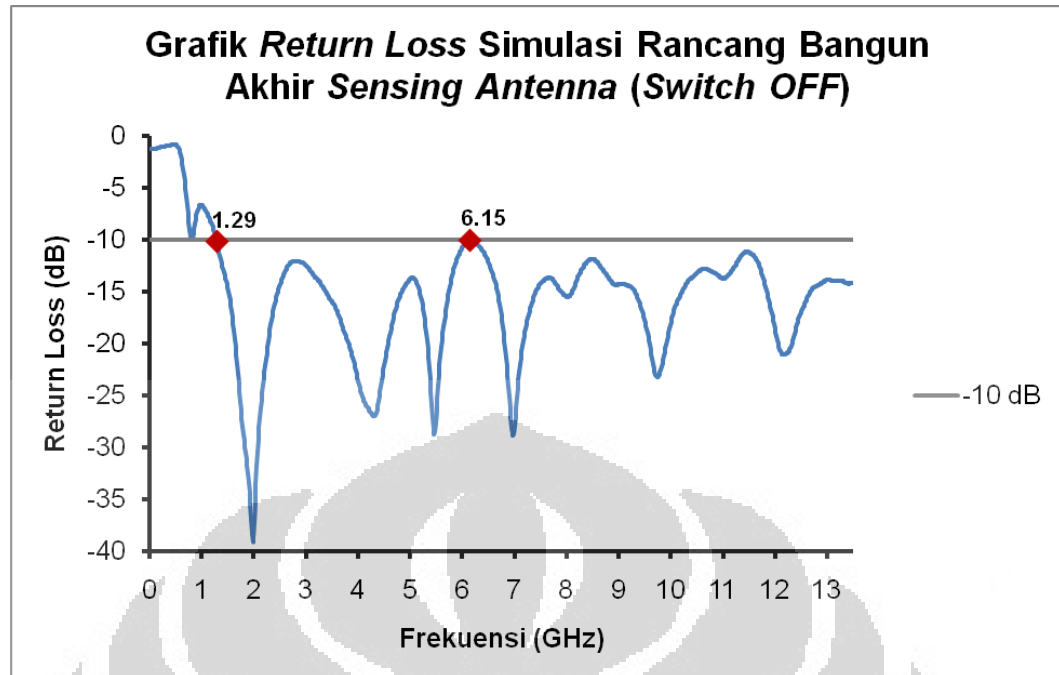
Rancang bangun *sensing antenna* dengan menggunakan nilai – nilai parameter yang tercantum pada Tabel 4.2 telah disimulasikan. Hasil simulasi menunjukkan bahwa antena memiliki *bandwidth* yang lebar sesuai dengan spesifikasi yang telah ditentukan, dimana *bandwidth* ini didapatkan pada kondisi

struktur *communicating antenna* telah memiliki frekuensi kerja yang diharapkan, tidak seperti hasil simulasi rancang bangun awal dimana *communicating antenna* tidak beresonansi pada frekuensi kerja.

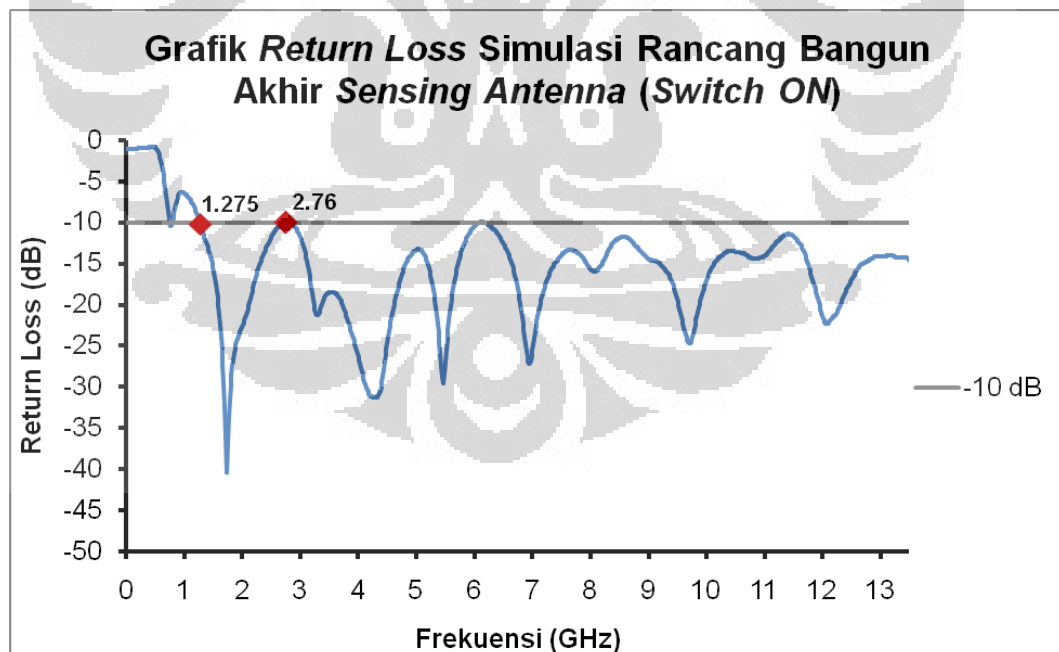
Tabel 4.2 Parameter Akhir Rancang Bangun Antena untuk Aplikasi *Cognitive Radio*.

	Parameter	Nilai
<b>Parameter Antena Umum</b>	$W_{\text{sub}} \times L_{\text{sub}}$	140 mm x 80 mm
	$W_{\text{ground}} \times L_{\text{ground}}$	140 mm x 25 mm
	$L_{\text{feed1}} = L_{\text{feed2}}$	26 mm
	$W_{\text{feed1}} = W_{\text{feed1}}$	2,92 mm
	<b>d</b>	70 mm
	<b>h (tebal substrat)</b>	1,5 mm
	$\epsilon_r$ (dielectric constant)	4.3
	Dielectric loss tangent ( $\alpha$ )	0.02
<b>Parameter Sensing Antenna</b>	<b>a (major radius)</b>	39 mm
	<b>b (minor radius)</b>	23,4 mm
	<b>Koordinat titik tengah elips (x,y)</b>	40 mm, 49,1 mm
<b>Parameter Communicating Antenna</b>	$W_{\text{bawah}}$	26 mm
	$W_{\text{atas}}$	17 mm
	<b>Jarak segitiga atas dan bawah</b>	5,1 mm
	<b>Koordinat titik bawah segitiga (x,y)</b>	110 mm, 19,3 mm

Terdapat perbedaan antara hasil simulasi *sensing antenna* pada saat kondisi *switch OFF* dan *ON*. Pada kondisi *switch OFF*, antena memiliki *impedance bandwidth* dari 1,29 GHz hingga 6,15 GHz. Grafik hasil simulasi ini dapat dilihat pada Gambar 4.14. Sedangkan *impedance bandwidth* yang dihasilkan antena pada kondisi *switch ON* dimulai dari frekuensi 1,275 GHz hingga 2,76 GHz. Kedua *impedance bandwidth* tersebut diukur pada batas  $RL \leq -10$  dB. Grafik *return loss* hasil simulasi *sensing antenna* pada kondisi *communicating antenna switched ON* ditunjukkan oleh Gambar 4.15.



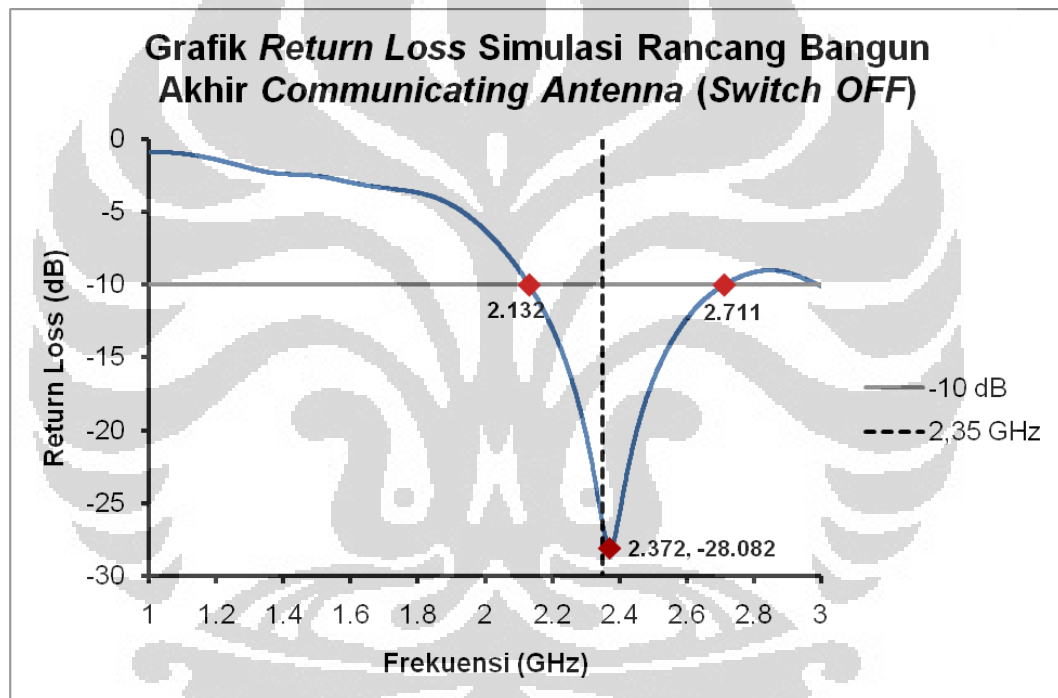
Gambar 4.14 Grafik *Return Loss* Terhadap Frekuensi Hasil Simulasi Rancang Bangun Akhir Sensing Antena pada Kondisi Switch OFF.



Gambar 4.15 Grafik *Return Loss* Terhadap Frekuensi Hasil Simulasi Rancang Bangun Akhir Sensing Antena pada Kondisi Switch ON.

#### 4.4.2 Hasil Simulasi Rancang Bangun Akhir *Communicating Antenna*

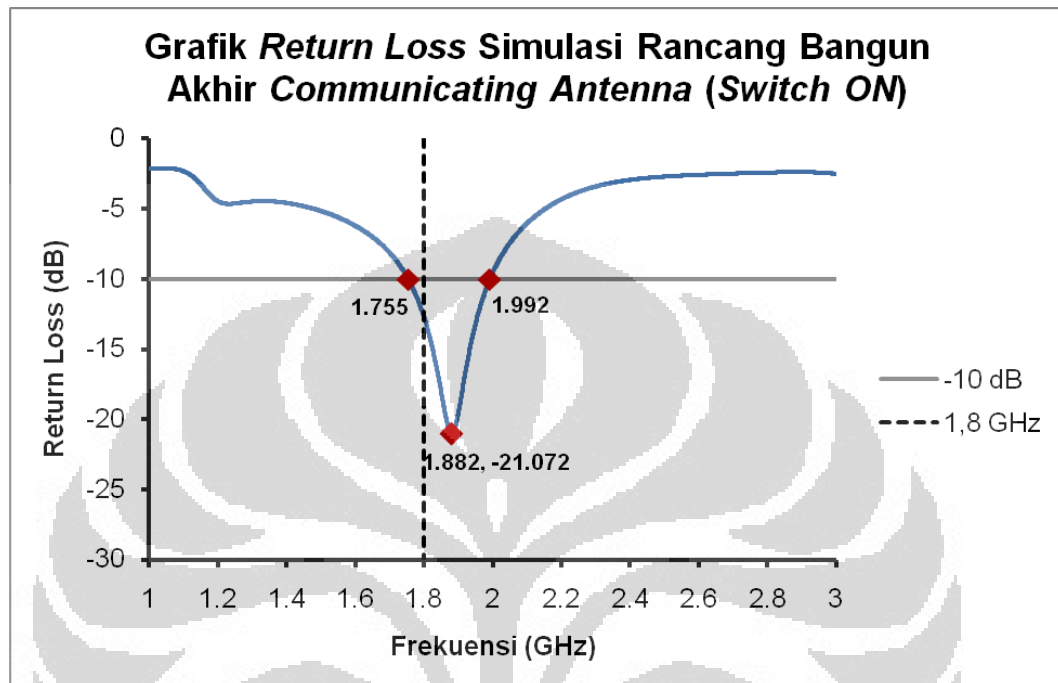
Pada kondisi *switch OFF*, hasil simulasi rancang bangun akhir *communicating antenna* memiliki frekuensi kerja pada 2,372 GHz dengan *impedance bandwidth* yang dimulai dari 2,132 GHz sampai 2,711 GHz pada batas  $RL \leq -10$  dB. Hasil simulasi kondisi *switch OFF* menunjukkan frekuensi resonansi yang didapatkan tidak terpaut terlalu jauh dengan frekuensi kerja antenna. Grafik *return loss* hasil simulasi *communicating antenna* pada kondisi *switch OFF* dapat dilihat pada Gambar 4.16 di bawah ini.



Gambar 4.16 Grafik *Return Loss* Terhadap Frekuensi Hasil Simulasi Rancang Bangun Akhir *Communicating Antenna* pada Kondisi *Switch OFF*.

Sedangkan grafik *return loss* hasil simulasi *communicating antenna* pada kondisi *switch ON* ditunjukkan oleh Gambar 4.17. Grafik tersebut menunjukkan antenna beresonansi pada frekuensi 1,882 GHz dengan *impedance bandwidth* dari 1,755 GHz hingga 1,992 GHz pada batas  $RL \leq -10$  dB. Frekuensi resonansi tersebut berbeda 80 MHz lebih tinggi terhadap frekuensi kerja yang

diharapkan. Namun hal tersebut dilakukan untuk menyiapkan kompensasi terhadap perubahan yang mungkin terjadi pada saat fabrikasi.



Gambar 4.17 Grafik *Return Loss* Terhadap Frekuensi Hasil Simulasi Rancang Bangun Akhir *Communicating Antenna* pada Kondisi *Switch ON*.

## BAB 5

### HASIL PENGUKURAN DAN ANALISIS

#### 5.1 Kondisi Pengukuran Antena

Seluruh proses perancangan dan simulasi telah menghasilkan rancang bangun akhir antena yang menghasilkan performa kerja yang sesuai dengan spesifikasi antena yang diinginkan. Rancangan antena tersebut kemudian difabrikasi dan kemudian diukur di dalam *anechoic chamber* (ruang anti gema) untuk mengetahui performa kerja antena tersebut. Pengukuran antena harus dilakukan pada jarak *far – field* yang sesuai dan ketinggian posisi antena yang tepat agar memenuhi kondisi propagasi gelombang. Seperti yang telah dijelaskan pada Bab 4, pengukuran *sensing antenna* dan *communicating antenna* dilakukan baik pada kondisi *switch OFF* maupun kondisi *ON*.

##### 5.1.1 Perhitungan Jarak *Far – Field*

Pengukuran parameter antena harus dilakukan pada daerah medan *far – field* karena distribusi medan radiasi pada daerah ini telah stabil sehingga hasil pengukuran dapat dinyatakan valid. Jarak *far – field* ini ditentukan oleh besar dimensi dan frekuensi kerja AUT (*Antenna Under Test*) dimana nilainya dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.9.

Dimensi linier terbesar antena adalah dimensi  $W_{sub}$  yang memiliki panjang 140 mm. Sedangkan frekuensi kerja antena ada dua, yaitu 1,8 GHz dan 2,35 GHz. Sehingga panjang gelombang untuk frekuensi 1,8 GHz adalah 0,167 m dan panjang gelombang untuk frekuensi 2,35 GHz adalah 0,13 m.

$$R_2 = \frac{2D^2}{\lambda}$$

Dengan menggunakan persamaan 2.9 tersebut di atas, jarak *far – field* antena dengan frekuensi kerja 1,8 GHz adalah sejauh 0,235 m atau 23,5 cm dan untuk frekuensi kerja 2,35 GHz, jarak *far – field* antena adalah 0,307 m atau 30,7 cm. Namun untuk menyamakan jarak *far – field* pada dua frekuensi kerja dan

membuat jarak aman untuk kondisi pengukuran, maka jarak *far – field* yang digunakan pada pengukuran adalah sejauh 1 m atau 100 cm.

### 5.1.2 Perhitungan Ketinggian Antena

Kondisi pengukuran antena yang kedua adalah bahwa AUT dan antena penguji harus berada dalam keadaan *Line of Sight* (LOS), dan daerah Fresnel pertama tidak terganggu oleh penghalang. Besarnya radius daerah Fresnel pertama perlu dihitung untuk menentukan ketinggian antena. Ketinggian antena harus dibuat sedemikian sehingga daerah Fresnel pertama antena tidak menyentuh permukaan lantai ruang anti gema.

Perhitungan radius daerah Fresnel pertama akan menggunakan persamaan 2.10 berikut ini dengan jarak kedua antena adalah 1 m atau 0,001 km.

$$F_1 = 17,3 \times \sqrt{\frac{d_1 d_2}{f(d_1 + d_2)}}$$

Radius daerah Fresnel pertama untuk frekuensi kerja 1,8 GHz adalah sebesar 0,2 m atau 20 cm. Sedangkan untuk frekuensi kerja 2,35 GHz, radius Fresnel pertama adalah 0,18 m atau 18 cm. Agar ketinggian antena sama untuk kedua frekuensi kerja dan syarat daerah Fresnel pertama masih dapat dipenuhi, maka AUT pada pengukuran akan diposisikan pada ketinggian 60 cm.

## 5.2 Peralatan yang Digunakan

Pengukuran antena ini membutuhkan perangkat – perangkat untuk pengukuran dan analisis hasil pengukuran antena. Perangkat – perangkat tersebut terbagi menjadi perangkat keras dan perangkat lunak.

### 5.2.1 Perangkat Keras (*Hardware*)

Perangkat keras yang digunakan pada pengukuran adalah sebagai berikut.

- a. *Connector SMA 50 Ohm*

Konektor ini digunakan untuk memberikan *port* pada antena yang akan menghubungkan *microstrip line* antena dengan saluran transmisi alat ukur *network analyzer*.

- b. Kabel *coaxial* RG-55/U Fujikura

Kabel ini digunakan pada pengukuran *port* ganda untuk menghubungkan *port* pada *network analyzer* ke *port* antenna.

c. *Calibration Kit* Agilent 85052D

Peralatan kalibrasi ini digunakan untuk mengkalibrasi *network analyzer* sebelum dilakukan pengukuran.

d. *Network Analyzer* Agilent N5230C (300 kHz - 13,5 GHz)

*Network analyzer* (NA) ini digunakan pada pengukuran *port* tunggal, dimana parameter yang diukur meliputi parameter *return loss*, VSWR, dan *input impedance*. Selain itu, *network analyzer* ini juga digunakan pada pengukuran parameter *isolation between port*.

e. *Network Analyzer* Hewlett Packard 8753E (30 kHz – 6 GHz)

*Network analyzer* ini digunakan untuk pengukuran pola radiasi antenna.

### 5.2.2 Perangkat Lunak (*Software*)

Sedangkan perangkat lunak yang digunakan pada proses fabrikasi dan pengukuran adalah sebagai berikut.

a. *Microsoft Visio 2007*

Rancang bangun antenna dari simulator kemudian akan dikonversi ke perangkat lunak ini agar rancangan antenna tersebut dapat difabrikasi.

b. *Microsoft Excel 2007*

Perangkat lunak ini digunakan untuk mengolah data hasil pengukuran sehingga dapat ditampilkan pada skripsi ini.

## 5.3 Pengukuran *Port Tunggal*

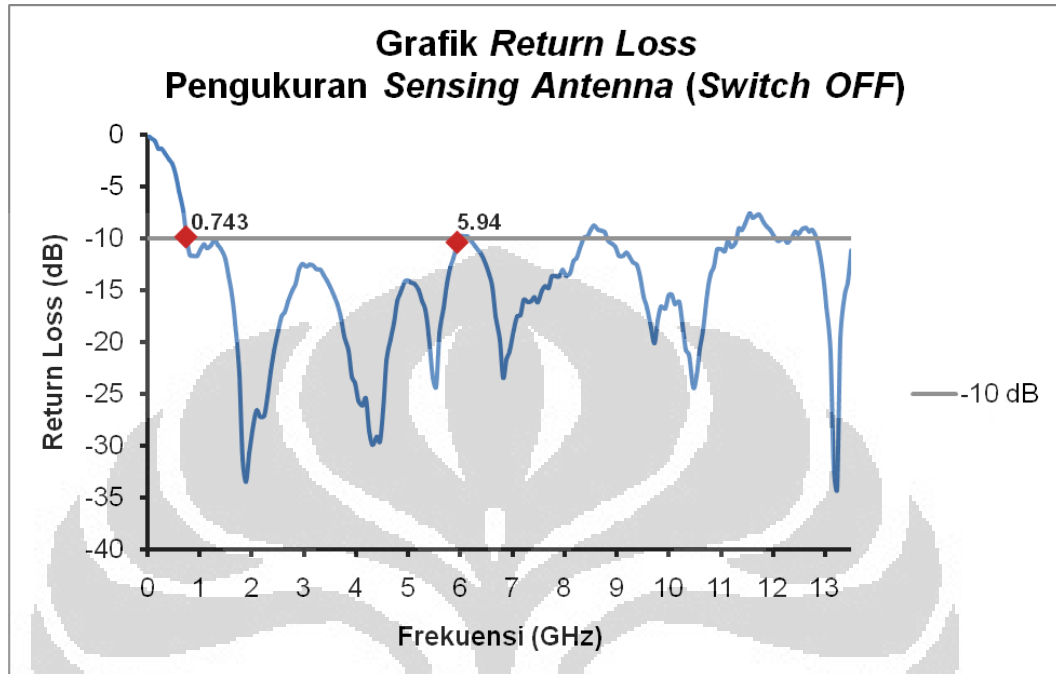
Pengukuran *port* tunggal antenna meliputi parameter *return loss*, VSWR, dan *input impedance*. Pengukuran ini dilakukan dengan menghubungkan *port* antenna yang diukur pada *port* yang terdapat di *network analyzer*.

### 5.3.1 Pengukuran *Sensing Antenna* pada Kondisi *Switch OFF*

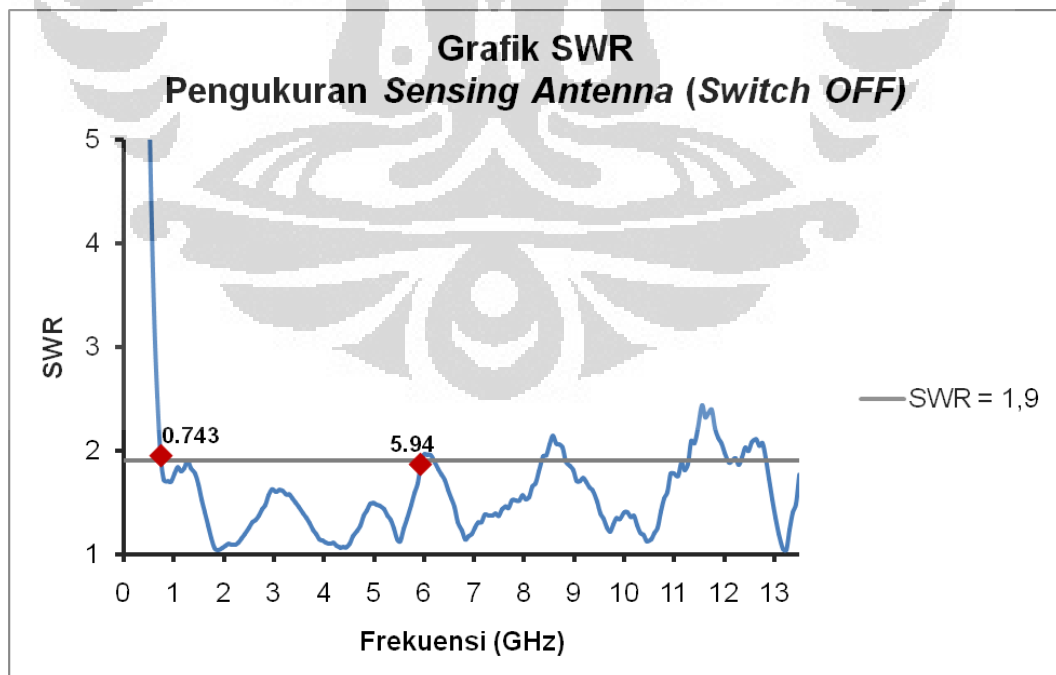
Hasil pengukuran parameter *return loss* dan VSWR *sensing antenna* pada kondisi *switch OFF* ditunjukkan oleh Gambar 5.1 dan Gambar 5.2. Kedua grafik tersebut menunjukkan bahwa AUT memiliki *impedance bandwidth* dari



frekuensi 743 MHz hingga 5,94 GHz (5,197 GHz) pada batas  $RL \leq -10$  dB dan  $VSWR \leq 1,9$ .

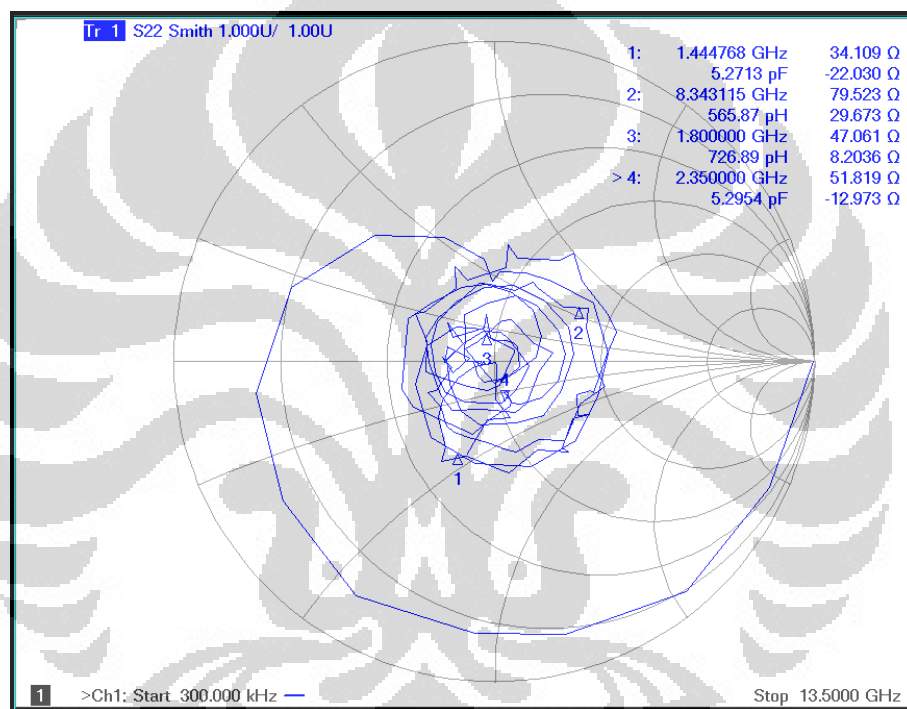


Gambar 5.1 Grafik *Return Loss* Hasil Pengukuran *Sensing Antenna* pada Kondisi *Switch OFF*.



Gambar 5.2 Grafik *VSWR* Hasil Pengukuran *Sensing Antenna* pada Kondisi *Switch OFF*.

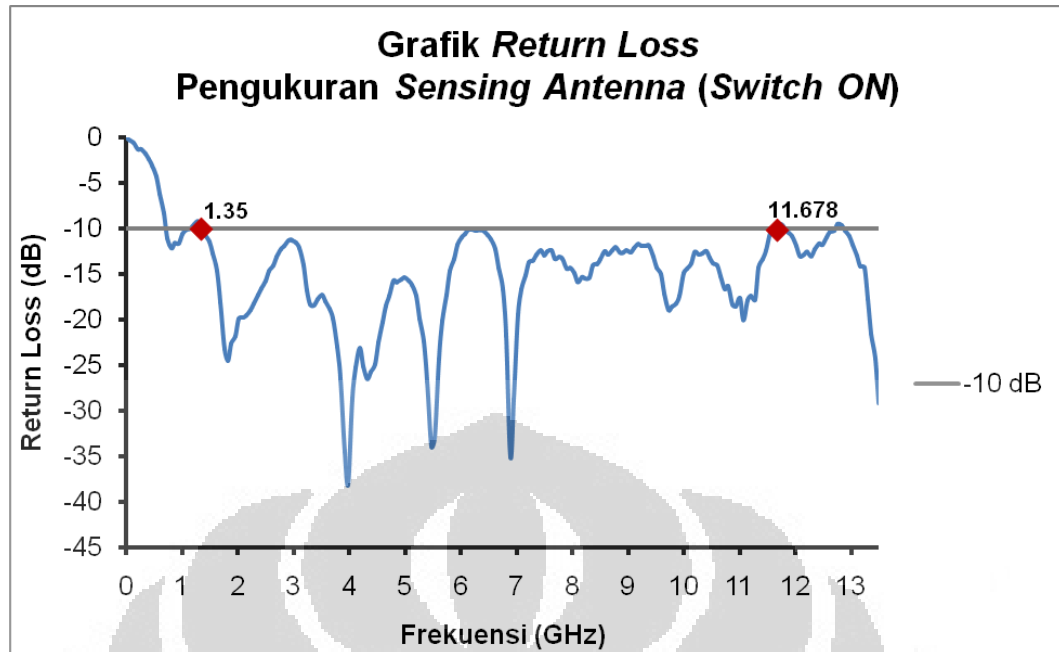
Sedangkan Gambar 5.3 merupakan *Smith Chart* yang menunjukkan hasil pengukuran parameter *input impedance sensing antenna* pada kondisi *switch OFF*. Pengukuran ini dilakukan untuk mengetahui nilai *input impedance* pada dua frekuensi kerja pada *impedance bandwidth sensing antenna* yang terukur. Berdasarkan Gambar 5.3 tersebut, *input impedance* antenna pada frekuensi kerja 1,8 GHz bernilai  $47,061 + j8,2036$  Ohm dan *input impedance* antenna pada frekuensi 2,35 GHz bernilai  $51,819 - j12,973$  Ohm.



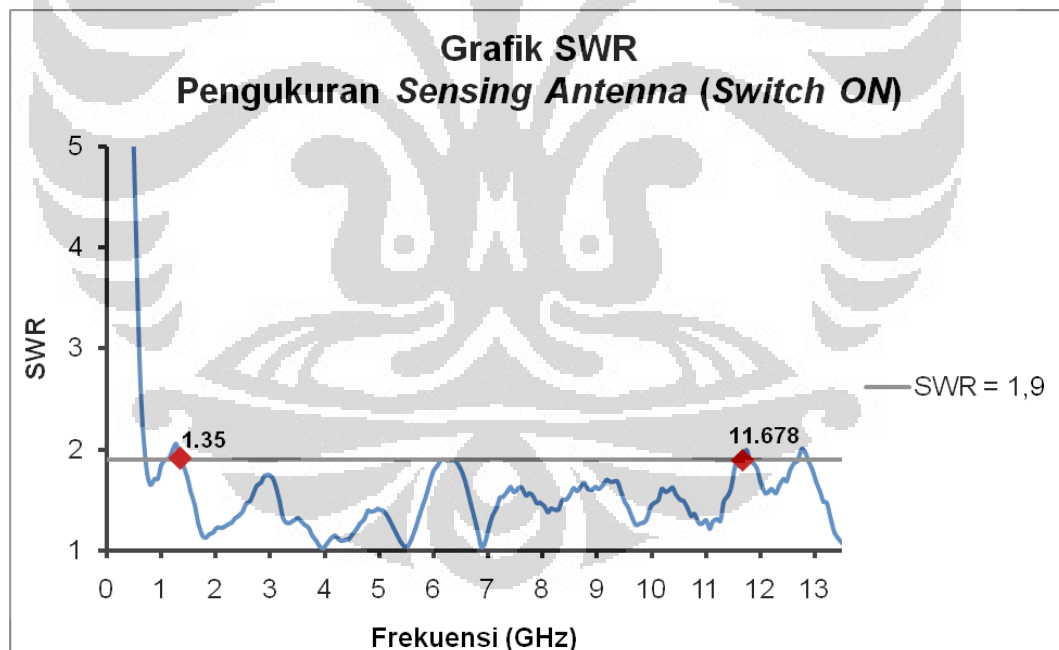
Gambar 5.3 *Smith Chart Input Impedance* Hasil Pengukuran *Sensing Antenna* pada Kondisi *Switch OFF*.

### 5.3.2 Pengukuran *Sensing Antenna* pada Kondisi *Switch ON*

Gambar 5.4 dan Gambar 5.5 merupakan grafik *return loss* dan *VSWR* hasil pengukuran parameter *return loss* dan *VSWR sensing antenna* pada kondisi *switch ON*. Kedua grafik tersebut menunjukkan bahwa AUT memiliki *impedance bandwidth* dari frekuensi 1,35 GHz hingga 11,678 GHz (10,328 GHz) pada batas  $RL \leq -10$  dB dan  $VSWR \leq 1,9$ .



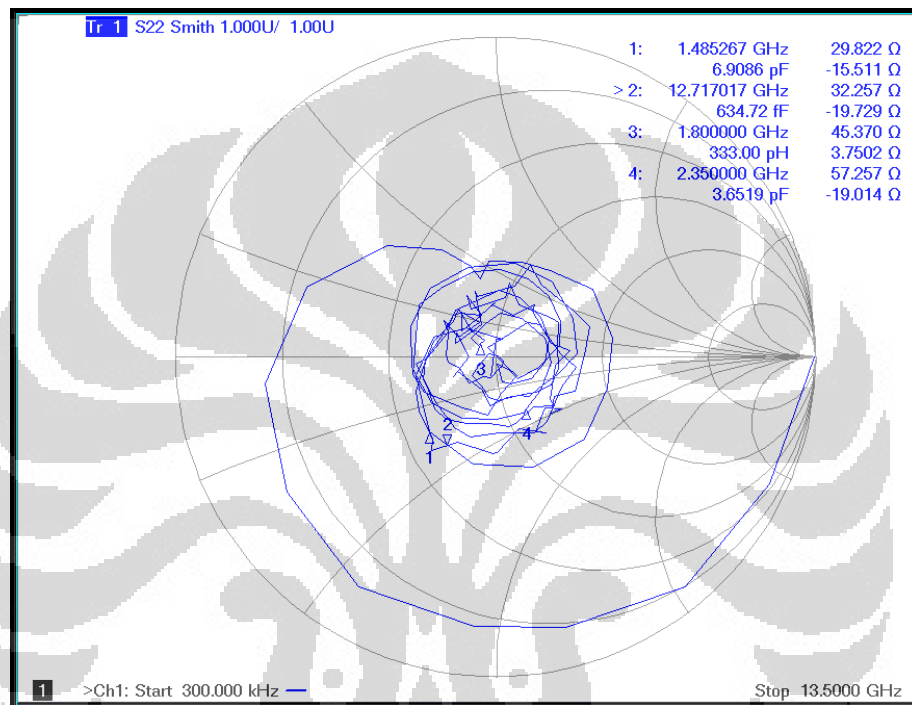
Gambar 5.4 Grafik *Return Loss* Hasil Pengukuran *Sensing Antenna* pada Kondisi *Switch ON*.



Gambar 5.5 Grafik *VSWR* Hasil Pengukuran *Sensing Antenna* pada Kondisi *Switch ON*.

Sedangkan hasil pengukuran parameter *input impedance sensing antenna* pada kondisi *switch ON* ditunjukkan oleh Gambar 5.6. Gambar 5.6 merupakan

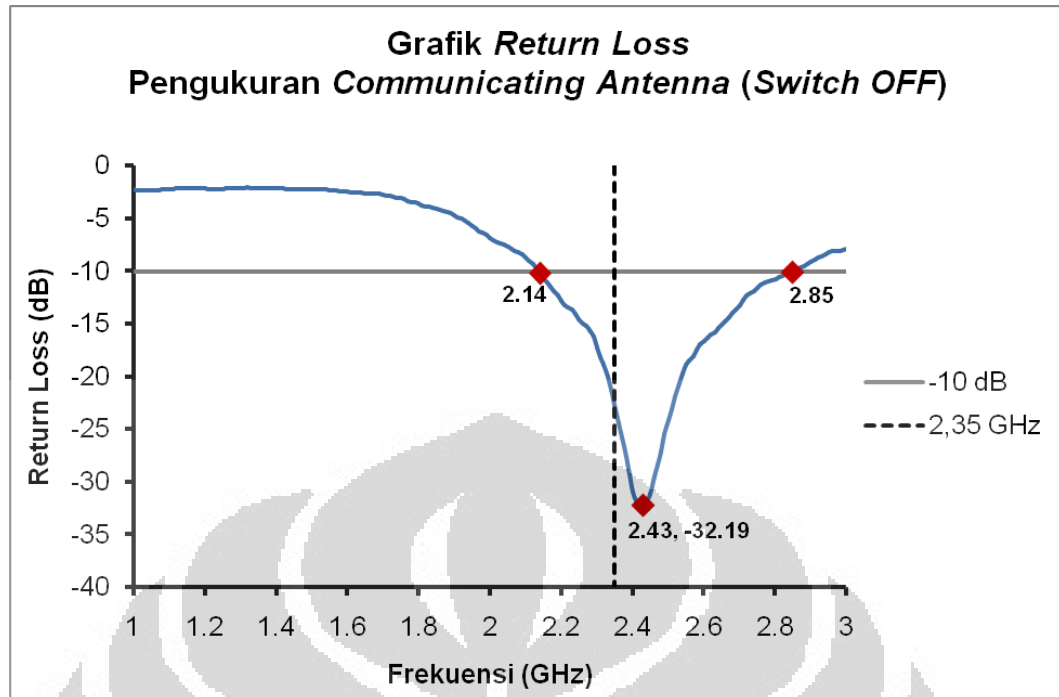
*Smith Chart* format pengukuran parameter *input impedance* pada *network analyzer*. Berdasarkan *Smith Chart* tersebut dapat diketahui bahwa pada frekuensi frekuensi kerja 1,8 GHz *input impedance* antenna bernilai  $45,370 + j3,7502$  Ohm dan pada frekuensi 2,35 GHz *input impedance* antenna bernilai  $57,257 - j19,014$  Ohm.



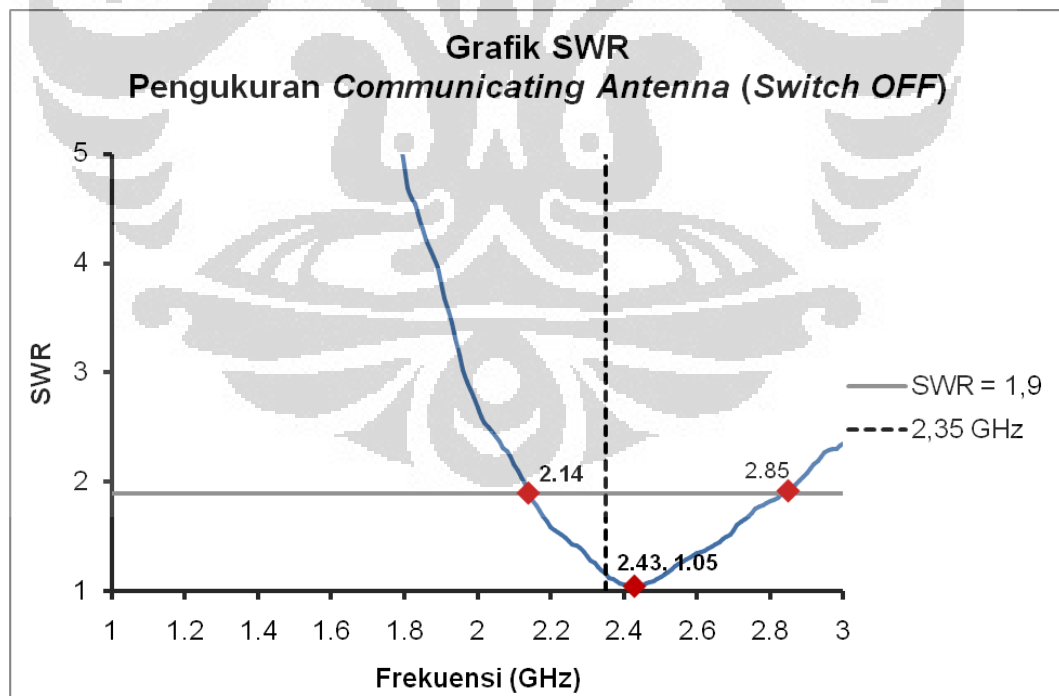
Gambar 5.6 *Smith Chart Input Impedance* Hasil Pengukuran *Sensing Antenna* pada Kondisi *Switch ON*.

### 5.3.3 Pengukuran *Communicating Antenna* pada Kondisi *Switch OFF*

Hasil pengukuran parameter *return loss* dan *VSWR communicating antenna* pada kondisi *switch OFF* ditunjukkan oleh Gambar 5.7 dan Gambar 5.8 berikut ini. Kedua grafik tersebut menunjukkan *communicating antenna* pada kondisi *switch OFF* memiliki frekuensi resonansi puncak pada frekuensi 2,43 GHz dengan nilai *return loss* -32,19 dB dan *VSWR* 1,05. Sedangkan pada frekuensi kerja 2,35 GHz, level *return loss* berada pada -22,706 dB dan *VSWR* bernilai 1,16. *Impedance bandwidth* yang terukur dimulai dari frekuensi 2,14 GHz hingga frekuensi 2,85 GHz (710 MHz) pada batas  $RL \leq -10$  dB dan  $VSWR \leq 1,9$ .

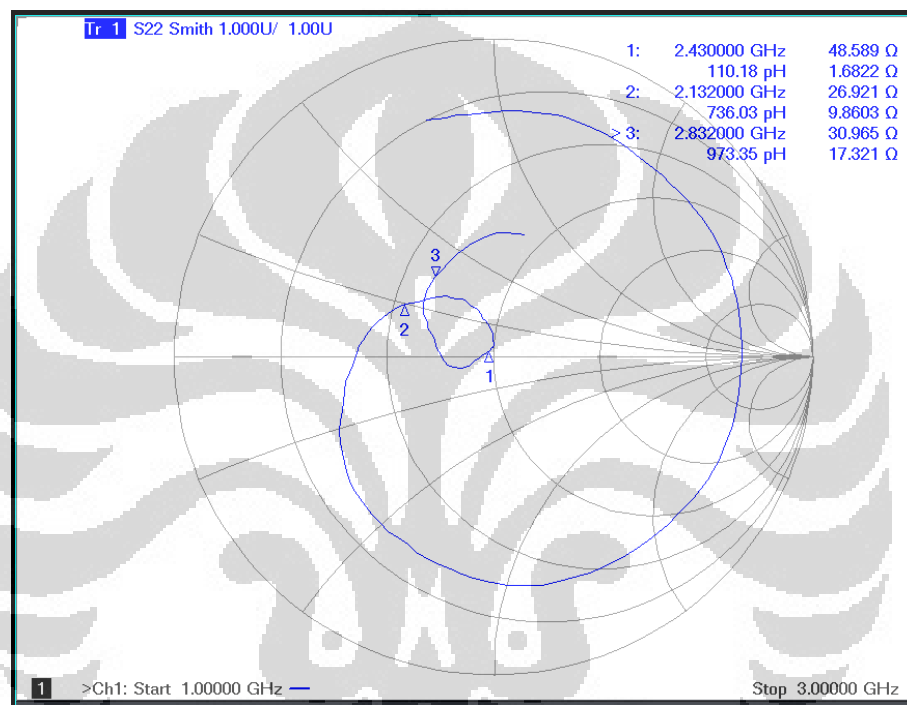


Gambar 5.7 Grafik *Return Loss* Hasil Pengukuran *Communicating Antenna* pada Kondisi *Switch OFF*.



Gambar 5.8 Grafik *VSWR* Hasil Pengukuran *Communicating Antenna* pada Kondisi *Switch OFF*.

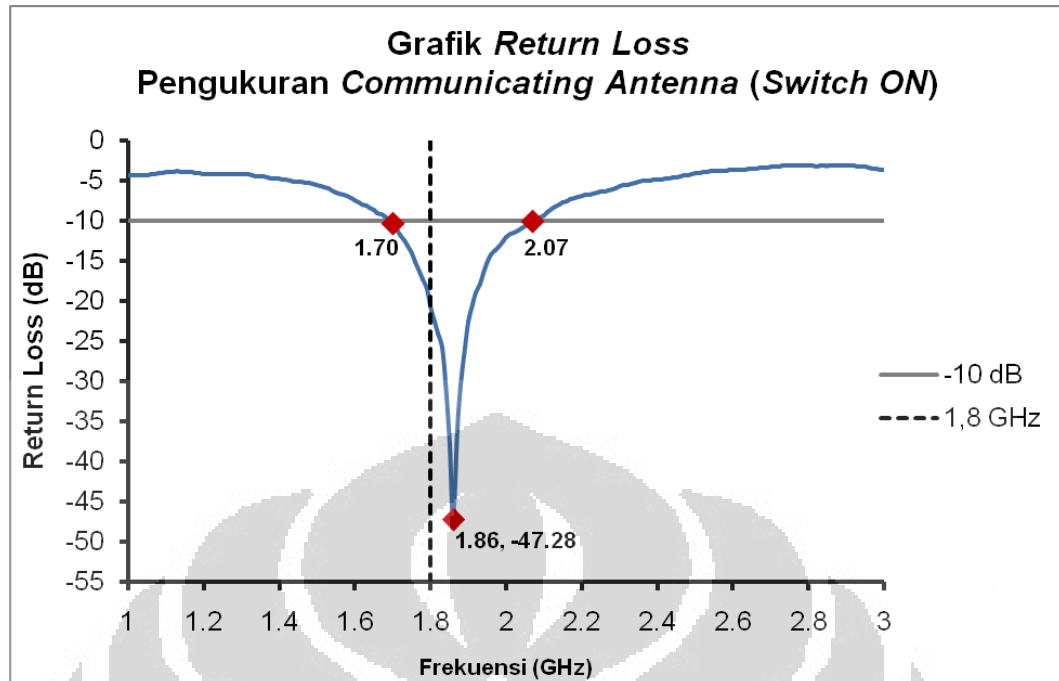
Gambar 5.9 merupakan *Smith Chart* yang menunjukkan hasil pengukuran parameter *input impedance communicating antenna* pada kondisi *switch OFF*. Pada frekuensi resonansi 2,43 GHz, *input impedance* antena bernilai  $48,589 + j1,6822$  Ohm. Sedangkan nilai *input impedance* berturut – turut yang terukur pada frekuensi bawah dan frekuensi atas *bandwidth* adalah  $26,921 + j9,8603$  Ohm dan  $30,965 + j17,321$  Ohm.



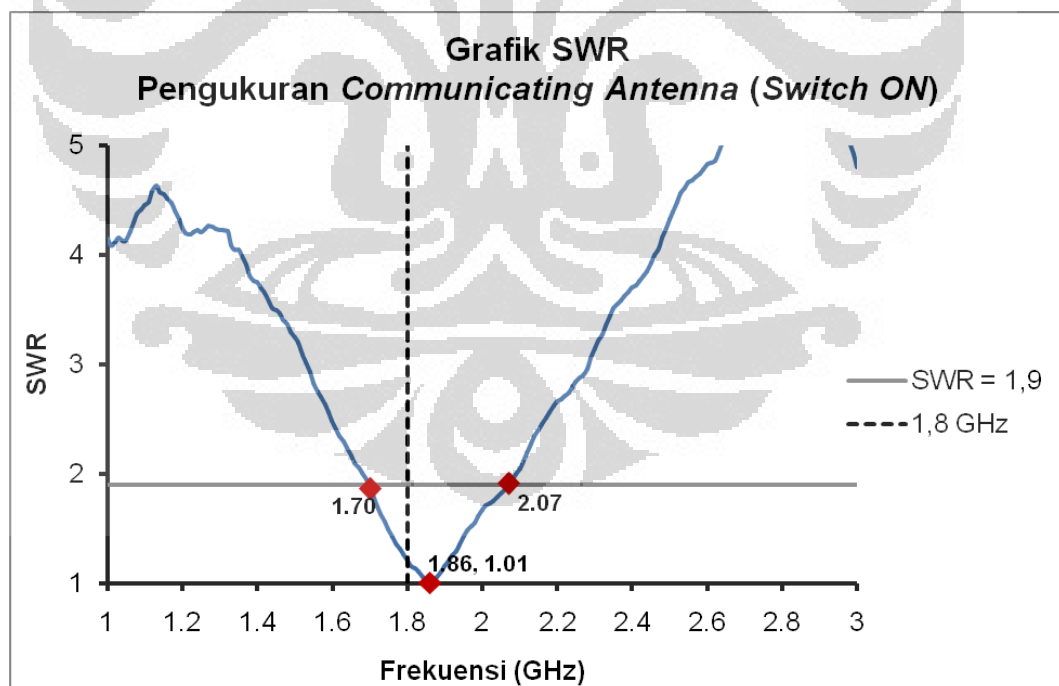
Gambar 5.9 *Smith Chart Input Impedance* Hasil Pengukuran *Communicating Antenna* pada Kondisi *Switch OFF*.

#### 5.3.4 Pengukuran *Communicating Antenna* pada Kondisi *Switch ON*

Hasil pengukuran parameter *return loss* dan *VSWR communicating antenna* pada kondisi *switch ON* ditunjukkan oleh Gambar 5.10 dan Gambar 5.11 berikut ini. Frekuensi resonansi antena terukur pada 1,86 GHz dengan level *return loss* mencapai puncak di -47,28 dB dan *VSWR* puncak di 1,01. Sedangkan pada frekuensi kerja 1,8 GHz, *return loss* berada di -20,599 dB dan *VSWR* bernilai 1,2. Pada batas  $RL \leq -10$  dB dan  $VSWR \leq 1,9$ , *impedance bandwidth* antena terukur dimulai dari frekuensi 1,7 GHz hingga 2,07 GHz (370 MHz).

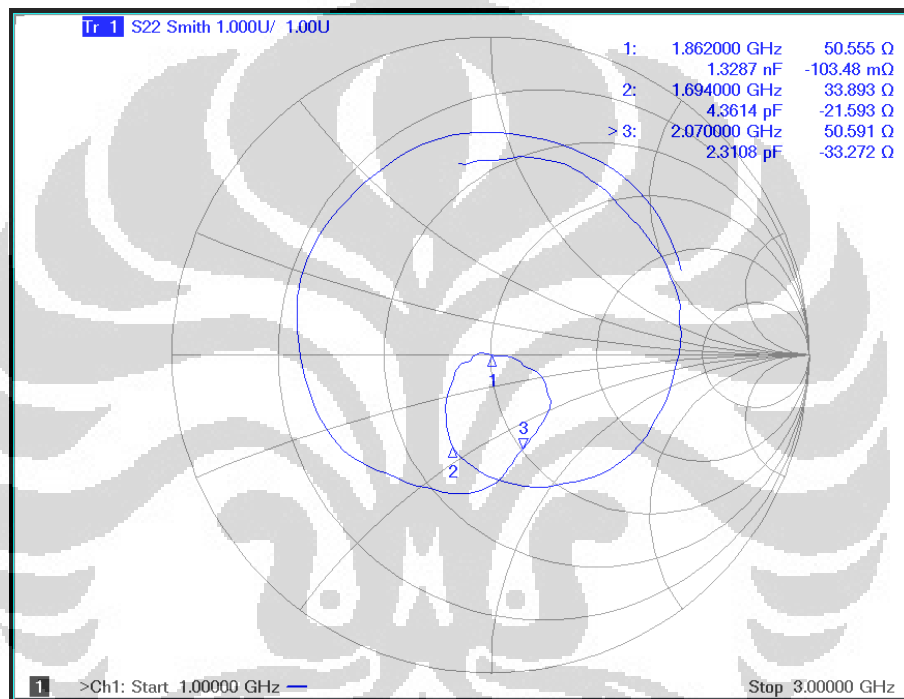


Gambar 5.10 Grafik *Return Loss* Hasil Pengukuran *Communicating Antenna* pada Kondisi *Switch ON*.



Gambar 5.11 Grafik *VSWR* Hasil Pengukuran *Communicating Antenna* pada Kondisi *Switch ON*.

*Smith Chart* hasil pengukuran parameter *input impedance communicating antenna* pada kondisi *switch ON* ditunjukkan pada Gambar 5.12 berikut ini. Pada frekuensi resonansi 1,86 GHz, *input impedance* antena bernilai  $50,555 - j0,103$  Ohm. Sedangkan frekuensi bawah dan frekuensi atas *impedance bandwidth* memiliki nilai *input impedance* berturut – turut  $33,893 - j21,593$  Ohm dan  $50,591 + j33,272$  Ohm.



Gambar 5.12 *Smith Chart Input Impedance* Hasil Pengukuran *Communicating Antenna* pada Kondisi *Switch ON*.

### 5.3.5 Hasil Pengukuran *Port* Tunggal Antena

Hasil pengukuran *port* tunggal ini menunjukkan bahwa sistem antena memiliki kemampuan rekonfigurasi frekuensi kerja. Hal ini tampak dari hasil pengukuran *communicating antenna* pada kondisi *switch OFF* yang memiliki frekuensi kerja di 2,35 GHz, sedangkan ketika kondisi *switch ON* frekuensi kerja bergeser ke frekuensi 1,8 GHz. Kondisi *switch* pada struktur *communicating antenna* juga mempengaruhi lebar *impedance bandwidth sensing antenna* dimana pada kondisi *switch ON*, *bandwidth* yang dihasilkan *sensing antenna* menjadi



lebih lebar daripada *bandwidth* ketika *communicating antenna switched OFF*. Tabel 5.1 di bawah ini menunjukkan hasil pengukuran *port* tunggal antenna untuk aplikasi *cognitive radio* yang dibuat pada skripsi ini.

Tabel 5.1 Hasil Pengukuran *Port* Tunggal AUT.

Antena	Kondisi Switch	Frekuensi Kerja	RL (dB)	VSWR	$Z_{in}$ (Ohm)	Impedance Bandwidth RL $\leq$ -10 dB VSWR $\leq$ 1,9
Sensing Antenna	OFF	1,8 GHz	-28,239	1,08	47,061 + j8,204	5,197 GHz
		2,35 GHz	-23,092	1,15	51,819 - j12,973	
	ON	1,8 GHz	-23,634	1,14	45,370 + j3,750	10,328 GHz
		2,35 GHz	-17,466	1,31	57,257 - j19,014	
Communicating Antenna	OFF	2,35 GHz	-22,706	1,16	48,589 + j1,682	710 MHz
	ON	1,8 GHz	-20,599	1,20	50,555 - j0,103	370 MHz

#### 5.4 Pengukuran *Port* Ganda

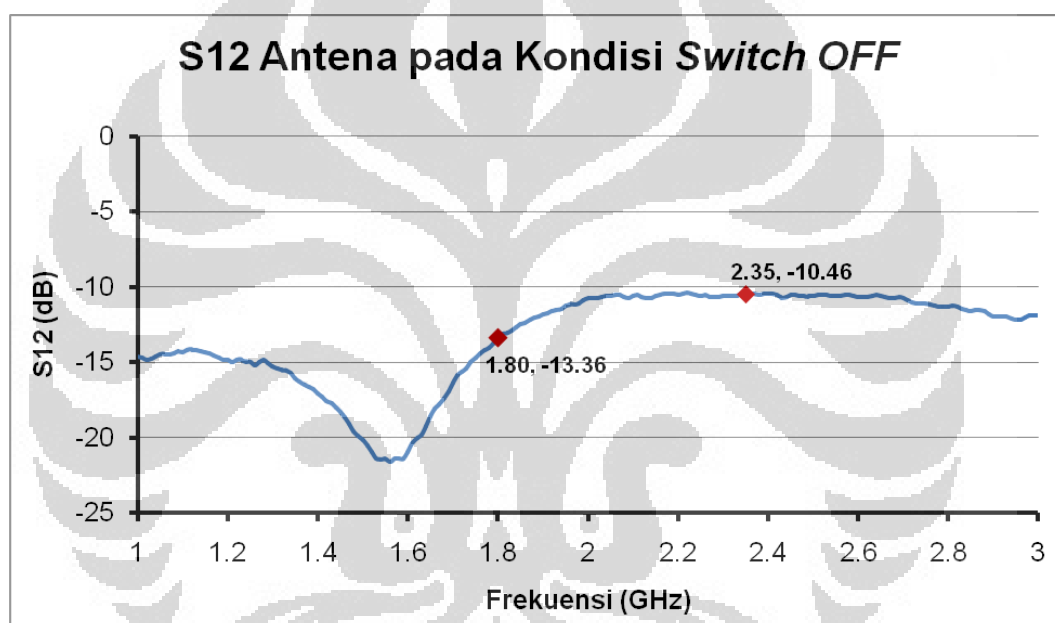
Pengukuran ini menggunakan kedua *port* yang terdapat di *network analyzer*. Parameter yang diukur pada pengukuran *port* ganda ini meliputi parameter *isolation between port* ( $S_{12}$ ), dan pola radiasi antenna.

##### 5.4.1 Pengukuran Parameter *Isolation between Port* ( $S_{12}$ )

Hasil pengukuran parameter *isolation between port* diberikan pada Tabel 5.2. Parameter ini diukur pada antenna dengan kondisi *switch* yang berbeda, yaitu ketika kondisi *switch OFF* dan kondisi *switch ON*. *Isolation between port* suatu antenna dikatakan baik jika data  $S_{12}$  yang terukur bernilai semakin rendah yang berarti pengaruh yang diberikan struktur yang satu terhadap struktur antenna lainnya semakin rendah, atau dengan kata lain kinerja *sensing antenna* tidak mempengaruhi performa *communicating antenna* dan begitu pula sebaliknya.

Tabel 5.2 Hasil Pengukuran Parameter *Isolation between Port AUT*.

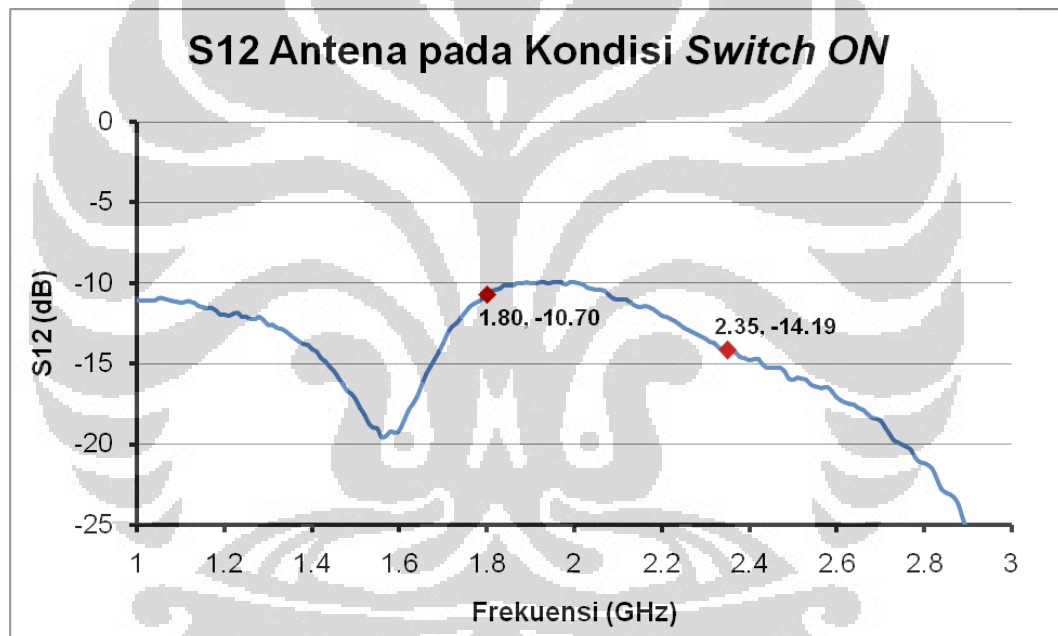
Antena	Frekuensi	<i>Isolation between Port (S<sub>12</sub>)</i>
Antena dengan Kondisi <i>Switch OFF</i>	1,8 GHz	-13,36 dB
	2,35 GHz	-10,46 dB
Antena dengan Kondisi <i>Switch ON</i>	1,8 GHz	-10,70 dB
	2,35 GHz	-14,19 dB

Gambar 5.13 Grafik S<sub>12</sub> Hasil Pengukuran Antena Saat Kondisi *Switch OFF*.

Hasil pengukuran parameter ini menunjukkan nilai S<sub>12</sub> yang masih terlalu tinggi walaupun sudah berada di bawah -10 dB sehingga dapat disimpulkan bahwa kinerja masing – masing struktur antena masih saling mempengaruhi satu sama lain. Hal ini terlihat jelas pada perbedaan level S<sub>12</sub> pada antena dengan kondisi *switch* yang berbeda. Pada antena dengan kondisi *switch OFF*, nilai S<sub>12</sub> lebih tinggi pada frekuensi 2,35 GHz dan S<sub>12</sub> bernilai lebih rendah pada frekuensi 1,8 GHz. Hal ini dikarenakan ketika kondisi *switch OFF* struktur *communicating antenna* bekerja pada frekuensi 2,35 GHz dan begitu pula *sensing antenna*. Sehingga karena baik *sensing antenna* maupun *communicating antenna* bekerja

pada frekuensi yang sama, maka kedua struktur akan saling memberikan pengaruh satu sama lain.

Analisis tersebut juga didukung oleh hasil pengukuran  $S_{12}$  pada antenna saat kondisi *switch ON*. Level  $S_{12}$  pada frekuensi kerja 1,8 GHz lebih tinggi dibandingkan dengan level  $S_{12}$  pada frekuensi 2,35 GHz yang bukan frekuensi kerja pada *communicating antenna* pada saat *switch ON*. Gambar 5.13 menunjukkan grafik  $S_{12}$  hasil pengukuran antenna kondisi *switch OFF*. Sedangkan grafik  $S_{12}$  hasil pengukuran antenna pada kondisi *switch ON* ditunjukkan oleh Gambar 5.14.



Gambar 5.14 Grafik  $S_{12}$  Hasil Pengukuran Antena Saat Kondisi *Switch ON*.

#### 5.4.2 Pengukuran Pola Radiasi Antena

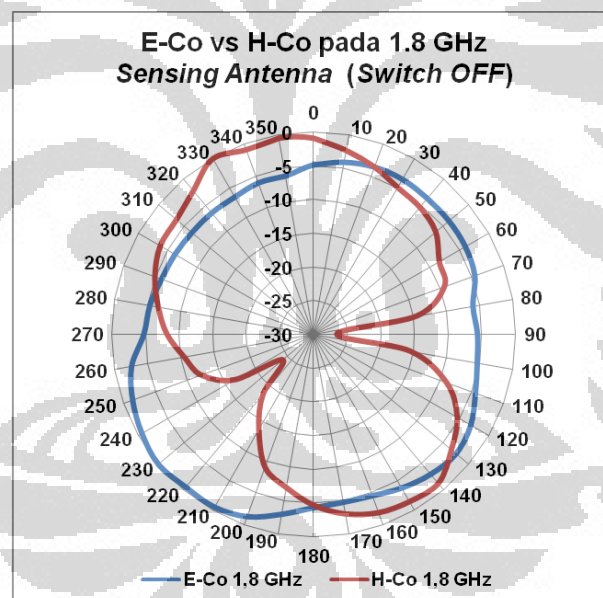
Pengukuran pola radiasi menggunakan dua antenna, yaitu antenna AUT sebagai penerima dan antenna penguji sebagai pengirim. Data yang diambil dari *network analyzer* adalah data  $S_{12}$  pada frekuensi kerja AUT. Pengambilan data pola radiasi AUT dilakukan dengan memutar AUT satu lingkaran penuh terhadap sumbu putar vertikal dimana antenna penguji sebagai pemancar berada pada posisi

tetap dan berhadapan dengan AUT. Pengukuran ini dilakukan untuk mendapatkan data pola radiasi antenna  $360^\circ$  dengan interval pengambilan data per  $10^\circ$ .

#### 5.4.2.1 Sensing Antenna pada Kondisi Switch OFF

##### a. Frekuensi Kerja 1,8 GHz

Gambar 5.15 menunjukkan grafik normalisasi pengukuran pola radiasi medan **E** dan medan **H** sensing antenna pada kondisi switch OFF pada frekuensi kerja 1,8 GHz. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa pola radiasi memiliki pola radiasi *omnidirectional* dengan medan **E** maksimum pada sudut  $230^\circ$  dengan level daya -39,381 dB dan medan **H** maksimum pada sudut  $330^\circ$  pada level daya -38,796 dB.

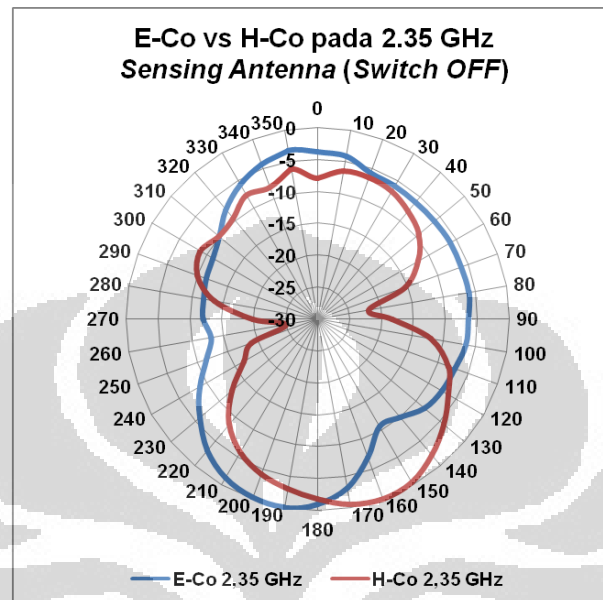


Gambar 5.15 Hasil Pengukuran Pola Radiasi E-Co vs H-Co Sensing Antenna pada Kondisi Switch OFF di Frekuensi Kerja 1,8 GHz.

##### b. Frekuensi Kerja 2,35 GHz

Gambar 5.16 menunjukkan grafik normalisasi pengukuran pola radiasi medan **E** dan medan **H** sensing antenna pada kondisi switch ON pada frekuensi kerja 2,35 GHz. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa pola radiasi memiliki pola radiasi *omnidirectional* dengan medan **E** maksimum pada sudut  $190^\circ$  dengan level

daya -36,749 dan medan **H** maksimum pada sudut  $160^\circ$  dengan level daya -36,806 dB.



Gambar 5.16 Hasil Pengukuran Pola Radiasi E-Co vs H-Co *Sensing Antenna* pada Kondisi *Switch OFF* di Frekuensi Kerja 2,35 GHz.

#### 5.4.2.2 *Sensing Antenna* pada Kondisi *Switch ON*

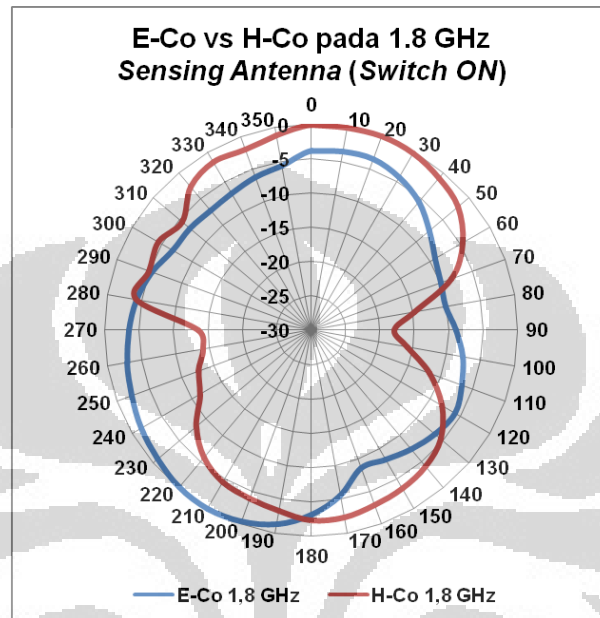
##### a. Frekuensi Kerja 1,8 GHz

Gambar 5.17 menunjukkan grafik normalisasi pengukuran pola radiasi medan **E** dan medan **H** *sensing antenna* pada kondisi *switch ON* pada frekuensi kerja 1,8 GHz. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa pola radiasi memiliki pola radiasi mendekati pola *omnidirectional* dengan medan **E** maksimum pada sudut  $210^\circ$  dengan level daya -39,253 dB dan medan **H** maksimum pada sudut  $20^\circ$  dengan level daya maksimum -41,747 dB.

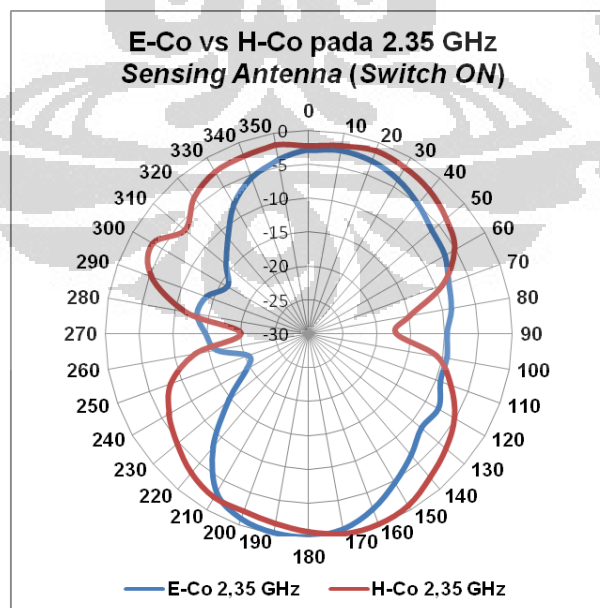
##### b. Frekuensi Kerja 2,35 GHz

Grafik hasil pengukuran pola radiasi medan **E** dan medan **H** *sensing antenna* pada kondisi *switch ON* pada frekuensi kerja 2,35 GHz ditunjukkan pada Gambar 5.18. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa pola radiasi mendekati pola

*omnidirectional*. Medan **E** maksimum pada sudut  $180^\circ$  dengan level daya  $-36,015$  dB dan medan **H** maksimum pada sudut  $160^\circ$  dengan level daya maksimum  $-35,582$  dB.



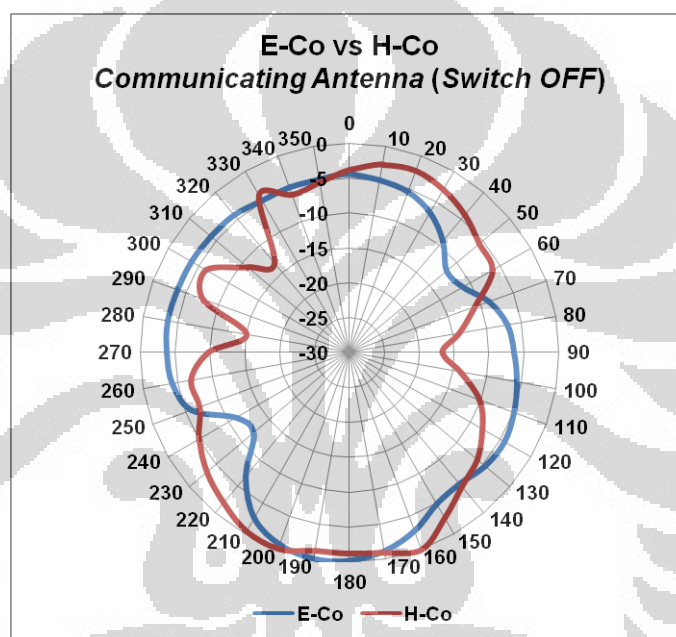
Gambar 5.17 Hasil Pengukuran Pola Radiasi E-Co vs H-Co *Sensing Antenna* pada Kondisi *Switch ON* di Frekuensi Kerja 1,8 GHz.



Gambar 5.18 Hasil Pengukuran Pola Radiasi E-Co vs H-Co *Sensing Antenna* pada Kondisi *Switch ON* di Frekuensi Kerja 2,35 GHz.

#### 5.4.2.3 *Communicating Antenna* pada Kondisi *Switch OFF*

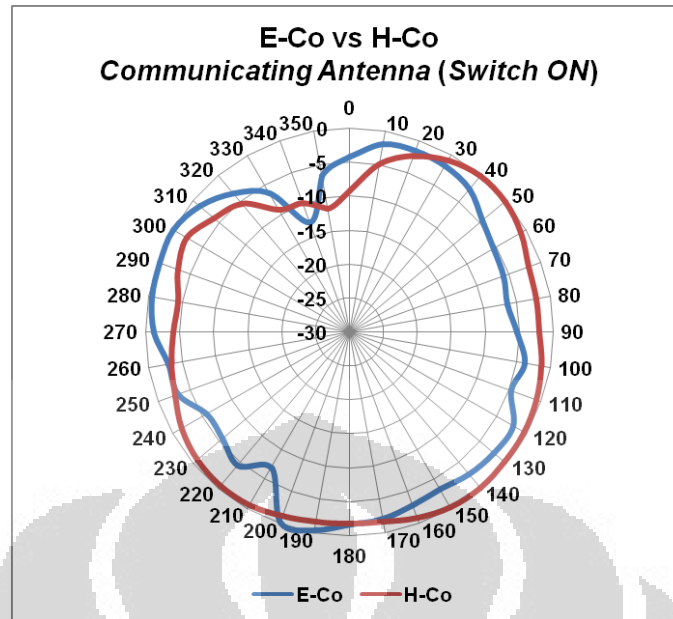
Hasil pengukuran pola radiasi *communicating antenna* pada kondisi *switch OFF* di frekuensi kerja 2,35 GHz ditunjukkan oleh Gambar 5.19 di bawah ini. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa pola radiasi mendekati pola radiasi *omnidirectional*. Medan **E** maksimum pada sudut  $190^\circ$  dengan level daya -40,223 dB dan medan **H** maksimum pada sudut  $160^\circ$  dengan level daya maksimum -39,747 dB.



Gambar 5.19 Hasil Pengukuran Pola Radiasi E-Co vs H-Co *Communicating Antenna* pada Kondisi *Switch OFF* di Frekuensi Kerja 2,35 GHz.

#### 5.4.2.4 *Communicating Antenna* pada Kondisi *Switch ON*

Hasil pengukuran pola radiasi *communicating antenna* pada kondisi *switch ON* yang dilakukan pada frekuensi kerja 1,8 GHz ditunjukkan oleh Gambar 5.20. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa pola radiasi tidak memiliki pola *omnidirectional*, dimana baik medan **E** maupun medan **H** berbentuk lingkaran yang hampir sempurna. Medan **E** maksimum pada sudut  $300^\circ$  dengan level daya -45,029 dB dan medan **H** maksimum pada sudut  $40^\circ$  dengan level daya maksimum -41,059 dB.



Gambar 5.20 Hasil Pengukuran Pola Radiasi E-Co vs H-Co *Communicating Antenna* pada Kondisi *Switch OFF* di Frekuensi Kerja 1,8 GHz.

#### 5.4.2.5 Hasil Pengukuran Pola Radiasi Antena

Hasil pengukuran pola radiasi antena untuk aplikasi *cognitive radio* ini terangkum pada Tabel 5.3 di bawah ini.

Tabel 5.3 Hasil Pengukuran Parameter Pola Radiasi AUT.

Antena	Kondisi Switch	Frekuensi Kerja	Omnidirectional (Ya/Tidak)
<i>Sensing Antenna</i>	<i>OFF</i>	1,8 GHz	Ya
		2,35 GHz	Ya
	<i>ON</i>	1,8 GHz	Ya
		2,35 GHz	Ya
<i>Communicating Antenna</i>	<i>OFF</i>	2,35 GHz	Ya
	<i>ON</i>	1,8 GHz	Tidak

Berdasarkan hasil pengukuran, sebagian besar pola radiasi AUT memiliki pola radiasi *omnidirectional* walaupun tidak sempurna. Namun, pengukuran pola radiasi *communicating antenna* pada kondisi *switch ON* menunjukkan pola yang

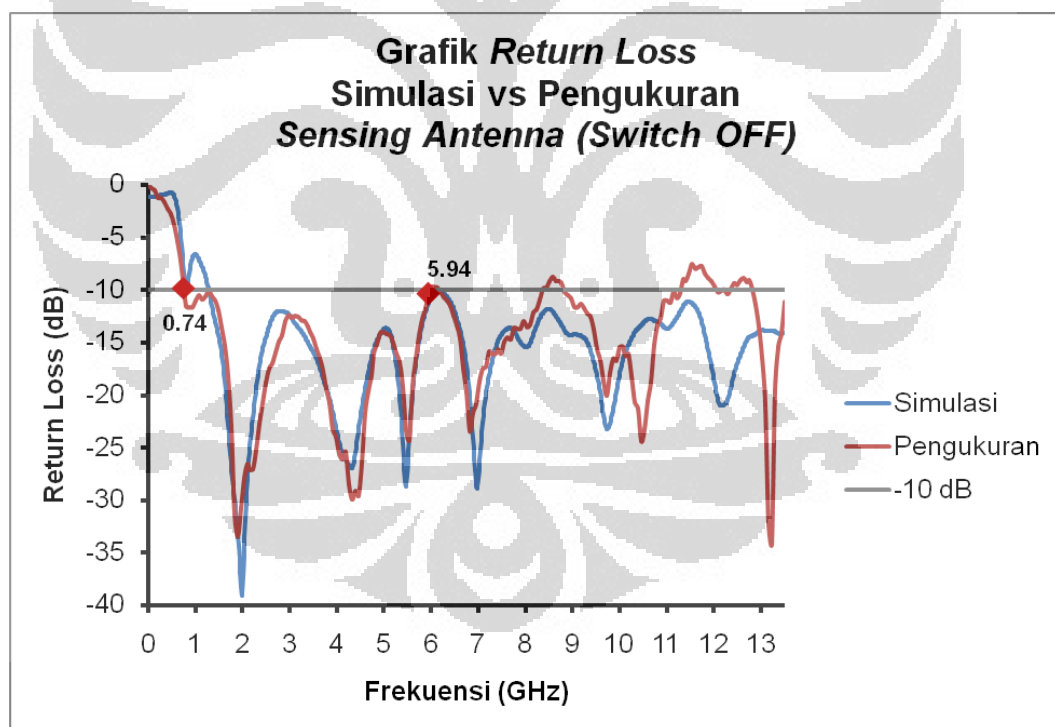


tidak sama dengan pola radiasi *communicating antenna* ketika kondisi *switch OFF*. Hal ini terjadi karena kondisi *switch ON* menyebabkan struktur antenna baerubah. Sehingga berdasarkan hasil pengukuran, *communicating antenna* ini tidak hanya akan merubah frekuensi kerja, namun juga merubah pola radiasi antenna ketika kondisi *switch ON*.

## 5.5 Analisis Perbandingan Hasil Simulasi dengan Hasil Pengukuran

### 5.5.1 Sensing Antenna pada Kondisi Switch OFF

Gambar 5.21 di bawah ini menunjukkan grafik *return loss* hasil pengukuran yang dibandingkan dengan grafik *return loss* hasil simulasi *sensing antenna* ketika kondisi *switch OFF*.



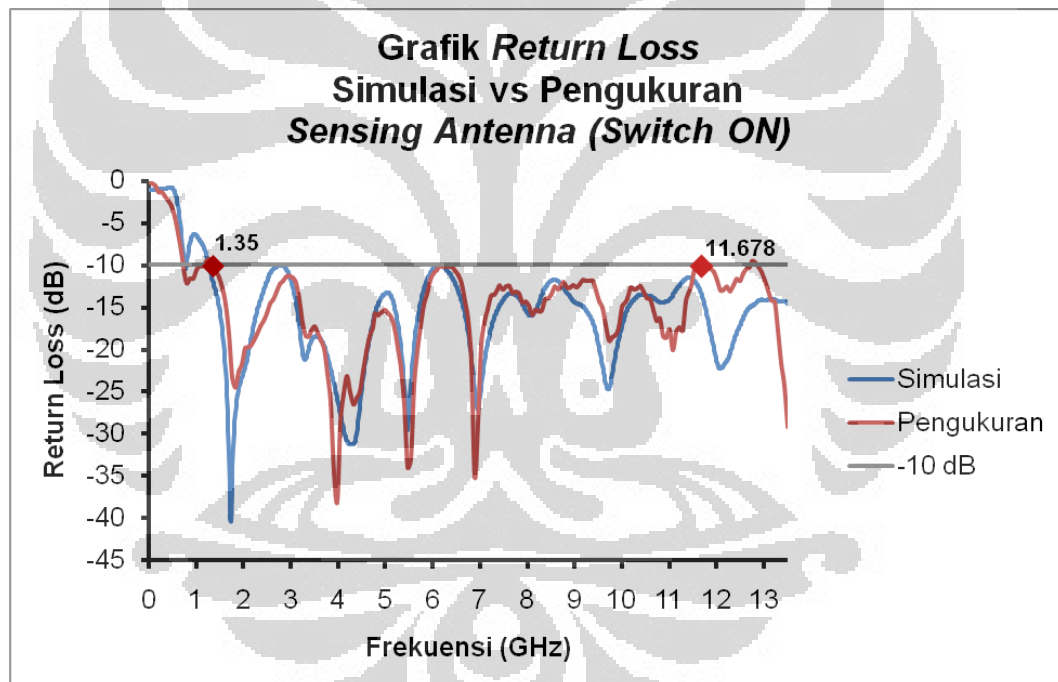
Gambar 5.21 Grafik *Return Loss* Perbandingan Antara Simulasi dan Hasil Pengukuran *Sensing Antenna* pada Kondisi *Switch OFF*.

Hasil pengukuran menunjukkan *sensing antenna* memiliki *impedance bandwidth* yang lebih lebar dibandingkan dengan hasil simulasi. Perbedaan juga

terletak pada frekuensi bawah *bandwidth*, dimana frekuensi bawah *bandwidth* hasil pengukuran lebih rendah. Hal ini menunjukkan adanya pergeseran frekuensi pada antenna yang difabrikasi berdasarkan hasil simulasi perancangan. Perbandingan hasil simulasi dan pengukuran parameter antenna ini ditunjukkan pada Tabel 5.4.

### 5.5.2 Sensing Antenna pada Kondisi Switch ON

Perbandingan antara hasil simulasi dan pengukuran parameter *return loss* sensing antenna pada kondisi *switch ON* ditunjukkan oleh Gambar 5.22 berikut ini.

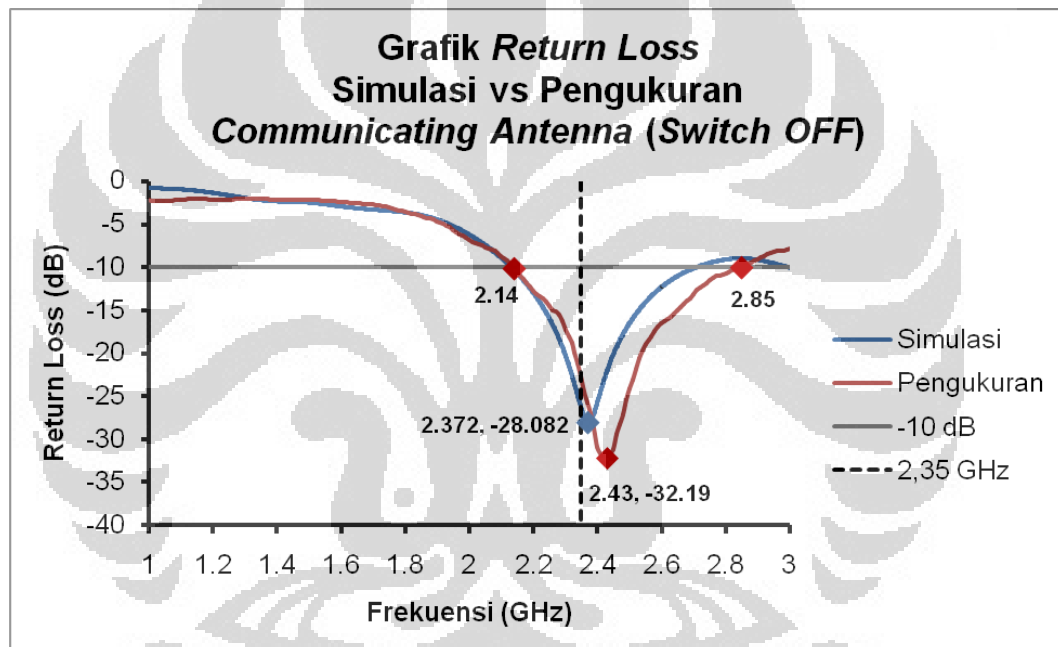


Gambar 5.22 Grafik *Return Loss* Perbandingan Antara Simulasi dan Hasil Pengukuran *Sensing Antenna* pada Kondisi *Switch ON*.

Hasil pengukuran menunjukkan *sensing antenna* memiliki *impedance bandwidth* yang lebih lebar dari hasil simulasi dan memenuhi spesifikasi performa antenna yang diharapkan, yang tidak ditunjukkan pada hasil simulasi. Tabel 5.4 memberikan perbandingan antara hasil simulasi dan hasil pengukuran parameter *return loss* antenna ini.

### 5.5.3 *Communicating Antenna* pada Kondisi *Switch OFF*

Grafik *return loss* hasil pengukuran yang dibandingkan dengan grafik *return loss* hasil simulasi *communicating antenna* pada kondisi *switch OFF* ditunjukkan oleh Gambar 5.23 berikut ini. Bentuk dari kedua grafik tidak berbeda jauh, namun terlihat adanya pergeseran frekuensi resonansi pada saat pengukuran. Juga terlihat bahwa *impedance bandwidth* yang terukur lebih lebar dibanding simulasi. Perbandingan antara frekuensi resonansi dan parameter *return loss* hasil simulasi dan pengukuran diberikan pada Tabel 5.4.

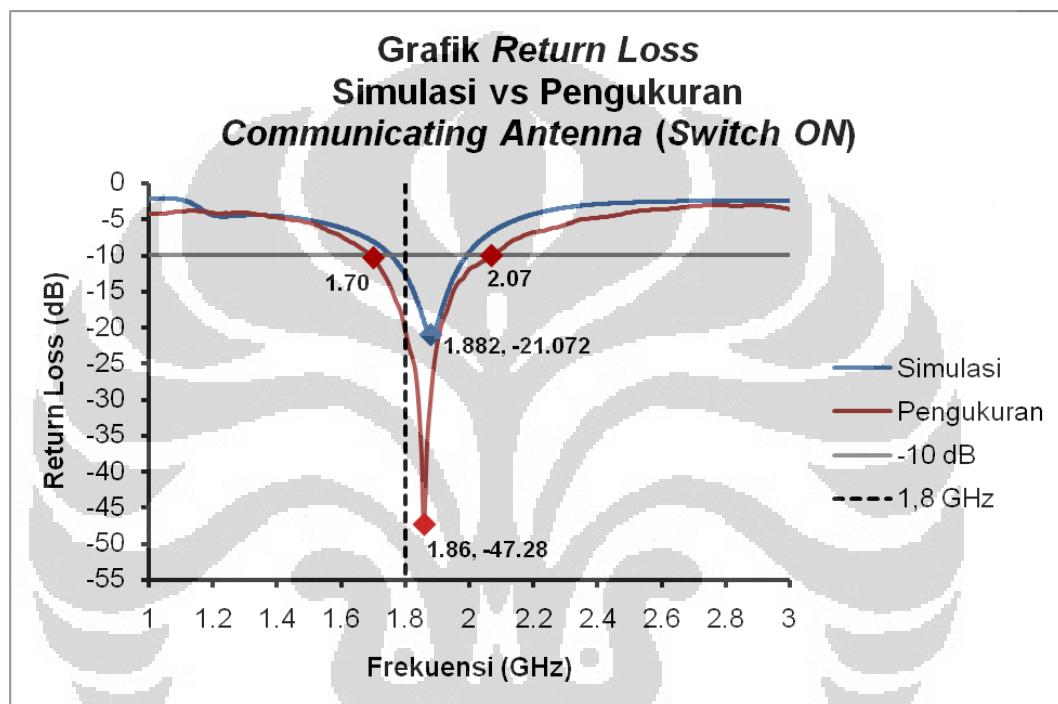


Gambar 5.23 Grafik *Return Loss* Perbandingan Antara Simulasi dan Hasil Pengukuran *Communicating Antenna* pada Kondisi *Switch OFF*.

### 5.5.4 *Communicating Antenna* pada Kondisi *Switch ON*

Grafik *return loss* hasil pengukuran yang dibandingkan dengan grafik *return loss* hasil simulasi *communicating antenna* pada kondisi *switch ON* ditampilkan pada Gambar 5.24. Gambar tersebut menunjukkan frekuensi resonansi hasil pengukuran tidak bergeser jauh dari frekuensi resonansi hasil simulasi. Namun perbedaan terlihat signifikan pada lebar *bandwidth* dan level *return loss* frekuensi resonansi. Hasil pengukuran menunjukkan antenna memiliki

*impedance bandwidth* yang lebih lebar dibandingkan dengan hasil simulasi. Selain itu, level *return loss* frekuensi resonansi pada saat pengukuran juga lebih *matching* dibandingkan *return loss* frekuensi resonansi pada saat simulasi. Sehingga secara umum pengukuran menunjukkan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan simulasi. Perbandingan antara parameter *return loss* antenna hasil simulasi dan pengukuran diberikan pada Tabel 5.4.



Gambar 5.24 Grafik *Return Loss* Perbandingan Antara Simulasi dan Hasil Pengukuran *Communicating Antenna* pada Kondisi *Switch ON*.

#### 5.5.5 Analisis Perbandingan Pengukuran dan Simulasi Parameter *Return Loss* Antena untuk Aplikasi *Cognitive Radio*

Perbandingan parameter *return loss* antara hasil pengukuran dan simulasi ditampilkan pada Tabel 5.4. Berdasarkan data pada tabel tersebut dapat diketahui bahwa antenna hasil fabrikasi memiliki parameter *return loss* yang kurang lebih sama dan bahkan ada yang lebih baik dibandingkan dengan hasil simulasi. Hal ini terutama terlihat pada *impedance bandwidth* yang dihasilkan antenna berdasarkan pengukuran memiliki rentang frekuensi yang lebih lebar dibandingkan dengan

*impedance bandwidth* hasil simulasi. Perbedaan yang juga signifikan adalah adanya pergeseran frekuensi resonan dari AUT. Perbedaan – perbedaan yang ada antara hasil simulasi dan hasil pengukuran antenna disebabkan oleh beberapa faktor yang mempengaruhi kondisi pengukuran dimulai dari proses fabrikasi hingga saat pengukuran berlangsung.

Tabel 5.4 Perbandingan Simulasi dan Pengukuran Parameter *Return Loss* Antena untuk Aplikasi *Cognitive Radio*.

Antena	Simulasi			Pengukuran		
	Freq (GHz)	RL (dB)	Impedance Bandwidth RL ≤ -10 dB	Freq (GHz)	RL (dB)	Impedance Bandwidth RL ≤ -10 dB
<i>Sensing Antenna (Switch OFF)</i>	1,8 GHz	-28,724	4,86 GHz	1,8 GHz	-28,239	5,197 GHz
	2,35 GHz	-17,244		2,35 GHz	-23,092	
<i>Sensing Antenna (Switch ON)</i>	1,8 GHz	-29,842	1,485 GHz	1,8 GHz	-23,634	10,328 GHz
	2,35 GHz	-14,134		2,35 GHz	-17,466	
<i>Communicating Antenna (Switch OFF)</i>	2,35 GHz	-26,434	579 MHz	2,35 GHz	-22,706	710 MHz
	2,372 GHz	-28,082		2,43 GHz	-32,19	
<i>Communicating Antenna (Switch ON)</i>	1,8 GHz	-12,672	237 MHz	1,8 GHz	-20,599	370 MHz
	1,882 GHz	-21,072		1,86 GHz	-47,28	

## 5.6 Analisis Kesalahan Umum

Berdasarkan perbandingan yang telah dilakukan antara simulasi dengan hasil pengukuran, terdapat perbedaan antara hasil simulasi dan hasil pengukuran. Perbedaan – perbedaan yang muncul tersebut dapat disebabkan oleh beberapa faktor dimana faktor – faktor tersebut juga mempengaruhi proses pengukuran

sehingga hasil pengukuran, baik pengukuran *port* tunggal maupun pengukuran *port* ganda memiliki nilai toleransi tertentu. Beberapa faktor yang mempengaruhi proses dan hasil pengukuran adalah sebagai berikut.

- a. Hasil fabrikasi antena yang tidak 100% tepat dengan rancang bangun antena yang disimulasikan.
- b. Suhu dan kelembapan udara, serta semua kondisi pada saat pengukuran yang tidak diperhitungkan pada proses simulasi.
- c. Konstanta dielektrik bahan substrat yang digunakan memiliki nilai toleransi  $\epsilon_r = 4,3 \pm 0,02$ , nilai toleransi loss tangent  $\delta$  bahan substrat, serta sifat heterogen dari bahan FR4 yang menyebabkan terjadinya dispersi gelombang pada antena.
- d. Proses penyolderan konektor SMA ke pencatu *microstrip line* antena yang kurang baik sehingga hasil solder kurang akurat.
- e. adanya rugi-rugi pada kabel *coaxial* yang digunakan pada pengukuran, *port* SMA pada antena, tembaga sebagai elemen peradiasi dan pentanahan antena, dan berbagai konektor yang digunakan pada *network analyzer*.

## BAB 6

### KESIMPULAN

1. Antena untuk aplikasi *cognitive radio* ini terdiri dari dua antena, yaitu *sensing antenna* dan *frequency reconfigurable communicating antenna*.
2. *Sensing antenna* memiliki *impedance bandwidth* yang mencakup kedua frekuensi kerja 1,8 GHz dan 2,35 GHz. Pada kondisi *switch OFF*, *impedance bandwidth* mencapai 5,197 GHz. Sedangkan pada kondisi *switch ON*, *impedance bandwidth* sebesar 10,328 GHz. *Impedance bandwidth* diukur pada batas  $RL \leq -10$  dB atau  $VSWR \leq 1,9$ . Dengan demikian *sensing antenna* ini memiliki performa kerja yang sesuai dengan spesifikasi antena yang diperlukan.
3. *Communicating antenna* memiliki frekuensi kerja pada 1,8 GHz pada kondisi *switch ON* dengan *impedance bandwidth* 370 MHz dan frekuensi kerja 2,35 GHz pada kondisi *switch OFF* dengan *impedance bandwidth* 710 MHz. *Impedance bandwidth* tersebut diukur pada batas  $RL \leq -10$  dB atau  $VSWR \leq 1,9$ . Dengan demikian *communicating antenna* merupakan *frequency reconfigurable antenna* dan memiliki performa kerja yang sesuai dengan spesifikasi antena yang diinginkan.
4. Pengukuran parameter *isolation between port* menunjukkan bahwa *sensing antenna* dan *communicating antenna* saling mempengaruhi kinerja satu sama lain.
5. Pola radiasi *sensing antenna* untuk aplikasi *cognitive radio* ini memiliki pola radiasi *omnidirectional*, begitu pula pola radiasi *communicating antenna* pada kondisi *switch OFF*. Perubahan kondisi *switch* ke kondisi *ON* menyebabkan bentuk pola radiasi *communicating antenna* menjadi tidak *omnidirectional*.

## DAFTAR REFERENSI

- [1] Linda E. Doyle. *Essentials of Cognitive Radio*. New York: Cambridge University Press, 2009.
- [2] Elbram Ebrahimi and Peter S. Hall. *A Dual Port Wide-Narrowband Antenna for Cognitive Radio*. In Proceedings of Third European Conference on Antennas and Propagation. pp. 809 – 812. March 2009.
- [3] Kotaro Watanabe, Koji Ishibashi, & Ryuji Kohno. *Performance of Cognitive Radio Technologies In The Presence of Primary Radio Systems*. In Proceedings of 18th Annual IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications. pp 1 – 5. September 2007.
- [4] Fette, Bruce et al. *RF & Wireless Technologies*. Oxford: Elsevier, Inc, 2008.
- [5] Mohammed Al-Husseini, Ali El-Hajj, Karim Y. Kabalan, Youssef Tawk, Christos G. Christodoulou. *A Simple Dual Port Antenna System for Cognitive Radio Application*. In Proceedings of The 2010 International Conference of High Performance Computing and Simulation. pp 549 – 552. June 2010.
- [6] James R. Kelly, Peter S. Hall, & Peter Gardner. *Integrated Wide-Narrow Band Antenna for Switched Operation*. In Proceedings of Third European Conference on Antennas and Propagation. pp 3757 – 3760. March 2009.
- [7] H. F. AbuTarboush, S. Khan, R. Nilavalan, H. S. Al – Raweshidy, and D. Budimir. *Reconfigurable Wideband Patch Antenna for Cognitive Radio*. In Proceedings of Loughborough Antennas & Propagation Conference. pp 141 – 144. November 2009.
- [8] James R. Kelly, and Peter S. Hall. *Reconfigurable Slot Antenna for Cognitive Radio Applications*. In Proceedings of Antennas and Propagation Society International Symposium. pp 1 – 4. May 2009.
- [9] Y. Tawk and C. G. Christodoulou. *A New Reconfigurable Antenna Design for Cognitive Radio*. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letter, Vol. 8, pp 1378 – 1381. 2009.
- [10] FCC. *Report of The Spectrum Efficiency Working Group*. FCC Spectrum Policy Task Force, Tech. Rep., Nov. 2002.
- [11] *IEEE Standard Definitions and Concepts for Dynamic Spectrum Access: Terminology Relating to Emerging Wireless Networks, System Functionality, and Spectrum Management*. 26 September 2008 IEEE Std 1900.1™-2008.



- [12] Peter Gardner, Mohamad Rijal Hamid, Peter S. Hall, J. Kelly, F. Ghanem, and E. Ebrahimi. *Reconfigurable Antennas for Cognitive Radio: Requirements and Potential Design Approaches*. In Proceedings of 2008 Institution of Engineering and Technology Seminar on Wideband, Multiband Antennas and Arrays for Defense or Civil Applications, pp 89 – 94. 2008.
- [13] Constantine A. Balanis. *Antenna Theory Analysis and Design* (2<sup>nd</sup> ed.). New York: John Wiley & Sons, Inc, 1997.
- [14] Stuart M. Wentworth. *Fundamentals of Electromagnetic with Engineering Application*. New York: John Wiley & Sons, Inc, 2005.
- [15] David M. Pozar. *Microwave Engineering* (2<sup>nd</sup> ed.). New York: John Wiley & Sons, Inc, 2003.
- [16] Harvey Lehpamer. *Microwave Transmission Networks: Planning, Design, and Deployment* (2<sup>nd</sup> ed.). New York: McGraw – Hill, 2010.
- [17] Girish Kumar and K. P. Ray. *Broadband Microstrip Antenna*. Boston: Artech House, Inc, 2003.
- [18] Ramesh Garg, Prakash Bhartia, Inder Bahl, and Apisak Ittipiboon. *Microstrip Antenna Design Handbook*. Boston: Artech House, Inc, 2001.
- [19] W. L. Stutzman and A. T. Gary. *Antena Theory and Design* (2<sup>nd</sup> ed.). New York: John Wiley & Sons, 1998.
- [20] K. Hirasawa and M. Haneishi. *Analysis, Design, and Measurement of Small and Low-Profile Antenas*. Boston: Artech House, Inc, 1992.
- [21] J. Liu, S. Gong, Y. Xu, X. Zhang, C. Feng, & N. Qi. *Compact Printed Ultra-Wideband Monopole Antenna with Dual Band-Notched Characteristics*. IEEE Electronics Letters Vol. 44 No. 12. pp 710 – 11. June 2008.
- [22] Davi B. Brito, X. Begaud, Adaildo G. D'Assunção, & Humberto C. C. Fernandes. *Ultra Wideband Monopole Antenna with Split Ring Resonator for Notching Frequencies*. In Proceedings of Fourth European Conference on Antennas and Propagation. pp 1 – 5. April 2010.
- [23] Yusnita Rahayu, Tharek A. Rahman, Razali Ngah, & Peter S. Hall. (2008, March 17-18). *Slotted Ultra Wideband Antenna for Bandwidth Enhancement*. In Proceedings of Loughborough Antennas & Propagation Conference. pp 449 – 452. March 2008.
- [24] Abdel – Razik Sebak and Osama Ahmed. *A Compact UWB Butterfly Shaped Planar Monopole Antenna with Bandstop Characteristic*. In Proceedings of 13<sup>th</sup> International Symposium on Antenna Technology and

Applied Electromagnetics and the Canadian Radio Sciences Meeting. pp 1 - 3. February 2009.

- [25] Jaehoon Choi, Kyungho Chung, & Jaemoung Kim. *Wideband Microstrip-Fed Monopole Antenna Having Frequency Band-Notch Function*. IEEE Microwave and Wireless Component Letters, Vol. 15, No. 11. pp 766 – 768. November, 2005.
- [26] D. N. Elsheakh, H. A. Elsadek, E. A. Abdallah, H. Elhenawy, & M. F. Iskander. *Enhancement of Microstrip Monopole Antenna Bandwidth by Using EBG Structures*. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, Vol. 8. pp 959 – 962. September, 2009.
- [27] Ka Hing Chiang and Kam Weng Tam. *Microstrip Monopole Antenna With Enhanced Bandwidth Using Defected Ground Structure*. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, Vol. 7. pp 532 – 535. December, 2008.
- [28] Hongwei Deng, Xiaoxiang He, Binyan Yao, & Yonggang Zhou. *A Compact Square-Ring Printed Monopole Ultra Wideband Antenna*. In Proceedings of International Conference on Microwave and Millimeter Wave Technology. Vol. 4. pp 1644 – 1646. April 2008.
- [29] Osama Ahmed, Ahmed A. Abumazwed, & A.R. Sebak. *A Trapezoidal Printed Monopole Antenna with Bell-Shaped Cut with 5.0-6.0 GHz Band Rejection*. In Proceedings of Third European Conference on Antennas and Propagation. pp 1459 – 1463. March 2009.
- [30] Ridho Chayono, Misao Haneishi, & Yuichi Kimura. (2006). *Inverted Triangle Printed Monopole Antenna with Halfdisk for UWB Applications*. In Proceedings of Asia – Pasific Microwave Conference. pp 1994 – 1997. December 2006.
- [31] Binggang Xiao, Xiumin Wang, Jixiang Zhao, Dongping Zhang. *Compact Ultra-wideband Antenna with Radial Patch*. In Proceedings of International Conference on Wireless Communication Networking and Mobile Computing. pp 1 – 4. September 2010.

## LAMPIRAN A: Data Hasil Pengukuran Parameter *Return Loss*

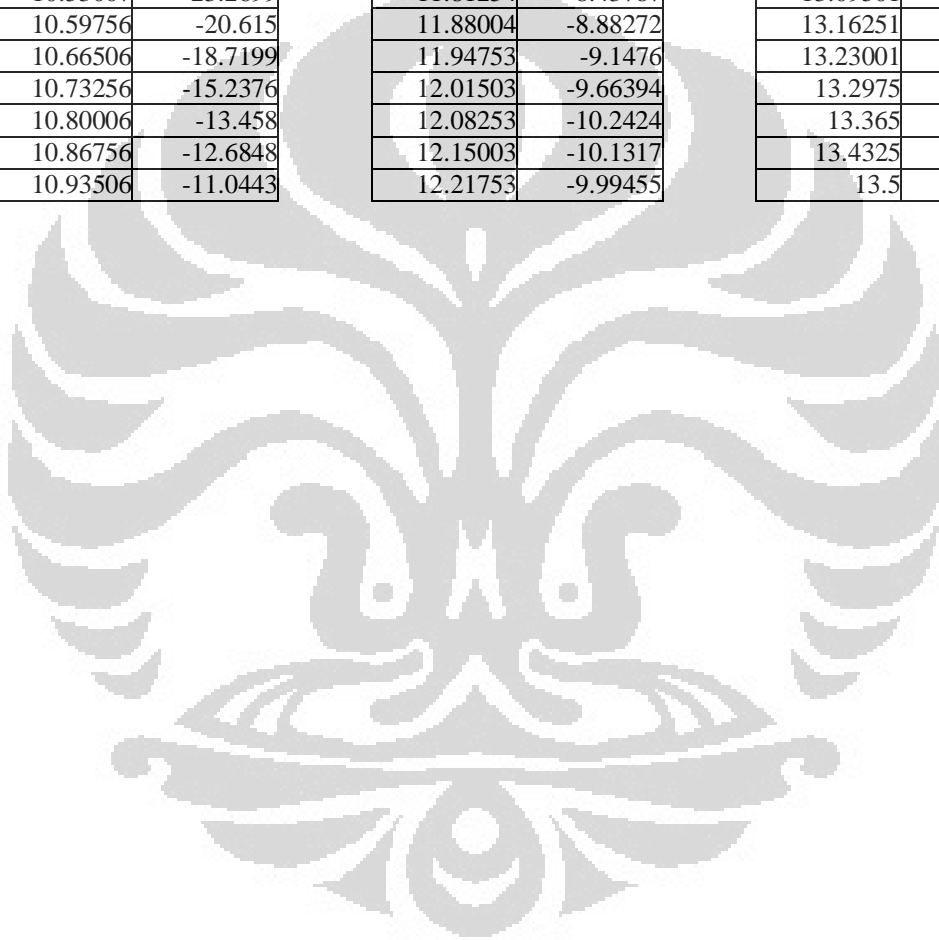
Tabel Lampiran A.1 Data Hasil Pengukuran *Return Loss Sensing Antenna* pada Kondisi *Switch OFF*

Freq (GHz)	S11 (dB)	Freq (GHz)	S11 (dB)	Freq (GHz)	S11 (dB)
0.0003	-0.01112	3.240228	-12.9361	6.480156	-12.4541
0.067799	-0.33855	3.307727	-12.994	6.547655	-13.4099
0.135297	-0.55614	3.375225	-13.49	6.615153	-14.6856
0.202796	-1.28681	3.442724	-14.0672	6.682652	-17.5295
0.270294	-1.28613	3.510222	-14.6905	6.75015	-19.818
0.337793	-1.73579	3.577721	-15.6505	6.817649	-23.4374
0.405291	-2.32847	3.645219	-16.4587	6.885147	-21.7045
0.47279	-2.81924	3.712718	-17.6897	6.952646	-20.8547
0.540288	-3.83168	3.780216	-19.472	7.020144	-18.72
0.607787	-5.35842	3.847715	-20.8135	7.087643	-17.5465
0.675285	-7.28617	3.915213	-23.2968	7.155141	-17.3474
<b>0.742784</b>	<b>-9.82832</b>	3.982712	-23.9733	7.22264	-15.9183
0.810282	-11.5895	4.05021	-25.6482	7.290138	-16.1242
0.877781	-11.6748	4.117709	-26.0938	7.357637	-16.0371
0.945279	-11.6941	4.185207	-25.4477	7.425135	-15.6839
1.012778	-11.0448	4.252706	-28.5261	7.492634	-16.1249
1.080276	-10.5663	4.320204	-29.9232	7.560132	-15.0026
1.147775	-10.8993	4.387703	-29.1484	7.627631	-14.5707
1.215273	-10.634	4.455201	-29.6037	7.695129	-14.7524
1.282772	-10.1282	4.5227	-26.4796	7.762628	-13.6677
1.35027	-10.6511	4.590198	-21.7837	7.830126	-13.6815
1.417769	-11.0557	4.657697	-19.6539	7.897625	-13.6753
1.485267	-11.9346	4.725195	-18.1623	7.965123	-13.0291
1.552766	-13.6476	4.792694	-16.0406	8.032622	-13.5547
1.620264	-15.4003	4.860192	-15.2106	8.10012	-13.2982
1.687763	-18.2173	4.927691	-14.1098	8.167619	-12.2026
1.755261	-23.1204	4.995189	-14.0625	8.235117	-11.8459
1.82276	-31.3604	5.062688	-14.2533	8.302616	-10.9043
1.890258	-33.4771	5.130186	-14.3897	8.370114	-9.8897
1.957757	-30.786	5.197685	-15.0253	8.437613	-9.80076
2.025255	-27.9346	5.265183	-16.0379	8.505111	-9.19449
2.092754	-26.6148	5.332682	-16.9141	8.57261	-8.77155
2.160252	-27.1685	5.40018	-19.2341	8.640108	-9.16984
2.227751	-27.0942	5.467679	-23.4371	8.707607	-9.21105
2.295249	-25.2263	5.535177	-24.3244	8.775105	-9.37723
2.362748	-22.792	5.602676	-19.2121	8.842604	-10.1957
2.430246	-20.8147	5.670174	-16.641	8.910102	-10.5231
2.497745	-18.8768	5.737673	-14.3456	8.977601	-10.8241
2.565243	-17.4799	5.805171	-12.8211	9.045099	-11.6282
2.632742	-17.0327	5.87267	-11.8177	9.112598	-11.6491
2.70024	-15.999	<b>5.940168</b>	<b>-10.3717</b>	9.180096	-11.374
2.767739	-14.947	6.007667	-9.74481	9.247595	-11.7727
2.835237	-14.3373	6.075165	-9.78486	9.315093	-12.3179
2.902736	-13.0332	6.142664	-9.8277	9.382592	-12.5876
2.970234	-12.4553	6.210162	-10.2768	9.45009	-13.871
3.037733	-12.7198	6.277661	-10.7287	9.517589	-15.6398
3.105231	-12.4917	6.345159	-11.0995	9.585087	-16.6806
3.17273	-12.5808	6.412658	-11.5577	9.652586	-18.6832

Freq (GHz)	S11 (dB)
9.720084	-20.1106
9.787583	-17.9403
9.855081	-16.574
9.92258	-16.7489
9.990078	-15.5079
10.05758	-15.433
10.12508	-16.3282
10.19257	-16.1379
10.26007	-18.2897
10.32757	-20.7533
10.39507	-21.2827
10.46257	-24.4312
10.53007	-23.2699
10.59756	-20.615
10.66506	-18.7199
10.73256	-15.2376
10.80006	-13.458
10.86756	-12.6848
10.93506	-11.0443

Freq (GHz)	S11 (dB)
11.00256	-11.035
11.07005	-11.2151
11.13755	-10.2352
11.20505	-10.7844
11.27255	-10.3742
11.34005	-9.04226
11.40755	-9.15858
11.47505	-8.48054
11.54254	-7.58318
11.61004	-8.01237
11.67754	-7.83503
11.74504	-7.72159
11.81254	-8.43787
11.88004	-8.88272
11.94753	-9.1476
12.01503	-9.66394
12.08253	-10.2424
12.15003	-10.1317
12.21753	-9.99455

Freq (GHz)	S11 (dB)
12.28503	-10.3964
12.35253	-9.9233
12.42002	-9.35537
12.48752	-9.5507
12.55502	-9.0658
12.62252	-8.93776
12.69002	-9.27922
12.75752	-9.1412
12.82502	-9.97058
12.89251	-11.4941
12.96001	-13.5488
13.02751	-16.5156
13.09501	-21.0022
13.16251	-32.3042
13.23001	-34.1514
13.2975	-19.5574
13.365	-15.4791
13.4325	-14.1677
13.5	-11.1616



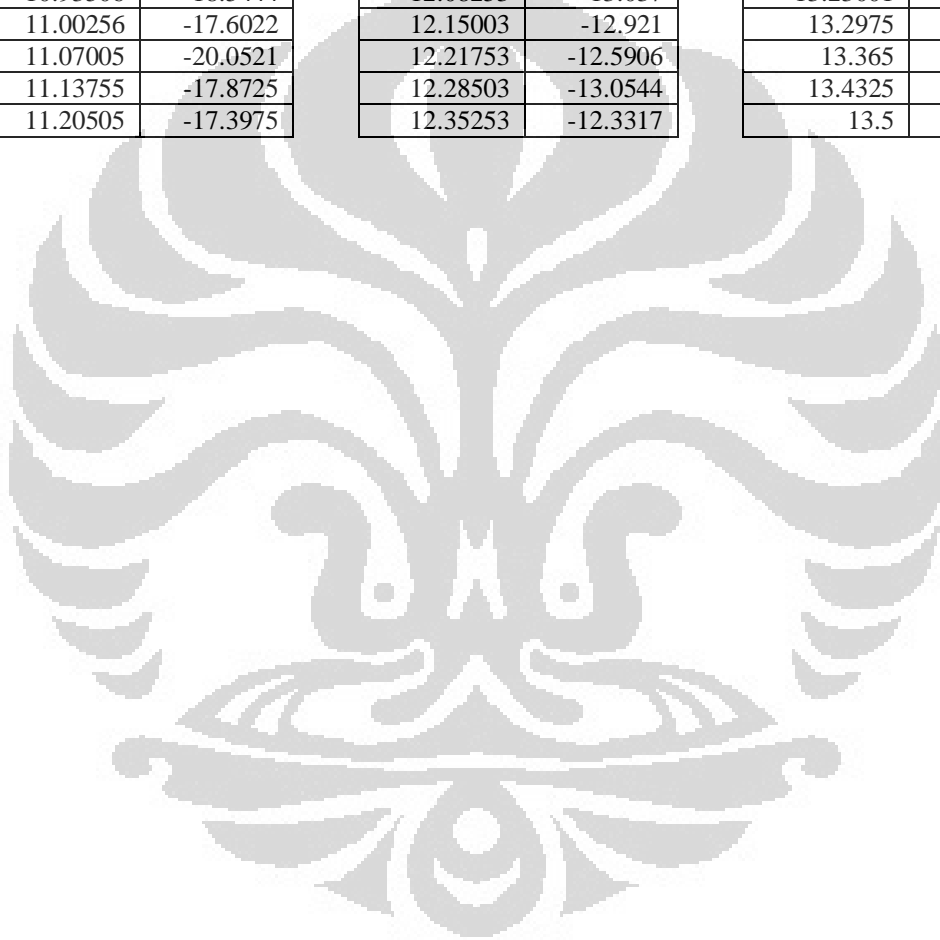
Tabel Lampiran A.2 Data Hasil Pengukuran *Return Loss Sensing Antenna* pada Kondisi *Switch ON*

Freq (GHz)	S11 (dB)	Freq (GHz)	S11 (dB)	Freq (GHz)	S11 (dB)
0.0003	-0.00582	3.375225	-18.4042	6.75015	-16.6424
0.067799	-0.36534	3.442724	-17.7307	6.817649	-21.846
0.135297	-0.60829	3.510222	-17.2924	6.885147	-35.0828
0.202796	-1.33275	3.577721	-17.9906	6.952646	-28.7152
0.270294	-1.32385	3.645219	-18.8876	7.020144	-19.3918
0.337793	-1.7973	3.712718	-19.9248	7.087643	-16.6889
0.405291	-2.42791	3.780216	-22.9691	7.155141	-15.1598
0.47279	-3.0701	3.847715	-26.5421	7.22264	-13.6545
0.540288	-4.3176	3.915213	-34.5817	7.290138	-13.51
0.607787	-6.22202	3.982712	-38.0719	7.357637	-12.8842
0.675285	-8.41625	4.05021	-28.5628	7.425135	-12.4466
0.742784	-11.102	4.117709	-25.2743	7.492634	-12.9251
0.810282	-12.1728	4.185207	-23.1643	7.560132	-12.5435
0.877781	-11.6282	4.252706	-25.1447	7.627631	-12.4558
0.945279	-11.6033	4.320204	-26.5077	7.695129	-13.3104
1.012778	-10.5713	4.387703	-25.7769	7.762628	-13.1394
1.080276	-10.1336	4.455201	-24.9293	7.830126	-13.3637
1.147775	-10.0778	4.5227	-22.487	7.897625	-14.4386
1.215273	-9.51544	4.590198	-20.2058	7.965123	-14.3299
1.282772	-9.24653	4.657697	-18.4239	8.032622	-14.8701
<b>1.35027</b>	<b>-10.0779</b>	4.725195	-17.4341	8.10012	-15.866
1.417769	-10.709	4.792694	-15.75	8.167619	-15.3226
1.485267	-11.5011	4.860192	-15.9098	8.235117	-15.4856
1.552766	-12.8005	4.927691	-15.6246	8.302616	-15.387
1.620264	-14.6619	4.995189	-15.3549	8.370114	-14.0671
1.687763	-18.1719	5.062688	-15.7062	8.437613	-13.8954
1.755261	-23.2557	5.130186	-16.1878	8.505111	-13.3813
1.82276	-24.4995	5.197685	-17.4599	8.57261	-12.5319
1.890258	-22.6805	5.265183	-19.8704	8.640108	-12.8871
1.957757	-21.7572	5.332682	-22.4187	8.707607	-12.441
2.025255	-19.8529	5.40018	-26.756	8.775105	-12.0335
2.092754	-19.7475	5.467679	-33.9709	8.842604	-12.6543
2.160252	-19.5438	5.535177	-33.0066	8.910102	-12.6871
2.227751	-18.9284	5.602676	-24.3557	8.977601	-12.3736
2.295249	-18.2099	5.670174	-20.1575	9.045099	-12.6135
2.362748	-17.2945	5.737673	-17.2835	9.112598	-12.2047
2.430246	-16.5878	5.805171	-14.7046	9.180096	-11.7395
2.497745	-15.7501	5.87267	-13.3988	9.247595	-11.8975
2.565243	-14.6109	5.940168	-11.802	9.315093	-11.9046
2.632742	-14.0564	6.007667	-10.9471	9.382592	-11.8798
2.70024	-13.1338	6.075165	-10.6322	9.45009	-13.0625
2.767739	-12.2654	6.142664	-10.1956	9.517589	-14.2946
2.835237	-11.9287	6.210162	-10.191	9.585087	-15.0521
2.902736	-11.3789	6.277661	-10.2141	9.652586	-17.1943
2.970234	-11.2937	6.345159	-10.199	9.720084	-18.906
3.037733	-11.5152	6.412658	-10.2633	9.787583	-18.5539
3.105231	-12.1826	6.480156	-10.6993	9.855081	-18.247
3.17273	-14.0843	6.547655	-11.2602	9.92258	-17.3782
3.240228	-16.8213	6.615153	-12.2631	9.990078	-14.9463
3.307727	-18.3537	6.682652	-14.3261	10.05758	-14.3832

Freq (GHz)	S11 (dB)
10.12508	-13.879
10.19257	-12.615
10.26007	-12.8898
10.32757	-12.7949
10.39507	-12.4942
10.46257	-13.2155
10.53007	-13.871
10.59756	-14.096
10.66506	-15.2839
10.73256	-16.6638
10.80006	-16.3547
10.86756	-18.4
10.93506	-18.5444
11.00256	-17.6022
11.07005	-20.0521
11.13755	-17.8725
11.20505	-17.3975

Freq (GHz)	S11 (dB)
11.27255	-17.8067
11.34005	-14.2564
11.40755	-13.3851
11.47505	-12.4443
11.54254	-10.4816
11.61004	-10.5872
<b>11.67754</b>	<b>-10.1634</b>
11.74504	-9.57038
11.81254	-10.1527
11.88004	-10.4528
11.94753	-10.863
12.01503	-11.9125
12.08253	-13.037
12.15003	-12.921
12.21753	-12.5906
12.28503	-13.0544
12.35253	-12.3317

Freq (GHz)	S11 (dB)
12.42002	-11.6531
12.48752	-11.8506
12.55502	-10.9192
12.62252	-10.4079
12.69002	-10.2409
12.75752	-9.49607
12.82502	-9.70724
12.89251	-10.231
12.96001	-10.8991
13.02751	-11.8598
13.09501	-13.008
13.16251	-14.1654
13.23001	-14.3326
13.2975	-17.7182
13.365	-21.5703
13.4325	-24.3156
13.5	-29.1602



Tabel Lampiran A.3 Data Hasil Pengukuran *Return Loss Communicating Antenna* pada Kondisi *Switch OFF*

Freq (GHz)	S11 (dB)	Freq (GHz)	S11 (dB)	Freq (GHz)	S11 (dB)
1	-2.2238281	1.5	-2.1916497	2	-6.8292046
1.01	-2.2750432	1.51	-2.1823108	2.01	-7.0521159
1.02	-2.2974384	1.52	-2.2155006	2.02	-7.2271523
1.03	-2.295604	1.53	-2.2330365	2.03	-7.3570542
1.04	-2.3252087	1.54	-2.2715719	2.04	-7.4996948
1.05	-2.3396635	1.55	-2.3083489	2.05	-7.6792355
1.06	-2.3108048	1.56	-2.3521404	2.06	-7.8312969
1.07	-2.283854	1.57	-2.3665357	2.07	-8.0416307
1.08	-2.2333853	1.58	-2.3835435	2.08	-8.1788635
1.09	-2.2037456	1.59	-2.4075167	2.09	-8.391222
1.1	-2.188422	1.6	-2.4420769	2.1	-8.6868343
1.11	-2.1753144	1.61	-2.4849327	2.11	-8.9870491
1.12	-2.1344559	1.62	-2.5134389	2.12	-9.2696886
1.13	-2.089715	1.63	-2.5304987	2.13	-9.683754
1.14	-2.0988514	1.64	-2.5424211	<b>2.14</b>	<b>-10.170981</b>
1.15	-2.0961578	1.65	-2.5851169	2.15	-10.627025
1.16	-2.1067042	1.66	-2.6250124	2.16	-11.023756
1.17	-2.1230018	1.67	-2.6525378	2.17	-11.437933
1.18	-2.1248913	1.68	-2.6580102	2.18	-11.845207
1.19	-2.1430097	1.69	-2.6796212	2.19	-12.283273
1.2	-2.1617441	1.7	-2.7332706	2.2	-12.835953
1.21	-2.1862829	1.71	-2.7903304	2.21	-13.180922
1.22	-2.2096941	1.72	-2.8533204	2.22	-13.453863
1.23	-2.1923406	1.73	-2.9332685	2.23	-13.672813
1.24	-2.1731787	1.74	-3.0090337	2.24	-14.093519
1.25	-2.1812346	1.75	-3.0832825	2.25	-14.592163
1.26	-2.1583772	1.76	-3.1883214	2.26	-14.995639
1.27	-2.121866	1.77	-3.3089931	2.27	-15.210506
1.28	-2.1115301	1.78	-3.4090369	2.28	-15.540986
1.29	-2.1040883	1.79	-3.4741318	2.29	-16.250736
1.3	-2.0808527	1.8	-3.6053951	2.3	-17.26483
1.31	-2.0680532	1.81	-3.7590618	2.31	-18.12833
1.32	-2.0538561	1.82	-3.8443556	2.32	-18.875195
1.33	-2.0970066	1.83	-3.8936481	2.33	-20.012917
1.34	-2.1077883	1.84	-4.0204172	2.34	-21.205952
1.35	-2.0888669	1.85	-4.10186	<b>2.35</b>	<b>-22.705812</b>
1.36	-2.0985703	1.86	-4.2030029	2.36	-24.480511
1.37	-2.1130877	1.87	-4.2971873	2.37	-25.777822
1.38	-2.146646	1.88	-4.3763576	2.38	-27.05485
1.39	-2.1645012	1.89	-4.4876871	2.39	-28.722754
1.4	-2.1635978	1.9	-4.6646032	2.4	-30.896534
1.41	-2.161936	1.91	-4.8470798	2.41	-31.735174
1.42	-2.1598942	1.92	-5.0161128	2.42	-31.917557
1.43	-2.181021	1.93	-5.1904593	<b>2.43</b>	<b>-32.187435</b>
1.44	-2.1977868	1.94	-5.4070325	2.44	-31.728964
1.45	-2.1983354	1.95	-5.6853166	2.45	-31.153086
1.46	-2.1787605	1.96	-5.9580002	2.46	-29.437492
1.47	-2.1759715	1.97	-6.2121086	2.47	-28.308287
1.48	-2.1735353	1.98	-6.3744698	2.48	-27.146135
1.49	-2.1857541	1.99	-6.550179	2.49	-25.413235

Freq (GHz)	S11 (dB)
2.5	-24.148758
2.51	-23.091187
2.52	-21.849665
2.53	-20.639633
2.54	-19.674044
2.55	-18.925335
2.56	-18.474882
2.57	-18.017748
2.58	-17.441469
2.59	-16.905994
2.6	-16.619169
2.61	-16.30444
2.62	-16.03253
2.63	-15.78655
2.64	-15.392373
2.65	-15.03046
2.66	-14.724874

Freq (GHz)	S11 (dB)
2.67	-14.309938
2.68	-13.969943
2.69	-13.674304
2.7	-13.209576
2.71	-12.68762
2.72	-12.342602
2.73	-12.115187
2.74	-11.867444
2.75	-11.560342
2.76	-11.266385
2.77	-11.067462
2.78	-10.989545
2.79	-10.870313
2.8	-10.713846
2.81	-10.592881
2.82	-10.433431
2.83	-10.275197

Freq (GHz)	S11 (dB)
2.84	-10.1834
<b>2.85</b>	<b>-10.057633</b>
2.86	-9.8684835
2.87	-9.6766491
2.88	-9.4870501
2.89	-9.2946215
2.9	-9.0773134
2.91	-8.8923016
2.92	-8.7009602
2.93	-8.5460434
2.94	-8.390521
2.95	-8.2231541
2.96	-8.117197
2.97	-8.1027288
2.98	-8.0675926
2.99	-7.9769392
3	-7.8968754





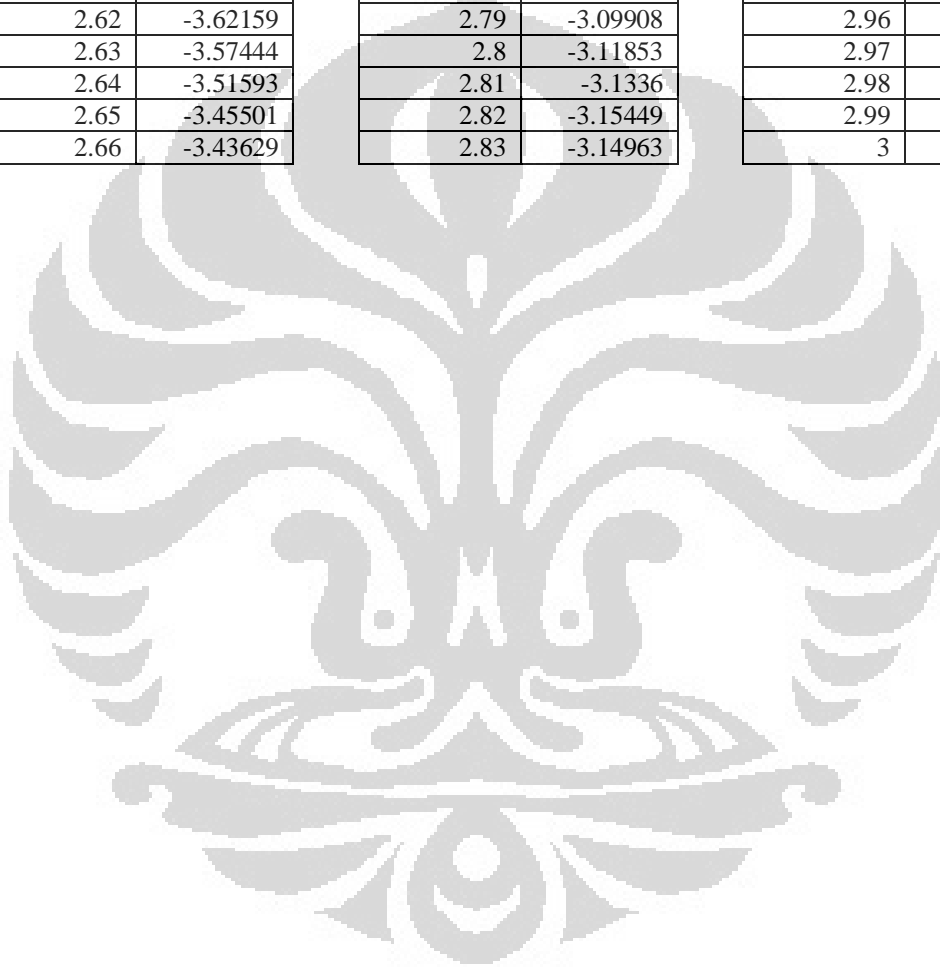
Tabel Lampiran A.4 Data Hasil Pengukuran *Return Loss Communicating Antenna* pada Kondisi *Switch ON*

Freq (GHz)	S11 (dB)	Freq (GHz)	S11 (dB)	Freq (GHz)	S11 (dB)
1	-4.27362	1.5	-5.53169	2	-11.9609
1.01	-4.33586	1.51	-5.62362	2.01	-11.6246
1.02	-4.30274	1.52	-5.83184	2.02	-11.4609
1.03	-4.25887	1.53	-5.96834	2.03	-11.2294
1.04	-4.2912	1.54	-6.16753	2.04	-10.9107
1.05	-4.28274	1.55	-6.4046	2.05	-10.6921
1.06	-4.19622	1.56	-6.6084	2.06	-10.4235
1.07	-4.1164	1.57	-6.75701	<b>2.07</b>	<b>-10.0738</b>
1.08	-4.03564	1.58	-6.93512	2.08	-9.8508
1.09	-3.99941	1.59	-7.15579	2.09	-9.56403
1.1	-3.96347	1.6	-7.42468	2.1	-9.24816
1.11	-3.93431	1.61	-7.69731	2.11	-8.90038
1.12	-3.85388	1.62	-7.91492	2.12	-8.55655
1.13	-3.81118	1.63	-8.11079	2.13	-8.20059
1.14	-3.85958	1.64	-8.33417	2.14	-7.90561
1.15	-3.87579	1.65	-8.67059	2.15	-7.69428
1.16	-3.91059	1.66	-8.98277	2.16	-7.51879
1.17	-3.9508	1.67	-9.22096	2.17	-7.30524
1.18	-4.00822	1.68	-9.47318	2.18	-7.15229
1.19	-4.08754	1.69	-9.84186	2.19	-6.97996
1.2	-4.17032	<b>1.7</b>	<b>-10.3719</b>	2.2	-6.86763
1.21	-4.21494	1.71	-11.0237	2.21	-6.79115
1.22	-4.23113	1.72	-11.6899	2.22	-6.72517
1.23	-4.21152	1.73	-12.3833	2.23	-6.64396
1.24	-4.19075	1.74	-13.1454	2.24	-6.50807
1.25	-4.20886	1.75	-14.0974	2.25	-6.3761
1.26	-4.17982	1.76	-15.0811	2.26	-6.2863
1.27	-4.14728	1.77	-16.2916	2.27	-6.23333
1.28	-4.15843	1.78	-17.258	2.28	-6.10185
1.29	-4.17266	1.79	-18.4943	2.29	-5.8903
1.3	-4.18649	<b>1.8</b>	<b>-20.5991</b>	2.3	-5.70941
1.31	-4.19199	1.81	-22.6015	2.31	-5.58077
1.32	-4.2028	1.82	-24.054	2.32	-5.47925
1.33	-4.33133	1.83	-25.843	2.33	-5.33802
1.34	-4.37795	1.84	-30.3077	2.34	-5.19784
1.35	-4.38236	1.85	-37.9661	2.35	-5.08438
1.36	-4.4533	<b>1.86</b>	<b>-47.2844</b>	2.36	-5.01685
1.37	-4.5404	1.87	-35.9981	2.37	-4.98297
1.38	-4.66407	1.88	-30.4305	2.38	-4.91914
1.39	-4.73264	1.89	-25.8254	2.39	-4.86051
1.4	-4.7492	1.9	-22.6009	2.4	-4.80958
1.41	-4.82346	1.91	-20.3722	2.41	-4.78278
1.42	-4.8838	1.92	-18.8766	2.42	-4.73048
1.43	-4.99973	1.93	-17.8261	2.43	-4.6646
1.44	-5.08931	1.94	-16.404	2.44	-4.60937
1.45	-5.11227	1.95	-15.034	2.45	-4.52075
1.46	-5.15233	1.96	-14.1313	2.46	-4.43991
1.47	-5.24753	1.97	-13.6053	2.47	-4.36797
1.48	-5.31492	1.98	-13.2357	2.48	-4.26165
1.49	-5.44292	1.99	-12.5419	2.49	-4.16785

Freq (GHz)	S11 (dB)
2.5	-4.08873
2.51	-4.0218
2.52	-3.93497
2.53	-3.8668
2.54	-3.82764
2.55	-3.7852
2.56	-3.76906
2.57	-3.74599
2.58	-3.71628
2.59	-3.68748
2.6	-3.64889
2.61	-3.63675
2.62	-3.62159
2.63	-3.57444
2.64	-3.51593
2.65	-3.45501
2.66	-3.43629

Freq (GHz)	S11 (dB)
2.67	-3.40029
2.68	-3.35239
2.69	-3.29477
2.7	-3.22911
2.71	-3.18222
2.72	-3.16993
2.73	-3.14579
2.74	-3.09573
2.75	-3.0635
2.76	-3.05513
2.77	-3.07176
2.78	-3.10061
2.79	-3.09908
2.8	-3.11853
2.81	-3.1336
2.82	-3.15449
2.83	-3.14963

Freq (GHz)	S11 (dB)
2.84	-3.15081
2.85	-3.15142
2.86	-3.13987
2.87	-3.11077
2.88	-3.09678
2.89	-3.08619
2.9	-3.09079
2.91	-3.11741
2.92	-3.14095
2.93	-3.17722
2.94	-3.22372
2.95	-3.27992
2.96	-3.3523
2.97	-3.43857
2.98	-3.50291
2.99	-3.5807
3	-3.67412



## LAMPIRAN B: Data Hasil Pengukuran Pola Radiasi

### Intensitas Daya Relatif *Sensing Antenna* pada Kondisi *Switch OFF*

Tabel Lampiran B.1 Intensitas Daya Relatif untuk Bidang E

Sudut (°)	E-Co 1,8 GHz		E-Co 2,35 GHz	
	E (dB)	E Normalisasi	E (dB)	E Normalisasi
0	-44.301	-4.92	-40.512	-3.763
10	-43.525	-4.144	-40.792	-4.043
20	-43.011	-3.63	-42.378	-5.629
30	-42.911	-3.53	-42.652	-5.903
40	-43.105	-3.724	-42.833	-6.084
50	-43.193	-3.812	-42.874	-6.125
60	-43.365	-3.984	-42.819	-6.07
70	-43.899	-4.518	-42.839	-6.09
80	-45.332	-5.951	-42.681	-5.932
90	-45.024	-5.643	-43.122	-6.373
100	-44.697	-5.316	-43.094	-6.345
110	-43.795	-4.414	-43.872	-7.123
120	-42.424	-3.043	-44.192	-7.443
130	-41.795	-2.414	-44.915	-8.166
140	-42.327	-2.946	-46.621	-9.872
150	-43.127	-3.746	-47.327	-10.578
160	-43.944	-4.563	-43.571	-6.822
170	-44.122	-4.741	-39.912	-3.163
180	-43.703	-4.322	-37.663	-0.914
190	-42.335	-2.954	-36.749	0
200	-40.655	-1.274	-36.974	-0.225
210	-39.876	-0.495	-37.907	-1.158
220	-39.875	-0.494	-39.892	-3.143
230	-39.381	0	-42.663	-5.914
240	-39.995	-0.614	-45.445	-8.696
250	-40.825	-1.444	-48.215	-11.466
260	-41.971	-2.59	-49.831	-13.082
270	-44.203	-4.822	-48.835	-12.086
280	-44.729	-5.348	-48.665	-11.916
290	-45.401	-6.02	-48.202	-11.453
300	-45.667	-6.286	-47.841	-11.092
310	-45.887	-6.506	-46.734	-9.985
320	-45.915	-6.534	-44.453	-7.704
330	-45.946	-6.565	-42.451	-5.702
340	-45.525	-6.144	-41.032	-4.283
350	-45.594	-6.213	-39.946	-3.197

### Intensitas Daya Relatif Sensing Antenna pada Kondisi Switch OFF

Tabel Lampiran B.2 Intensitas Daya Relatif untuk Bidang H

Sudut (°)	H-Co 1,8 GHz		H-Co 2,35 GHz	
	H (dB)	H Normalisasi	H (dB)	H Normalisasi
0	-39.742	-0.946	-44.717	-7.911
10	-41.127	-2.331	-43.323	-6.517
20	-42.425	-3.629	-43.243	-6.437
30	-43.753	-4.957	-43.631	-6.825
40	-44.272	-5.476	-44.774	-7.968
50	-45.204	-6.408	-46.095	-9.289
60	-47.304	-8.508	-48.541	-11.735
70	-48.191	-9.395	-52.205	-15.399
80	-53.291	-14.495	-58.687	-21.881
90	-65.384	-26.588	-55.013	-18.207
100	-54.312	-15.516	-48.826	-12.02
110	-47.875	-9.079	-44.956	-8.15
120	-44.251	-5.455	-43.216	-6.41
130	-42.151	-3.355	-40.977	-4.171
140	-39.974	-1.178	-38.914	-2.108
150	-40.156	-1.36	-37.281	-0.475
160	-40.601	-1.805	-36.806	0
170	-41.695	-2.899	-37.255	-0.449
180	-43.398	-4.602	-38.592	-1.786
190	-45.641	-6.845	-39.806	-3
200	-47.739	-8.943	-40.975	-4.169
210	-52.543	-13.747	-42.64	-5.834
220	-57.083	-18.287	-45.261	-8.455
230	-62.834	-24.038	-49.326	-12.52
240	-55.254	-16.458	-53.471	-16.665
250	-51.041	-12.245	-55.731	-18.925
260	-49.295	-10.499	-61.772	-24.966
270	-47.037	-8.241	-56.775	-19.969
280	-45.393	-6.597	-50.369	-13.563
290	-43.747	-4.951	-46.784	-9.978
300	-42.541	-3.745	-45.575	-8.769
310	-42.287	-3.491	-46.645	-9.839
320	-41.038	-2.242	-46.287	-9.481
330	-38.796	0	-44.418	-7.612
340	-39.687	-0.891	-44.877	-8.071
350	-39.273	-0.477	-42.982	-6.176

**Intensitas Daya Relatif Sensing Antenna pada Kondisi Switch ON**

Tabel Lampiran B.3 Intensitas Daya Relatif untuk Bidang E

Sudut (°)	E-Co 1,8 GHz		E-Co 2,35 GHz	
	E (dB)	E Normalisasi	E (dB)	E Normalisasi
0	-43.119	-3.866	-38.911	-2.896
10	-42.821	-3.568	-38.533	-2.518
20	-42.707	-3.454	-38.897	-2.882
30	-43.564	-4.311	-39.729	-3.714
40	-44.924	-5.671	-40.952	-4.937
50	-46.793	-7.54	-42.297	-6.282
60	-48.451	-9.198	-42.907	-6.892
70	-49.187	-9.934	-44.007	-7.992
80	-49.387	-10.134	-44.677	-8.662
90	-48.201	-8.948	-45.612	-9.597
100	-46.775	-7.522	-45.322	-9.307
110	-45.913	-6.66	-45.362	-9.347
120	-45.037	-5.784	-43.922	-7.907
130	-45.737	-6.484	-44.384	-8.369
140	-46.641	-7.388	-42.634	-6.619
150	-47.457	-8.204	-40.635	-4.62
160	-47.861	-8.608	-38.344	-2.329
170	-44.785	-5.532	-36.771	-0.756
180	-42.362	-3.109	-36.015	0
190	-40.557	-1.304	-36.215	-0.2
200	-39.593	-0.34	-36.987	-0.972
210	-39.253	0	-38.911	-2.896
220	-39.351	-0.098	-44.119	-8.104
230	-40.122	-0.869	-50.724	-14.709
240	-40.659	-1.406	-55.565	-19.55
250	-41.469	-2.216	-56.629	-20.614
260	-42.034	-2.781	-52.207	-16.192
270	-42.722	-3.469	-50.837	-14.822
280	-43.439	-4.186	-49.373	-13.358
290	-44.559	-5.306	-50.054	-14.039
300	-45.981	-6.728	-52.207	-16.192
310	-46.181	-6.928	-50.129	-14.114
320	-46.451	-7.198	-47.505	-11.49
330	-46.189	-6.936	-44.011	-7.996
340	-45.498	-6.245	-41.523	-5.508
350	-44.901	-5.648	-39.941	-3.926

### Intensitas Daya Relatif Sensing Antenna pada Kondisi Switch ON

Tabel Lampiran B.4 Intensitas Daya Relatif untuk Bidang H

Sudut (°)	H-Co 1,8 GHz		H-Co 2,35 GHz	
	H (dB)	H Normalisasi	H (dB)	H Normalisasi
0	-41.815	-0.068	-37.853	-2.271
10	-41.845	-0.098	-37.377	-1.795
20	-41.747	0	-36.891	-1.309
30	-41.944	-0.197	-37.219	-1.637
40	-42.739	-0.992	-37.96	-2.378
50	-43.782	-2.035	-39.119	-3.537
60	-46.206	-4.459	-40.797	-5.215
70	-49.971	-8.224	-44.597	-9.015
80	-56.546	-14.799	-50.571	-14.989
90	-59.67	-17.923	-52.714	-17.132
100	-57.417	-15.67	-46.476	-10.894
110	-53.444	-11.697	-43.377	-7.795
120	-49.779	-8.032	-40.839	-5.257
130	-47.147	-5.4	-39.153	-3.571
140	-45.817	-4.07	-37.779	-2.197
150	-45.147	-3.4	-36.191	-0.609
160	-44.667	-2.92	-35.582	0
170	-44.075	-2.328	-35.629	-0.047
180	-44.037	-2.29	-36.329	-0.747
190	-44.971	-3.224	-37.162	-1.58
200	-45.719	-3.972	-37.655	-2.073
210	-46.224	-4.477	-37.732	-2.15
220	-47.445	-5.698	-38.742	-3.16
230	-49.859	-8.112	-40.364	-4.782
240	-53.046	-11.299	-41.867	-6.285
250	-54.291	-12.544	-43.977	-8.395
260	-55.746	-13.999	-48.624	-13.042
270	-55.317	-13.57	-55.607	-20.025
280	-45.817	-4.07	-47.367	-11.785
290	-46.659	-4.912	-40.919	-5.337
300	-46.113	-4.366	-39.019	-3.437
310	-47.297	-5.55	-41.813	-6.231
320	-44.496	-2.749	-39.412	-3.83
330	-43.461	-1.714	-37.979	-2.397
340	-43.77	-2.023	-37.669	-2.087
350	-42.871	-1.124	-37.318	-1.736

**Intensitas Daya Relatif *Communicating Antenna* pada Kondisi *Switch OFF***

Tabel Lampiran B.5 Intensitas Daya Relatif untuk Bidang **E** dan Bidang **H**

Sudut (°)	E-Co		H-Co	
	E (dB)	E Normalisasi	H (dB)	H Normalisasi
0	-44.567	-4.344	-43.512	-3.765
10	-45.139	-4.916	-42.407	-2.66
20	-45.723	-5.5	-42.045	-2.298
30	-47.097	-6.874	-42.893	-3.146
40	-49.379	-9.156	-44.077	-4.33
50	-52.026	-11.803	-45.524	-5.777
60	-51.507	-11.284	-46.139	-6.392
70	-48.982	-8.759	-50.667	-10.92
80	-47.235	-7.012	-53.777	-14.03
90	-46.632	-6.409	-56.447	-16.7
100	-45.974	-5.751	-53.517	-13.77
110	-45.225	-5.002	-49.942	-10.195
120	-44.677	-4.454	-47.777	-8.03
130	-44.974	-4.751	-45.924	-6.177
140	-45.693	-5.47	-44.718	-4.971
150	-45.173	-4.95	-42.406	-2.659
160	-43.059	-2.836	-39.747	0
170	-41.346	-1.123	-40.657	-0.91
180	-40.421	-0.198	-40.944	-1.197
190	-40.223	0	-40.891	-1.144
200	-40.941	-0.718	-39.789	-0.042
210	-42.803	-2.58	-40.203	-0.456
220	-47.085	-6.862	-41.614	-1.867
230	-52.231	-12.008	-43.011	-3.264
240	-51.575	-11.352	-44.817	-5.07
250	-46.112	-5.889	-46.854	-7.107
260	-44.417	-4.194	-46.652	-6.905
270	-44.047	-3.824	-49.505	-9.758
280	-43.78	-3.557	-54.781	-15.034
290	-44.003	-3.78	-47.369	-7.622
300	-44.064	-3.841	-46.052	-6.305
310	-44.311	-4.088	-50.707	-10.96
320	-44.503	-4.28	-53.046	-13.299
330	-44.996	-4.773	-43.667	-3.92
340	-45.039	-4.816	-45.662	-5.915
350	-45.013	-4.79	-44.992	-5.245

### Intensitas Daya Relatif *Communicating Antenna* pada Kondisi *Switch ON*

Tabel Lampiran B.6 Intensitas Daya Relatif untuk Bidang **E** dan Bidang **H**

Sudut (°)	E-Co		H-Co	
	E (dB)	E Normalisasi	H (dB)	H Normalisasi
0	-49.267	-4.238	-50.271	-9.212
10	-46.935	-1.906	-45.982	-4.923
20	-46.594	-1.565	-43.492	-2.433
30	-46.857	-1.828	-41.903	-0.844
40	-47.538	-2.509	-41.059	0
50	-49.502	-4.473	-41.183	-0.124
60	-50.577	-5.548	-41.949	-0.89
70	-50.873	-5.844	-43.081	-2.022
80	-51.454	-6.425	-43.206	-2.147
90	-50.417	-5.388	-43.157	-2.098
100	-48.901	-3.872	-42.436	-1.377
110	-49.745	-4.716	-41.841	-0.782
120	-47.257	-2.228	-41.475	-0.416
130	-47.332	-2.303	-41.34	-0.281
140	-47.694	-2.665	-41.179	-0.12
150	-48.332	-3.303	-41.341	-0.282
160	-47.956	-2.927	-41.934	-0.875
170	-47.065	-2.036	-42.714	-1.655
180	-46.745	-1.716	-42.917	-1.858
190	-45.423	-0.394	-42.667	-1.608
200	-45.185	-0.156	-42.203	-1.144
210	-51.911	-6.882	-41.66	-0.601
220	-49.432	-4.403	-41.548	-0.489
230	-50.609	-5.58	-41.784	-0.725
240	-50.815	-5.786	-42.475	-1.416
250	-48.104	-3.075	-43.685	-2.626
260	-47.939	-2.91	-44.426	-3.367
270	-46.225	-1.196	-45.024	-3.965
280	-45.472	-0.443	-45.371	-4.312
290	-45.313	-0.284	-44.142	-3.083
300	-45.029	0	-43.329	-2.27
310	-46.211	-1.182	-44.981	-3.922
320	-48.447	-3.418	-46.429	-5.37
330	-51.522	-6.493	-50.257	-9.198
340	-57.897	-12.868	-50.886	-9.827
350	-51.721	-6.692	-52.575	-11.516