



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**ANTENA MIKROSTRIP *SLOT* LINGKARAN UNTUK  
MEMPERLEBAR BANDWIDTH DENGAN TEKNIK PENCATU  
*COPLANAR WAVEGUIDE* PADA FREKUENSI 2,3 GHz**

**SKRIPSI**

**ACHMAD FAUZI  
06 06 07 3682**

**FAKULTAS TEKNIK  
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
DEPOK  
DESEMBER 2010**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**ANTENA MIKROSTRIP *SLOT* LINGKARAN UNTUK  
MEMPERLEBAR BANDWIDTH DENGAN TEKNIK PENCATU  
*COPLANAR WAVEGUIDE* PADA FREKUENSI 2,3 GHz**

**SKRIPSI**

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

**ACHMAD FAUZI  
06 06 07 3682**

**FAKULTAS TEKNIK  
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
DEPOK  
DESEMBER 2010**

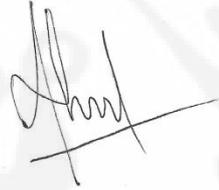
## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

**Nama : Achmad Fauzi**

**NPM : 0606073682**

**Tanda Tangan :**



**Tanggal : 27 Desember 2010**

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :  
Nama : Achmad Fauzi  
NPM : 0606073682  
Program Studi : Teknik Elektro  
Judul Skripsi : Antena Mikrostrip *Slot* Lingkaran Untuk  
Memperlebar Bandwidth Dengan Teknik Pencatu  
*Coplanar Waveguide* Pada Frekuensi 2,3 Ghz

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

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing : 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 : 27 Desember 2010

## KATA PENGANTAR

Pertama-tama penulis ingin mengucapkan puji dan syukur kepada Allah SWT karena berkat rahmat dan kasih-Nya lah skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi tugas mata kuliah skripsi di Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Tidak lupa pula penulis mengucapkan terimakasih kepada pihak-pihak yang telah memberikan bantuan, bimbingan dan semangat dari masa perkuliahan dan penyusunan skripsi ini, diantaranya adalah :

1. Prof. Eko Tjipto Rahardjo, selaku dosen pembimbing dan juga sebagai Ketua Antena Propagation and Microwave Research Group yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini.
2. Dr. Ir. Fitri Yuli Zulkifi, M.Sc, selaku dosen pembimbing kedua yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini.
3. Ayah, Ibu, beserta anggota keluarga lainnya yang telah memberikan bantuan baik itu berupa material maupun moral sehingga penulisan skripsi ini dapat berjalan lancar.
4. Aditya Inzani, Muhamad Tajudin, dan Heri Rahmadyanto yang telah banyak membantu dan memberikan berbagai macam saran dalam penyusunan skripsi ini.
5. Ilyas Safari, Nofrizal, Yudha Dwi P., Subbroto Fajar Sidiq, M. Dandy dan rekan-rekan mahasiswa/i Teknik Elektro lainnya yang telah banyak membantu dan mendukung saya.
6. Pihak-pihak lainnya yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu yang telah membantu baik secara langsung maupun tidak langsung dalam penyusunan skripsi ini.

Semoga Allah SWT membalas segala kebaikan dari semua pihak yang telah membantu proses penyusunan skripsi ini dan semoga skripsi ini dapat membantu dan membawa manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan. Penulis

memohon maaf apabila ada kesalahan pada skripsi ini, oleh karena itu penulis berharap adanya kritik dan saran yang dapat membangun dari semua pihak.

Depok, 27 Desember 2010

Penulis



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

---

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

Nama : Achmad Fauzi  
NPM : 0606073682  
Program Studi : Teknik Elektro  
Fakultas : Teknik  
Jenis karya : Skripsi

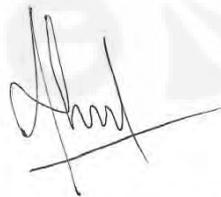
Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (Non-eksklusif Royalty-Free Right)** atas karya ilmiah saya yang berjudul:

**ANTENA MIKROSTRIP *SLOT* LINGKARAN UNTUK  
MEMPERLEBAR BANDWIDTH DENGAN TEKNIK  
PENCATU *COPLANAR WAVEGUIDE* PADA FREKUENSI 2,3  
GHz**

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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok  
Pada Tanggal : 27 Desember 2010  
Yang menyatakan



(Achmad Fauzi)

## ABSTRAK

Nama : Achmad Fauzi  
Program Studi: Teknik Elektro  
Judul : Antena Mikrostrip *Slot* Lingkaran Untuk Memperlebar Bandwidth Dengan Teknik Pencatu *Coplanar Waveguide* Pada Frekuensi 2,3 Ghz  
Pembimbing : Prof. Eko Tjipto Rahardjo

Saat ini teknologi komunikasi telah berkembang dengan pesat. Tidak kecuali dengan teknologi nirkabel yang salah satunya adalah WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*). WiMAX merupakan teknologi akses nirkabel pita lebar (*broadband wireless access*) yang dapat menjangkau area yang luas dan mempunyai kecepatan akses yang tinggi. Salah satu bagian yang memiliki peranan penting pada sistem teknologi nirkabel tersebut antena. Antena yang digunakan pada aplikasi WiMAX ini harus memiliki beberapa kriteria yang diantaranya adalah memiliki dimensi yang kecil sehingga tidak memakan tempat dalam penggunaannya, mudah untuk difabrikasi, mudah untuk dikoneksikan, dan diintegrasikan dengan peralatan elektronik lainnya dalam aplikasi WiMAX. Untuk memenuhi kriteria-kriteria tersebut maka jenis antena mikrostrip merupakan jenis antena yang paling cocok untuk aplikasi WiMAX.

Pada skripsi ini telah dilakukan studi parametrik antena mikrostrip slot lingkaran agar dapat beroperasi pada frekuensi 2.3 GHz (2.3 – 2.4 GHz). Desain antena ini menggunakan teknik pencatutan CPW (CoPlanar Waveguide) sebagai pencatu. Antena yang dibuat dalam skripsi memiliki impedance bandwidth sebesar 400 MHz untuk CPW *Short End* dan 260 MHz untuk CPW *Open End* pada  $VSWR \leq 1,9$ .

Kata kunci: WiMAX, antena mikrostrip *slot*, CoPlanar Waveguide (CPW), pencatutan tidak langsung

## ABSTRACT

Name : Achmad Fauzi  
Study Program : Electrical Engineering  
Title : Circular Slot Microstrip Antenna For Bandwidth Enhancement  
Using CoPlanar Waveguide Feeding Technique at 2.3 GHz  
Advisor : Prof. Eko Tjipto Rahardjo

Recently, communication has grown tremendously. Many wireless system have been launch such as GSM (Global System for Mobile Communication), WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access), and LTE (Long Term Evolution). The technology used in WiMAX is a broadband wireless access technology (BWA = Broadband Wireless Access) which can cover large areas and have high speed access. In that wireless technology system, antenna plays an important role for this system.

In this final project, we propose a microstrip antenna with CPW (CoPlanar Waveguide) feeding technique. Some advantages of the CPW antenna is it has relatively smaller dimension toward other microstrip antenna without CPW feed, easier grounding of surface-mounted components, lower fabrication costs, reduced dispersion, decreased radiation losses, and availability of closed-form expressions for the characteristic impedance.

This final project has been carried out parametric studies of circular slot microstrip antenna to operate at frequency 2.3 GHz (2.3 - 2.4 GHz). This antenna using CPW feeding technique (CoPlanar waveguide) has the impedance bandwidth of 400 MHz for CPW Short End and 260 MHz for CPW Open End at  $VSWR \leq 1.9$ .

Keywords: WiMAX, microstrip slot antenna, CoPlanar Waveguide (CPW)

## ABSTRAK

Nama : Achmad Fauzi  
Program Studi: Teknik Elektro  
Judul : Antena Mikrostrip *Slot* Lingkaran Untuk Memperlebar Bandwidth Dengan Teknik Pencatu *Coplanar Waveguide* Pada Frekuensi 2,3 Ghz  
Pembimbing : Prof. Eko Tjipto Rahardjo

Saat ini teknologi komunikasi telah berkembang dengan pesat. Tidak kecuali dengan teknologi nirkabel yang salah satunya adalah WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*). WiMAX merupakan teknologi akses nirkabel pita lebar (*broadband wireless access*) yang dapat menjangkau area yang luas dan mempunyai kecepatan akses yang tinggi. Salah satu bagian yang memiliki peranan penting pada sistem teknologi nirkabel tersebut antena. Antena yang digunakan pada aplikasi WiMAX ini harus memiliki beberapa kriteria yang diantaranya adalah memiliki dimensi yang kecil sehingga tidak memakan tempat dalam penggunaannya, mudah untuk difabrikasi, mudah untuk dikoneksikan, dan diintegrasikan dengan peralatan elektronik lainya dalam aplikasi WiMAX. Untuk memenuhi kriteria-kriteria tersebut maka jenis antena mikrostrip merupakan jenis antena yang paling cocok untuk aplikasi WiMAX.

Pada skripsi ini telah dilakukan studi parametrik antena mikrostrip slot lingkaran agar dapat beroperasi pada frekuensi 2.3 GHz (2.3 – 2.4 GHz). Desain antena ini menggunakan teknik pencatuan CPW (CoPlanar Waveguide) sebagai pencatu. Antena yang dibuat dalam skripsi memiliki impedance bandwidth sebesar 400 MHz untuk CPW *Short End* dan 260 MHz untuk CPW *Open End* pada  $VSWR \leq 1,9$ .

Kata kunci: WiMAX, antena mikrostrip *slot*, CoPlanar Waveguide (CPW), pencatuan tidak langsung

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS .....	ii
HALAMAN PENGESAHAN .....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	vi
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT .....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL .....	xii
DAFTAR SINGKATAN.....	xiv
<b>1. PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan Penulisan.....	1
1.3 Batasan Masalah .....	2
1.4 Sistematika Penulisan.....	2
<b>2. ANTENA MIKROSTRIP.....</b>	<b>3</b>
2.1 WiMAX.....	3
2.2 Struktur Antena Mikrostrip .....	5
2.3 Antena Mikrostrip <i>Slot</i> .....	6
2.4 Frekuensi Resonansi <i>Patch</i> Lingkaran .....	7
2.5 Saluran Mikrostrip.....	8
2.6 CoPlanar Waveguide.....	8
2.6.1 CoPlanar Waveguide Open Circuit.....	9
2.6.2 CoPlanar Waveguide Short Circuit.....	10
2.6.3 Struktur CoPlanar Waveguide .....	11
2.7 Parameter Umum Antena Mikrostrip.....	12
2.7.1 VSWR (Voltage Standing Wave Ratio).....	12
2.7.2 Impedansi Masukan .....	13
2.7.3 <i>Return Loss</i> .....	13
2.7.4 <i>Bandwidth</i> .....	14
2.7.5 Penguatan (Gain) .....	16
2.7.6 Pola Radiasi.....	16
2.7.7 Keterarahan (Directivity) .....	18
2.7.8 Polarisasi .....	19
<b>3. PERANCANGAN ANTENA DAN KARAKTERISASI ANTENA .....</b>	<b>22</b>
3.1 Pendahuluan .....	22
3.2 Perlengkapan Yang Digunakan.....	22
3.3 Diagram Alir Perancangan Antena .....	23
3.4 Menentukan Spesifikasi Antena .....	23
3.5 Menentukan Jenis Subtrat yang Digunakan.....	24
3.6 Perancangan Dimensi <i>Slot</i> Lingkaran Elemen Tunggal.....	24
3.7 Perancangan Dimensi CPW.....	25
3.8 Pengukuran Rancangan Awal Antena .....	27
3.9 Karakterisasi Antena CPW <i>Slot</i> Lingkaran Elemen Tunggal .....	29
3.9.1 Karakterisasi <i>CoPlanarWaveguide Short End</i> .....	30

3.9.1.1 Karakterisasi Diameter Lingkaran ( <i>Slot non-Ground</i> ) .....	30
3.9.1.2 Karakterisasi Diameter Lingkaran ( <i>Slot Ground</i> ) .....	32
3.9.1.3 Karakterisasi Panjang Feed ( <i>Slot non-Ground</i> ) .....	34
3.9.1.4 Karakterisasi Panjang Feed ( <i>Slot Ground</i> ) .....	36
3.9.2 Karakterisasi <i>CoPlanarWaveguide Open End</i> .....	38
3.9.2.1 Karakterisasi Diameter Lingkaran ( <i>Slot non-Ground</i> ) .....	38
3.9.2.2 Karakterisasi Diameter Lingkaran ( <i>Slot Ground</i> ) .....	40
3.9.2.3 Karakterisasi Panjang Feed ( <i>Slot non-Ground</i> ) .....	42
3.9.2.4 Karakterisasi Panjang Feed ( <i>Slot Ground</i> ) .....	43
3.10 Hasil Spesifikasi Akhir Awal .....	45
<b>4. HASIL PENGUKURAN DAN ANALISIS HASIL PENGUKURAN.....</b>	<b>46</b>
4.1 Pengukuran Antena Spesifikasi Akhir .....	46
4.2 Pengukuran <i>Port</i> Tunggal .....	46
4.2.1 Hasil Pengukuran $S_{11}$ Antena CPW <i>Short End</i> .....	47
4.2.2 Hasil Pengukuran $S_{11}$ Antena CPW <i>Open End</i> .....	49
4.3 Pengukuran Pola Radiasi.....	51
4.3.1 Pengukuran Pola Radiasi Antena CPW <i>Short End</i> .....	53
4.3.2 Pengukuran Pola Radiasi Antena CPW <i>Open End</i> .....	54
4.4 Analisis Perbandingan Hasil Pengukuran <i>Port</i> Tunggal.....	56
4.5 Analisis Kesalahan Umum .....	57
<b>5 KESIMPULAN .....</b>	<b>58</b>
DAFTAR ACUAN .....	59
DAFTAR PUSTAKA .....	61
LAMPIRAN A .....	62
LAMPIRAN B .....	70

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	<i>CoPlanar Waveguide Open Circuit</i> .....	10
Gambar 2.2	<i>CoPlanar Waveguide Short Circuit</i> .....	11
Gambar 2.3	Rentang Frekuensi yang Menjadi <i>Bandwidth</i> .....	15
Gambar 2.4	Pola Radiasi <i>Directional</i> .....	17
Gambar 2.5	Pola Radiasi <i>Omnidirectional</i> .....	17
Gambar 2.6	Polarisasi Linier .....	19
Gambar 2.7	Polarisasi Melingkar .....	20
Gambar 2.8	Polarisasi Elips.....	21
Gambar 3.1	Diagram Alir Perancangan Slot Antena Dengan Metode Pencatuan CPW .....	23
Gambar 3.2	Tampilan Program TXLINE dari AWR Untuk Mencari Parameter-parameter di CPW Agar Mempunyai Impedansi 50 Ohm .....	26
Gambar 3.3	Tampilan dari CoPlanar Waveguide jenis (a) <i>Short End</i> (b) <i>Open End</i> .....	26
Gambar 3.4	Hasil Rancangan Awal Antena Satu Elemen Berdasarkan Teori (a) CPW <i>short end</i> (b) CPW <i>open end</i> (c) Tampak Atas .....	27
Gambar 3.5	Grafik <i>return loss</i> rancangan awal antena CPW <i>short end</i> .....	28
Gambar 3.6	Grafik <i>return loss</i> rancangan awal antena CPW <i>open end</i> .....	28
Gambar 3.7	Antena CPW <i>slot</i> lingkaran (a) Iterasi diameter <i>slot</i> lingkaran (b) Iterasi panjang <i>feed</i> .....	30
Gambar 3.8	Grafik Frekuensi Resonan Terhadap Perubahan Diameter <i>Slot</i> Lingkaran (d) Pada Elemen Tunggal Dengan <i>Slot</i> Tidak Dikoneksikan ke <i>Ground</i> .....	31
Gambar 3.9	Grafik <i>Impedance Bandwidth</i> Terhadap Perubahan Diameter <i>Slot</i> Lingkaran (d) Pada Elemen Tunggal Dengan <i>Slot</i> Tidak Dikoneksikan ke <i>Ground</i> .....	31
Gambar 3.10	Grafik Frekuensi Resonan Terhadap Perubahan Diameter <i>Slot</i> Lingkaran (d) Pada Elemen Tunggal Dengan <i>Slot</i> Dikoneksikan ke <i>Ground</i> .....	33
Gambar 3.11	Grafik <i>Impedance Bandwidth</i> Terhadap Perubahan Diameter <i>Slot</i> Lingkaran (d) Pada Elemen Tunggal Dengan <i>Slot</i> Dikoneksikan ke <i>Ground</i> .....	33
Gambar 3.12	Grafik Frekuensi Resonan Terhadap Perubahan Panjang <i>Feed</i> ( <i>l</i> ) Pada Elemen Tunggal Dengan <i>Slot</i> Tidak Dikoneksikan ke <i>Ground</i> .....	35
Gambar 3.13	Grafik <i>Impedance Bandwidth</i> Terhadap Perubahan Panjang <i>Feed</i> ( <i>l</i> ) Pada Elemen Tunggal Dengan <i>Slot</i> Tidak Dikoneksikan ke <i>Ground</i> .....	35
Gambar 3.14	Grafik Frekuensi Resonan Terhadap Perubahan Panjang <i>Feed</i> ( <i>l</i> ) Pada Elemen Tunggal Dengan <i>Slot</i> Dikoneksikan ke <i>Ground</i> .....	37
Gambar 3.15	Grafik <i>Impedance Bandwidth</i> Terhadap Perubahan Panjang <i>Feed</i> ( <i>l</i> ) Pada Elemen Tunggal Dengan <i>Slot</i> Dikoneksikan ke <i>Ground</i> .	37
Gambar 3.16	Grafik Frekuensi Resonan Terhadap Perubahan Diameter <i>Slot</i> Lingkaran (d) Pada Elemen Tunggal Dengan <i>Slot</i> Tidak Dikoneksikan ke <i>Ground</i> .....	39

Gambar 3.17	Grafik <i>Impedance Bandwidth</i> Terhadap Perubahan Diameter <i>Slot</i> Lingkaran (d) Pada Elemen Tunggal Dengan <i>Slot</i> Tidak Dikoneksikan ke <i>Ground</i> .....	39
Gambar 3.18	Grafik Frekuensi Resonan Terhadap Perubahan Diameter <i>Slot</i> Lingkaran (d) Pada Elemen Tunggal Dengan <i>Slot</i> Dikoneksikan ke <i>Ground</i> .....	41
Gambar 3.19	Grafik <i>Impedance Bandwidth</i> Terhadap Perubahan Diameter <i>Slot</i> Lingkaran (d) Pada Elemen Tunggal Dengan <i>Slot</i> Dikoneksikan ke <i>Ground</i> .....	41
Gambar 3.20	Grafik Frekuensi Resonan Terhadap Perubahan Panjang <i>Feed</i> (l) Pada Elemen Tunggal Dengan <i>Slot</i> Tidak Dikoneksikan ke <i>Ground</i> .....	42
Gambar 3.21	Grafik <i>Impedance Bandwidth</i> Terhadap Perubahan Panjang <i>Feed</i> (l) Pada Elemen Tunggal Dengan <i>Slot</i> Tidak Dikoneksikan ke <i>Ground</i> .....	43
Gambar 3.22	Grafik Frekuensi Resonan Terhadap Perubahan Panjang <i>Feed</i> (l) Pada Elemen Tunggal Dengan <i>Slot</i> Dikoneksikan ke <i>Ground</i> .....	44
Gambar 3.23	Grafik <i>Impedance Bandwidth</i> Terhadap Perubahan Panjang <i>Feed</i> (l) Pada Elemen Tunggal Dengan <i>Slot</i> Tidak Dikoneksikan ke <i>Ground</i> .....	44
Gambar 4.1	Antena dengan frekuensi kerja 2,3 – 2,4 GHz.....	46
Gambar 4.2	<i>Return loss</i> Hasil Pengukuran Antena Elemen Tunggal .....	47
Gambar 4.3	Grafik VSWR Hasil Pengukuran Antena Elemen Tunggal. ....	47
Gambar 4.4	Grafik Impedansi Masukan Hasil Pengukuran Antena Elemen Tunggal.....	48
Gambar 4.5	Grafik <i>Return loss</i> Hasil Pengukuran Antena Elemen Tunggal ...	49
Gambar 4.6	Grafik VSWR Hasil Pengukuran Antena Elemen Tunggal .....	50
Gambar 4.7	Grafik Impedansi Masukan Hasil Pengukuran Antena Elemen Tunggal.....	50
Gambar 4.8	Hasil Pengukuran Karakteristik <i>Cross-Polarization</i> Antena 8 Elemen Pada Frekuensi 3,35 GHz (a) E-co vs E-Cross (b) H-Co vs H-Cross.....	53
Gambar 4.9	Hasil Pengukuran Pola Radiasi Antena CPW <i>Open End</i> Pada Frekuensi 2,35 GHz (a) E-co vs E-Cross (b) H-Co vs H-Cross ...	55

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Parameter Elektrikal Untuk <i>Base Station</i> .....	3
Tabel 2.2 Parameter Lingkungan Untuk <i>Base Station</i> .....	4
Tabel 2.3 Parameter Elektrikal Untuk <i>Subscriber Station</i> .....	4
Tabel 2.4 Parameter Lingkungan Untuk <i>Subscriber Station</i> .....	4
Tabel 2.5 Perbandingan Antara Microstrip Patch Dan <i>Slot</i> [5].....	7
Tabel 3.1 Spesifikasi Substrat Yang Digunakan .....	24
Tabel 3.2 Dimensi Antena Hasil Rancangan Berdasarkan Teori .....	28
Tabel 3.3 Dimensi Antena Hasil Studi Parametrik.....	45
Tabel 4.1 Perbandingan Hasil Pengukuran <i>Port</i> Tunggal .....	56

## DAFTAR SINGKATAN

WiMAX	<i>Worldwide Interoperability for Microwave Access</i>
CPW	<i>CoPlanar Waveguide</i>
GHz	<i>Giga Hertz</i>
MHz	<i>Mega Hertz</i>
VSWR	<i>Voltage Standing Wave Ratio</i>
RL	<i>Return Loss</i>
dB	<i>Decibel</i>
BW	<i>Bandwidth</i>
f	<i>Frekuensi</i>
mm	<i>millimeter</i>
cm	<i>centimeter</i>

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Pada era telekomunikasi saat ini, sistem komunikasi nirkabel telah banyak mengalami perkembangan. Adanya perkembangan pada sistem komunikasi tersebut maka tuntutan akan kebutuhan antenna yang sesuai dengan perkembangan teknologi juga semakin meningkat dan tak dapat dipungkiri bahwa antenna merupakan bagian yang tak terpisahkan dari sistem komunikasi nirkabel dan banyak sistem komunikasi nirkabel membutuhkan antenna yang memiliki desain kompak tetapi juga memiliki performa yang bagus yang diantaranya adalah *low-profile*, *low cost*, dan tidak memakan banyak ruang [1]. Dari berbagai persyaratan tersebut, antenna mikrostrip lah yang memenuhi semua hal yang disyaratkan.

Untuk mendukung teknologi komunikasi nirkabel tersebut, dibutuhkanlah antenna mikrostrip yang memiliki *bandwidth* yang lebar. Salah satu jenis antenna mikrostrip yang dapat menghasilkan *bandwidth* yang lebar adalah jenis antenna mikrostrip *slot* dan salah satu jenis pencatu untuk antenna mikrostrip yang dapat menghasilkan *bandwidth* yang lebar adalah pencatu yang menggunakan teknik *CoPlanar Waveguide* (CPW).

Pada skripsi ini akan dirancang antenna dengan penggabungan dari kedua jenis antenna yang dapat menghasilkan *bandwidth* yang lebar yaitu antenna mikrostrip *slot* dengan bentuk lingkaran yang menggunakan teknik pencatuan *CoPlanar Waveguide* (CPW) yang dapat bekerja pada frekuensi kerja di 2,3 GHz (2,3 – 2,4 GHz).

### 1.2 Tujuan Penulisan

Tujuan dari skripsi ini adalah melakukan rancang bangun antenna mikrostrip *slot* berbentuk lingkaran dengan menggunakan teknik pencatuan CPW yang dapat bekerja pada frekuensi 2,3 GHz. Penggunaan *slot* berbentuk lingkaran bertujuan untuk memperlebar bandwidth antenna sehingga mendapatkan frekuensi kerja seperti yang diinginkan.

### **1.3 Batasan Masalah**

Pembatasan masalah pada skripsi ini pada studi parametrik antena mikrostrip berbentuk *slot* lingkaran dengan teknik pencatu CPW yang diharapkan dapat memenuhi kriteria parameter meliputi range frekuensi, impedansi, dan VSWR.

### **1.4 Sistematika Penulisan**

Penulisan skripsi ini akan dibagi dalam lima bagian besar, yaitu :

#### **Bab 1 Pendahuluan**

Bagian ini terdiri dari latar belakang, tujuan penulisan, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

#### **Bab 2 Antena Mikrostrip Dengan Teknik Pencatu CPW**

Bagian ini akan berisi tentang bahasan teori dasar mengenai antena mikrostrip khususnya antena mikrostrip dengan teknik pencatutan CPW, antena mikrostrip slot lingkaran, dan parameter umum antenna.

#### **Bab 3 Perancangan Antena dan Karakterisasi Antena**

Bagian ini memberikan penjelasan mengenai perlengkapan yang dibutuhkan dalam perancangan, prosedur perancangan serta hasil karakterisasi melalui beberapa parameter antena.

#### **Bab 4 Hasil Pengukuran dan Analisis Hasil Pengukuran**

Bagian ini berisi tentang hasil pengukuran parameter antena beserta analisisnya. Hasil analisis merupakan dasar untuk pembentukan kesimpulan pada penelitian ini.

#### **Bab 5 Kesimpulan**

Bab ini berisi kesimpulan dari keseluruhan isi skripsi.

## BAB 2

### ANTENA MIKROSTRIP

#### 2.1 WiMAX

WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*) merupakan salah satu teknologi nirkabel yang menawarkan jasa telekomunikasi dengan *bandwidth* yang lebar dan *bit rate* yang besar. Teknologi ini juga mampu menyediakan berbagai aplikasi meliputi suara, video dan data dengan kecepatan yang tinggi hingga mencapai 70 Mbps [2].

Frekuensi kerja WiMAX yang digunakan pada perancangan antena ini adalah pada frekuensi 2,3 - 2,4 GHz karena frekuensi yang diizinkan untuk WiMAX di negara Indonesia berada pada rentang frekuensi 2,3 - 2,4 GHz dan. Berdasarkan peraturan Departemen Komunikasi dan Informatika (Depkominfo) yang dipublikasikan melalui Siaran Pers No. 51/PIH/KOMINFO/1/2009 pada Januari 2009, pita frekuensi yang akan digunakan untuk teknologi WiMAX di Indonesia adalah 2.3 GHz (2.3 s.d 2.4 GHz) [3].

Berikut ini adalah persyaratan teknis alat dan perangkat telekomunikasi yang digunakan untuk aplikasi WiMAX di Indonesia yang dibagi menjadi 2 bagian yaitu peralatan untuk *base station* dan *subscriber station* :

a. *Base Station*

Tabel 2.1 Parameter Elektrikal Untuk *Base Station*

Parameter Elektrikal	Nilai
<i>Frequency Range</i>	2.300 – 2.390 MHz
<i>Gain</i>	<i>Sectoral</i> : Minimum 15 dBi <i>Omni</i> : Minimum 9 dBi
Impedansi	50 $\Omega$
Polarisasi (rambatan)	Vertikal
VSWR	Maksimum 1.9 : 1
Daya maksimum input	50 W
XPD	Minimum 20 dB
Konektor	N Female

Tabel 2.2 Parameter Lingkungan Untuk *Base Station*

Parameter Lingkungan	Nilai
Daya tahan terhadap kecepatan angin	Maksimum 200 Km/jam
Beban angin muka	110 Newton
Beban angin lateral	75 Newton
Grounding / Lightning Protection	DC grounded
Temperatur	Maksimum 65 <sup>0</sup> C
Kelembaban	100 %

b. *Subscriber Station*Tabel 2.3 Parameter Elektrikal Untuk *Subscriber Station*

Parameter Elektrikal	Nilai
Frequency Range	2.300 – 2.390 MHz
<i>Gain</i>	Maksimum 15 dBi
Impedansi	50 $\Omega$
Polarisasi (rambatan)	Vertikal
VSWR	Maksimum 1.9 : 1
Daya maksimum input	50 W
XPD	Minimum 20 dB
Konektor	N-Female atau SMA-female

Tabel 2.4 Parameter Lingkungan Untuk *Subscriber Station*

Parameter Lingkungan	Nilai
Daya tahan terhadap kecepatan angin	<i>Outdoor</i> : maksimum 100 km/jam
Beban angin muka	<i>Outdoor</i> : maksimum 55 Newton
<i>Grouding/Lighting Protection</i>	DC grounded
Kelembaban	<i>Outdoor</i> : maksimum 100 % <i>Indoor</i> : maksimum 95 %
Temperatur	<i>Outdoor</i> : maksimum 65 C <i>Indoor</i> : maksimum 40 C

## 2.2 Struktur Antena Mikrostrip

Pada sistem komunikasi nirkabel membutuhkan komponen penting untuk meradiasikan dan menerima gelombang elektromagnetik, komponen penting tersebut adalah antena. Antena merupakan perangkat yang memancarkan atau menerima gelombang elektromagnetik. Dengan kata lain, antena mengkonversi radiasi elektromagnetik menjadi arus listrik, atau sebaliknya [4].

Salah satu jenis antena adalah antena mikrostrip. Antena mikrostrip adalah antena yang dibuat dengan bahan-bahan yang konduktor listrik seperti *printed circuit board* (PCB). Antena jenis ini memiliki tiga elemen utama yaitu : elemen peradiasi (*radiator*), substrat, dan elemen pentanahan (*ground*). Elemen peradiasi berfungsi untuk meradiasikan gelombang listrik dan magnet. Jenis *Printed Slot Antena* (Mikrostrip Slot Antena) sanggup meradiasikan gelombang elektromagnetik dalam dua arah (*bidirectional*), meskipun dapat dirancang untuk bekerja dalam satu arah (*unidirectional*). Secara umum, Mikrostrip Slot Antenna memiliki perbedaan fisik pada bagian elemen peradiasinya yang diberi celah (*slot*). Substrat merupakan bagian dielektrik yang membatasi elemen peradiasi dengan elemen pentanahan. Bagian ini memiliki nilai konstanta dielektrik ( $\epsilon_r$ ), faktor disipasi, dan ketebalan ( $h$ ) tertentu. Ketiga nilai tersebut mempengaruhi frekuensi kerja, *bandwidth*, dan juga efisiensi dari antena yang akan dibuat. Ketebalan substrat jauh lebih besar daripada ketebalan konduktor metal peradiasi. Semakin tebal substrat maka *bandwidth* akan semakin meningkat, tetapi berpengaruh terhadap timbulnya gelombang permukaan (*surface wave*) [4].

Antena mikrostrip ini mempunyai beberapa keuntungan apabila dibandingkan dengan antena lain, diantaranya [5] :

1. Low profile (mempunyai ukuran yang kecil dan ringan)
2. Mudah difabrikasi dan tidak memakan biaya yang besar
3. Dapat berdiri dengan kuat ketika diletakkan pada benda yang *rigid*
4. Polarisasi linier dan sirkular mudah didapat hanya dengan *feeding* yang sederhana
5. Dapat digunakan untuk aplikasi *dual polarisasi*, *dual frekuensi* maupun *triple frekuensi band*

6. *Feed line* dan *matching network* dapat difabrikasi langsung dengan struktur antena.

Akan tetapi selain kelebihan-kelebihan yang telah disebutkan diatas, antena mikrostrip juga memiliki beberapa kekurangan, yaitu [5]:

1. Mempunyai efisiensi yang rendah
2. Mempunyai gain yang rendah
3. Mempunyai kemurnian polarisasi yang rendah
4. Berbandwidth sempit
5. Dapat terjadi radiasi yang tidak diinginkan pada *feed line*-nya.
6. Timbulnya *surface wave* (gelombang permukaan)

### 2.3 Antena Mikrostrip Slot

Konsep dari antena mikrostrip *slot* berkembang dari antena *patch* yang dieksitasi oleh saluran *strip line* lalu bagian *patch* dilepaskan dan akhirnya saluran catu akan meradiasikan langsung melalui *slot*. Tabel 2.5 menunjukkan perbandingan antara jenis antena mikrostrip *slot* dengan antena mikrostrip *patch*. Kelebihan utama yang dimiliki oleh jenis antena *slot* adalah bandwidth yang dihasilkan lebih lebar. Antena mikrostrip *slot* juga memungkinkan kinerja antena pada polarisasi melingkar. Kekurangan dari jenis antena ini adalah kemungkinan pola radiasi yang terjadi pada dua arah (*bidirectional*). Akan tetapi kelemahan ini dapat ditanggulangi dengan penggunaan metal *reflector* yang di taruh di salah satu sisi *slot*. Selain itu, penelitian pada antena *slot* masih lebih sedikit dibandingkan dengan antena jenis *patch* sehingga literatur yang mendukung penelitian antena *slot* cukup sulit. Penentuan dari ukuran *slot* sampai saat ini masih sulit untuk diprediksi, tetapi persyaratan yang dapat digunakan adalah panjang *slot* sekurangnya harus lebih besar dari pada lebar saluran catu yang digunakan [6].

Tabel 2.5 Perbandingan Antara Microstrip Patch Dan Slot [5]

no	Karakteristik	Antena <i>patch</i>	Antena <i>slot</i>
1	Analisa dan desain	Mudah	Mudah
2	Fabrikasi	Sangat mudah	Sangat mudah
3	Toleransi pada fabrikasi	Sensitif	Tidak terlalu sensitive
4	Bentuk	Tipis	Tipis
5	Fleksible dalam bentuk	Banyak bentuk	Terbatas
6	Pola radiasi	Unidirectional	Unidirectional dan bidirectional
7	Polarisasi	Melingkar dan linier	Melingkar dan linier
8	Bandwidth	Sempit	Lebar
9	Dual frekuensi	Dapat	Dapat
10	Radiasi Spurious	Sedang	Kecil
11	Isolasi antara radiating elemen	Sedang	Baik
12	Penentuan Frekuensi kerja	Sangat mudah dilakukan	Bisa walau sulit
13	Cross Polarization level	Rendah	Sangat rendah
14	End fire antenna	Tidak memungkinkan	Mungkin

#### 2.4 Frekuensi Resonansi *Patch* Lingkaran

Untuk menentukan dimensi awal dari *slot* lingkaran yang akan dirancangan, maka digunakan rumus perhitungan frekuensi resonansi untuk *patch* lingkaran pada antena mikrostrip *patch* seperti pada Persamaan 2.1. Frekuensi resonansi untuk antena mikrostrip dengan *patch* lingkaran sesuai dengan rumus [4]:

$$r = \frac{F}{\left(1 + \frac{2h}{\pi \epsilon_r F} \left[ \ln \left( \frac{\pi F}{2h} \right) + 1.7726 \right] \right)^{\frac{1}{2}}} \quad (2.1)$$

Dimana F dapat dicari dengan persamaan :

$$F = \frac{8.791 \cdot 10^9}{f_r \sqrt{\epsilon_r}} \quad (2.2)$$

Dengan :

$$f_r = 2.35 \text{ GHz}$$

$$\varepsilon_r = 4.4$$

$$h = 0.16 \text{ cm}$$

## 2.5 Saluran Mikrostrip

Pemilihan saluran pencatu dengan saluran mikrostrip adalah karena kemudahan dalam hal fabrikasi dan penentuan matching dari saluran mikrostrip dapat dengan mudah dilakukan. Untuk *me-matching*-kan antena, hal yang perlu dilakukan cukup dengan mengubah-ubah panjang dari elemen pencatu atau dengan memberikan stub dan mengubah-ubah posisinya.

## 2.6 CoPlanar Waveguide

Keuntungan dari menggunakan CPW sebagai saluran pencatu ini adalah karakteristik impedansinya dapat dikontrol dengan mengkombinasikan *line width* dan *gap width* dari saluran CPW tersebut, dan juga pencatu CPW ini memiliki kemudahan untuk diintegrasikan baik hubungan seri maupun parallel pada komponen pasif maupun komponen aktif sehingga sangat memudahkan dalam rancang bangun antena mikrostrip. Dalam perancangan CPW digunakan beberapa persamaan yang menentukan nilai dari parameter-parameter yang diperlukan. Persamaan yang digunakan untuk konstanta dielektrik efektif ( $\varepsilon_{re}$ ) dari CPW adalah [7]:

$$\varepsilon_{re} = 1 + q \cdot (\varepsilon_r - 1) \quad (2.3)$$

$\varepsilon_r$  merupakan nilai konstanta dielektrik dari substrat, sedangkan nilai  $q$  disebut dengan filling fraction. Nilai dari filling fraction ( $q$ ) dari untuk CPW dengan ketebalan substrat terbatas dan lebar ground yang terbatas [7]:

$$q = \frac{1}{2} \frac{K(k_4) K'(k_3)}{K'(k_4) K(k_3)} \quad (2.4)$$

$$k_4 = \frac{\sinh\left(\frac{\pi \cdot a}{2h}\right)}{\sinh\left(\frac{\pi \cdot b}{2h}\right)} \sqrt{\frac{1 - \sinh^2(\pi \cdot b / 2h) / \sinh^2(\pi \cdot c_0 / 2h)}{1 - \sinh^2(\pi \cdot a / 2h) / \sinh^2(\pi \cdot c_0 / 2h)}} \quad (2.5)$$

$$k_3 = \frac{a}{b} \sqrt{\frac{1-b^2/c_0^2}{1-a^2/c_0^2}} \quad (2.6)$$

Nilai dari rasio  $K/K'$  dapat ditentukan dengan persamaan yang cukup akurat dan sederhana yaitu [7]:

$$\frac{K(k)}{K'(k)} = \frac{\pi}{\ln' \left[ 2 \left( \frac{1+\sqrt{k'}}{1-\sqrt{k'}} \right) \right]} \quad \text{untuk } 0 \leq k \leq 1/\sqrt{2} \quad (2.7)$$

$$\frac{K(k)}{K'(k)} = \frac{1}{\pi} \ln \left[ 2 \left( \frac{1+\sqrt{k}}{1-\sqrt{k}} \right) \right] \quad \text{untuk } 1/\sqrt{2} \leq k \leq 1 \quad (2.8)$$

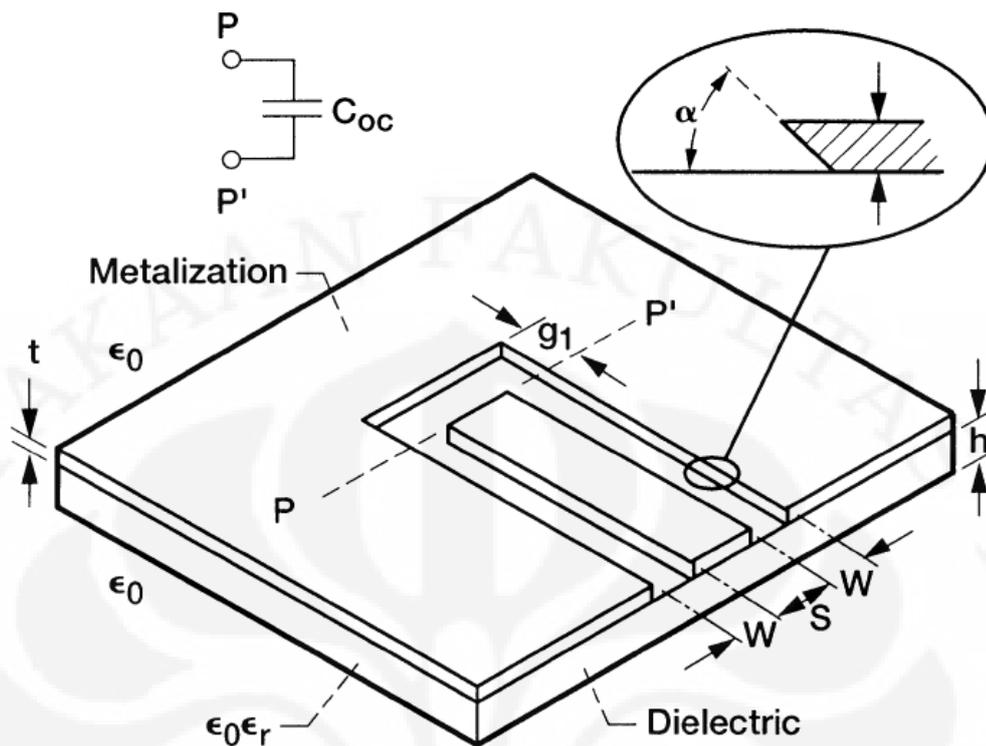
Dengan mengetahui nilai rasio  $K/K'$  dan konstanta dielektrik efektif ( $\epsilon_{re}$ ) dari persamaan 2.5 (atau 2.6) dan persamaan 2.1, maka [7]:

$$Z_{0cp} = \frac{30.\pi}{\sqrt{\epsilon_{re}}} \frac{K'(k_1)}{K(k_1)} \quad (2.9)$$

$Z_{0cp}$  merupakan karakteristik impedansi dari *Coplanar Waveguide* (CPW) dengan panjang substrat terbatas.

### 2.6.1 CoPlanar Waveguide Open Circuit

*Coplanar waveguide open circuit* dibentuk dengan mengakhiri saluran pencatu dengan lebar  $S$  sehingga tercipta jarak antara saluran pencatu dan bagian *grounding* ( $g_1$ ) seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.1. Medan listrik terdapat pada bagian *open circuit* antara pencatu tengah dengan bagian *ground* yang berada pada sekitarnya sehingga menimbulkan suatu reaktansi kapasitif. Reaktansi ini dapat terlihat pada bidang  $P - P'$  yang memiliki posisi bertepatan dengan akhir dari pencatu tengah. Kapasitansi *open circuit* ( $C_{oc}$ ) merupakan kombinasi paralel dari kapasitansi yang dihasilkan oleh  $g_1$  dan kapasitansi yang diperoleh pada slot ( $W$ )[8].

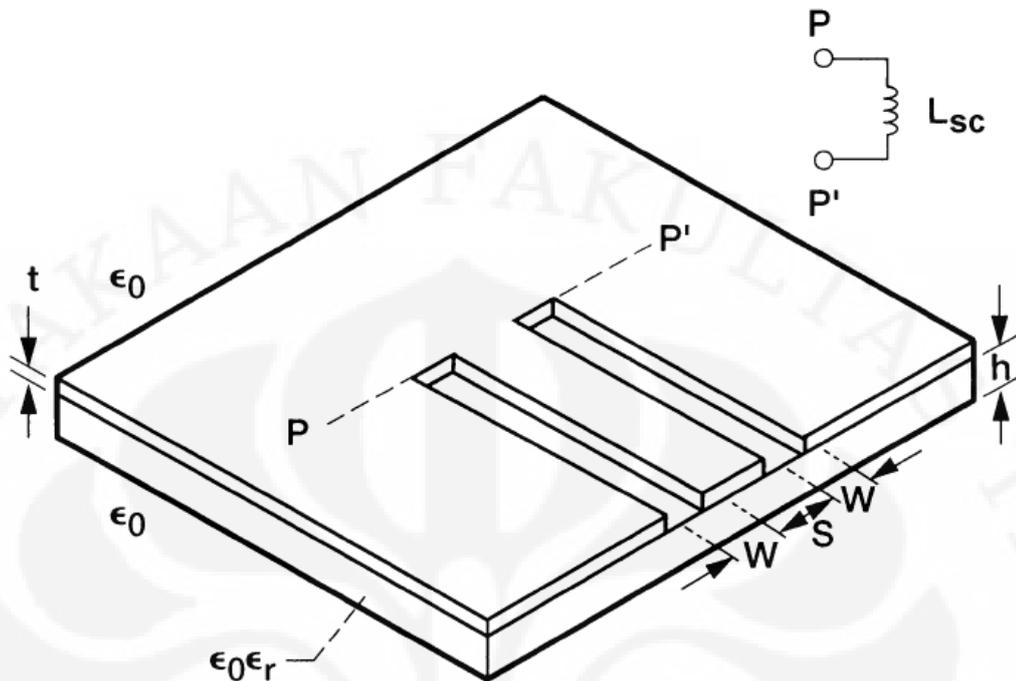


Gambar 2.1 CoPlanar Waveguide Open Circuit[8]

*Radiation loss* dari CPW open circuit telah dipelajari secara numerik dengan metoda persamaan integral domain ruang. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa peningkatan *radiation loss* dipengaruhi oleh peningkatan  $g_1$  dan juga  $S$ . Sebagai contoh, untuk CPW dengan  $S = 0,5$  mm,  $W = 0,25$  mm, pada substrat dengan  $h = 0.635$  mm, dan  $\epsilon_r = 2,1$ , faktor *radiation loss* yang diberikan oleh  $10 \log (1 - |\Gamma|^2)$ , di mana besarnya koefisien refleksi  $|\Gamma|$ , meningkat 2,8 - 3,0 persen sebagaimana  $g_1 / S + 2W$  meningkat 0,25 - 1,25.

### 2.6.2 CoPlanar Waveguide Short Circuit

*Coplanar waveguide short circuit* dibentuk dengan menghubungkan langsung bagian pencatu dengan bagian *ground* CPW seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.2. Dalam beberapa kasus, arus RF yang mengalir disekitar akhir dari slot ( $W$ ) dan oleh karena itu energi magnetik disimpan pada akhir dari pencatu ini. Energi magnet ini menimbulkan suatu reaktansi induktif yang dimodelkan sebagai  $L_{sc}$  dan terletak di bidang  $P - P'$ . Dengan demikian posisi yang jelas dari *short circuit* berada pada akhir dari *slot* ( $W$ )[8].



Gambar 2.2 CoPlanar Waveguide Short Circuit[8]

### 2.6.3 Struktur CoPlanar Waveguide

*Coplanar Waveguide* adalah sistem saluran transmisi terdiri dari coplanar arus membawa jejak di atas substrat, pusat dengan alasan sisi yang melampaui celah simetris untuk kedua sisi jejak. Ada berbagai jenis jalur transmisi CPW digunakan dalam aplikasi RF dan *microwave* yaitu *grounded* CPW dan *ungrounded* CPW, berikut ini penjelasan mengenai kedua struktur CPW tersebut[9]:

a. *Grounded* CPW (GCPW) akan memiliki ground plane tambahan di bagian bawah substrat. Dalam prakteknya bidang ini harus cukup jauh dari pencatu dibandingkan dengan sisi *ground* CPW dikarenakan sistem yang membawa adalah dalam modus CPW dibandingkan mode mikrostrip *lossy*.

b. *Ungrounded* CPW lebih standar, di mana sisi *ground coplanar* untuk strip itu sendiri menyediakan jalan kembali untuk arus dan bagian bawah substrat yang tak memiliki *ground*.

## 2.7 Parameter Umum Antena Mikrostrip

### 2.7.1 VSWR (*Voltage Standing Wave Ratio*)

VSWR yang merupakan singkatan dari *Voltage Standing Wave Ratio* adalah perbandingan antara amplitudo gelombang berdiri (*standing wave*) maksimum ( $|V|_{\max}$ ) dengan minimum ( $|V|_{\min}$ ). Pada saluran transmisi terdapat dua komponen gelombang tegangan, yaitu tegangan yang dikirimkan ( $V_0^+$ ) dan tegangan yang direfleksikan ( $V_0^-$ ) [14] dan perbandingan antara keduanya disebut sebagai koefisien refleksi tegangan ( $\Gamma$ ) yang dapat dirumuskan[9]:

$$\Gamma = \frac{V_0^-}{V_0^+} = \frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2} \quad (2.12)$$

Di mana  $Z_1$  adalah impedansi beban (*load*) dan  $Z_2$  adalah impedansi saluran *lossless*.

Koefisien refleksi tegangan ( $\Gamma$ ) memiliki nilai kompleks, yang merepresentasikan besarnya magnitudo dan fasa dari refleksi. Nilai dari Koefisien refleksi tegangan ( $\Gamma$ ) berkisar dari -1 sampai dengan 1, dimana ketika:

- $\Gamma = -1$  : refleksi negatif maksimum, ketika saluran terhubung singkat,
- $\Gamma = 0$  : tidak ada refleksi, ketika saluran dalam keadaan *matched* sempurna,
- $\Gamma = +1$  : refleksi positif maksimum, ketika saluran dalam rangkaian terbuka.

Sedangkan besarnya nilai dari VSWR diperoleh dari besarnya nilai koefisien refleksi tegangan itu sendiri dan dapat dirumuskan sebagai berikut [5]:

$$S = \frac{\left| \tilde{V} \right|_{\max}}{\left| \tilde{V} \right|_{\min}} = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \quad (2.13)$$

Suatu antena dikatakan berada dalam kondisi yang paling baik jika antena tersebut memiliki VSWR yang bernilai 1 ( $S=1$ ) dan dapat dikatakan bahwa antena tersebut tidak ada refleksi ketika saluran dalam keadaan *matching* sempurna ( $\Gamma = 0$ ). Nilai parameter VSWR ini menjadi salah satu acuan untuk

melihat apakah antenna sudah dapat bekerja pada frekuensi yang diharapkan atau tidak. Pada skripsi ini, antenna dibuat untuk dapat bekerja di range frekuensi 2,3-2,4 GHz dengan nilai VSWR  $\leq 1,9$ .

### 2.7.2 Impedansi Masukan

Hal yang paling menentukan ketika melakukan pengukuran antenna adalah impedansi terminal masukan dari suatu antenna harus memiliki nilai yang sama dengan impedansi terminal dari alat yang digunakan untuk mengukur parameter-parameter antenna. Impedansi sebuah antenna pada terminal masukan sendiri biasa disebut impedansi masukan. Impedansi dari sebuah antenna dapat dirumuskan sebagai berikut[10]:

$$Z_A = R_A + jX_A \quad (2.10)$$

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

Bagian resistansi masukan terbagi lagi menjadi dua, yaitu resistansi radiasi ( $R_r$ ) dan *loss resistance* ( $R_L$ ) yang dirumuskan sebagai berikut:

$$R_A = R_r + R_L \quad (2.11)$$

Resistansi radiasi ( $R_r$ ) adalah resistansi yang digunakan dalam meradiasikan gelombang elektromagnetik sedangkan *loss resistance* ( $R_L$ ) adalah resistansi yang menyebabkan berkurangnya *power* gelombang teradiasi akibat adanya panas. Desain antenna yang baik memiliki nilai resistansi radiasi yang tinggi dan memiliki *loss resistance* yang rendah. Sedangkan kondisi *matching* terjadi ketika besar impedansi *input* antenna sama dengan besar impedansi karakteristik saluran transmisi. Dalam skripsi ini digunakan impedansi input sebesar  $50 \Omega$ .

### 2.7.3 Return Loss

*Return loss* dapat diartikan sebagai perbandingan antara amplitudo dari gelombang yang direfleksikan terhadap amplitudo gelombang yang dikirimkan. Adanya diskontinuitas diantara saluran transmisi dengan impedansi masukan

beban (antena) dapat menyebabkan *return loss*. Selain itu, *return loss* juga dapat dideskripsikan sebagai besarnya peningkatan amplitudo dari energi yang direfleksikan dibandingkan dengan energi yang terkirim. Setiap rangkaian gelombang mikro yang memiliki diskontinuitas (*mismatched*), besarnya nilai dari *return loss* suatu rangkaian gelombang mikro itu sendiri bervariasi tergantung pada frekuensi.

Nilai dari *return loss* sendiri kerap dikaitkan dengan nilai dari VSWR, karena kedua parameter antenna tersebut sama-sama membandingkan amplitudo dari gelombang yang terkirim dengan amplitudo gelombang yang dikirimkan. Besarnya nilai *return loss* diekspresikan dalam satuan dB. Didalam saluran transmisi, besarnya *return loss* dirumuskan sebagai berikut:

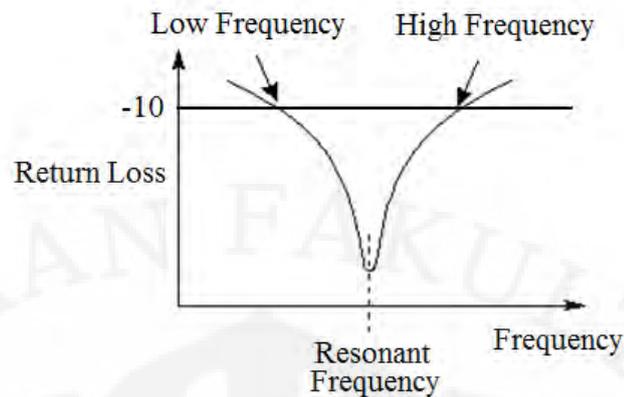
$$\text{Return Loss} = 20 \log_{10} \Gamma = 20 \log_{10} \left| \frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2} \right| \quad (2.14)$$

Dimana  $Z_1$  adalah impedansi yang menuju sumber (*source*) dan  $Z_2$  adalah impedansi yang menuju beban (*load*).

Nilai parameter *return loss* ini menjadi salah satu acuan selain nilai dari parameter VSWR untuk melihat apakah antenna sudah dapat bekerja pada frekuensi yang diharapkan atau tidak. Pada skripsi ini, antenna dibuat untuk dapat bekerja di range frekuensi 2,3-2,4 GHz dengan nilai *return loss*  $\leq 10,16$  dB.

#### 2.7.4 *Bandwidth*

*Bandwidth* dari antenna memiliki definisi yang berbeda jika dibandingkan dengan *bandwidth* yang ada pada penggunaan internet. *Bandwidth* dari sebuah antenna itu sendiri dapat diartikan sebagai jarak dari frekuensi yang paling rendah ke frekuensi yang paling tinggi dimana nilai parameter-parameter dari antenna sesuai dengan standar yang ditetapkan. Selain itu, *bandwidth* suatu antenna juga dapat didefinisikan sebagai rentang frekuensi di mana spesifikasi antenna yang berhubungan dengan beberapa parameter (seperti impedansi masukan, pola, *beamwidth*, polarisasi, *gain*, efisiensi, VSWR, *return loss*) memenuhi spesifikasi standar yang telah ditetapkan [5]. Gambar 2.3 memperlihatkan *bandwidth* berdasarkan dari nilai *return loss*, yaitu rentang frekuensi saat nilai *return loss*  $\leq -10$  dB.



Gambar 2.3 Rentang Frekuensi yang Menjadi *Bandwidth*

Besarnya *Bandwidth* suatu antenna dapat dirumuskan melalui persamaan berikut:

$$BW = \frac{f_h - f_l}{f_c} \times 100 \% \quad (2.15)$$

Dimana  $f_h$  = frekuensi tertinggi dalam *band* (GHz)

$f_l$  = frekuensi terendah dalam *band* (GHz)

$f_c$  = frekuensi tengah dalam *band* (GHz),

$$f_c = \frac{f_h + f_l}{2}$$

Ada 2 jenis *bandwidth* yaitu *impedance bandwidth* dan *pattern bandwidth*, berikut ini adalah penjelasan kedua jenis *bandwidth* tersebut:

a. *Impedance bandwidth*, yaitu rentang frekuensi di mana elemen peradiasi antenna berada pada keadaan *matching* dengan saluran pencatu. Hal ini terjadi karena impedansi dari elemen antenna bervariasi nilainya tergantung dari nilai frekuensi. Pada skripsi ini, antenna yang dibuat diharapkan memiliki *Impedance bandwidth* minimal 100 MHz di range frekuensi 2,3-2,4 GHz dengan nilai return loss  $\leq 10,16$  dB atau VSWR  $\leq 1,9$  dB..

b. *Pattern bandwidth*, yaitu rentang frekuensi di mana *beamwidth*, *sidelobe*, atau *gain*, yang bervariasi menurut frekuensi memenuhi nilai tertentu. Nilai tersebut harus ditentukan pada awal perancangan antenna agar nilai *bandwidth* dapat dicari.

### 2.7.5 Penguatan (*Gain*)

Parameter penguatan (*Gain*) terbagi menjadi dua jenis yaitu *absolute gain* dan *relative gain*, berikut ini adalah penjelasan kedua jenis *gain* tersebut[4]:

a. *Absolute gain* pada sebuah antenna dapat diartikan sebagai perbandingan antara intensitas pada arah tertentu dengan intensitas radiasi yang diperoleh jika daya yang diterima oleh antenna teradiasi secara isotropik. Intensitas radiasi yang berhubungan dengan daya yang diradiasikan secara isotropik sama dengan daya yang diterima oleh antenna ( $P_{in}$ ) dibagi dengan  $4\pi$ . *Absolute gain* ini dapat dirumuskan melalui persamaan[4]:

$$gain = 4\pi \frac{U(\theta, \phi)}{P_{in}} \quad (2.16)$$

b. *Relative gain* dapat diartikan sebagai perbandingan antara perolehan daya pada sebuah arah dengan perolehan daya pada antenna referensi pada arah yang direferensikan juga. Daya masukan harus sama di antara kedua antenna itu. Akan tetapi, antenna referensi merupakan sumber isotropik yang *lossless* ( $P_{in}(lossless)$ ). *Relative gain* dapat dirumuskan melalui persamaan[4]:

$$G = \frac{4\pi U(\theta, \phi)}{P_{in}(lossless)} \quad (2.17)$$

### 2.7.6 Pola Radiasi

Pola radiasi antenna dapat diartikan sebagai fungsi matematik atau sebuah representasi grafik dari radiasi antenna sebagai sebuah fungsi dari koordinat ruang[4]. Pola radiasi dari antenna dapat dibagi menjadi tiga jenis, yaitu:

a. Pola Isotropik

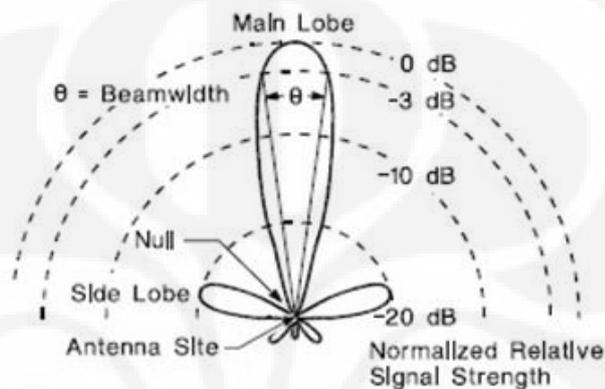
Antenna isotropik didefinisikan sebagai sebuah antenna tanpa rugi-rugi secara hipotesis yang mempunyai radiasi sama besar ke setiap arah (berbentuk bola).

b. Pola Directional

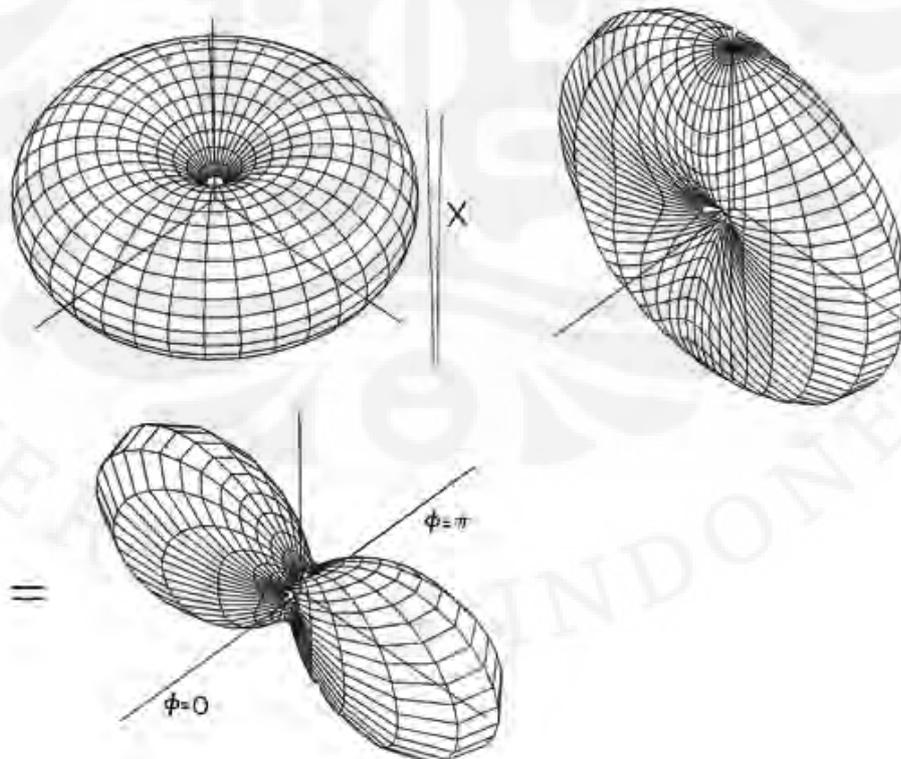
Antenna yang mempunyai pola radiasi atau pola menerima gelombang elektromagnetik yang lebih efektif pada arah-arah tertentu saja. Salah satu contoh antenna directional adalah antenna dengan pola omnidirectional.

c. Pola radiasi lobe (cuping)

Bagian-bagian dari pola radiasi ditunjukkan sebagai cuping-cuping yang bisa diklasifikasikan menjadi *main* (utama), *side* (samping) dan *back* (belakang). *Main lobe* ialah lobe/cuping radiasi yang memiliki arah radiasi maksimum. Side lobe ialah lobe/cuping selain main lobe sedangkan back lobe ialah lobe yang arahnya berlawanan 180 dengan mainlobe. Side lobe dan back lobe merupakan minor lobe yang keberadaannya tidak diharapkan.



Gambar 2.4 Pola Radiasi Directional[11]



Gambar 2.5 Pola Radiasi Omnidirectional[12]

### 2.7.7 Keterarahan (*Directivity*)

Keterarahan suatu antenna mempunyai hubungan dengan pola radiasi dari antenna itu sendiri. Keterarahan dari sebuah antenna dapat diartikan sebagai perbandingan dari intensitas radiasi sebuah antenna pada arah tertentu dengan intensitas radiasi rata-rata pada semua arah. Intensitas radiasi rata-rata sama dengan jumlah daya yang diradiasikan oleh antenna dibagi dengan  $4\pi$ . Keterarahan dapat dirumuskan melalui persamaan:

$$D = \frac{U}{U_0} = \frac{4\pi U}{P_{rad}} \quad (2.18)$$

Jika arah tidak ditentukan, keterarahan terjadi pada intensitas radiasi maksimum yang didapat dirumuskan melalui persamaan:

$$D_{\max} = D_0 = \frac{U_{\max}}{U_0} = \frac{4\pi U_{\max}}{P_{rad}} \quad (2.19)$$

Di mana :

$D$  = keterarahan

$D_0$  = keterarahan maksimum

$U$  = intensitas radiasi

$U_{\max}$  = intensitas radiasi maksimum

$U_0$  = intensitas radiasi pada sumber isotropik

$P_{rad}$  = daya total radiasi

*Directivity* biasanya direfleksikan dalam satuan dB, yaitu  $10 \log D_0$  dB. Dimana  $D_0$  merupakan *maximum directivity* dari sebuah antenna. Besarnya *directivity* sebuah antenna isotropis adalah 1, karena daya yang diradiasikan ke segala arah sama. Untuk antenna yang lain, *directivity* akan selalu lebih dari satu, dan ini adalah *figure of merit relatif* yang memberikan sebuah indikasi karakteristik pengarahan antenna dibandingkan dengan karakteristik pengarahan antenna isotropis.

### 2.7.8 Polarisasi

Polarisasi antenna dapat diartikan sebagai polarisasi dari gelombang yang ditransmisikan oleh antenna. Jika arah tidak ditentukan maka polarisasi merupakan polarisasi pada arah *gain* maksimum[4]. Pada prakteknya, polarisasi dari energi yang teradiasi bervariasi dengan arah dari tengah antenna, sehingga bagian lain dari pola radiasi mempunyai polarisasi yang berbeda.

Polarisasi dari gelombang yang teradiasi didefinisikan sebagai suatu keadaan gelombang elektromagnet yang menggambarkan arah dan magnitudo vektor medan elektrik yang bervariasi menurut waktu. Selain itu, polarisasi juga dapat didefinisikan sebagai gelombang yang diradiasikan dan diterima oleh antenna pada suatu arah tertentu.

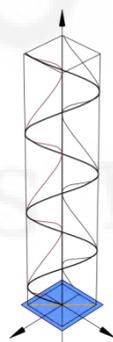
Polarisasi dapat diklasifikasikan sebagai *linear* (linier), *circular* (melingkar), atau *elliptical* (elips).

#### a. Polarisasi linier

Ada beberapa kondisi yang harus dipenuhi untuk mendapatkan polarisasi linier yaitu :

- Hanya ada satu komponen, atau
- Dua komponen yang saling tegak lurus secara linier yang berada pada perbedaan fasa waktu atau  $180^0$  atau kelipatannya

Polarisasi linier (Gambar 2.6) terjadi jika suatu gelombang yang berubah menurut waktu pada suatu titik di ruang memiliki vektor medan elektrik (atau magnet) pada titik tersebut selalu berorientasi pada garis lurus yang sama pada setiap waktu[4].



Gambar 2.6 Polarisasi Linier[13]

b. Polarisasi Melingkar

Ada beberapa kondisi yang harus dipenuhi untuk mendapatkan polarisasi melingkar yaitu :

- Medan harus mempunyai 2 komponen yang saling tegak lurus linier
- Kedua komponen tersebut harus mempunyai magnitudo yang sama
- Kedua komponen tersebut harus memiliki perbedaan fasa waktu pada kelipatan ganjil  $90^0$ .

Polarisasi melingkar (Gambar 2.7) terjadi jika suatu gelombang yang berubah menurut waktu pada suatu titik memiliki vektor medan elektrik (atau magnet) pada titik tersebut berada pada jalur lingkaran sebagai fungsi waktu[11].

Polarisasi melingkar dibagi menjadi dua, yaitu *Left Hand Circular Polarization (LHCP)* dan *Right Hand Circular Polarization (RHCP)*. *LHCP* terjadi ketika  $\delta = +\pi/2$ , sebaliknya *RHCP* terjadi ketika  $\delta = -\pi/2$



Gambar 2.7 Polarisasi Melingkar[13]

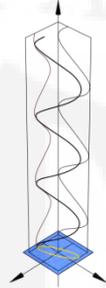
c. Polarisasi Elips

Ada beberapa kondisi yang harus dipenuhi untuk mendapatkan polarisasi elips yaitu :

- Medan harus mempunyai dua komponen linier ortogonal
- Kedua komponen tersebut harus berada pada magnitudo yang sama atau berbeda
- Jika kedua komponen tersebut tidak berada pada magnitudo yang sama, perbedaan fasa waktu antara kedua komponen tersebut harus tidak bernilai  $0^0$  atau kelipatan  $180^0$  (karena akan menjadi linier). Jika kedua komponen berada pada magnitudo yang sama maka perbedaan fasa di antara kedua

komponen tersebut harus tidak merupakan kelipatan ganjil dari  $90^\circ$  (karena akan menjadi lingkaran).

Polarisasi elips (Gambar 2.8) terjadi ketika gelombang yang berubah menurut waktu memiliki vektor medan (elektrik atau magnet) berada pada jalur kedudukan elips pada ruang[4].



Gambar 2.8 Polarisasi Elips[13]

## BAB 3

### PERANCANGAN ANTENA DAN KARAKTERISASI ANTENA

#### 3.1 Pendahuluan

Pada bab ini akan dilakukan studi parametrik antena mikrostrip *slot* lingkaran dengan teknik pencatu CPW untuk mendapatkan karakteristik antena yang diinginkan, parameter antena yang akan dikarakterisasi adalah dimensi diameter *slot* lingkara dan panjang saluran pencatu. Jenis antena mikrostrip yang dirancang adalah antena mikrostrip *slot* dengan bentuk lingkaran dan teknik pencatuan *CoPlanar Waveguide* (CPW). Keuntungan dari rancangan ini adalah desain yang sederhana dan mudah proses fabrikasinya serta dapat menghasilkan lebar pita yang besar sehingga mampu memenuhi spesifikasi yang dibutuhkan.

Ada beberapa tahapan yang menentukan perancangan antena ini, diantaranya adalah penentuan substrat yang akan digunakan, penentuan dimensi antena, serta penentuan dimensi dari teknik pencatuan yang akan digunakan.

#### 3.2 Perlengkapan Yang Digunakan

Pada perancangan antena ini menggunakan perangkat lunak (*software*) dan perangkat keras (*hardware*) yang digunakan untuk membantu dalam pengukuran antena maupun pengolahan data. Perangkat lunak yang digunakan antara lain :

1. *Microsoft Visio 2003*

Perangkat ini digunakan untuk menggambarkan hasil rancangan antena yang didapat melalui simulasi, sehingga dapat dicetak sesuai ukuran sebenarnya.

2. *Microsoft Excel 2007*

Perangkat lunak ini digunakan untuk mengolah data dengan persamaan matematis.

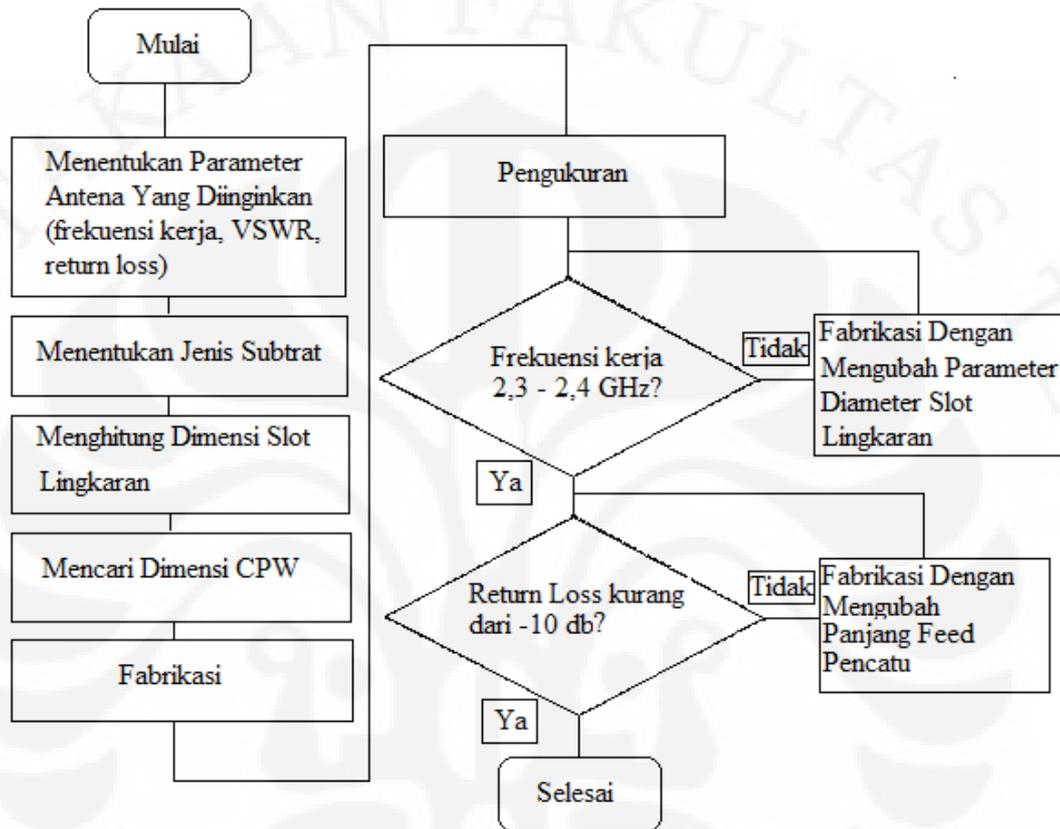
Sedangkan perangkat keras yang digunakan antara lain :

1. *Network Analyzer N5230C 300 kHz - 13,5 GHz*

Perangkat ini digunakan untuk pengukuran antena dan pengambilan data dari antena yang diukur.

### 3.3 Diagram Alir Perancangan

Ada beberapa tahapan dalam perancangan antenna yang membantu proses perancangan antenna. Diagram alir tahapan perancangan antenna dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram Alir Perancangan Slot Antena Dengan Metode Pencatuan CPW

### 3.4 Menentukan Spesifikasi Antena

Pada perancangan antenna ini, diinginkan antenna yang bekerja pada frekuensi 2,3 – 2,4 GHz dan memiliki *impedance bandwidth* 100 MHz pada  $VSWR \leq 2$  serta memiliki impedansi terminal sebesar 50 ohm. Antena ini memiliki frekuensi tengah sebesar 2,35 GHz, yang selanjutnya akan menjadi nilai parameter frekuensi dalam menentukan parameter-parameter lain yang dibutuhkan seperti dimensi slot lingkaran.

### 3.5 Menentukan Jenis Substrat Yang Digunakan

Salah satu elemen antena mikrostrip yang menentukan dalam mendapatkan karakteristik antena yang diinginkan adalah substrat. Suatu substrat memiliki nilai konstanta dielektrik ( $\epsilon_r$ ), dielektrik loss tangent ( $\tan \delta$ ), dan ketebalan ( $h$ ) tertentu. Ketiga hal tersebutlah yang mempengaruhi karakteristik antena seperti frekuensi kerja, *bandwidth*, dan juga efisiensi antena mikrostrip. Nilai dari konstanta dielektrik akan mempengaruhi ukuran elemen peradiasi dan juga saluran pencatu mikrostrip, nilai dari konstanta dielektrik berbanding terbalik dari ukuran elemen peradiasi dan juga saluran pencatu mikrostrip. Substrat memiliki ketebalan yang lebih dari ketebalan elemen peradiasi. Ukuran ketebalan substrat akan mempengaruhi lebarnya nilai *bandwidth* yang didapat, nilai dari tebal substrat sebanding dengan *bandwidth*, akan tetapi semakin besar substrat juga akan berpengaruh pada timbulnya gelombang permukaan (*surface wave*). Sebaliknya, semakin kecil ketebalan substrat maka dapat mencegah timbulnya gelombang permukaan.

Untuk menentukan jenis substrat apa yang akan digunakan untuk antena mikrostrip dibutuhkan informasi-informasi tentang spesifikasi dari substrat tersebut, kualitas, ketersediannya di pasaran, dan biaya yang harus dikeluarkan untuk mendapatkannya. Pada skripsi ini menggunakan substrat jenis FR4 (epoxy) dengan ketebalan 1,6 mm dengan spesifikasi pada tabel 3.1.

Tabel 3.1 Spesifikasi Substrat Yang Digunakan

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

### 3.6 Perancangan Dimensi Slot Lingkaran Elemen tunggal

Setelah menentukan jenis substrat yang akan digunakan dan mendapatkan spesifikasinya maka selanjutnya dilakukan perancangan *slot* lingkaran sebagai peradiasi antena mikrostrip. Dalam perancangan *slot* lingkaran ini membutuhkan parameter frekuensi tengah dari frekuensi kerja antena yaitu sebesar 2,35 GHz. Dalam perancangan *slot* antena ini sama seperti perancangan *patch* pada antena

mikrostrip *patch* dengan dimensi yang sama. *Slot* antena yang dirancang memiliki bentuk lingkaran, jari-jari dari lingkaran ( $r$ ) dapat dihitung menggunakan persamaan [4].

$$r = \frac{F}{\left(1 + \frac{2h}{\pi \epsilon_r F} \left[ \ln \left( \frac{\pi F}{2h} \right) + 1.7726 \right] \right)^{\frac{1}{2}}}$$

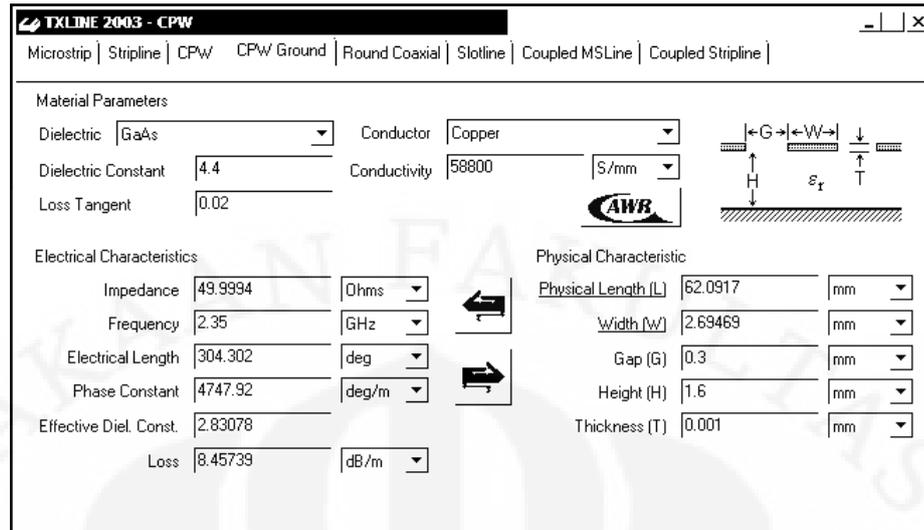
Dengan terlebih dahulu mencari nilai

$$F = \frac{8.791 \cdot 10^9}{f_r \sqrt{\epsilon_r}}$$

Besarnya nilai  $F = 1,7834$  maka besarnya nilai jari-jari lingkaran ( $r$ ) = 16,986 mm

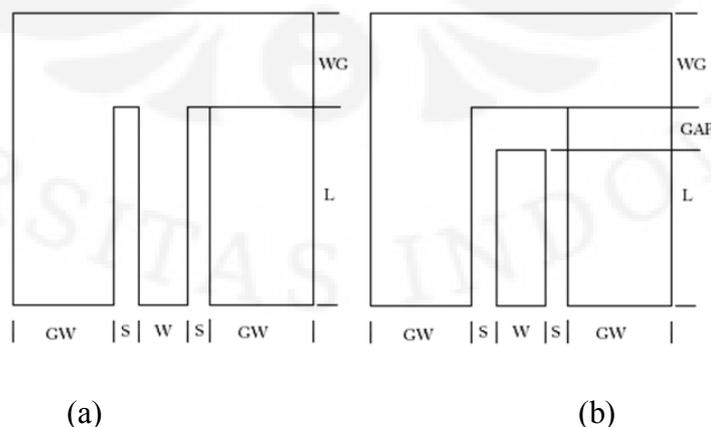
### 3.7 Perancangan Dimensi CPW

Untuk merancang saluran pencatu yang akan digunakan pada antenna mikrostrip ini menggunakan teori yang telah dijelaskan pada subbab 2.6. Pada rancangan elemen tunggal ini hanya menggunakan satu buah impedansi saluran pencatu yaitu 50  $\Omega$ . Teknik pencatuan yang digunakan pada skripsi ini menggunakan teknik pencatuan *CoPlanar Waveguide* secara tidak langsung. Nantinya pada saat pengukuran antena elemen tunggal, pencatu dari antena mikrostrip ini akan dihubungkan dengan konektor SMA yang mempunyai impedansi sebesar 50  $\Omega$ . Oleh karena itu untuk melakukan simulasi, pencatu antena mikrostrip memerlukan impedansi masukan ( $Z_{in}$ ) sebesar 50  $\Omega$ . Nilai 50  $\Omega$  tersebut didapat melalui pengaturan lebar dari feed (W) dan juga lebar dari slot (G). Besarnya nilai dari lebar feed (W) dan juga lebar dari slot (G) didapat melalui perangkat lunak untuk mencari TXLINE dari AWR. Tampilan dari perangkat lunak TXLINE untuk mencari nilai dari lebar feed dan juga lebar slot yang mempunyai impedansi sebesar 50  $\Omega$  dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3.1 Tampilan Program TXLINE dari AWR Untuk Mencari Parameter-parameter di CPW Agar Mempunyai Impedansi 50 Ohm

Dengan memasukkan nilai dari parameter-parameter substrat, bahan konduktor yang digunakan, frekuensi yang diinginkan dan juga karakteristik impedansi sebesar 50  $\Omega$ , maka program ini akan secara otomatis menampilkan *physical characteristic* dari saluran pencatu CPW yang mempunyai impedansi sebesar 50  $\Omega$ . Dari perangkat lunak tersebut dapat diketahui bahwa jika menginginkan karakteristik impedansi sebesar 50  $\Omega$ , maka lebar feed (W) yang harus dirancang adalah sebesar 2.6 mm dan lebar slot (G) yang harus dirancang adalah sebesar 0,3 mm. Sedangkan untuk jenis CPW yang akan digunakan pada perancangan antenna mikrostrip ini adalah CPW jenis *short end* dan *open end*, yang dapat ditampilkan pada Gambar 3.3.

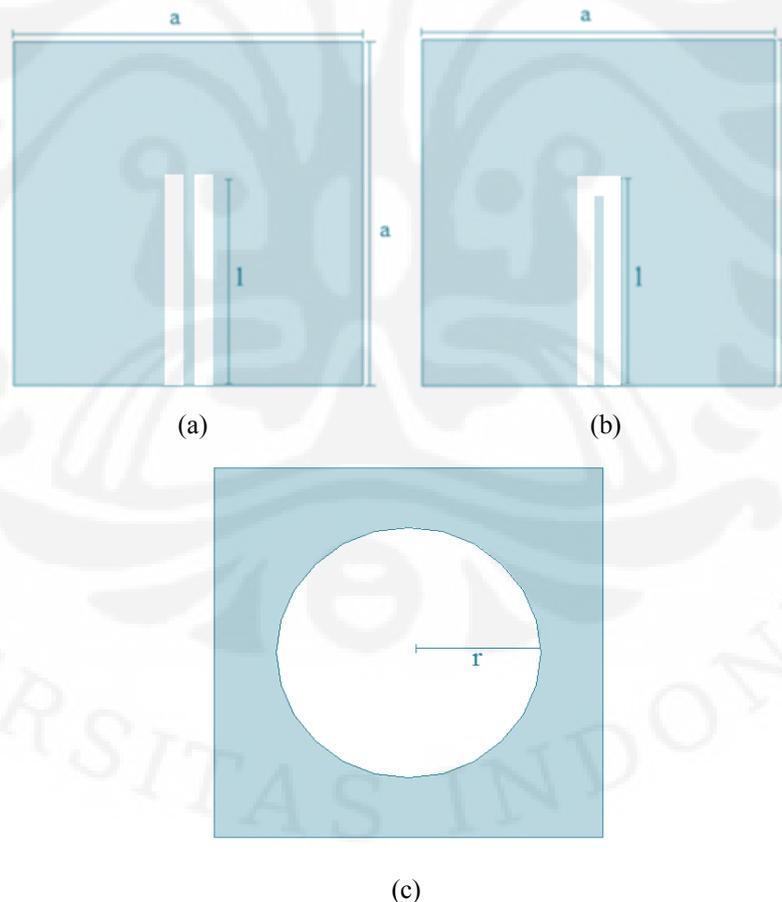


Gambar 3.3 Tampilan dari CoPlanar Waveguide jenis (a) *Short End* (b) *Open End*.

### 3.8 Pengukuran Rancangan Awal Antena

Setelah mendapatkan ukuran-ukuran yang diperlukan untuk merancang antena mikrostrip, langkah selanjutnya adalah mendesain bentuk antena tersebut sesuai dengan ukuran-ukuran yang telah didapatkan. Antena mikrostrip slot yang didesain ini menggunakan satu buah substrat FR4-epoxy yang kedua sisinya dapat dietching. Letak pancatu CPW dan *slot* lingkaran berada pada sisi yang berbeda dari substrat. Pada sisi *slot*, *slot* lingkaran tepat diletakkan di tengah-tengah sisi tersebut.

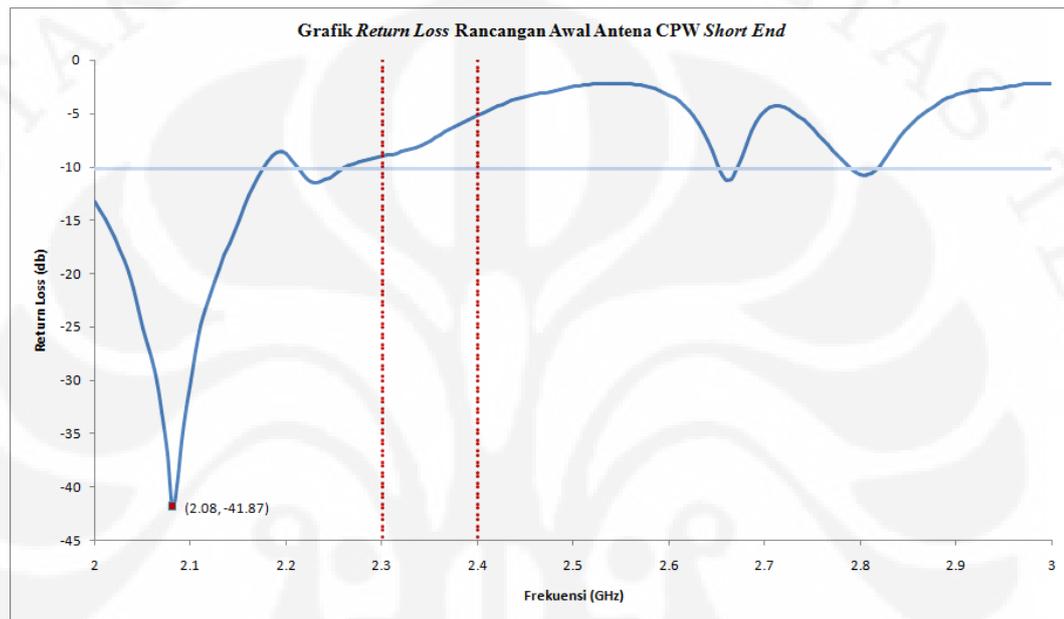
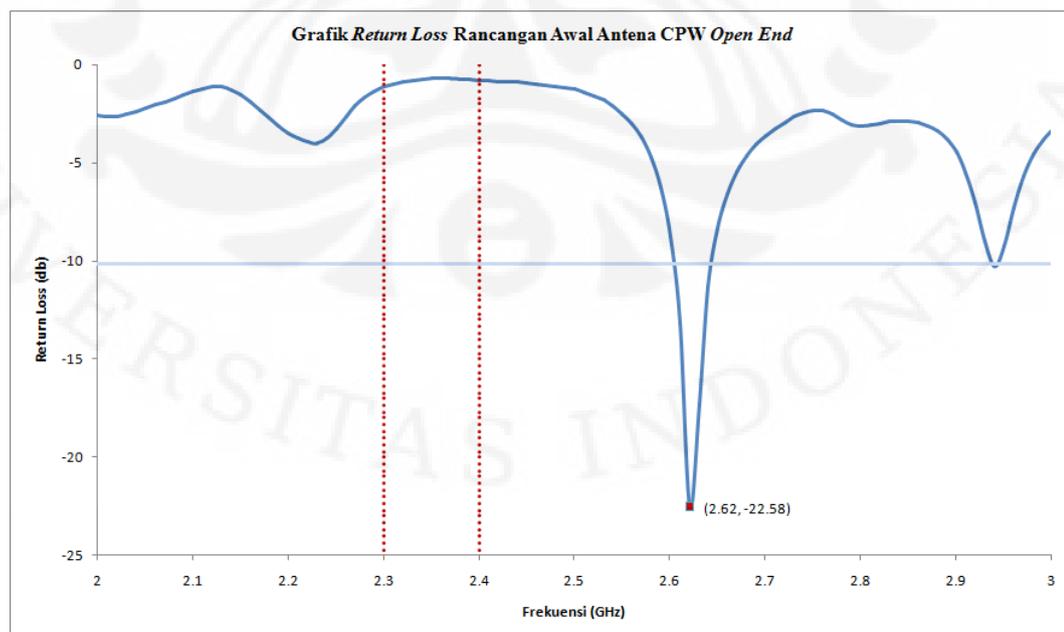
Seperti yang terlihat pada Gambar 3.4, antena mikrostrip *slot* yang dirancang pada skripsi ini dibuat menggunakan satu buah *substrat* FR4-epoxy yang kedua sisinya dapat di-*etching*. Pada Gambar 3.4 juga memperlihatkan dimensi dan parameter-parameter apa saja yang pada rancangan awal antena ini, pada sisi bawah antena terdapat pancatu CPW, pada sisi atas terdapat slot.



Gambar 3.4 Hasil Rancangan Awal Antena Satu Elemen Berdasarkan Teori (a) CPW *short end* (b) CPW *open end* (c) Tampak Atas

Tabel 3.2 Dimensi Antena Hasil Rancangan Berdasarkan Teori

Parameter	Ukuran (mm)
Ukuran dimensi substrat (a)	62
Panjang pencatu (l)	39
Lebar pencatu (W)	2.6
Lebar slot pencatu (S)	0.3
Jari-jari slot lingkaran (r)	17

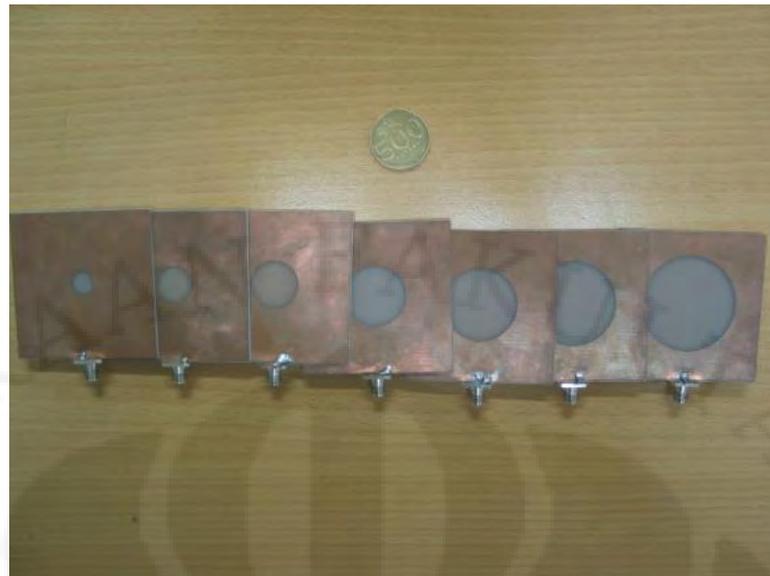
Gambar 3.5 Grafik *return loss* rancangan awal antena CPW short endGambar 3.6 Grafik *return loss* rancangan awal antena CPW open end

Gambar 3.5 dan 3.6 memperlihatkan bahwa terjadi pergeseran frekuensi kerja dari antenna CPW *short end* maupun dari antenna CPW *open end* dari yang diinginkan yaitu sebesar 2,3 – 2,4 GHz pada return loss -10,16 dB. Hasil tersebut tentu saja jauh dari apa yang diharapkan. Adanya perbedaan frekuensi resonan antara CPW *open end* dan CPW *short end* disebabkan oleh perbedaan nilai reaktansi yang dihasilkan oleh kedua jenis CPW tersebut.

Adanya pergeseran frekuensi kerja tersebut dapat disebabkan adanya ketidaksesuaian antara perhitungan dimensi *slot* lingkaran yang digunakan dengan teknik pencatuan *CoPlanar Waveguide*. Oleh karena itu, maka perlu dilakukan studi parametrik antenna agar mendapatkan rancangan yang sesuai dengan yang diinginkan.

### 3.9 Karakterisasi Antena CPW *Slot* Lingkaran Elemen Tunggal

Pada Tahapan ini, akan digunakan beberapa parameter untuk menentukan karakterisasi dari desain antenna. Berdasarkan teori yang telah dibahas pada bab 2, bahwa untuk menggeser rekuensi kerja yang ada pada antenna mikrostrip *slot* maka harus dilakukan karakterisasi dimensi *slot* ( $d$ ). Teknik pencatuan yang digunakan untuk antenna mikrostrip ini adalah teknik *CoPlanar Waveguide* (CPW), dimana pada teknik pencatuan ini terdapat 2 jenis pencatuan, yaitu yang menggunakan *CoPlanar Short end* dan juga *CoPlanar Open end*. Pada teknik *CoPlanar Waveguide* ini juga terdapat parameter panjang *feed* ( $l$ ) yang dapat dimodifikasi untuk mendapatkan karakteristik antenna seperti yang diinginkan. Selain dua hal tersebut, terdapat pula parameter lainnya yaitu bagian *slot* yang tidak dihubungkan dengan ground dan yang dihubungkan dengan ground. Berdasarkan hal tersebut, maka terdapat 4 parameter yang memungkinkan untuk digunakan pada pengkarakterisasian ini yaitu jenis teknik pencatuan CPW, parameter diameter *slot* lingkaran ( $d$ ), parameter panjang *feed* ( $l$ ), dan penghubungan *slot* lingkaran.



(a)



(b)

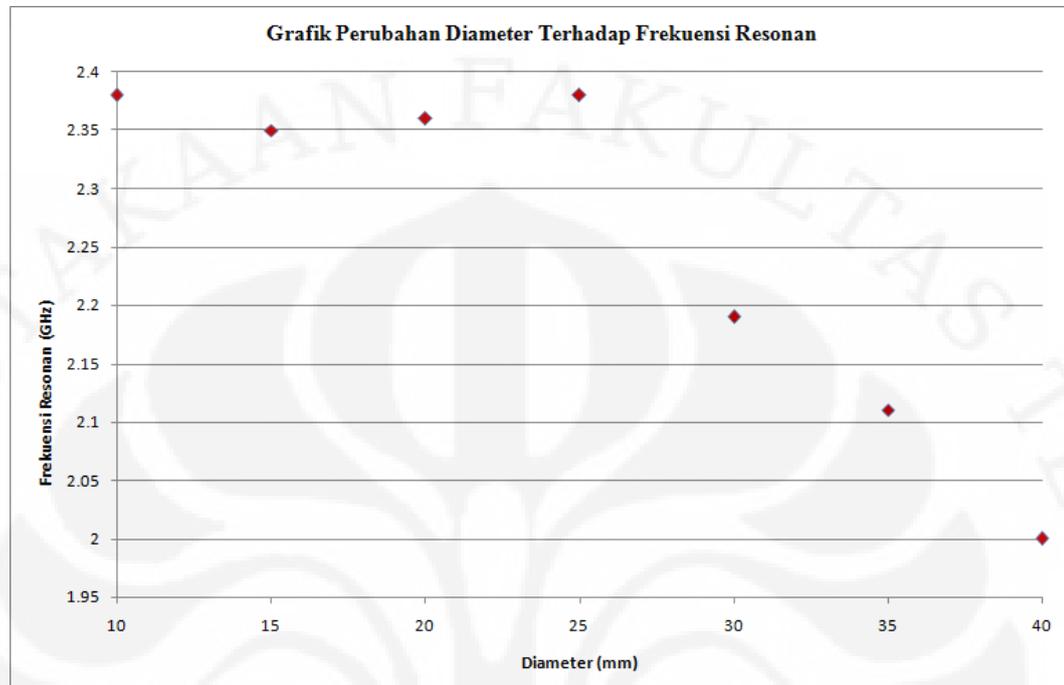
Gambar 3.7 Antena CPW *slot* lingkaran (a) Iterasi diameter *slot* lingkaran (b) Iterasi panjang *feed*

### 3.9.1 Karakterisasi *CoPlanarWaveguide Short End*

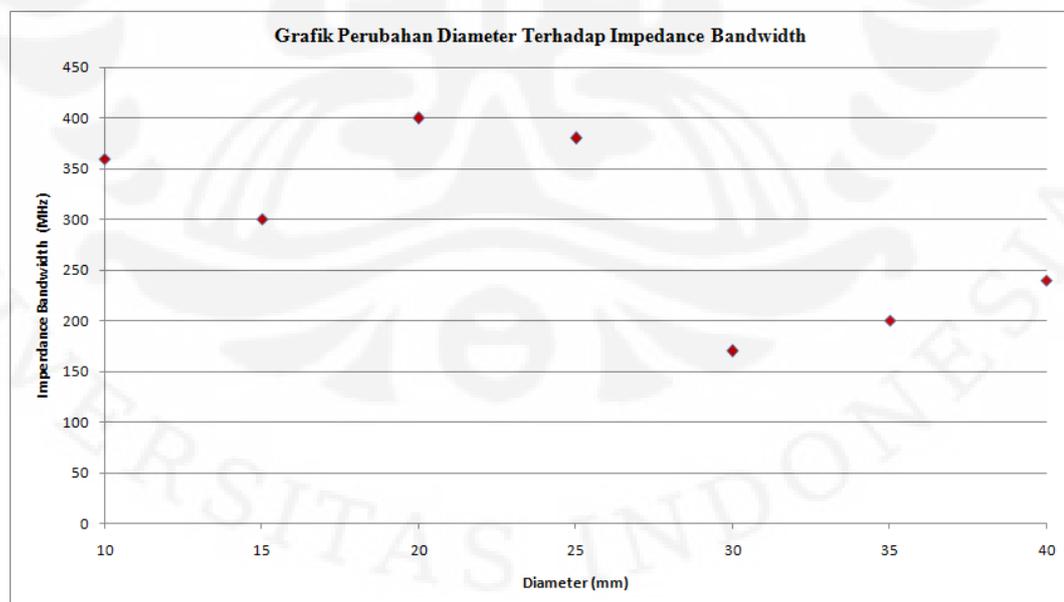
#### 3.9.1.1 Karakterisasi Diameter Lingkaran (*Slot non-Ground*)

Gambar 3.8 dan 3.9 memperlihatkan karakteristik dari rancangan antena dengan mengubah diameter *slot* lingkaran dengan teknik CPW Short End dan *slot* lingkaran tidak dihubungkan dengan *ground* sedangkan parameter lainnya tidak mengalami perubahan. Variasi diameter *slot* lingkaran yang dibuat adalah mulai dari 10 mm sampai dengan 40 mm dengan kenaikan 5 mm dan parameter

yang tetap adalah panjang *feed* pencatu ( $l = 39$  mm). Variasi diameter lingkaran (d) ini bertujuan untuk mencari frekuensi kerja seperti yang diinginkan.



Gambar 3.8 Grafik Frekuensi Resonan Terhadap Perubahan Diameter *Slot* Lingkaran (d) Pada Elemen Tunggal Dengan *Slot* Tidak Dikoneksikan ke *Ground*



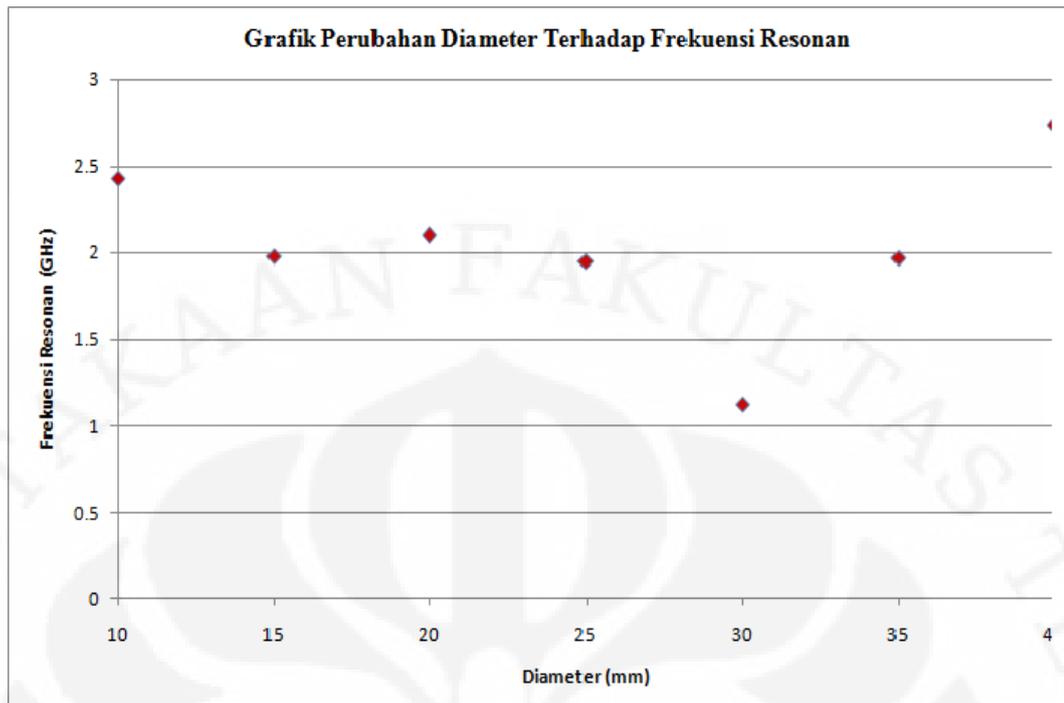
Gambar 3.9 Grafik *Impedance Bandwidth* Terhadap Perubahan Diameter *Slot* Lingkaran (d) Pada Elemen Tunggal Dengan *Slot* Tidak Dikoneksikan ke *Ground*

Berdasarkan hasil pengukuran tersebut, frekuensi kerja antenna 2,3 GHz (2,3 – 2,4 GHz) pada nilai return loss dibawah -10,16 dB ( $VSWR \leq 1,9$ ) didapatkan pada  $d = 10, 15, 20$  mm. Dari hasil pengukuran tersebut juga dapat disimpulkan bahwa pada antenna mikrostrip *slot* lingkaran dengan teknik pencatuan CPW jenis *Short End* dan *slot* lingkaran tidak dihubungkan dengan *ground*, besarnya diameter *slot* lingkaran mempengaruhi frekuensi kerja dari antenna, semakin besar diameter lingkaran maka semakin kecil frekuensi kerja yang didapatkan, demikian pula dengan sebaliknya.

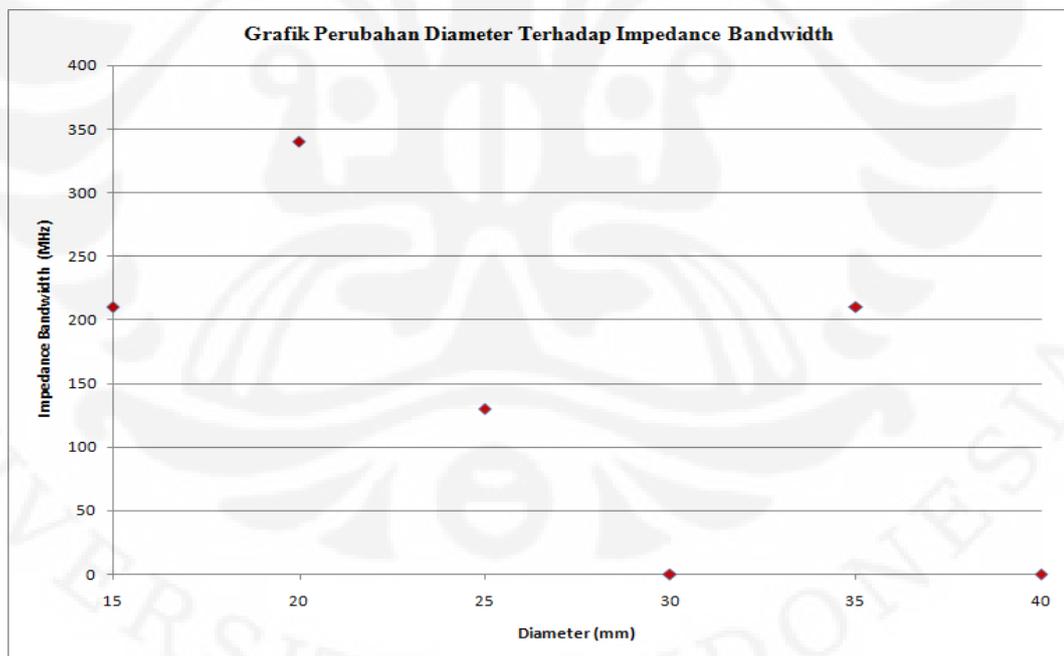
Dari karakterisasi yang dilakukan didapatkan bahwa pada  $d = 15$  mm didapatkan frekuensi kerja yang diinginkan, maka selanjutnya untuk  $d = 15$  mm akan dilakukan karakterisasi panjang pencatu ( $l$ ).

### 3.9.1.2 Karakterisasi Diameter Lingkaran (*Slot Ground*)

Gambar 3.10 dan 3.11 memperlihatkan karakteristik dari rancangan antenna dengan mengubah diameter *slot* lingkaran dengan teknik CPW Short End dan *slot* lingkaran yang dihubungkan dengan *ground* sedangkan parameter lainnya tidak mengalami perubahan. Metode menghubungkan *slot* lingkaran dengan *ground* secara teori akan mempengaruhi distribusi arus listrik yang terjadi didalam antenna sehingga akan mempengaruhi kinerja antenna ini, dalam pengukuran ini dibatasi dalam nilai *return loss* dan frekuensi kerja dari antenna. Variasi diameter *slot* lingkaran yang dibuat adalah mulai dari 10 mm sampai dengan 40 mm dengan kenaikan 5 mm dan parameter yang tetap adalah panjang *feed* pencatu ( $l = 39$  mm).



Gambar 3.10 Grafik Frekuensi Resonan Terhadap Perubahan Diameter *Slot* Lingkaran (d) Pada Elemen Tunggal Dengan *Slot* Dikoneksikan ke *Ground*



Gambar 3.11 Grafik *Impedance Bandwidth* Terhadap Perubahan Diameter *Slot* Lingkaran (d) Pada Elemen Tunggal Dengan *Slot* Dikoneksikan ke *Ground*

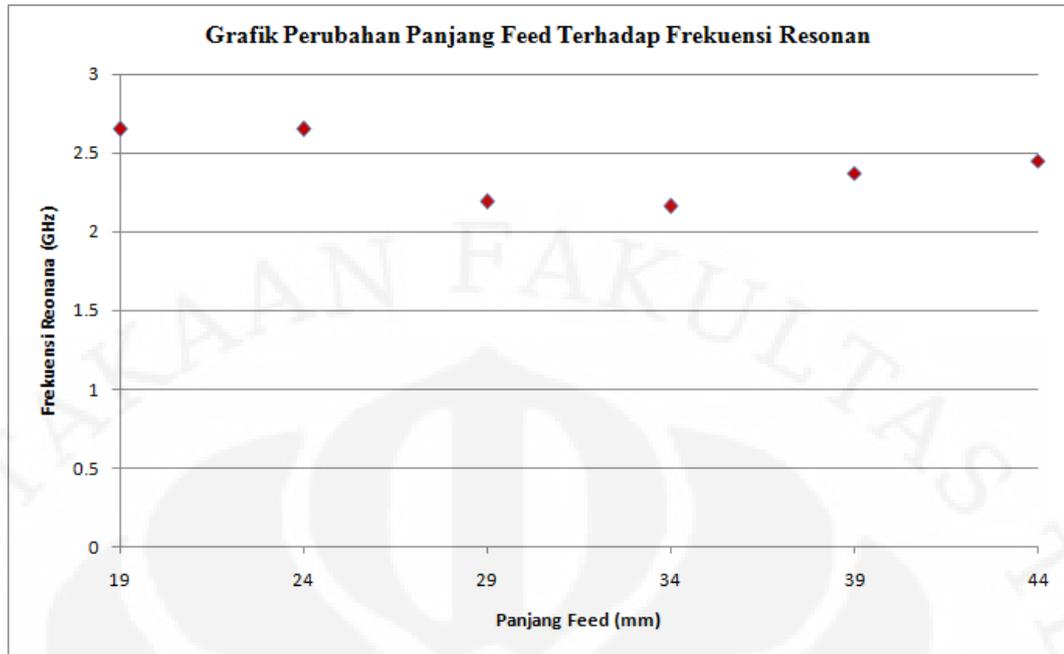
Berdasarkan hasil pengukuran tersebut, tidak didapatkan antenna yang memiliki frekuensi kerja 2,3 GHz (2,3 – 2,4 GHz) pada nilai return loss dibawah - 10,16 dB ( $VSWR \leq 1,9$ ). Hasil pengukuran tersebut juga menunjukkan bahwa menghubungkan *slot* lingkaran dengan *ground* akan mempengaruhi kinerja dari antenna dalam hal ini nilai *return loss* dan juga frekuensi kerja antenna. Dari hasil pengukuran tersebut juga dapat disimpulkan bahwa pada antenna mikrostrip *slot* lingkaran dengan teknik pencatuan CPW jenis *Short End* dan *slot* lingkaran yang dihubungkan dengan *ground*, besarnya diameter *slot* lingkaran mempengaruhi frekuensi kerja dari antenna.

Dari karakterisasi ini tidak didapatkan frekuensi kerja yang diinginkan, sehingga untuk karakterisasi panjang pencatu untuk metoda *slot ground* menggunakan hasil terbaik yang didapatkan pada karakterisasi diameter lingkaran pada metoda *slot non-ground*.

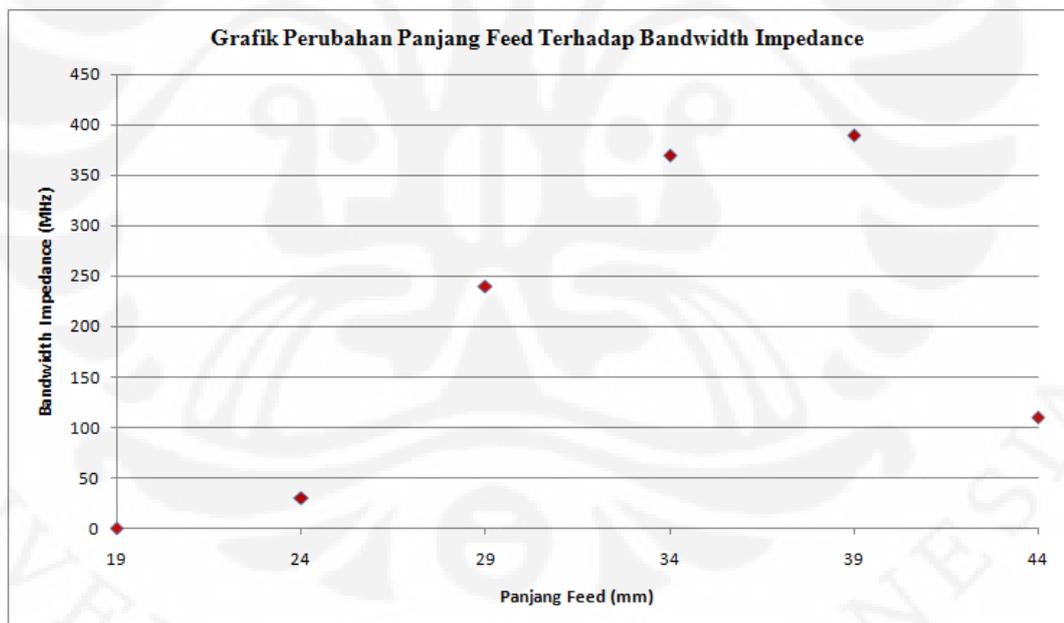
### 3.9.1.3 Karakterisasi Panjang Feed (*Slot non-Ground*)

Dari hasil pengukuran sebelumnya, didapatkan bahwa hasil pengukuran yang paling optimal untuk antenna yang bekerja pada frekuensi 2,3 GHz (2,3 – 2,4 GHz) berada pada nilai diameter *slot* lingkaran ( $d$ ) 15 mm, maka diameter *slot* lingkaran ini selanjutnya akan menjadi parameter tetap untuk pengukuran karakterisasi panjang *feed* pencatu ( $l$ ).

Gambar 3.12 dan 3.13 memperlihatkan karakteristik dari rancangan antenna dengan mengubah panjang *feed* dengan teknik CPW Short End dan *slot* lingkaran tidak dihubungkankan dengan *ground* sedangkan parameter lainnya tidak mengalami perubahan. Variasi panjang *feed* yang dibuat adalah mulai dari 19 mm sampai dengan 44 mm dengan kenaikan 5 mm dan parameter yang tetap adalah diameter *slot* lingkaran ( $d = 15$  mm). Variasi panjang *feed* ini bertujuan untuk mencari nilai *return loss* seperti yang diinginkan.



Gambar 3.12 Grafik Frekuensi Resonan Terhadap Perubahan Panjang *Feed* ( $l$ ) Pada Elemen Tunggal Dengan *Slot* Tidak Dikoneksikan ke *Ground*



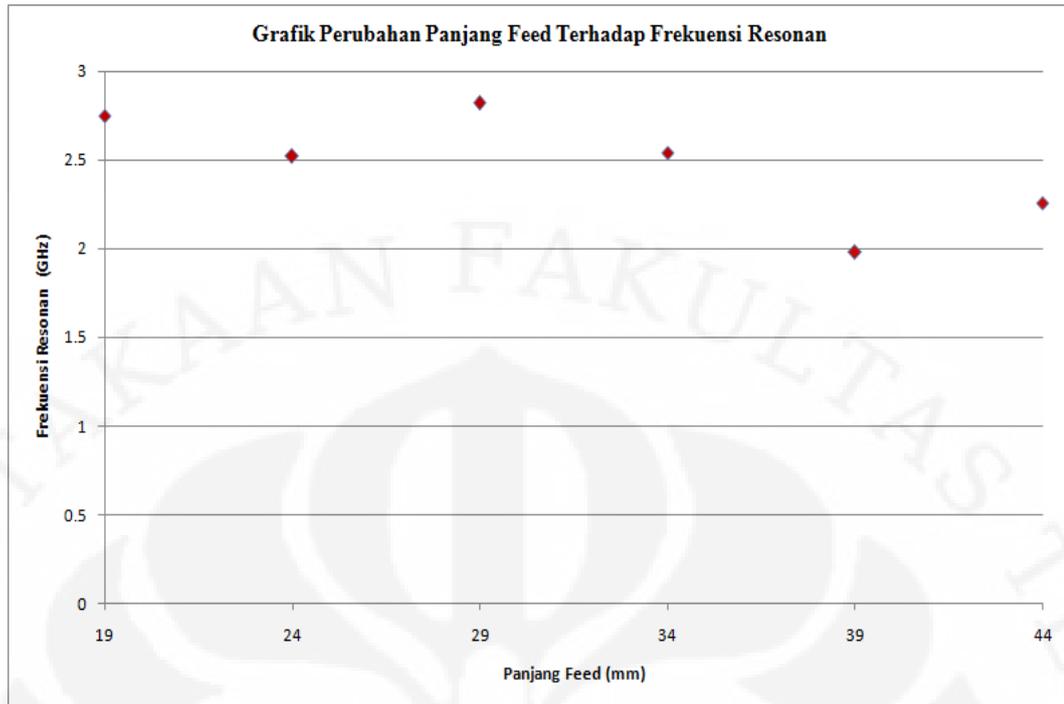
Gambar 3.13 Grafik *Impedance Bandwidth* Terhadap Perubahan Panjang *Feed* ( $l$ ) Pada Elemen Tunggal Dengan *Slot* Tidak Dikoneksikan ke *Ground*

Berdasarkan hasil pengukuran tersebut, frekuensi kerja antenna 2,3 GHz (2,3 – 2,4 GHz) pada nilai return loss dibawah -10,16 dB ( $VSWR \leq 1,9$ ) didapatkan hanya pada panjang *feed* ( $l$ ) = 39 mm. Dari hasil pengukuran tersebut juga dapat disimpulkan bahwa pada antenna mikrostrip *slot* lingkaran dengan teknik pencatuan CPW jenis *Short End* dan *slot* lingkaran tidak dihubungkan dengan *ground*, besarnya nilai panjang *feed* ( $l$ ) mempengaruhi nilai *return loss* dari antenna.

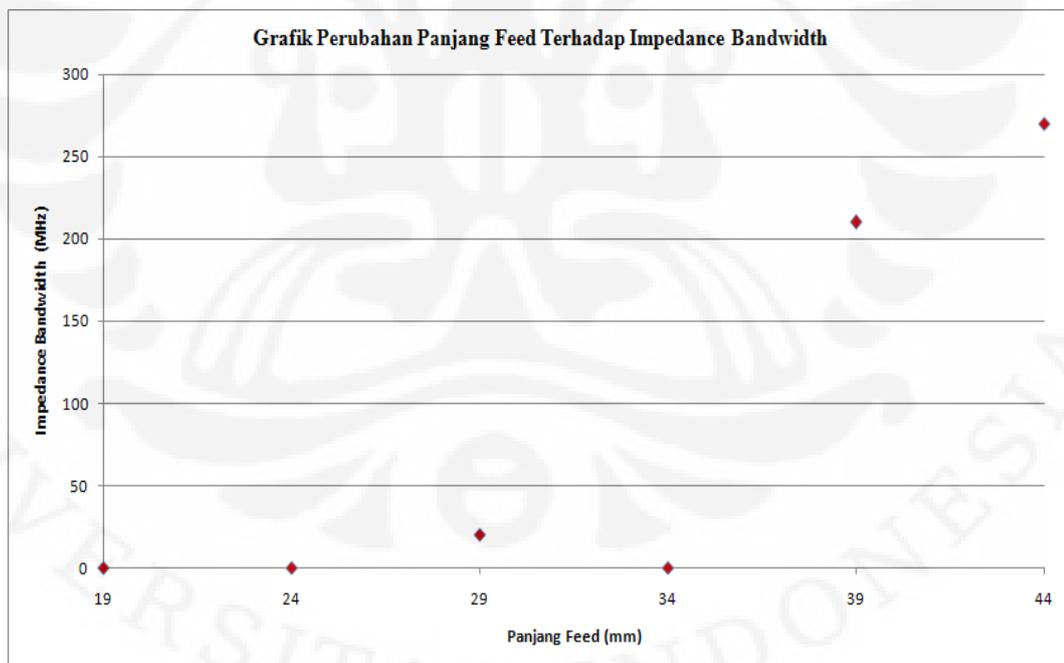
Dari karakterisasi yang dilakukan didapatkan bahwa pada  $l = 39$  mm didapatkan frekuensi kerja yang diinginkan, maka dari dua karakterisasi yang dilakukan untuk metoda *slot non-ground* didapatkan nilai dari diameter lingkaran sebesar 15 mm dan panjang pencatu sebesar 39 mm.

#### **3.9.1.4 Karakterisasi Panjang Feed (Slot Ground)**

Gambar 3.14 dan 3.15 memperlihatkan karakteristik dari rancangan antenna dengan mengubah panjang *feed* dengan teknik CPW Short End dan *slot* lingkaran yang dihubungkan dengan *ground* sedangkan parameter lainnya tidak mengalami perubahan. Metode menghubungkan *slot* lingkaran dengan *ground* secara teori akan mempengaruhi distribusi arus listrik yang terjadi didalam antenna sehingga akan mempengaruhi kinerja antenna ini, dalam pengukuran ini dibatasi dalam nilai *return loss* dan frekuensi kerja dari antenna. Variasi panjang *feed* yang dibuat adalah mulai dari 19 mm sampai dengan 44 mm dengan kenaikan 5 mm dan parameter yang tetap adalah diameter *slot* lingkaran ( $d = 15$  mm). Variasi panjang *feed* ini bertujuan untuk mencari nilai *return loss* seperti yang diinginkan.



Gambar 3.14 Grafik Frekuensi Resonan Terhadap Perubahan Panjang *Feed* ( $l$ ) Pada Elemen Tunggal Dengan *Slot* Dikoneksikan ke *Ground*



Gambar 3.15 Grafik *Impedance Bandwidth* Terhadap Perubahan Panjang *Feed* ( $l$ ) Pada Elemen Tunggal Dengan *Slot* Dikoneksikan ke *Ground*

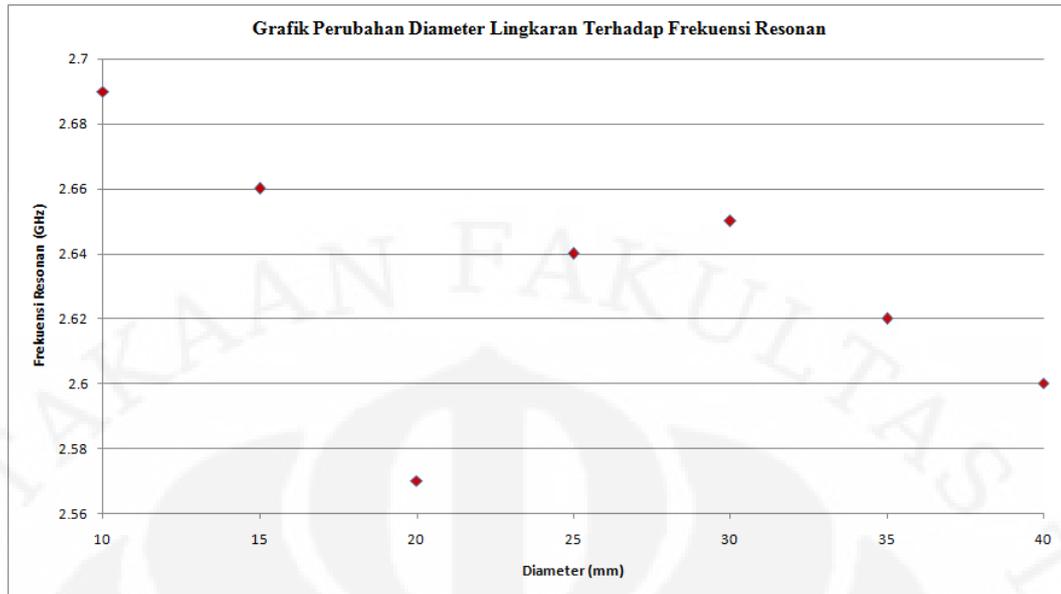
Berdasarkan hasil pengukuran tersebut, frekuensi kerja antenna 2,3 GHz (2,3 – 2,4 GHz) pada nilai return loss dibawah -10,16 dB ( $VSWR \leq 1,9$ ) didapatkan hanya pada panjang *feed* ( $l$ ) = 44 mm. Dari hasil pengukuran tersebut juga dapat disimpulkan bahwa pada antenna mikrostrip *slot* lingkaran dengan teknik pencatuan CPW jenis *Short End* dan *slot* lingkaran yang dihubungkan dengan *ground*, besarnya nilai panjang *feed* ( $l$ ) mempengaruhi nilai *return loss* dari antenna.

Dari karakterisasi ini didapatkan antenna yang dapat bekerja pada frekuensi 2.3 – 2.4 GHz yaitu pada  $l = 44$  mm, tetapi high frekuensi untuk impedance bandwithd yang dihasilkan oleh antenna tersebut terlalu tepat pada frekuensi 2.4 GHz, sehingga dikhawatirkan dengan adanya perbedaan fabrikasi akan menggeser frekuensi tersebut.

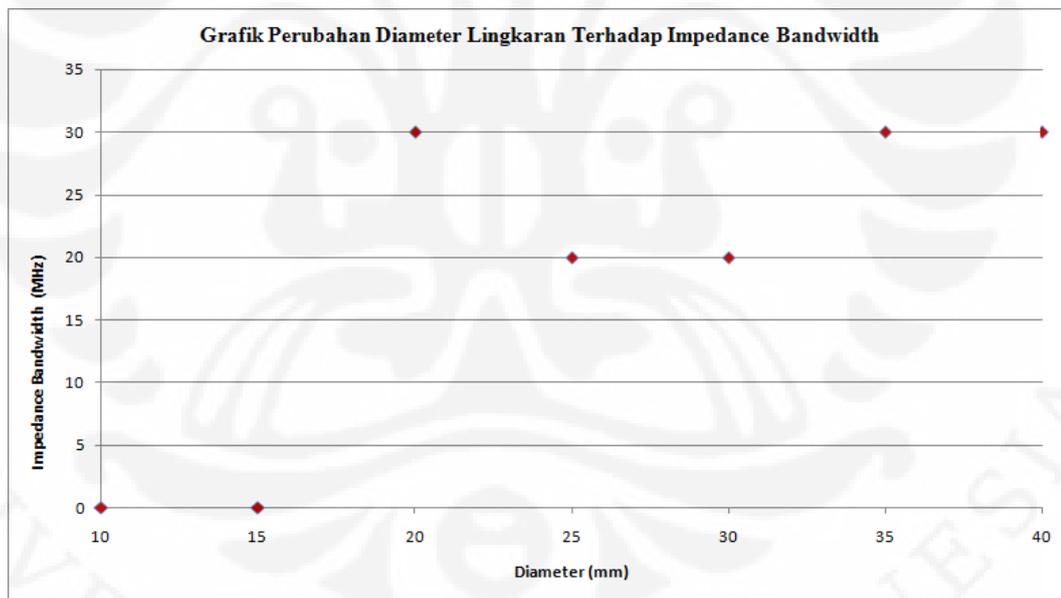
### **3.9.2 Karakterisasi *CoPlanarWaveguide Open End***

#### **3.9.2.1 Karakterisasi Diameter Lingkaran (*Slot non-Ground*)**

Gambar 3.16 dan 3.17 memperlihatkan karakteristik dari rancangan antenna dengan mengubah diameter *slot* lingkaran dengan teknik CPW *Open End* dan *slot* lingkaran tidak dihubungkan dengan *ground* sedangkan parameter lainnya tidak mengalami perubahan. Variasi diameter *slot* lingkaran yang dibuat adalah mulai dari 10 mm sampai dengan 40 mm dengan kenaikan 5 mm dan parameter yang tetap adalah panjang *feed* pencatu ( $l = 39$  mm). Variasi diameter lingkaran ( $d$ ) ini bertujuan untuk mencari frekuensi kerja seperti yang diinginkan karena berdasarkan teori yang ada bahwa karakterisasi dimensi *slot* lingkaran akan mempengaruhi frekuensi kerja dari antenna.



Gambar 3.16 Grafik Frekuensi Resonan Terhadap Perubahan Diameter *Slot* Lingkaran (d) Pada Elemen Tunggal Dengan *Slot* Tidak Dikoneksikan ke *Ground*



Gambar 3.17 Grafik *Impedance Bandwidth* Terhadap Perubahan Diameter *Slot* Lingkaran (d) Pada Elemen Tunggal Dengan *Slot* Tidak Dikoneksikan ke *Ground*

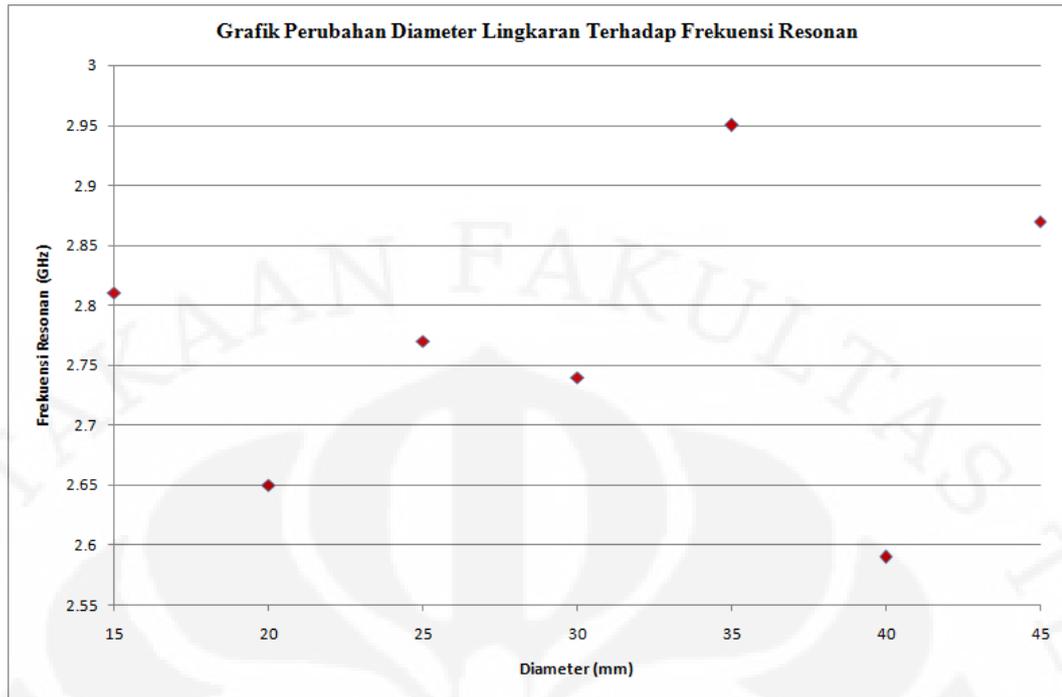
Berdasarkan hasil pengukuran tersebut, tidak ada antenna yang memiliki frekuensi kerja 2,3 GHz (2,3 – 2,4 GHz) pada nilai return loss dibawah -10,16 dB ( $VSWR \leq 1,9$ ). Dari hasil pengukuran tersebut juga dapat disimpulkan bahwa pada antenna mikrostrip *slot* lingkaran dengan teknik pencatuan CPW jenis *Open*

*End* dan *slot* lingkaran tidak dihubungkan dengan *ground*, besarnya diameter *slot* lingkaran mempengaruhi frekuensi kerja dari antenna, semakin besar diameter lingkaran maka semakin kecil frekuensi kerja yang didapatkan, demikian pula dengan sebaliknya.

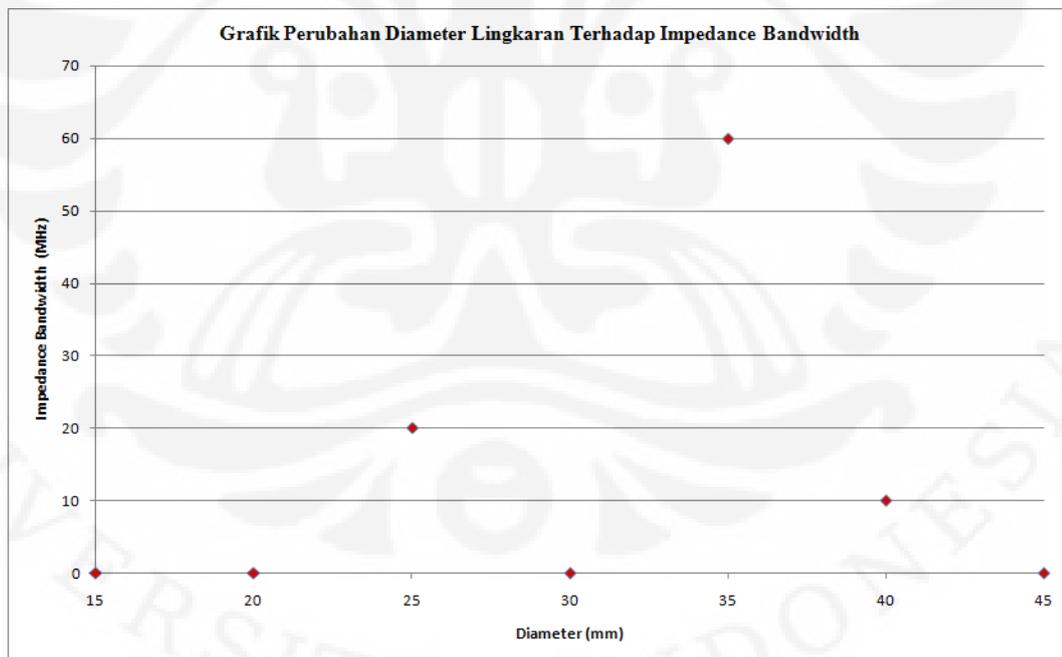
Tidak adanya antenna yang bekerja pada frekuensi 2,3 - 2,4 GHz pada karakterisasi ini, maka untuk melakukan karakterisasi selanjutnya yaitu karakterisasi panjang pencatu menggunakan hasil yang didapatkan pada karakterisasi antenna CPW *short end* yaitu nilai diameter lingkaran sebesar 15 mm.

### 3.9.2.2 Karakterisasi Diameter Lingkaran (*Slot Ground*)

Gambar 3.18 dan 3.19 memperlihatkan karakteristik dari rancangan antenna dengan mengubah diameter *slot* lingkaran dengan teknik CPW *Open End* dan *slot* lingkaran yang dihubungkan dengan *ground* sedangkan parameter lainnya tidak mengalami perubahan. Variasi diameter *slot* lingkaran yang dibuat adalah mulai dari 10 mm sampai dengan 40 mm dengan kenaikan 5 mm dan parameter yang tetap adalah panjang *feed* pencatu ( $l = 39$  mm). Variasi diameter lingkaran ( $d$ ) ini bertujuan untuk mencari frekuensi kerja seperti yang diinginkan karena berdasarkan teori yang ada bahwa karakterisasi dimensi *slot* lingkaran akan mempengaruhi frekuensi kerja dari antenna.



Gambar 3.18 Grafik Frekuensi Resonan Terhadap Perubahan Diameter *Slot* Lingkaran (d) Pada Elemen Tunggal Dengan *Slot* Dikoneksikan ke *Ground*

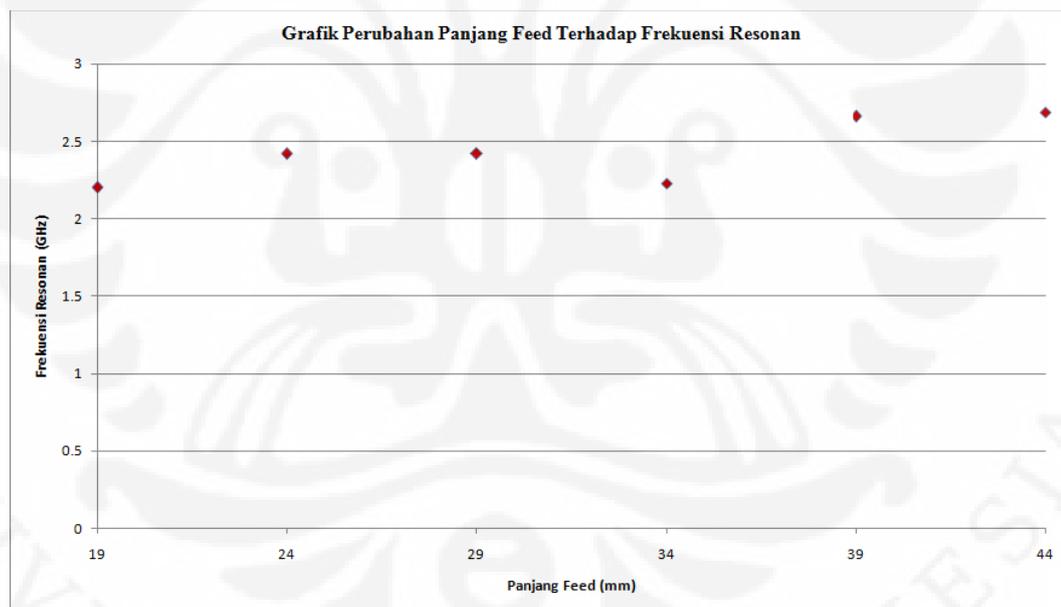


Gambar 3.19 Grafik *Impedance Bandwidth* Terhadap Perubahan Diameter *Slot* Lingkaran (d) Pada Elemen Tunggal Dengan *Slot* Dikoneksikan ke *Ground*

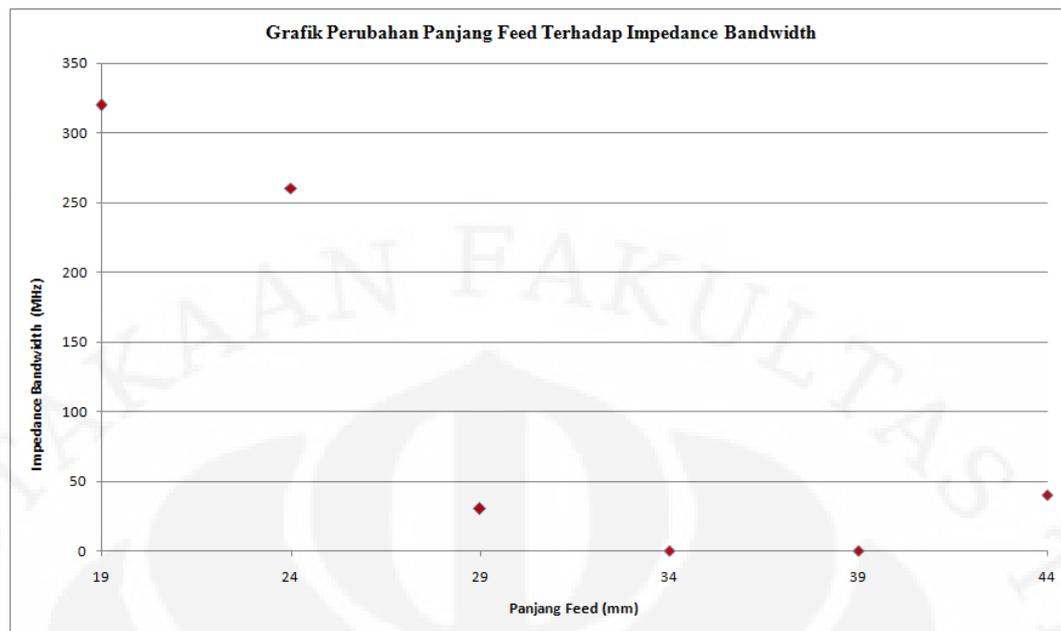
Berdasarkan hasil pengukuran tersebut, tidak ada antenna yang memiliki frekuensi kerja 2,3 GHz (2,3 – 2,4 GHz) pada nilai return loss dibawah -10,16 dB ( $VSWR \leq 1,9$ ), sehingga untuk karakterisasi selanjutnya menggunakan hasil yang didapat pada karakterisasi diameter lingkaran pada metoda *slot non-ground*.

### 3.9.2.3 Karakterisasi Panjang Feed (*Slot non-Ground*)

Gambar 3.20 dan 3.21 memperlihatkan karakteristik dari rancangan antenna dengan mengubah panjang *feed* dengan teknik CPW *Open End* dan *slot* lingkaran tidak dihubungkan dengan *ground* sedangkan parameter lainnya tidak mengalami perubahan. Variasi panjang *feed* yang dibuat adalah mulai dari 19 mm sampai dengan 44 mm dengan kenaikan 5 mm dan parameter yang tetap adalah diameter *slot* lingkaran ( $d = 15$  mm). Variasi panjang *feed* ini bertujuan untuk mencari nilai *return loss* seperti yang diinginkan.



Gambar 3.20 Grafik Frekuensi Resonan Terhadap Perubahan Panjang *Feed* ( $l$ ) Pada Elemen Tunggal Dengan *Slot* Tidak Dikoneksikan ke *Ground*



Gambar 3.21 Grafik *Impedance Bandwidth* Terhadap Perubahan Panjang *Feed (l)* Pada Elemen Tunggal Dengan *Slot* Tidak Dikoneksikan ke *Ground*

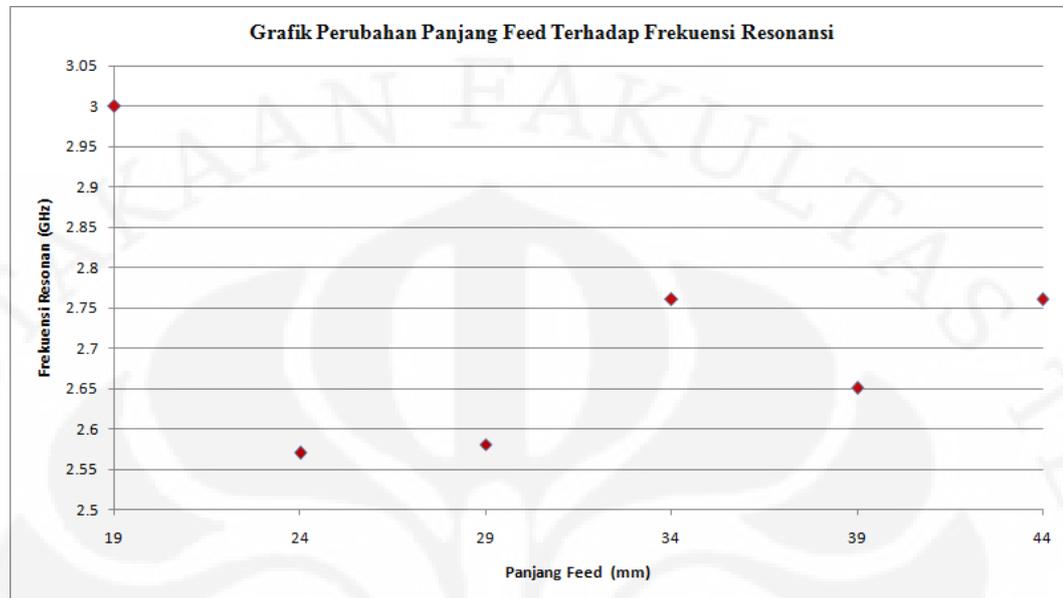
Berdasarkan hasil pengukuran tersebut, frekuensi kerja antenna 2,3 GHz (2,3 – 2,4 GHz) pada nilai return loss dibawah -10,16 dB ( $VSWR \leq 1,9$ ) didapatkan hanya pada panjang *feed (l)* = 24 mm. Dari hasil pengukuran tersebut juga dapat disimpulkan bahwa pada antenna mikrostrip *slot* lingkaran dengan teknik pencatuan CPW jenis *Open End* dan *slot* lingkaran tidak dihubungkan dengan *ground*, besarnya nilai panjang *feed (l)* mempengaruhi nilai *return loss* dari antenna.

Dari dua karakterisasi yang dilakukan untuk antenna CPW *open end (slot non-ground)*, didapatkan antenna yang dapat bekerja pada frekuensi 2,3 – 2,4 GHz memiliki nilai diameter lingkaran (*d*) sebesar 15 mm dan panjang pencatu (*l*) sebesar 24 mm.

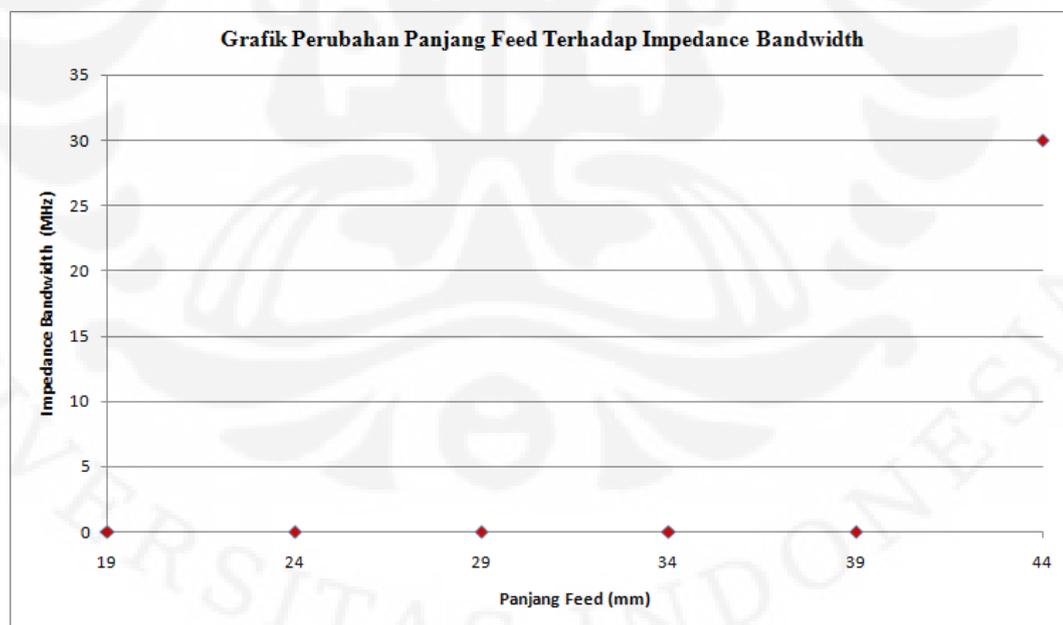
#### 3.9.2.4 Karakterisasi Panjang *Feed (Slot Ground)*

Gambar 3.22 dan 2.23 memperlihatkan karakteristik dari rancangan antenna dengan mengubah panjang *feed* dengan teknik CPW *Open End* dan *slot* lingkaran tidak dihubungkan dengan *ground* sedangkan parameter lainnya tidak mengalami perubahan. Variasi panjang *feed* yang dibuat adalah mulai dari 19 mm sampai dengan 44 mm dengan kenaikan 5 mm dan parameter yang tetap

adalah diameter *slot* lingkaran ( $d = 15$  mm). Variasi panjang *feed* ini bertujuan untuk mencari nilai *return loss* seperti yang diinginkan.



Gambar 3.22 Grafik Frekuensi Resonansi Terhadap Perubahan Panjang *Feed* ( $l$ ) Pada Elemen Tunggal Dengan *Slot* Dikoneksikan ke *Ground*



Gambar 3.23 Grafik *Impedance Bandwidth* Terhadap Perubahan Panjang *Feed* ( $l$ ) Pada Elemen Tunggal Dengan *Slot* Tidak Dikoneksikan ke *Ground*

Berdasarkan hasil pengukuran tersebut, tidak ada antenna yang memiliki frekuensi kerja 2,3 GHz (2,3 – 2,4 GHz) pada nilai return loss dibawah -10,16 dB ( $VSWR \leq 1,9$ ).

### 3.10 Hasil Spesifikasi Akhir

Dengan mengetahui beberapa karakteristik antenna, dapat membantu menentukan rancangan antenna dengan hasil karakterisasi yang optimal. Perbandingan dimensi antara antenna CPW *short end* dan CPW *open end* dapat dilihat pada tabel 3.2

Tabel 3.2 Dimensi Antena Hasil Studi Parametrik

Parameter	Ukuran CPW <i>short end</i> (mm)	Ukuran CPW <i>open end</i> (mm)
Ukuran dimensi substrat (a)	62	62
Panjang pencatu (l)	39	24
Lebar pencatu (W)	2.6	2.6
Lebar slot pencatu (S)	0.3	0.3
Jari-jari slot lingkaran (r)	7.5	7.5

## BAB 4

### HASIL PENGUKURAN DAN ANALISIS HASIL PENGUKURAN

#### 4.1 Pengukuran Antena Spesifikasi Akhir

Setelah mendapatkan hasil dari studi parametrik yang paling optimal pada bab sebelumnya yaitu bab 3, selanjutnya adalah pengukuran parameter-parameter antena yang dilakukan di dalam *anechoic chamber* (ruang anti gema). Parameter-parameter yang diukur pada penelitian ini ada 5 yaitu, *return loss*, VSWR, impedansi masukan, pola radiasi, dan *gain*. Kelima parameter tersebut dibagi kedalam 3 jenis pengukuran, yang pertama pengukuran menggunakan port tunggal yaitu, *return loss*, VSWR, dan impedansi masukan, yang kedua adalah pengukuran *port* ganda untuk mengukur pola radiasi.



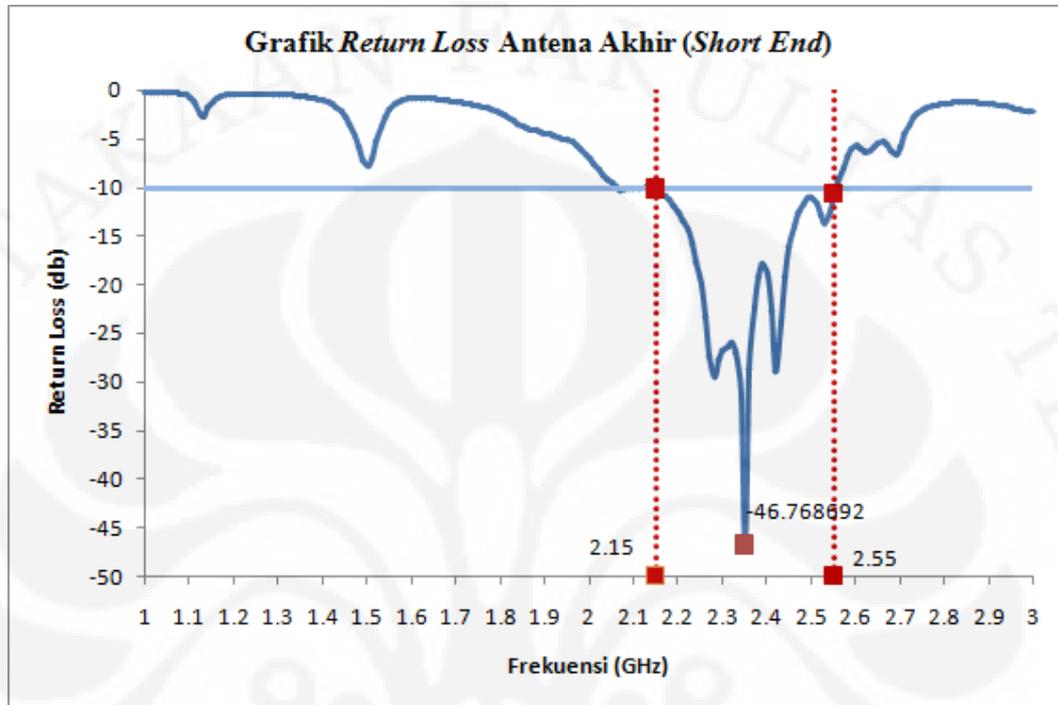
Gambar 4.1 Antena dengan frekuensi kerja 2,3 – 2,4 GHz

#### 4.2 Pengukuran *Port* Tunggal

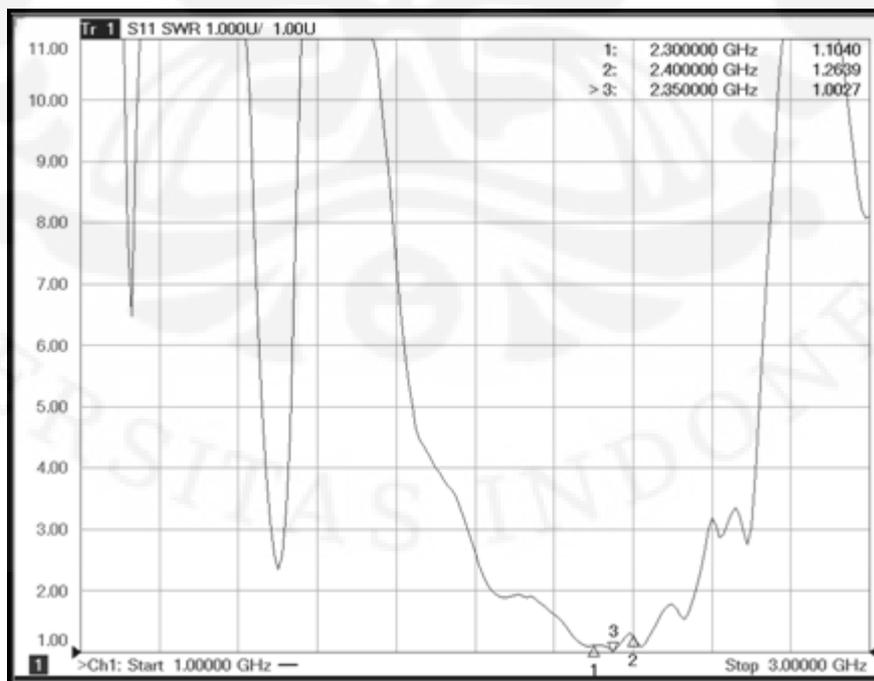
Pengukuran port tunggal hanya menggunakan satu antena untuk diukur, tanpa melibatkan antena yang lain. Setelah mendapatkan karakter antena seperti yang diinginkan lalu antena tersebut diukur dengan menggunakan *Network Analyzer N5230C* 300 kHz - 13,5 GHz. Antena dapat diukur dengan menggunakan format  $S_{11}$  atau  $S_{22}$ . Format  $S_{11}$  digunakan jika antena dipasang pada *port* 1, sedangkan format  $S_{22}$  digunakan jika antena dipasang pada *port* 2. Parameter-parameter yang dapat diketahui dari hasil pengukuran port tunggal antara lain VSWR, *return loss*, dan impedansi masukan.

#### 4.2.1 Hasil Pengukuran $S_{11}$ Antena CPW *Short End*

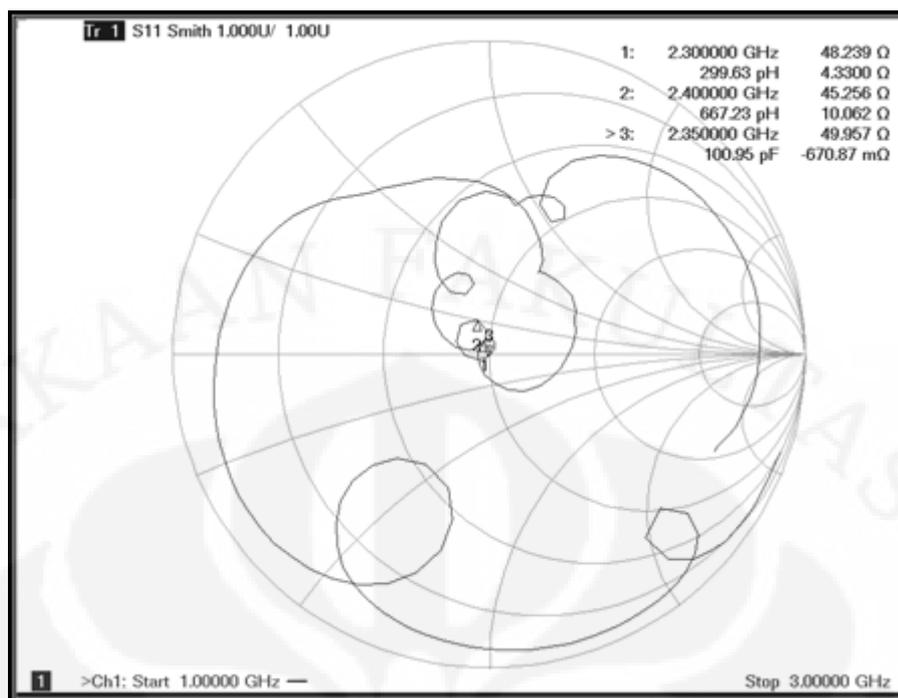
Hasil pengukuran *port* tunggal terhadap antena CPW jenis *short end* berupa grafik *return loss*, VSWR, dan *Smith Chart* impedansi masukan dapat dilihat pada Gambar 4.2, 4.3, dan 4.4 dibawah ini.



Gambar 4.2 Grafik *Return loss* Hasil Pengukuran Antena Elemen Tunggal



Gambar 4.3 Grafik VSWR Hasil Pengukuran Antena Elemen Tunggal



Gambar 4.4 Grafik Impedansi Masukan Hasil Pengukuran Antena Elemen Tunggal

Gambar 4.2 dan Gambar 4.3 memperlihatkan grafik *return loss* dan VSWR. Dari kedua grafik tersebut dapat diperoleh nilai *impedance bandwidth* yang dihasilkan oleh antena CPW jenis *short end*. Dari gambar tersebut dapat terlihat bahwa pada nilai *Return loss*  $\leq -10,16$  dB (VSWR  $\leq 1,9$ ) diperoleh pada frekuensi dari 2,15 GHz sampai 2,55 GHz.

Nilai *return loss* yang diperoleh pada frekuensi 2,3 GHz dan 2,4 GHz masing-masing adalah -26.79 dB dan -18.93 dB dengan nilai *return loss* terendah yang diperoleh adalah -46.76 dB pada frekuensi 2.35 GHz. Adapun nilai VSWR yang diperoleh pada frekuensi 2,3 GHz dan 2,4 GHz masing-masing adalah 1,1 dan 1,26 dengan nilai VSWR terendah mencapai 1,0027 pada frekuensi 2,35 GHz.

Gambar 4.4 menunjukkan impedansi masukan antena pada rentang frekuensi 2,3 GHz – 2,4 GHz. Pada frekuensi 2,3; 2,35 dan 2,4GHz, impedansi masukan yang terbaca pada *Smith Chart* berturut-turut adalah sebesar  $48.239 + 4.33j \Omega$ ;  $49.957 - 0.67j \Omega$ ;  $45.256 + 10.062j \Omega$ . Impedansi masukan terbaik berada pada frekuensi 2.35 GHz dengan nilai impedansi masukan sebesar  $49.957 - 0.67j \Omega$  sedangkan grafik *return loss* menunjukkan bahwa tingkat matching terbaik pada frekuensi 2.35 GHz.

Adapun *bandwidth* yang dicapai pada nilai  $VSWR \leq 1,9$  adalah:

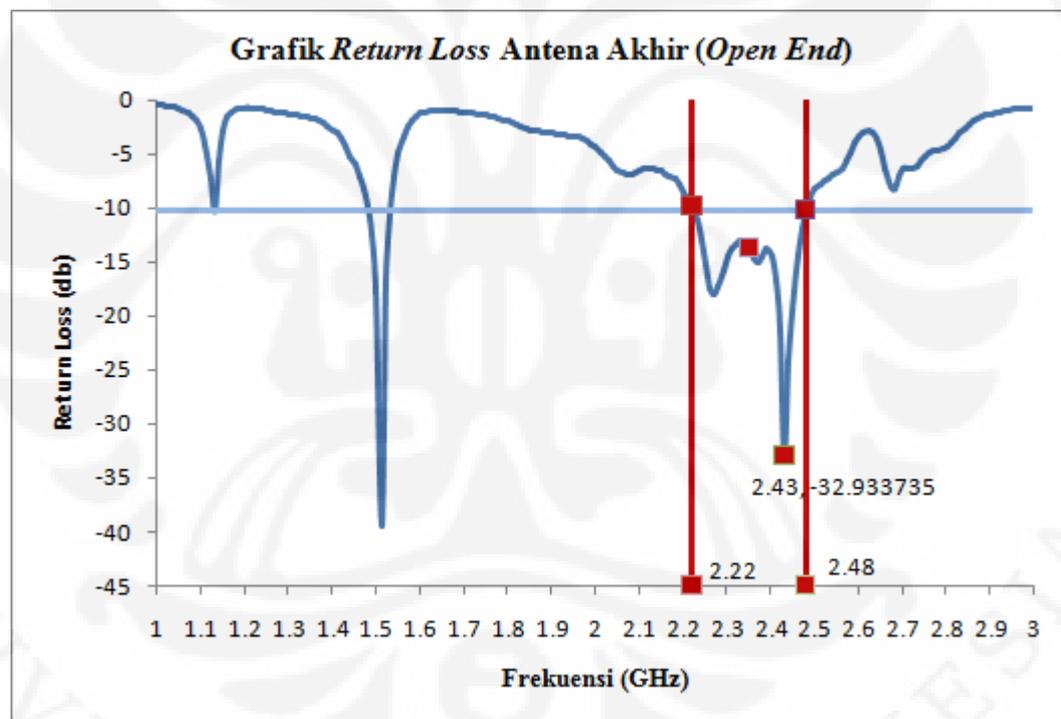
$$bandwidth = \frac{f_2 - f_1}{f_c} \times 100\%$$

$$bandwidth = \frac{2,55 - 2,15}{2,35} \times 100\%$$

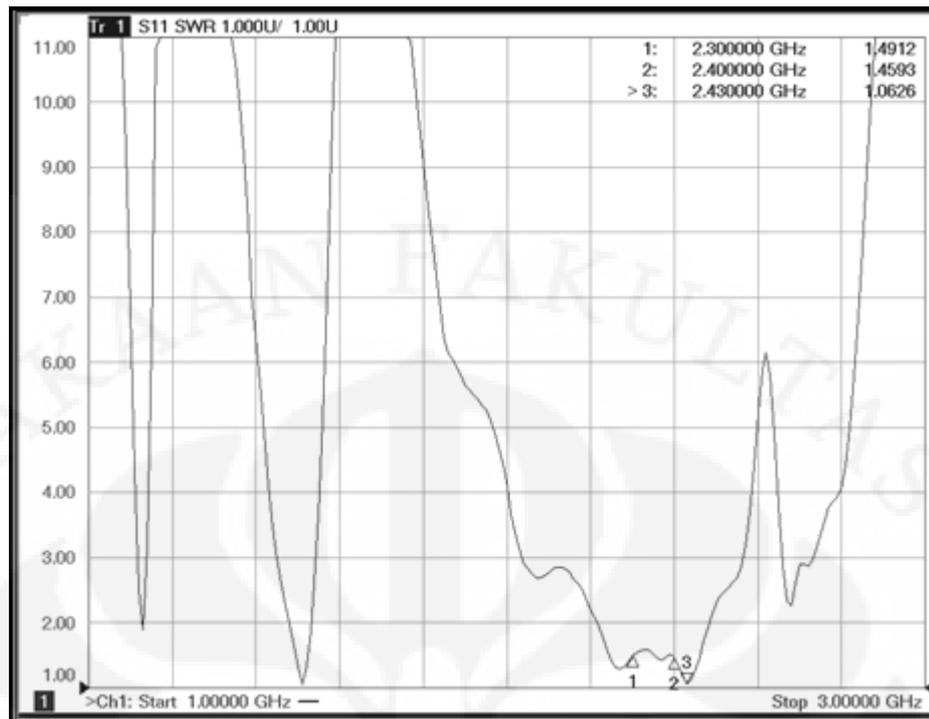
$$bandwidth = 17 \% (400 \text{ MHz})$$

#### 4.2.2 Hasil Pengukuran $S_{11}$ Antena CPW *Open End*

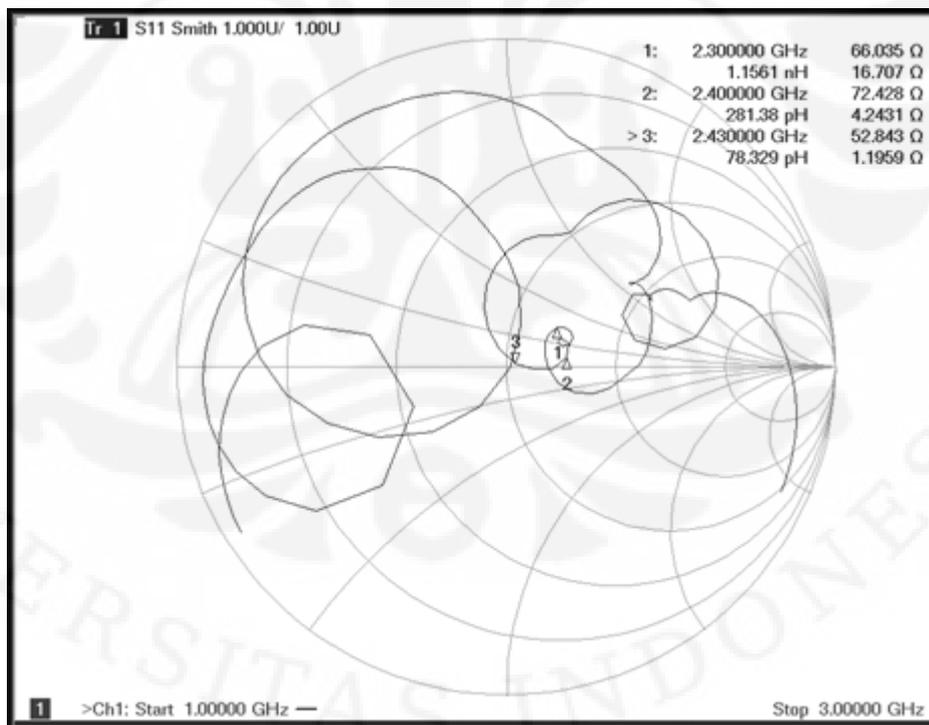
Hasil pengukuran *port* tunggal terhadap antena CPW jenis *open end* berupa grafik *return loss*, *VSWR*, dan *Smith Chart* impedansi masukan dapat dilihat pada Gambar 4.5, 4.6, dan 4.7 dibawah ini.



Gambar 4.5 Grafik *Return loss* Hasil Pengukuran Antena Elemen Tunggal



Gambar 4.6 Grafik VSWR Hasil Pengukuran Antena Elemen Tunggal



Gambar 4.7 Grafik Impedansi Masukan Hasil Pengukuran Antena Elemen Tunggal

Gambar 4.5 dan Gambar 4.6 memperlihatkan grafik *return loss* dan VSWR. Dari kedua grafik tersebut dapat diperoleh nilai *impedance bandwidth* yang dihasilkan oleh antenna CPW jenis *open end*. Dari gambar tersebut dapat terlihat bahwa pada nilai *Return loss*  $\leq -10,16$  dB (VSWR  $\leq 1,9$ ) diperoleh pada frekuensi dari 2,22 GHz sampai 2,48 GHz.

Nilai *return loss* yang diperoleh pada frekuensi 2,3 GHz dan 2,4 GHz masing-masing adalah -14.44 dB dan -14.46 dB dengan nilai *return loss* terendah yang diperoleh adalah -32.93 dB berada pada frekuensi 2.43 GHz. Adapun nilai VSWR yang diperoleh pada frekuensi 2,3 GHz dan 2,4 GHz masing-masing adalah 1,49 dan 1,45 dengan nilai VSWR terendah mencapai 1,06 pada frekuensi 2,48 GHz.

Gambar 4.7 menunjukkan impedansi masukan antenna pada rentang frekuensi 2,3 GHz – 2,4 GHz. Pada frekuensi 2,3 GHz dan 2,4GHz, impedansi masukan yang terbaca pada *Smith Chart* berturut-turut adalah sebesar  $66.035 + 16.707j \Omega$  dan  $72.428 + 4.2341j \Omega$ . Impedansi masukan terbaik berada pada frekuensi 2.43 GHz dengan nilai impedansi masukan sebesar  $52.843 + 1.196j \Omega$ .

Adapun *bandwidth* yang dicapai pada nilai VSWR  $\leq 1,9$  adalah:

$$\text{bandwidth} = \frac{f_2 - f_1}{f_c} \times 100\%$$

$$\text{bandwidth} = \frac{2,48 - 2,22}{2,35} \times 100\%$$

$$\text{bandwidth} = 11 \% (260 \text{ MHz})$$

### 4.3 Pengukuran Pola Radiasi

Pengukuran *port* ganda menggunakan dua antenna untuk diukur, antenna pertama digunakan sebagai penerima dan antenna kedua digunakan sebagai antenna pemancar. Pengukuran *port* ganda ini dilakukan dengan menggunakan *Network Analyzer* HP8753E. Parameter-parameter yang dapat diketahui dari hasil pengukuran *port* ganda antara lain pola radiasi, dan *axial ratio*. Untuk pengukuran *port* ganda ini digunakan 2 port pada *Network Analyzer* yaitu *port* 1 dan *port* 2. *Port* 1 dihubungkan ke antenna penerima menggunakan kabel penyambung jenis *coaxial* dan *port* 2 dihubungkan ke antenna pemancar juga dengan kabel

penyambung jenis *coaxial*. Pengukuran *port* ganda ini harus dilakukan dalam wilayah *far field* yang dihasilkan oleh antena. Sehingga jarak antar dua antena yang akan diukur harus lebih besar dari pada jarak *far field* minimum yang dihasilkan oleh antena penerima.

Jarak tersebut *far field* dapat dicari menggunakan persamaan persamaan :

$$r_{min} = \frac{D^2}{\lambda} \quad (4.1)$$

Dengan :  $r_{min}$  = jarak minimum pemancar dan penerima(cm)

$D^2$  = dimensi terbesar dari antena (cm)

$\lambda$  = panjang gelombang (cm)

Jarak *far field* minimum untuk antena ini adalah sebesar 39,13 cm dan jarak antar dua antena yang digunakan untuk pengukuran *port* ganda ini adalah sebesar 40 cm.

Dalam pengukuran pola radiasi, setelah menentukan jarak antar dua antena, langkah selanjutnya adalah mengubah format pengukuran pada *Network Analyzer* HP8753E. Karena *port* 1 dihubungkan dengan antena penerima dan *port* 2 dihubungkan dengan antena pemancar maka format pengukuran yang digunakan pada *Network Analyzer* adalah format  $S_{12}$  dengan menggunakan frekuensi tengah antena yaitu sebesar 2,35 GHz.

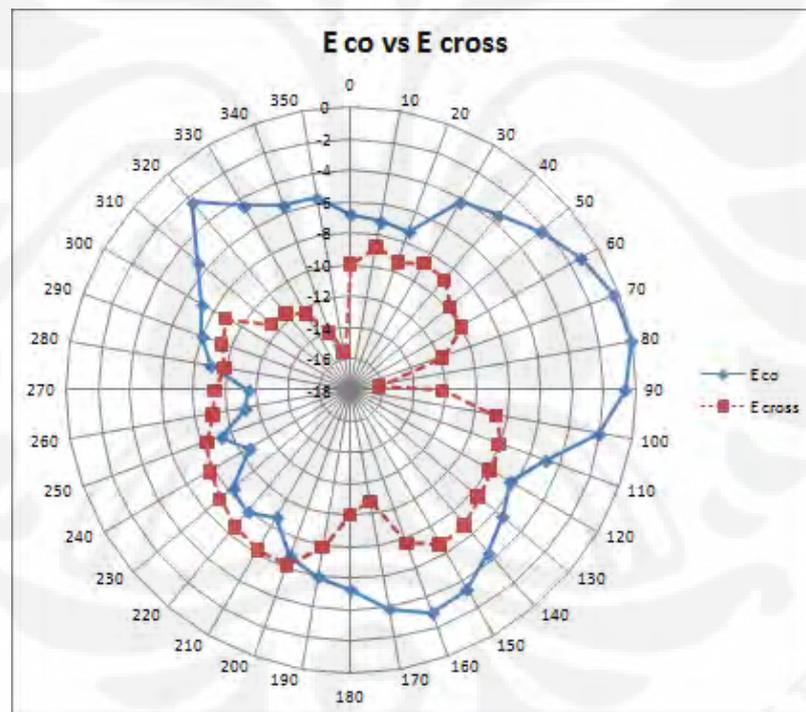
Untuk pengukuran pola radiasi ini, antena diputar sejauh  $360^{\circ}$  dimulai dari sudut  $0^{\circ}$  dengan interval pengambilan data sebesar  $10^{\circ}$ . Pola radiasi yang diukur meliputi pola E-co, E-cross, H-co dan H-cross. Pengukuran pertama adalah pengukuran E-co, pada pengukuran ini posisi antena penerima diletakkan searah dengan sumbu putar sedangkan posisi antena pemancar diletakkan searah dengan antena penerima. Pengukuran kedua adalah pengukuran E-cross, pada pengukuran ini posisi antena penerima diletakkan searah dengan sumbu putar sedangkan posisi antena pemancar diputar sejauh  $90^{\circ}$  dari posisi awal. Pengukuran ketiga adalah pengukuran H-co, pada pengukuran ini posisi antena penerima diputar sejauh  $90^{\circ}$  dari posisi awal sedangkan posisi antena pemancar diletakkan searah dengan antena penerima. Pengukuran terakhir adalah H-cross, pada pengukuran ini posisi

antena penerima sama seperti pada pengukuran H-co sedangkan posisi antenna pemancar dikembalikan ke posisi awal.

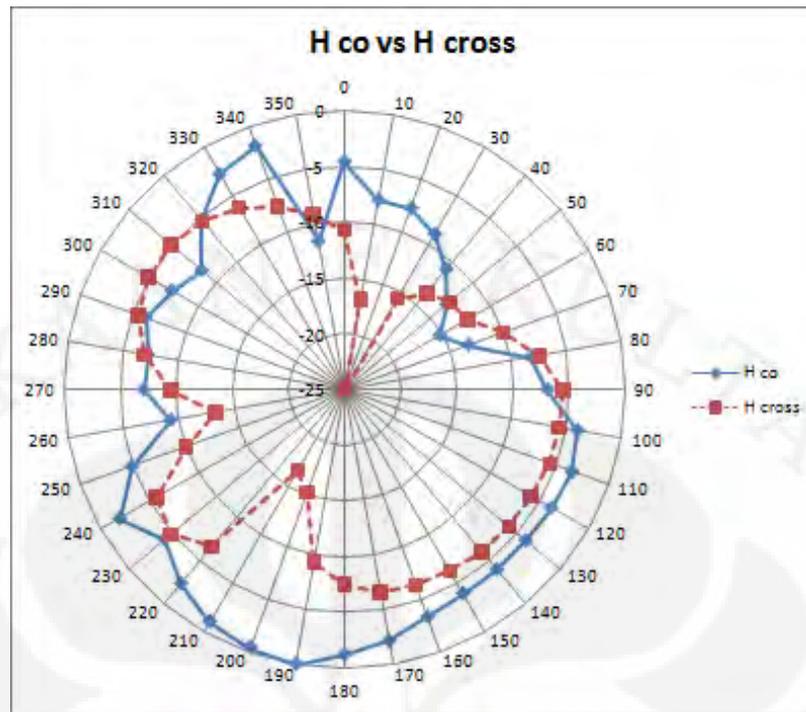
Pengambilan data pola radiasi ini dilakukan sebanyak dua kali dan data yang akan digunakan adalah rata-rata dari dua pengukuran tersebut. Data hasil pengukuran pola radiasi ini dapat dilihat pada Lampiran. Data hasil pengukuran pola radiasi ini selanjutnya ditampilkan pada grafik model *radar* dengan menggunakan perangkat lunak *Microsoft Excel 2007*.

#### 4.3.1 Pengukuran Pola Radiasi Antena CPW Short End

Untuk Grafik hasil pengukuran pola radiasi antenna CPW *Short End* dapat dilihat pada gambar 4.8 (a) dan (b)



(a)



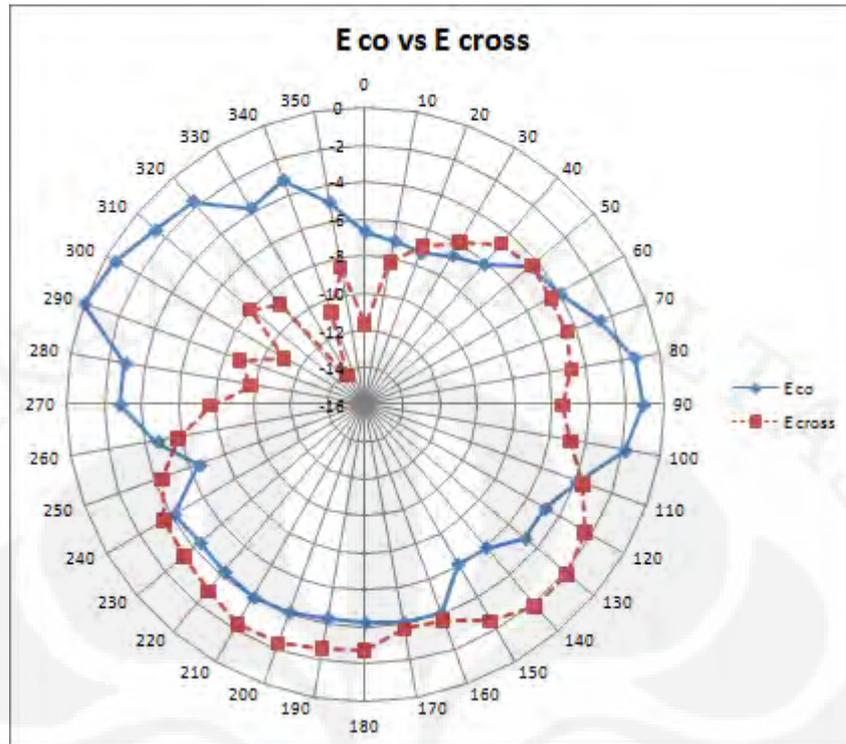
(b)

Gambar 4.8 Hasil Pengukuran Pola Radiasi Antena CPW *Short End* Pada Frekuensi 2,35 GHz (a) E-co vs E-Cross (b) H-Co vs H-Cross

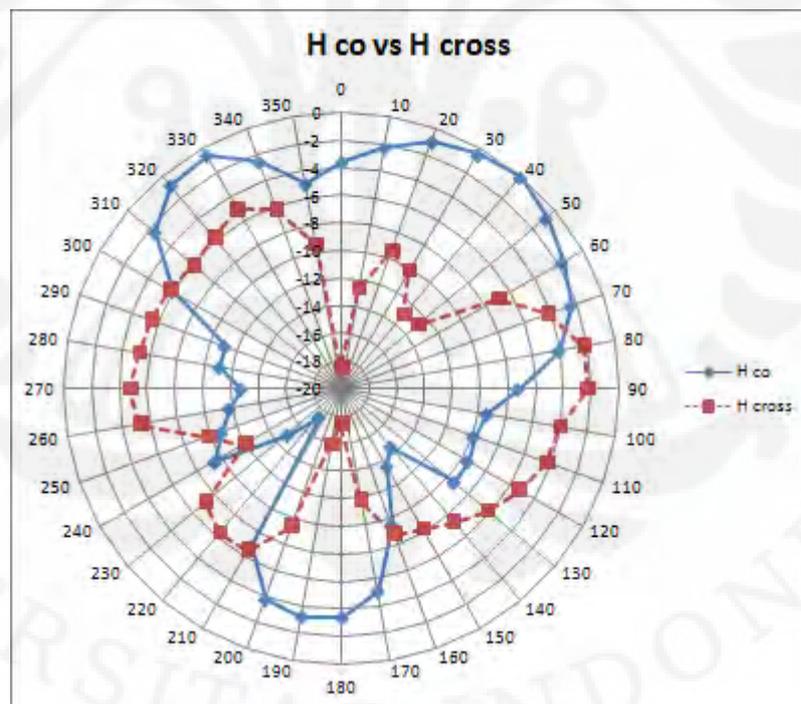
Gambar 4.8 memperlihatkan pola radiasi medan E dan medan H dari antena CPW *short end* pada frekuensi 2,35 GHz. Pada kedua grafik di atas, pola radiasi maksimum (*main lobe*) untuk medan-E tercapai pada sudut  $80^\circ$  memiliki daya sebesar  $-32,368$  db sedangkan untuk medan-H pada sudut  $190^\circ$  memiliki daya sebesar  $-35.752$ .

#### 4.3.2 Pengukuran Pola Radiasi Antena CPW *Open End*

Untuk Grafik hasil pengukuran pola radiasi antena CPW *Short End* dapat dilihat pada gambar 4.9 (a) dan (b)



(a)



(b)

Gambar 4.9 Hasil Pengukuran Pola Radiasi Antena CPW *Open End* Pada Frekuensi 2,35 GHz (a) E-co vs E-Cross (b) H-Co vs H-Cross

Gambar 4.9 memperlihatkan pola radiasi medan E dan medan H dari antenna CPW *open end* pada frekuensi 2,35 GHz. Pada kedua grafik di atas, pola radiasi maksimum (*main lobe*) untuk medan-E tercapai pada sudut 290° memiliki daya sebesar -34,698 db sedangkan untuk medan-H pada sudut 40° memiliki daya sebesar -36,897 db.

#### 4.4 Analisis Perbandingan Hasil Pengukuran *Port Tunggal*

Hasil pengukuran *port* tunggal selanjutnya dituliskan kembali pada Tabel 4.3 yang akan digunakan sebagai perbandingan antara antenna CPW *short end* dengan *open end*.

Tabel 4.1 Perbandingan Hasil Pengukuran *Port Tunggal*

Parameter	<i>Short End</i>	<i>Open End</i>
Range Frekuensi pada $VSWR \leq 1,9$	2.15 – 2,55 GHz	2.22 – 2,48 GHz
<i>Impedance Bandwidth</i>	17% (400 MHz)	11% (260 MHz)
<i>Return loss &amp; VSWR</i> pada 2,3 GHz	RL = -26.79 dB	RL = -14,44 dB
	VSWR = 1,1	VSWR = 1,49
<i>Return loss &amp; VSWR</i> pada 2,4 GHz	RL = -18.93 dB	RL = -14.46 dB
	VSWR = 1,26	VSWR = 1,45
<i>Return loss</i> minimum	-46.76 dB (pada $f = 2,35$ GHz)	-32.93 dB (pada $f = 2.43$ GHz)
VSWR minimum	1,0027	1,06

Berdasarkan tabel perbandingan hasil pengukuran *port* tunggal dapat dilihat bahwa secara keseluruhan antenna CPW *short end* memiliki spesifikasi yang lebih baik daripada antenna CPW *open end* walaupun keduanya memenuhi frekuensi kerja untuk antenna 2,3 GHz.

Meskipun antenna CPW *short end* memiliki spesifikasi yang lebih baik pada pengukuran *port* tunggal ini, diperlukan perbandingan lebih lanjut untuk hasil pengukuran *port* ganda.

#### 4.5 Analisis Kesalahan Umum

Dari studi parametric yang dilakukan, ada beberapa hal yang menyebabkan terjadinya ketidakcocokan hasil karakterisasi dengan teori yang ada. Penyebab-penyebab itu antara lain :

1. bahan substrat memiliki nilai toleransi konstanta dielektrik substrat yaitu sekitar  $\epsilon_r = 4,4 \pm 0,02$  serta adanya nilai toleransi pada *loss tangent* substrat.
2. proses penyolderan konektor SMA dengan saluran pencatu mikrostrip yang kurang baik
3. adanya rugi-rugi pada kabel penghubung, *port* SMA, tembaga/konduktor pada substrat, *attenuator*, konektor pada *network analyzer*, dan *power sensor*

## BAB 5

### KESIMPULAN

1. Antena mikrostrip *slot* lingkaran dengan teknik pencatuan *CoPlanar Waveguide* (CPW) *short end* yang dibuat mampu bekerja pada range frekuensi 2,15 – 2,55 GHz dengan *impedance bandwidth* pada  $VSWR \leq 1,9$  sebesar 400 MHz (17%). Sedangkan Antena mikrostrip *slot* lingkaran dengan teknik pencatuan *CoPlanar Waveguide* (CPW) *open end* yang dibuat mampu bekerja pada range frekuensi 2,22 – 2,48 GHz dengan *impedance bandwidth* pada  $VSWR \leq 1,9$  sebesar 260 MHz (11%). Dengan demikian, dua antenna telah telah memenuhi kebutuhan akan range frekuensi kerja yang diinginkan, yaitu bekerja pada range frekuensi 2,3 – 2,4 GHz pada  $VSWR \leq 1,9$  atau *return loss*  $\leq -10,16$  dB.
2. Pola radiasi antena mikrostrip *slot* lingkaran dengan teknik pencatuan CPW *short end* dan *open end* berdasarkan pengukuran memiliki pola radiasi *directional*.
3. Secara keseluruhan nilai parameter yang menjadi pembanding antara antena mikrostrip *slot* lingkaran dengan teknik pencatuan CPW *short end* dan *open end* didapatkan hasil bahwa antena mikrostrip *slot* lingkaran dengan teknik pencatuan CPW *short end* memiliki spesifikasi yang lebih baik.

## DAFTAR ACUAN

- [1] JWO-Shiun Sun, Yi-Chieh Lee, Ren-Hao Chen, dan Min\_Hsiang Hsu, *A Compact Antena for WLAN/WiMAX Applications*, ISAP (Oktober 2008), hal 493-496.
- [2] Wikipedia, <http://id.wikipedia.org/wiki/WiMAX>. Diakses tanggal 28 Juni 2010
- [3] Departemen Komunikasi dan Informatika - Republik Indonesia. Siaran Pers No. 51/PIH/KOMINFO/1/2009 tentang Penataan Pita Frekuensi Radio Untuk Keperluan Layanan Pita Lebar Nirkabel (Wireless Broadband). Broto, Gatot S. Dewa 22 Januari 2009.  
<<http://www.depkominfo.go.id/2009/01/22/siaran-pers-no-51pihkominfo12009-tentang-penataan-pita-frekuensi-radio-untuk-keperluan-layanan-pita-lebar-nirkabel-wireless-broadband/>>
- [4] Constantine A. Balanis, *Antena Theory : Analysis and Design*, (USA: John Willey and Sons,1997).
- [5] Garg, R., Bhartia, P, Bahl, I., dan Ittipiboon, A., "Microstrip Design Handbook", Artech House Inc., Norwood, MA, 2001.
- [6] Hirasawa, K. dan Haneishi, M., "Analysis, Design, and Measurement of Small and Low-Profile Antenas", Artech House, Norwood MA, 1992.
- [7] Gupta, K.C., Garg, Ramesh, Bahl, Inder, Bhartia Prakash, "Microstrip Lines and Slot Lines", Artech House Inc., Norwood, MA ,1996
- [8] Simons, Rainee N., "Coplanar Waveguide Circuits, Components, and Systems", (USA: John Willey and Sons,2001).

- [9] Devendra K. Misra, *Radio Frequency and Microwave Communication Circuits*, Wiley interscience, 2004.
- [10] Loong, K.H.W., "Design and Development of a 3x3 Element Microstrip Reflect Array for Spatial Power Combining", *The School of Computer Science & Electrical Engineering*, University of Queensland, 20<sup>th</sup> October 2000.
- [11] [http://www.interfacebus.com/Antenna\\_Terms\\_I.html](http://www.interfacebus.com/Antenna_Terms_I.html). Diakses tanggal 3 Januari 2010
- [12] [http://web.mit.edu/6.013\\_book/www/chapter12/12.4.html](http://web.mit.edu/6.013_book/www/chapter12/12.4.html). Diakses tanggal 3 Januari 2010.
- [13] Wikipedia, [http://en.wikipedia.org/wiki/Polarization\\_\(waves\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Polarization_(waves)). Diakses tanggal 28 Juni 2010.

**DAFTAR PUSTAKA**

Balanis, Constantine.A., *Antena Theory : Analysis and Design*, (USA: John Willey and Sons,1997).

Garg, R., Bhartia, P, Bahl, I., Ittipiboon, A., *Microstrip Design Handbook*, (Norwood: Artech House. Inc, MA, 2001).

Pozar, David M., *A Review of Bandwidth Enhancement Techniques for Microstrip Antena*, (New York: IEEE Press, 1995).

Ulaby, Fawwaz T., *Fundamentals of applied Electromagnetics*, (USA: Prentice Hall, 2001).

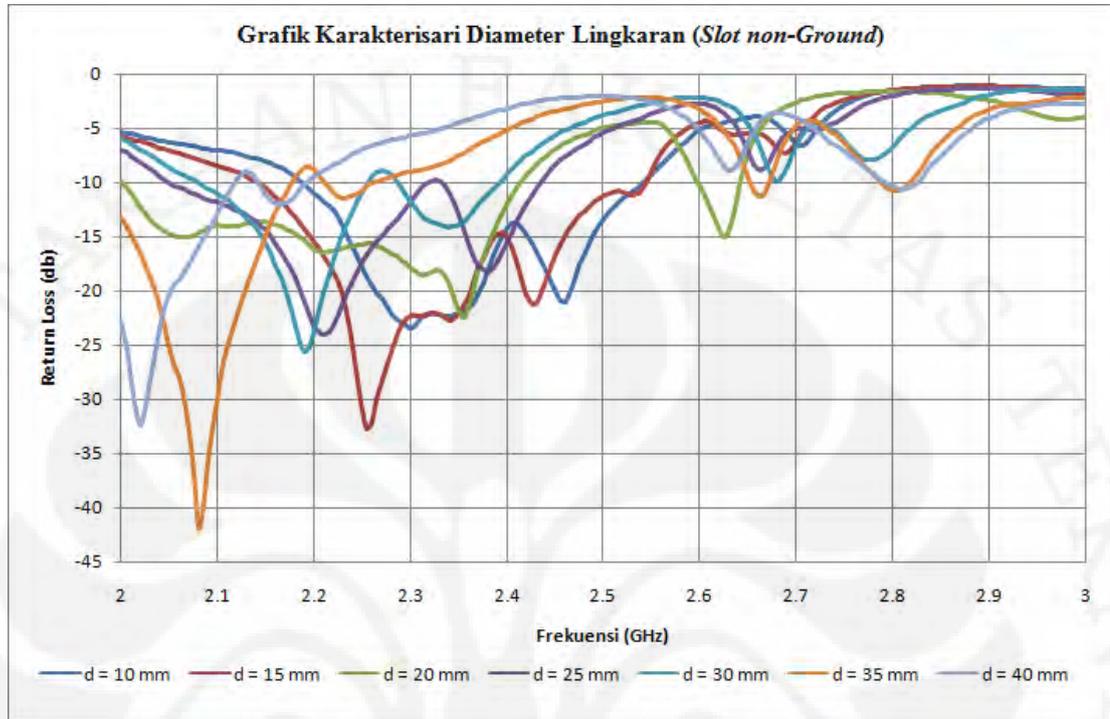
Wong, K. L., *Compact and Broadband Microstrip Antenas*, (New York: John Wiley & Sons, 2002).

Simons, Rainee N.,”Coplanar Waveguide Circuits, Components, and Systems”, (USA: John Willey and Sons,2001).

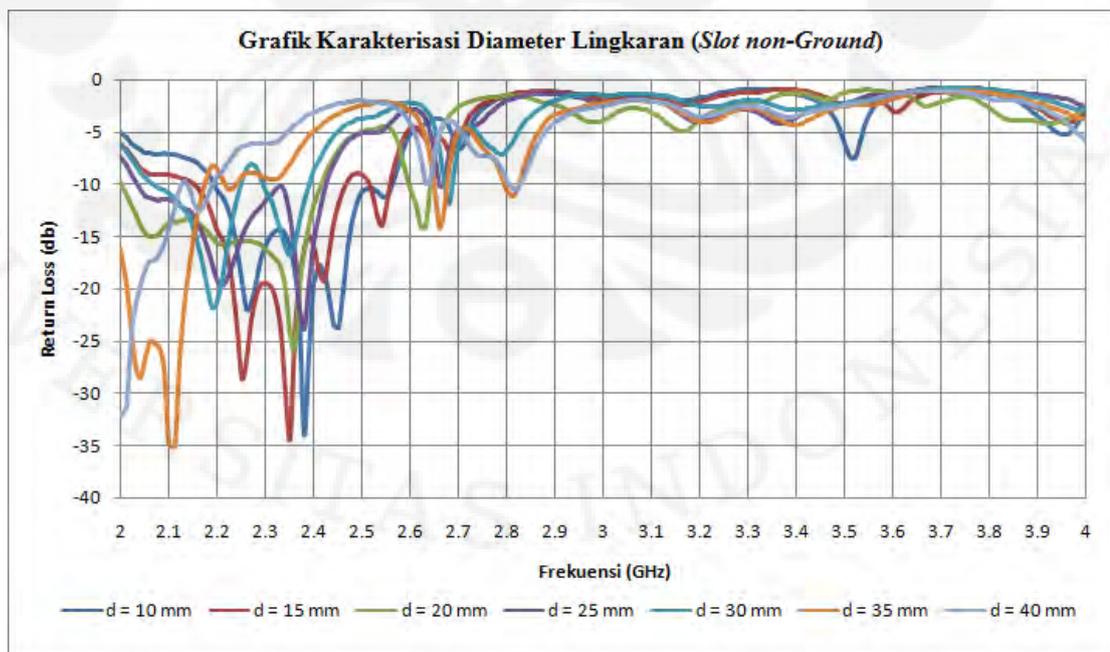
## LAMPIRAN A

## Data Hasil Pengukuran Return Loss

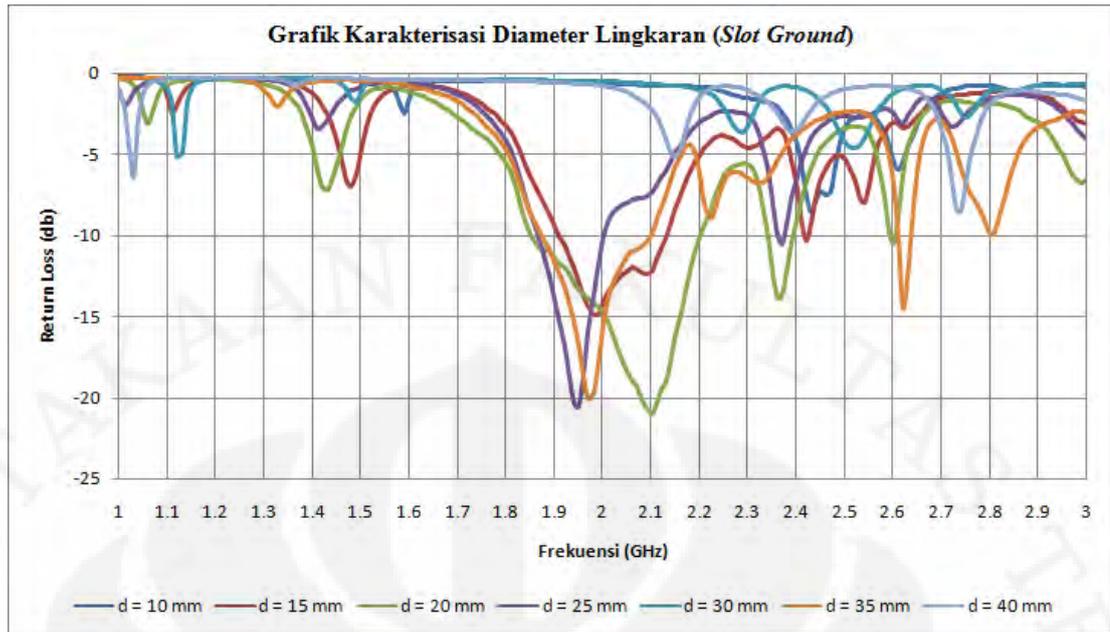
## Karakteristik Antena CPW Short End



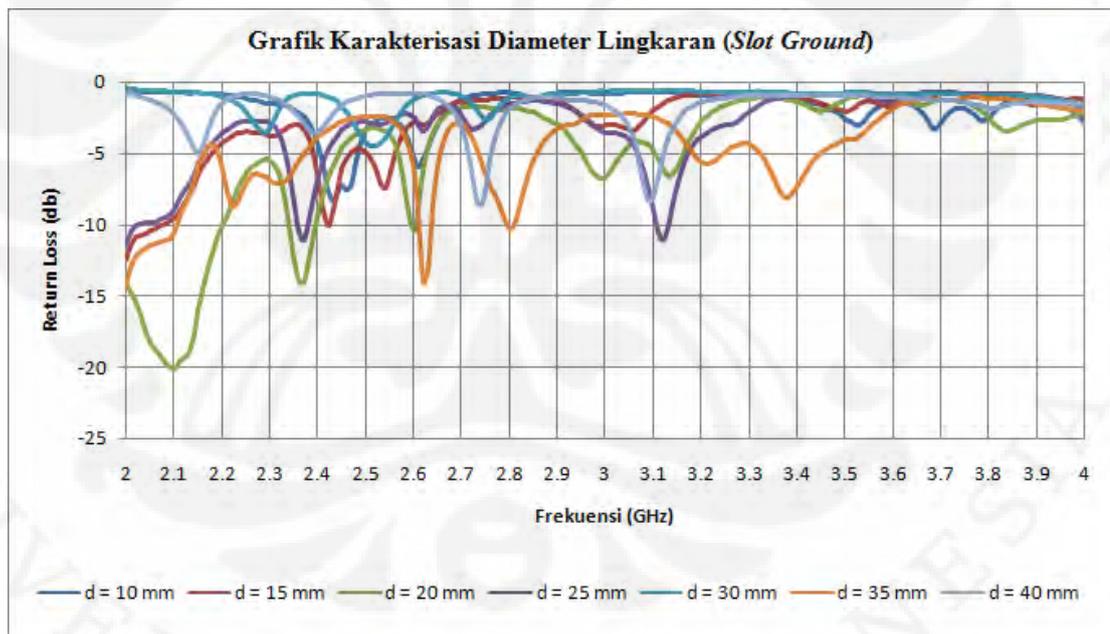
Gambar A1 Grafik *Return Loss* Rentang Frekuensi 2-3 GHz Setelah Mengubah Diameter *Slot* Lingkaran (d) Pada Elemen Tunggal Dengan *Slot* Tidak Dikoneksikan ke *Ground*



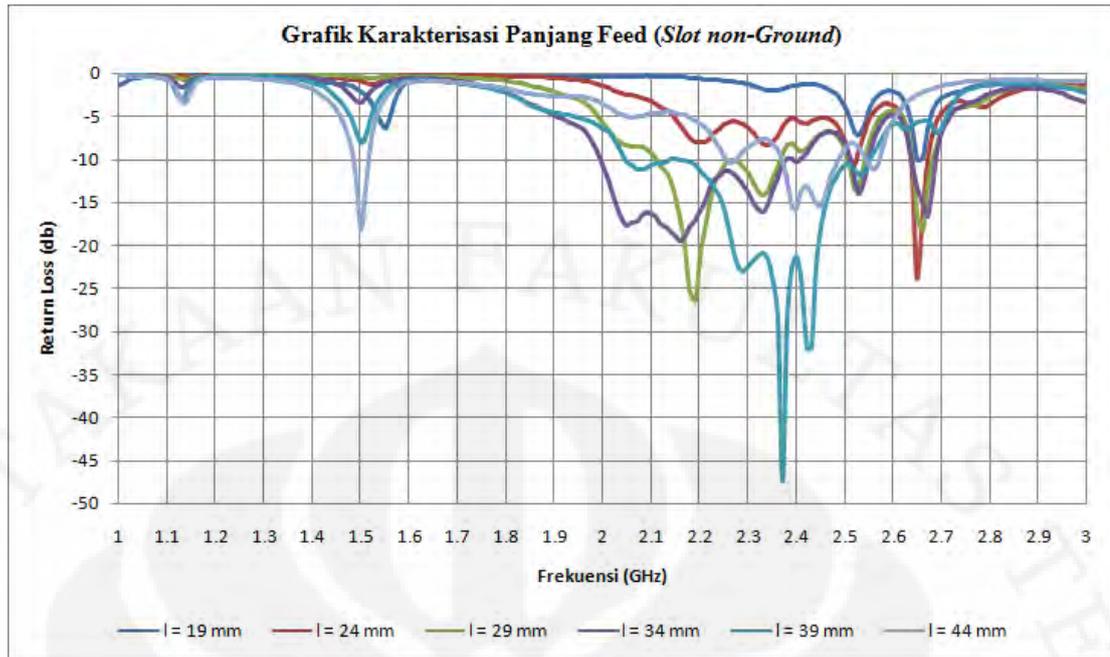
Gambar A2 Grafik *Return Loss* Rentang Frekuensi 2-4 GHz Setelah Mengubah Diameter *Slot* Lingkaran (d) Pada Elemen Tunggal Dengan *Slot* Tidak Dikoneksikan ke *Ground*



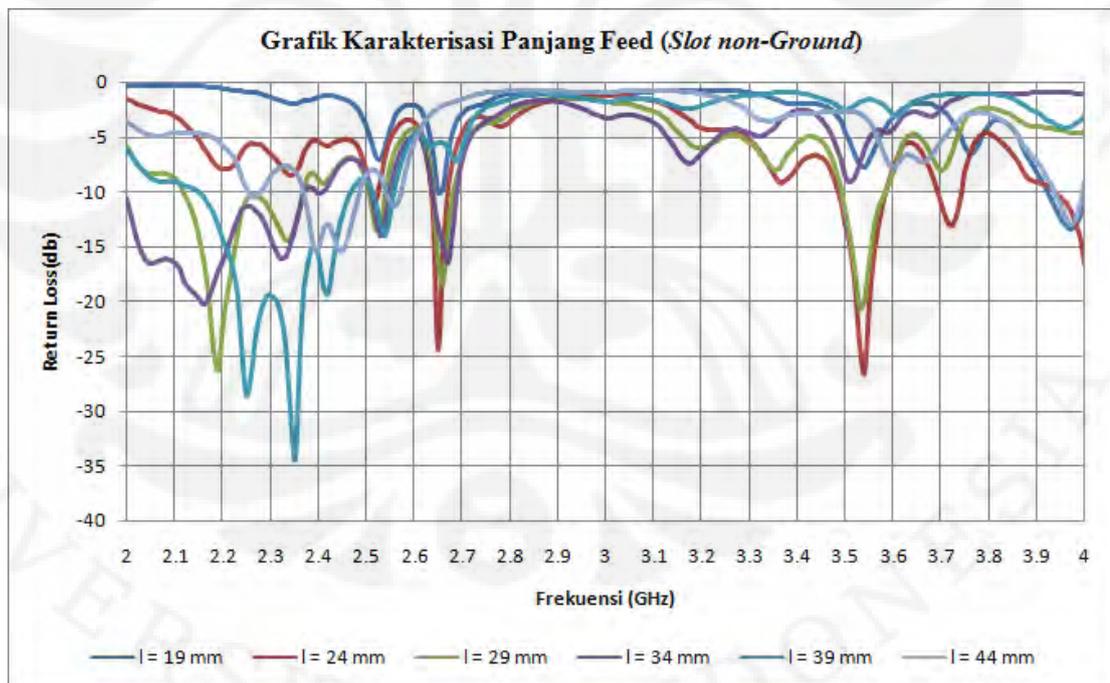
Gambar A3 Grafik *Return Loss* Rentang Frekuensi 1-3 GHz Setelah Mengubah Diameter *Slot* Lingkaran (d) Pada Elemen Tunggal Dengan *Slot* Dikoneksikan ke *Ground*



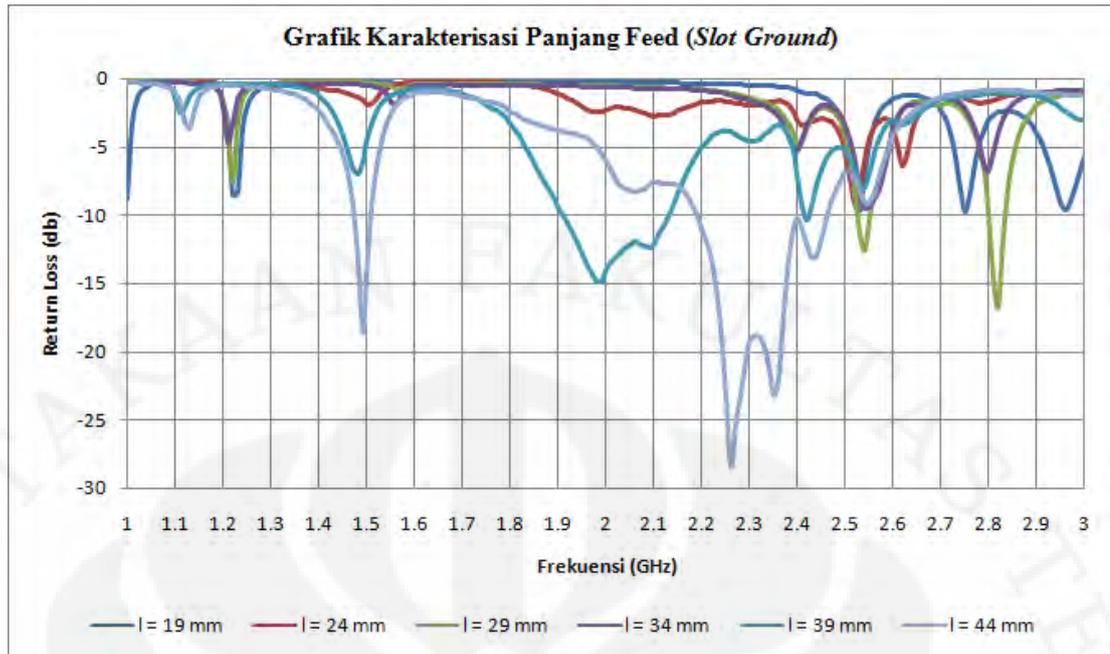
Gambar A4 Grafik *Return Loss* Rentang Frekuensi 2-4 GHz Setelah Mengubah Diameter *Slot* Lingkaran (d) Pada Elemen Tunggal Dengan *Slot* Dikoneksikan ke *Ground*



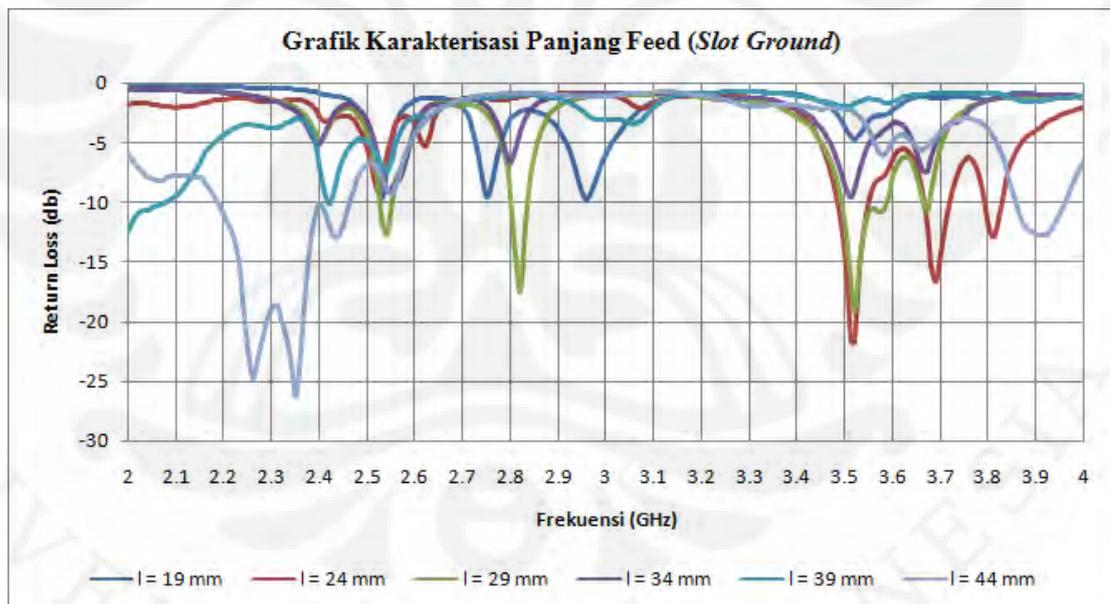
Gambar A5 Grafik *Return Loss* Rentang Frekuensi 1-3 GHz Setelah Mengubah Panjang *Feed* ( $l$ ) Pada Elemen Tunggal Dengan *Slot* Tidak Dikoneksikan ke *Ground*



Gambar A6 Grafik *Return Loss* Rentang Frekuensi 2-4 GHz Setelah Mengubah Panjang *Feed* ( $l$ ) Pada Elemen Tunggal Dengan *Slot* Tidak Dikoneksikan ke *Ground*

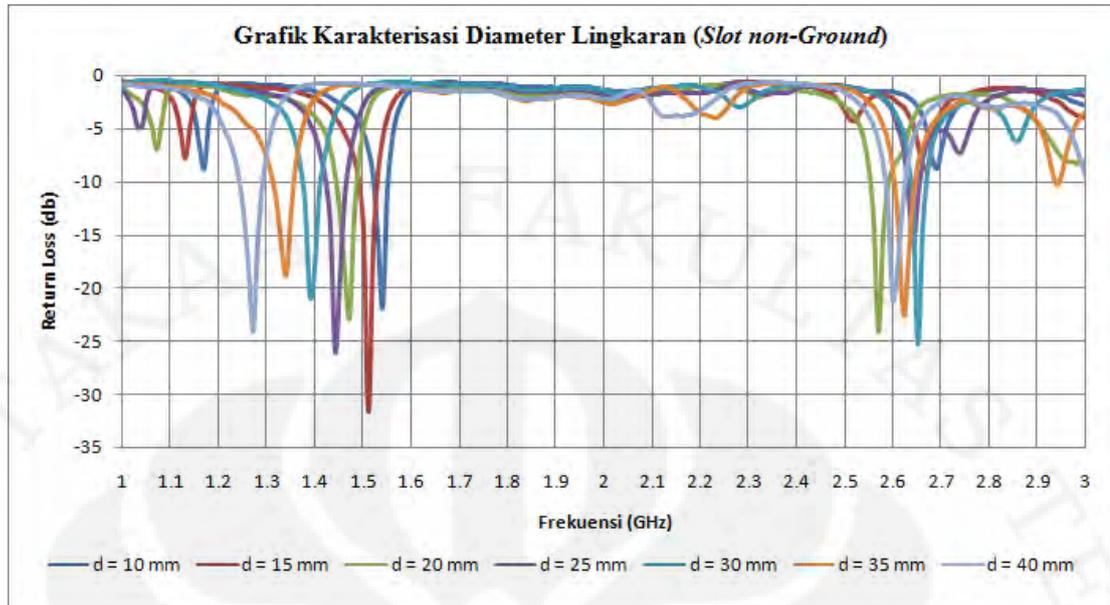


Gambar A7 Grafik *Return Loss* Rentang Frekuensi 1-3 GHz Setelah Mengubah Panjang *Feed* ( $l$ ) Pada Elemen Tunggal Dengan *Slot* Dikoneksikan ke *Ground*

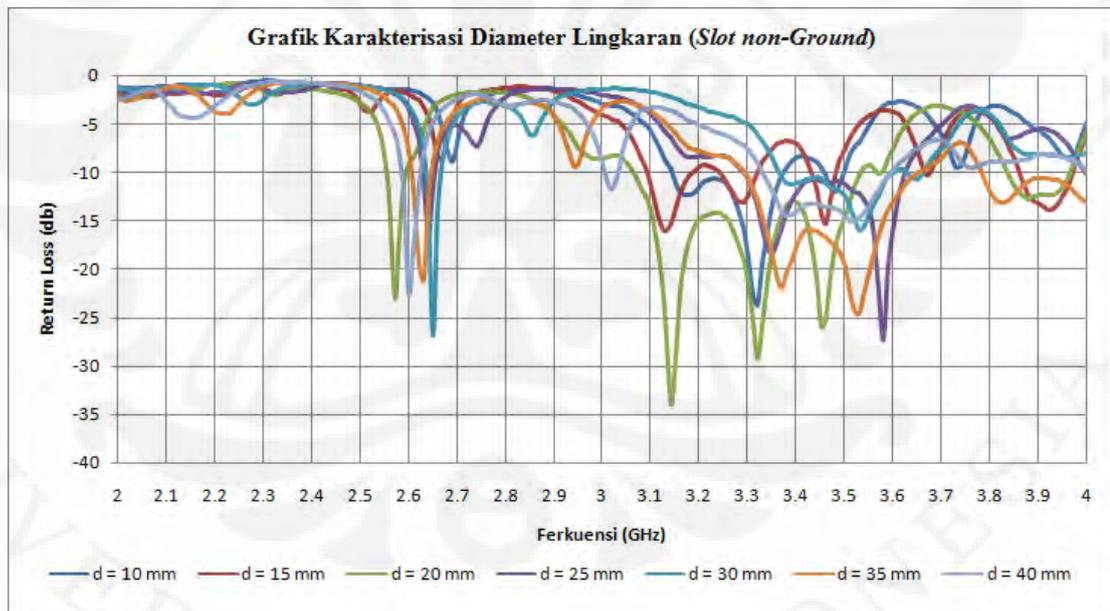


Gambar A8 Grafik *Return Loss* Rentang Frekuensi 2-4 GHz Setelah Mengubah Panjang *Feed* ( $l$ ) Pada Elemen Tunggal Dengan *Slot* Dikoneksikan ke *Ground*

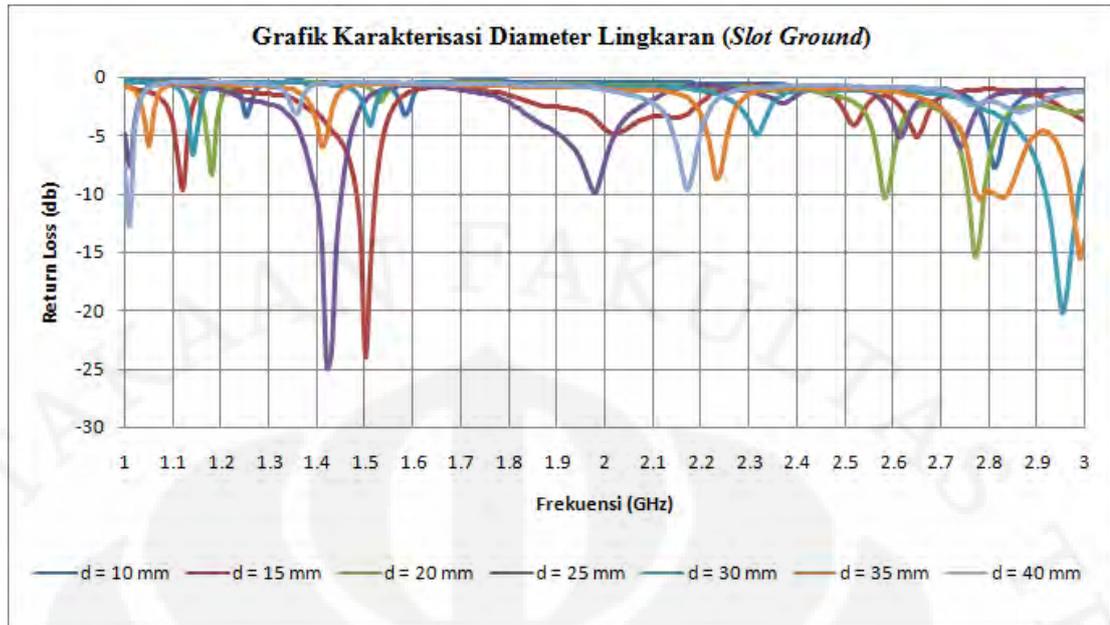
### Karakteristik Antena CPW *Open End*



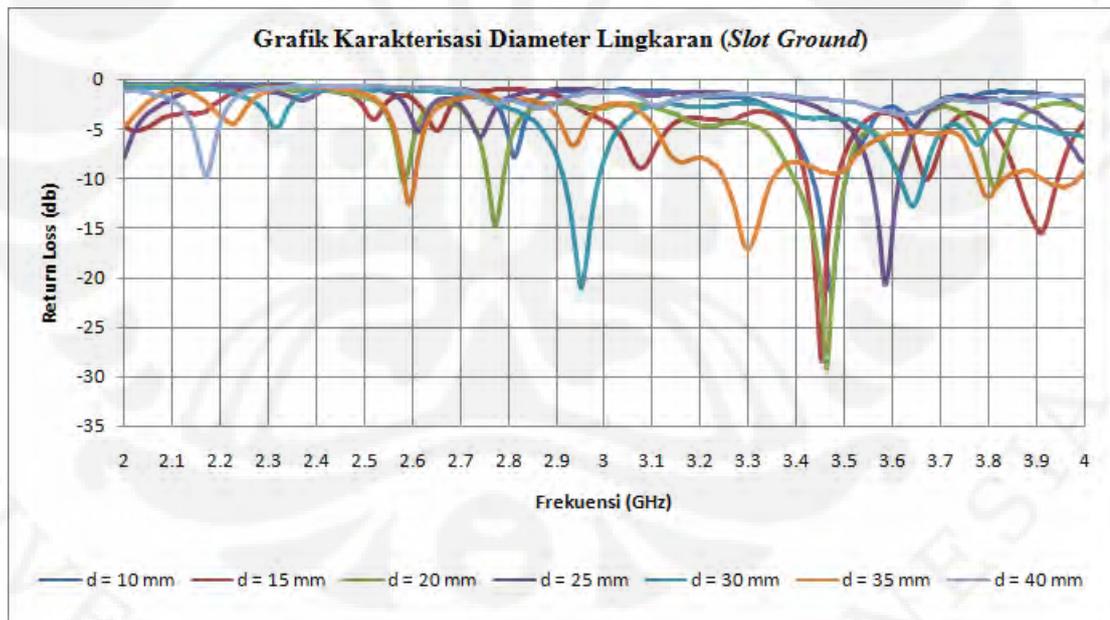
Gambar A9 Grafik *Return Loss* Rentang Frekuensi 1-3 GHz Setelah Mengubah Diameter *Slot* Lingkaran (d) Pada Elemen Tunggal Dengan *Slot* Tidak Dikoneksikan ke *Ground*



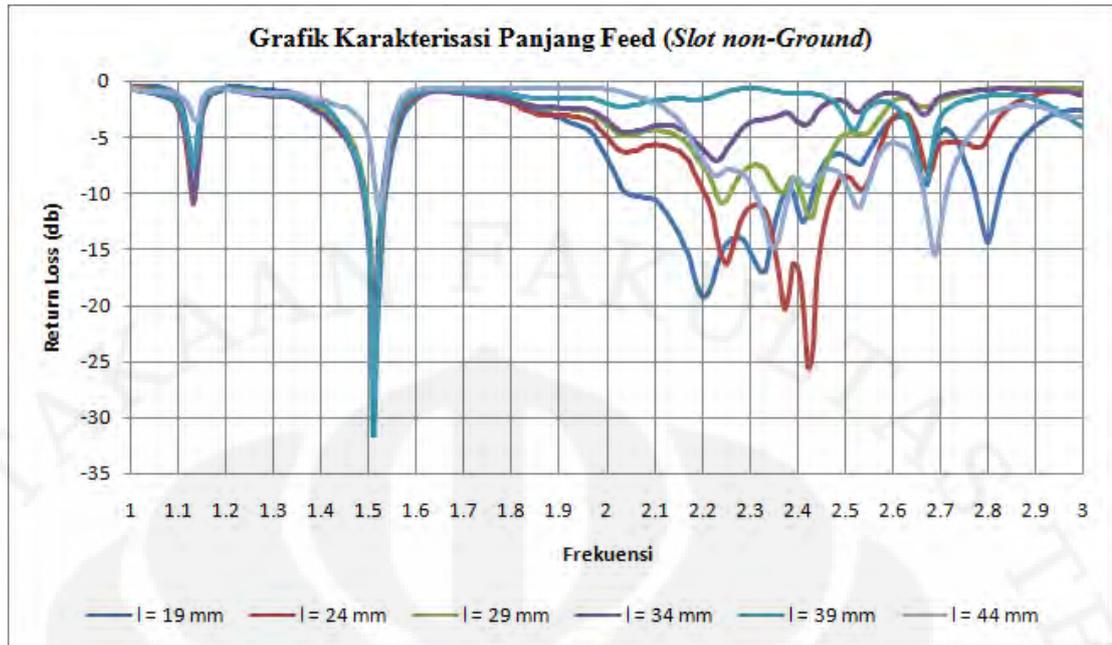
Gambar A10 Grafik *Return Loss* Rentang Frekuensi 2-4 GHz Setelah Mengubah Diameter *Slot* Lingkaran (d) Pada Elemen Tunggal Dengan *Slot* Tidak Dikoneksikan ke *Ground*



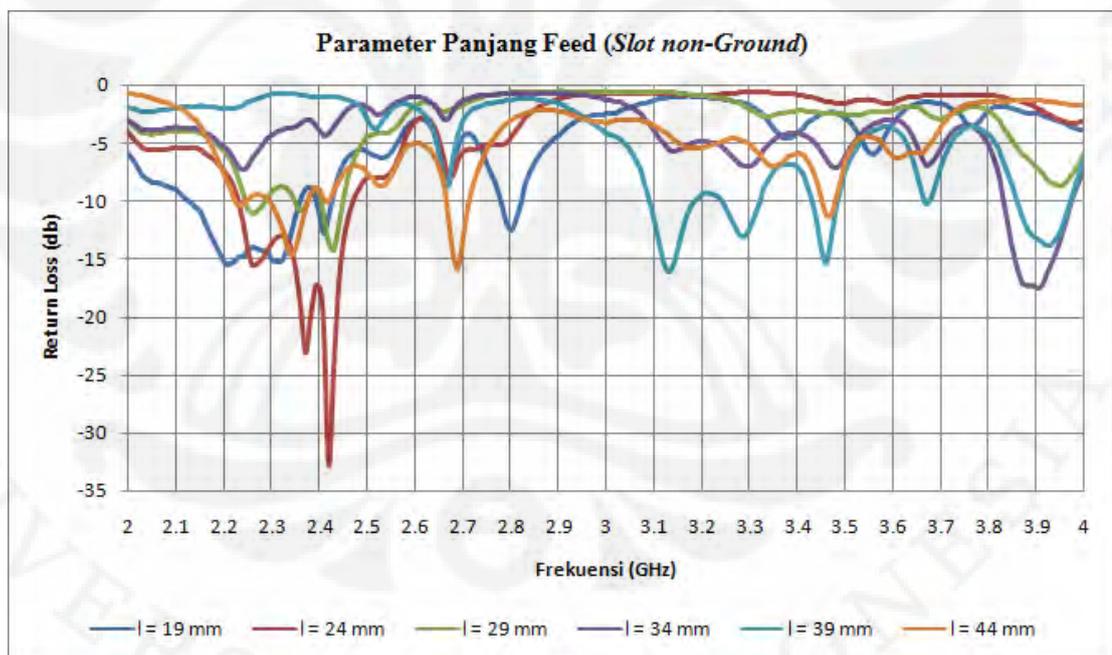
Gambar A11 Grafik *Return Loss* Rentang Frekuensi 1-3 GHz Setelah Mengubah Diameter *Slot* Lingkaran (d) Pada Elemen Tunggal Dengan *Slot* Dikoneksikan ke *Ground*



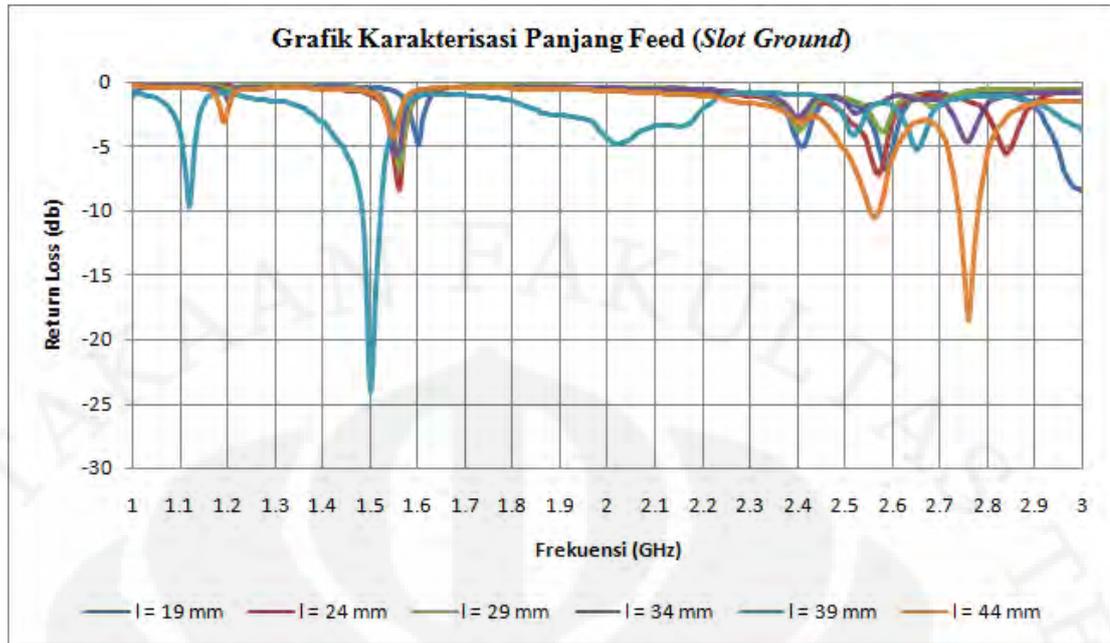
Gambar A12 Grafik *Return Loss* Rentang Frekuensi 2-4 GHz Setelah Mengubah Diameter *Slot* Lingkaran (d) Pada Elemen Tunggal Dengan *Slot* Dikoneksikan ke *Ground*



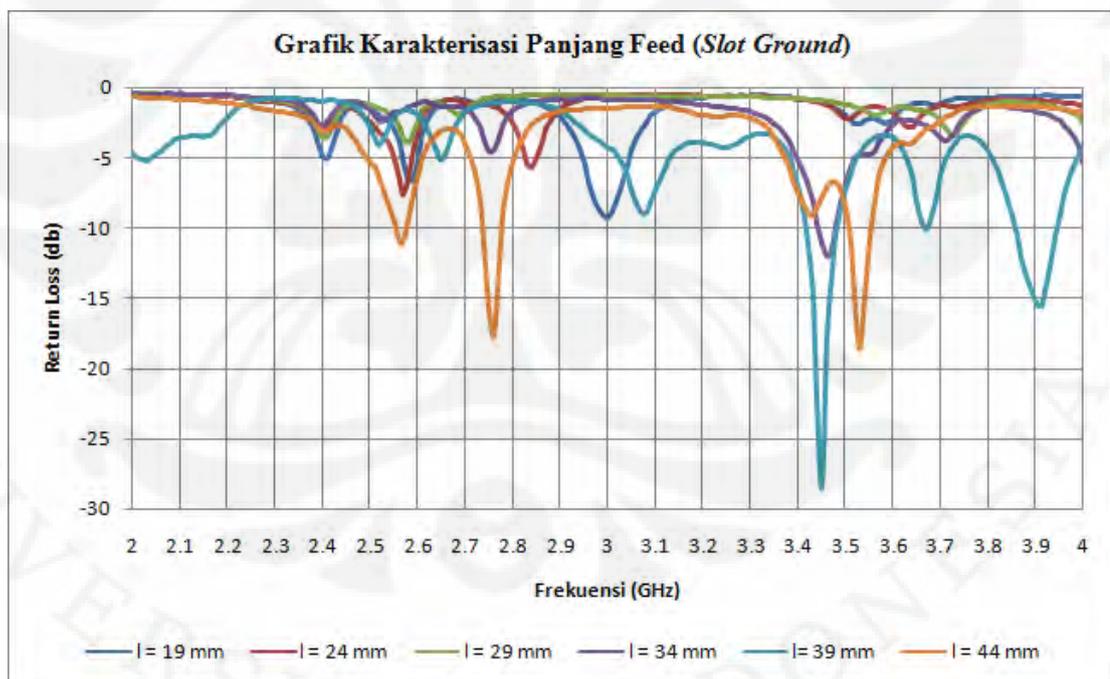
Gambar A13 Grafik *Return Loss* Rentang Frekuensi 1-3 GHz Setelah Mengubah Panjang *Feed* ( $l$ ) Pada Elemen Tunggal Dengan *Slot* Tidak Dikoneksikan ke *Ground*



Gambar A14 Grafik *Return Loss* Rentang Frekuensi 2-4 GHz Setelah Mengubah Panjang *Feed* ( $l$ ) Pada Elemen Tunggal Dengan *Slot* Tidak Dikoneksikan ke *Ground*



Gambar A15 Grafik *Return Loss* Rentang Frekuensi 1-3 GHz Setelah Mengubah Panjang *Feed* ( $l$ ) Pada Elemen Tunggal Dengan *Slot* Dikoneksikan ke *Ground*



Gambar A16 Grafik *Return Loss* Rentang Frekuensi 2-4 GHz Setelah Mengubah Panjang *Feed* ( $l$ ) Pada Elemen Tunggal Dengan *Slot* Dikoneksikan ke *Ground*

**LAMPIRAN B****Data Hasil Pengukuran Pola Radiasi****Intensitas Daya Relatif Antena CPW Short End**

Tabel Lampiran B.1 Intensitas Daya Relatif untuk Bidang E  
(Normalisasi Terhadap E Co)

Degree	E co			E cross		
	E	E db	E normalize	E	E db	E normalize
0	39183	-39.183	-6.815	42331	-42.331	-9.963
10	39478	-39.478	-7.11	41068	-41.068	-8.7
20	39621	-39.621	-7.253	41651	-41.651	-9.283
30	36541	-36.541	-4.173	41036	-41.036	-8.668
40	35863	-35.863	-3.495	41184	-41.184	-8.816
50	34698	-34.698	-2.33	42142	-42.142	-9.774
60	33574	-33.574	-1.206	42241	-42.241	-9.873
70	32696	-32.696	-0.328	44226	-44.226	-11.858
80	32368	-32.368	0	48541	-48.541	-16.173
90	33045	-33.045	-0.677	44568	-44.568	-12.2
100	34456	-34.456	-2.088	41045	-41.045	-8.677
110	37256	-37.256	-4.888	40356	-40.356	-7.988
120	38728	-38.728	-6.36	40257	-40.257	-7.889
130	37869	-37.869	-5.501	39841	-39.841	-7.473
140	36837	-36.837	-4.469	39213	-39.213	-6.845
150	35746	-35.746	-3.378	39122	-39.122	-6.754
160	35297	-35.297	-2.929	40012	-40.012	-7.644
170	36245	-36.245	-3.877	43206	-43.206	-10.838
180	37677	-37.677	-5.309	42494	-42.494	-10.126
190	38355	-38.355	-5.987	40251	-40.251	-7.883
200	39151	-39.151	-6.783	38521	-38.521	-6.153
210	41056	-41.056	-8.688	38645	-38.645	-6.277
220	40287	-40.287	-7.919	39032	-39.032	-6.664
230	40671	-40.671	-8.303	39594	-39.594	-7.226
240	42975	-42.975	-10.607	40087	-40.087	-7.719
250	41647	-41.647	-9.279	40689	-40.689	-8.321
260	43586	-43.586	-11.218	41561	-41.561	-9.193
270	43916	-43.916	-11.548	41784	-41.784	-9.416
280	41365	-41.365	-8.997	42256	-42.256	-9.888
290	40370	-40.37	-8.002	41698	-41.698	-9.33
300	39485	-39.485	-7.117	41203	-41.203	-8.835
310	37767	-37.767	-5.399	43816	-43.816	-11.448
320	34777	-34.777	-2.409	43976	-43.976	-11.608
330	36844	-36.844	-4.476	44754	-44.754	-12.386
340	37881	-37.881	-5.513	46471	-46.471	-14.103
350	37947	-37.947	-5.579	47891	-47.891	-15.523

Tabel Lampiran B.2 Intensitas Daya Relatif untuk Bidang H  
(Normalisasi Terhadap H Co)

Degree	H co			H cross		
	H	H db	H normalize	H	H db	H normalize
0	40312	-40.312	-4.56	46427	-46.427	-10.675
10	43465	-43.465	-7.713	52510	-52.51	-16.758
20	43419	-43.419	-7.667	60653	-60.653	-24.901
30	44663	-44.663	-8.911	51314	-51.314	-15.562
40	46675	-46.675	-10.923	49422	-49.422	-13.67
50	48863	-48.863	-13.111	48523	-48.523	-12.771
60	50965	-50.965	-15.213	48087	-48.087	-12.335
70	48981	-48.981	-13.229	45741	-45.741	-9.989
80	43879	-43.879	-8.127	43156	-43.156	-7.404
90	42662	-42.662	-6.91	41263	-41.263	-5.511
100	39664	-39.664	-3.912	41385	-41.385	-5.633
110	39201	-39.201	-3.449	41284	-41.284	-5.532
120	39524	-39.524	-3.772	41600	-41.6	-5.848
130	39687	-39.687	-3.935	41649	-41.649	-5.897
140	39669	-39.669	-3.917	41720	-41.72	-5.968
150	39623	-39.623	-3.871	42013	-42.013	-6.261
160	39093	-39.093	-3.341	42140	-42.14	-6.388
170	37865	-37.865	-2.113	42271	-42.271	-6.519
180	36974	-36.974	-1.222	43356	-43.356	-7.604
190	35752	-35.752	0	45063	-45.063	-9.311
200	36177	-36.177	-0.425	51001	-51.001	-15.249
210	36723	-36.723	-0.971	52413	-52.413	-16.661
220	38056	-38.056	-2.304	42331	-42.331	-6.579
230	39859	-39.859	-4.107	40598	-40.598	-4.846
240	37614	-37.614	-1.862	41467	-41.467	-5.715
250	40583	-40.583	-4.831	45741	-45.741	-9.989
260	45061	-45.061	-9.309	49113	-49.113	-13.361
270	42837	-42.837	-7.085	45325	-45.325	-9.573
280	42931	-42.931	-7.179	42682	-42.682	-6.93
290	41875	-41.875	-6.123	41171	-41.171	-5.419
300	42968	-42.968	-7.216	40555	-40.555	-4.803
310	44127	-44.127	-8.375	40562	-40.562	-4.81
320	40891	-40.891	-5.139	41012	-41.012	-5.26
330	38468	-38.468	-2.716	41871	-41.871	-6.119
340	37475	-37.475	-1.723	43211	-43.211	-7.459
350	47233	-47.233	-11.481	44814	-44.814	-9.062

### Intensitas Daya Relatif Antena CPW *Open End*

Tabel Lampiran B.3 Intensitas Daya Relatif untuk Bidang E

(Normalisasi Terhadap E Co)

Degree	E co			E cross		
	E	E db	E normalize	E	E db	E normalize
0	41323	-41.323	-6.625	46329	-46.329	-11.631
10	41698	-41.698	-7	42877	-42.877	-8.179
20	41967	-41.967	-7.269	41623	-41.623	-6.925
30	41378	-41.378	-6.68	40545	-40.545	-5.847
40	40803	-40.803	-6.105	39314	-39.314	-4.616
50	39087	-39.087	-4.389	38981	-38.981	-4.283
60	38666	-38.666	-3.968	39128	-39.128	-4.43
70	37336	-37.336	-2.638	39121	-39.121	-4.423
80	36058	-36.058	-1.36	39445	-39.445	-4.747
90	35826	-35.826	-1.128	40100	-40.1	-5.402
100	36574	-36.574	-1.876	39512	-39.512	-4.814
110	38667	-38.667	-3.969	38266	-38.266	-3.568
120	39557	-39.557	-4.859	37067	-37.067	-2.369
130	39517	-39.517	-4.819	36556	-36.556	-1.858
140	40678	-40.678	-5.98	36581	-36.581	-1.883
150	40818	-40.818	-6.12	37306	-37.306	-2.608
160	38789	-38.789	-4.091	38415	-38.415	-3.717
170	38821	-38.821	-4.123	38475	-38.475	-3.777
180	38978	-38.978	-4.28	37495	-37.495	-2.797
190	39067	-39.067	-4.369	37413	-37.413	-2.715
200	38827	-38.827	-4.129	37085	-37.085	-2.387
210	38737	-38.737	-4.039	37127	-37.127	-2.429
220	38966	-38.966	-4.268	37654	-37.654	-2.956
230	39157	-39.157	-4.459	38085	-38.085	-3.387
240	38912	-38.912	-4.214	38284	-38.284	-3.586
250	41268	-41.268	-6.57	39124	-39.124	-4.426
260	39412	-39.412	-4.714	40568	-40.568	-5.87
270	37561	-37.561	-2.863	42458	-42.458	-7.76
280	37663	-37.663	-2.965	44495	-44.495	-9.797
290	34698	-34.698	0	43551	-43.551	-8.853
300	35240	-35.24	-0.542	45687	-45.687	-10.989
310	36020	-36.02	-1.322	42676	-42.676	-7.978
320	36330	-36.33	-1.632	43641	-43.641	-8.943
330	38441	-38.441	-3.743	48854	-48.854	-14.156
340	37778	-37.778	-3.08	45361	-45.361	-10.663
350	39600	-39.6	-4.902	43169	-43.169	-8.471

Tabel Lampiran B.4 Intensitas Daya Relatif untuk Bidang H  
(Normalisasi Terhadap H Co)

Degree	H co			H cross		
	H	H db	H normalize	H	H db	H normalize
0	40477	-40.477	-3.58	55395	-55.395	-18.498
10	39159	-39.159	-2.262	49572	-49.572	-12.675
20	37854	-37.854	-0.957	46262	-46.262	-9.365
30	37317	-37.317	-0.42	47074	-47.074	-10.177
40	36897	-36.897	0	49893	-49.893	-12.996
50	37710	-37.71	-0.813	49691	-49.691	-12.794
60	38577	-38.577	-1.68	43841	-43.841	-6.944
70	39332	-39.332	-2.435	41077	-41.077	-4.18
80	41022	-41.022	-4.125	39136	-39.136	-2.239
90	44214	-44.214	-7.317	39132	-39.132	-2.235
100	46304	-46.304	-9.407	40875	-40.875	-3.978
110	46815	-46.815	-9.918	41154	-41.154	-4.257
120	46458	-46.458	-9.561	42147	-42.147	-5.25
130	46358	-46.358	-9.461	43142	-43.142	-6.245
140	51446	-51.446	-14.549	44302	-44.302	-7.405
150	50435	-50.435	-13.538	45124	-45.124	-8.227
160	46454	-46.454	-9.557	45724	-45.724	-8.827
170	42034	-42.034	-5.137	48678	-48.678	-11.781
180	40356	-40.356	-3.459	54336	-54.336	-17.439
190	40151	-40.151	-3.254	52789	-52.789	-15.892
200	40682	-40.682	-3.785	46294	-46.294	-9.397
210	43734	-43.734	-6.837	43362	-43.362	-6.465
220	54267	-54.267	-17.37	43277	-43.277	-6.38
230	51717	-51.717	-14.82	44123	-44.123	-7.226
240	46257	-46.257	-9.36	48863	-48.863	-11.966
250	47586	-47.586	-10.689	46724	-46.724	-9.827
260	48584	-48.584	-11.687	42159	-42.159	-5.262
270	49587	-49.587	-12.69	41628	-41.628	-4.731
280	47886	-47.886	-10.989	42112	-42.112	-5.215
290	47855	-47.855	-10.958	42325	-42.325	-5.428
300	42720	-42.72	-5.823	42621	-42.621	-5.724
310	39242	-39.242	-2.345	43026	-43.026	-6.129
320	37640	-37.64	-0.743	42631	-42.631	-5.734
330	37330	-37.33	-0.433	41897	-41.897	-5
340	39405	-39.405	-2.508	43074	-43.074	-6.177
350	41820	-41.82	-4.923	46295	-46.295	-9.398