

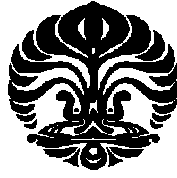
**UNIVERSITAS INDONESIA**

**RANCANG BANGUN ANTENA WAVEGUIDE 8 SLOT PADA  
FREKUENSI 9,4 GHz**

**SKRIPSI**

**ULIL ULYA  
07 06 26 80 51**

**FAKULTAS TEKNIK  
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
DEPOK  
JUNI 2011**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**RANCANG BANGUN ANTENA WAVEGUIDE 8 SLOT PADA  
FREKUENSI 9,4 GHz**

**SKRIPSI**

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

**ULIL ULYA  
07 06 26 80 51**

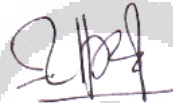
**FAKULTAS TEKNIK  
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
DEPOK  
JUNI 2011**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

**Nama : Ulil Ulya**

**NPM : 0706268051**

**Tanda Tangan : **

**Tanggal : 15 Juni 2011**

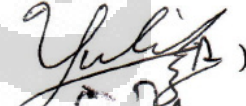

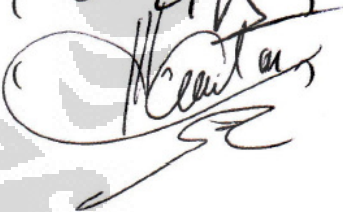
## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :  
Nama : Ulil Ulya  
NPM : 0706268051  
Program Studi : Teknik Elektro  
Judul Skripsi : Rancang Bangun Antena Waveguide 8 Slot pada Frekuensi 9.4 GHz

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

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. Fitri Yuli Zulkifli, S.T, M.Sc  
Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Eko Tjipto Rahardjo M.Sc  
Penguji : Dr. Ir. Muhammad Asvial, M.Eng.

()  
()  
()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 1 Juli 2011

## UCAPAN TERIMA KASIH

Segala puji dan syukur saya panjatkan kepada Allah SWT yang telah melimpahkan berkat, rahmat, dan karunia-Nya, sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Saya mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu baik secara langsung maupun tidak langsung selama proses dan penulisan skripsi ini, karena tanpa bantuan banyak pihak, skripsi ini tidak dapat terselesaikan tepat waktu. Terima kasih saya tujukan kepada:

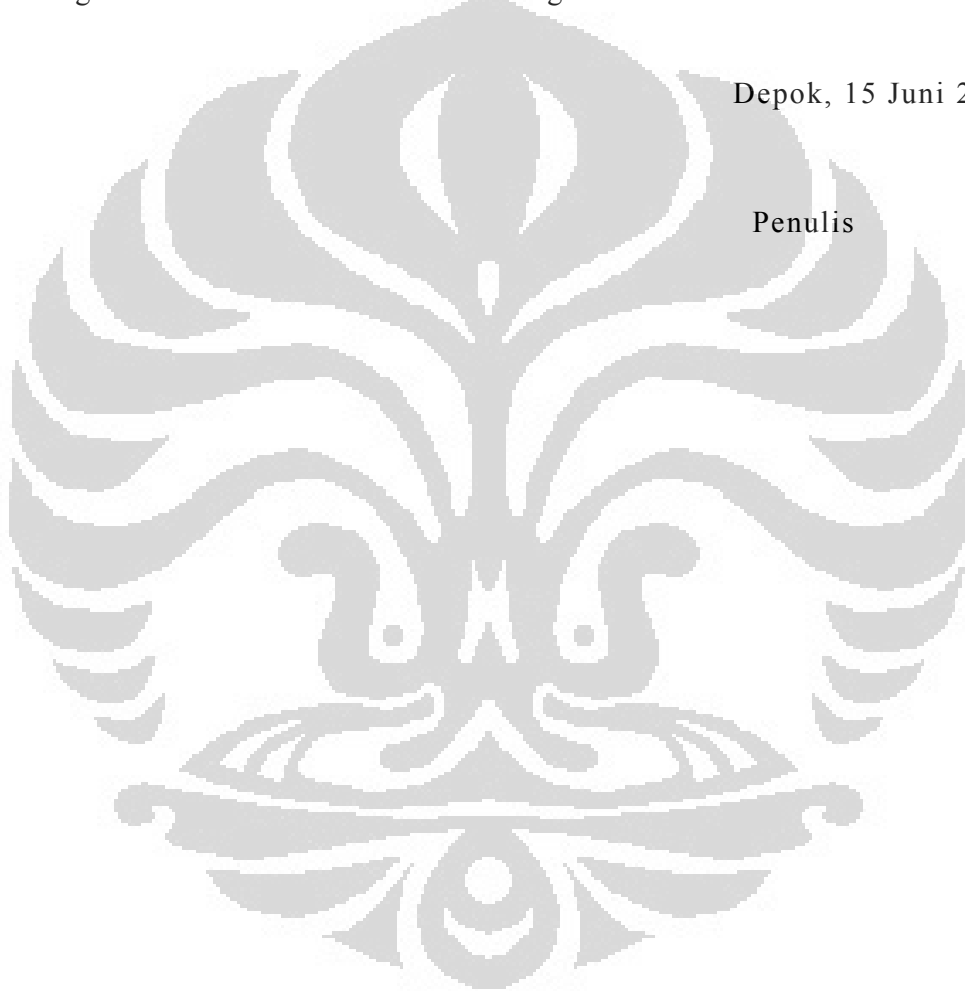
1. Allah AWT yang telah memberikan kekuatan kepada saya untuk menyelesaikan skripsi dan laporan skripsi ini;
2. Ibu Dr. Fitri Yuli Zulkifli, S.T, M.Sc selaku pembimbing utama yang membantu memberikan arahan dan nasihat sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini;
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Eko Tjipto Rahardjo M.Sc selaku pembimbing AMRG yang juga banyak membantu saya dalam mengerjakan skripsi ini;
4. Teman – teman AMRG (*Antenna and Microwave Research Group*), Anne Widiastri, Daryanto, Rudi Saputra, Aditya Inzani, Ahmad Fauzi, dan Siddiq yang telah banyak membantu, bekerjasama, bertukar pikiran, dan memotivasi dalam menyelesaikan skripsi ini;
5. Bapak dan Ibu saya yang selalu memberikan ridho, doa, dan dukungan kepada saya;
6. Para peneliti sebelum ini yang telah memberikan ide dan pengetahuan baru bagi saya;
7. Teman–teman Laboratorium Elektronika, keluarga besar Elektro Angkatan 2007, dan seluruh teman–teman Departemen Teknik Elektro UI yang selalu memberi motivasi dan semangat;
8. Sahabat-sahabat saya, Chairy Wahyu, Puspa Endah W., Ari Nugraheni, Arryadhul Qolbi, Rizky Prasetya dan sahabat-sahabat lainnya, yang selalu mendukung, menemani, dan memotivasi saya dalam pembuatan skripsi ini;

9. Seluruh sivitas akademik Departemen Teknik Elektro yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu.

Saya menyadari bahwa laporan skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan. Dengan segala kerendahan hati, saya mengharapkan kritik dan saran untuk memperbaiki laporan ini pada khususnya dan kemampuan saya pada umumnya. Semoga laporan skripsi ini dapat berguna dan memberikan manfaat bagi kita semua.

Depok, 15 Juni 2011

Penulis



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

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

Nama : Ulil Ulya  
NPM : 0706268051  
Program Studi : Teknik Elektro  
Departemen : Teknik Elektro  
Fakultas : Teknik  
Jenis Karya : Skripsi

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

**RANCANG BANGUN ANTENA WAVEGUIDE 8 SLOT PADA  
FREKUENSI 9,4 GHz**

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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 15 Juni 2011

Yang menyatakan,

  
(Ulil Ulya)

## ABSTRAK

Nama : Ulil Ulya  
Program studi : Teknik Elektro  
Judul : Rancang Bangun Antena Waveguide 8 Slot pada Frekuensi 9,4 GHz

Indonesia telah berhasil membuat radar pengawas pantai sendiri, yang disebut ISRA (*Indonesian Sea Radar*). Antena yang dipakai ISRA merupakan antena mikrostrip *patch* yang terdiri dari 8 modul dan memiliki total 64 *patch* untuk mendapatkan *beamwidth* sebesar  $1,2^\circ$ , karena spesifikasi antena radar harus memiliki *beamwidth* yang sempit. Karena terdiri dari 8 modul, antena ISRA harus memakai *power combiner* untuk menggabungkan kedelapan modulnya, yang akan menimbulkan kesulitan secara mekanis. Salah satu solusi untuk mengatasi masalah ini adalah dengan menggunakan antena waveguide slot sebagai antena radar. Adapun antena waveguide dengan 64 slot akan memiliki *beamwidth* yang sempit dan dapat dirancang dalam satu modul, sehingga tidak diperlukan lagi *power combiner*.

Skripsi ini membahas tentang rancang bangun antena waveguide 8 slot yang bekerja pada frekuensi 9,37 GHz sampai 9,43 GHz dengan VSWR < 1,5. Antena waveguide 8 slot ini merupakan *sub-array* yang kemudian dapat dikembangkan menjadi antena waveguide 64 slot. Dalam merancang antena waveguide 8 slot, posisi dan dimensi slot serta pencatu akan mempengaruhi pola radiasi antena, sehingga untuk mendapatkan parameter antena yang diinginkan, dilakukan karakterisasi pada slot dan pencatu. Hasil rancang bangun antena waveguide 8 slot didapatkan frekuensi kerja di 9,35 – 9,46 GHz, dengan VSWR < 1,5. *Beamwidth* horizontal yang dicapai adalah  $9^\circ$ , dan *gain* antena sebesar 14,17 dBi.

Kata kunci:  
antena waveguide slot, radar



## ABSTRACT

Name : Ulil Ulya  
Program study: Electrical Engineering  
Title : Design of Waveguide 8 Slots Antenna at 9.4 GHz

Indonesia has built its own sea radar, called Indonesian Sea Radar (ISRA). ISRA's antenna is patch microstrip, consists of 8 modules; therefore it contains 64 element patches in total to produce a narrow beamwidth of  $1.2^\circ$ , because the radar requires a narrow beamwidth. The excitation of 8 modules in this antenna required power combiners to combine all of the modules, which will cause a mechanical trouble. Waveguide slot antenna could be a solution for this problem, because with 64 slots, this antenna can produce a narrow beamwidth, and the whole 64 slots can be designed in one module. Therefore, the power combiners are not required anymore.

Design of waveguide 8 slots antenna is proposed in this final project, to operate at 9.37 GHz until 9.43 GHz with VSWR  $< 1.5$ . This antenna is a sub-array which will be developed to design a waveguide 64 slots antenna. In designing this antenna, the position and dimension of slots and feeder will determine how the antenna radiates; therefore iteration will be used to reach the antenna parameters specification requirements. A waveguide 8 slots antenna has been designed and fabricated. The measurement result shows that the antenna operates at 9.35 GHz until 9.46 GHz, with VSWR  $< 1.5$ . This antenna has a good performance with  $9^\circ$  horizontal beamwidth and 14.17 dBi gain.

Keywords:  
waveguide slot antenna, radar

## DAFTAR ISI

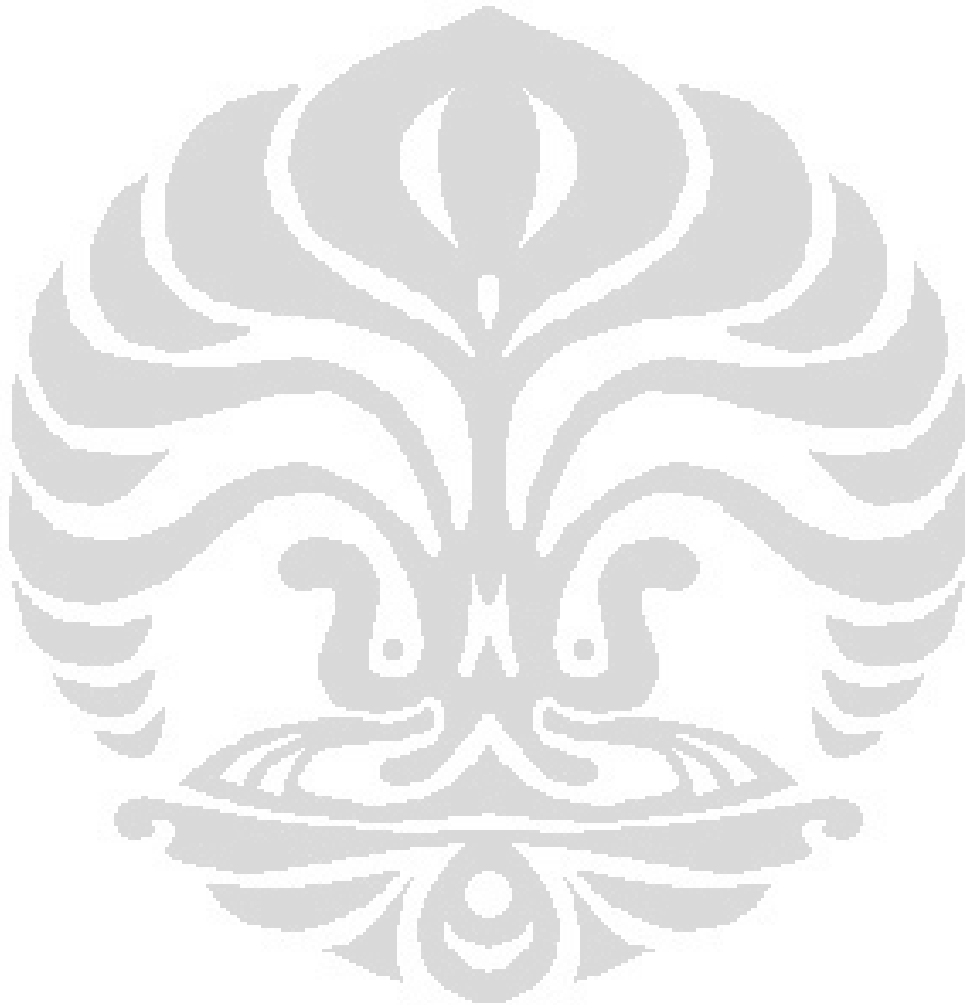
HALAMAN JUDUL.....	ii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS .....	iii
HALAMAN PENGESAHAN .....	iv
UCAPAN TERIMA KASIH .....	v
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI .....	vii
ABSTRAK.....	viii
ABSTRACT .....	ix
DAFTAR ISI .....	x
DAFTAR GAMBAR .....	xii
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR SINGKATAN.....	xv
<b>BAB 1 PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan .....	3
1.4 Batasan Masalah .....	3
1.5 Metode Penelitian.....	3
1.6 Sistematika Penulisan .....	4
<b>BAB 2 ANTENA WAVEGUIDE SLOT.....</b>	<b>6</b>
2.1 <i>Parameter Antena</i> .....	6
2.1.1 Impedansi Masukan.....	6
2.1.2 <i>Matched Impedance</i> .....	7
2.1.3 <i>Bandwidth</i> .....	8
2.1.4 Pola Radiasi.....	10
2.1.5 Penguatan ( <i>Gain</i> ).....	12
2.1.5 Polarisasi .....	13
2.2 Propagasi Gelombang.....	14
2.2.1 Daerah Medan Radiasi Antena.....	14
2.2.2. Daerah Fresnel.....	15
2.3 Antena Waveguide Slot .....	15
2.4 Jenis-jenis Antena <i>Array Waveguide Slot</i> .....	21
2.4.1. <i>Array Resonan Slot Paralel</i> .....	22
2.4.2. <i>Array Resonan Edge-slot Paralel</i> .....	25
2.4.3. <i>Array Resonan Slot Seri</i> .....	26
2.5 Pencatuan Antena Waveguide Slot.....	27
<b>BAB 3 PERANCANGAN ANTENA DAN SIMULASI.....</b>	<b>30</b>
3.1 Pendahuluan .....	30
3.2 Peralatan Digunakan .....	30
3.3 Diagram Alir Perancangan Antena .....	30
3.4 Menentukan Karakteristik Antena .....	31
3.5 Menentukan Tipe Waveguide dan Materialnya.....	32
3.6 Perancangan Dimensi Slot.....	33
3.7 Perancangan Dimensi Pencatu.....	34
3.8 Simulasi Antena Waveguide 8 Slot .....	37
3.8.1 Hasil Simulasi Awal.....	37
3.8.2 Karakterisasi Antena Waveguide 8 Slot.....	38

3.8.2.1 Iterasi Panjang <i>Probe</i> Pencatu .....	39
3.8.2.2 Memperlebar Jarak Slot dengan <i>Centerline</i> .....	40
3.8.2.1 Iterasi Jarak <i>Probe</i> dengan Slot Terdekat .....	42
3.8.3 Rancangan Akhir Antena Waveguide 8 Slot .....	44
<b>BAB 4 FABRIKASI DAN PENGUKURAN ANTENA .....</b>	<b>47</b>
4.1 Peralatan yang Digunakan untuk Pengukuran .....	47
4.2 Pengukuran Antena Waveguide 8 Slot .....	48
4.2.1 Kondisi Pengukuran Antena .....	48
4.2.2 Pengukuran <i>Port</i> Tunggal .....	49
4.4.2.1 Pengukuran <i>Return loss</i> Antena Waveguide 8 Slot .....	50
4.4.2.2 Pengukuran VSWR Antena Waveguide 8 Slot .....	51
4.2.3 Pengukuran Port Ganda .....	51
4.2.3.1 Pengukuran Pola Radiasi Antena Waveguide 8 Slot .....	52
4.2.3.2 Pengukuran <i>Gain</i> Antena Waveguide 8 Slot .....	54
4.3 Analisis Pengukuran .....	55
4.3.2 Pengukuran <i>Port</i> Tunggal .....	55
4.3.2 Pengukuran <i>Port</i> Ganda .....	56
4.3.2.1 Pengukuran Pola Radiasi .....	56
4.3.2.1 Pengukuran <i>Gain</i> .....	57
4.4 Analisis Kesalahan Umum .....	58
<b>BAB 5 KESIMPULAN.....</b>	<b>59</b>
DAFTAR ACUAN .....	60
DAFTAR PUSTAKA .....	61
LAMPIRAN .....	62

## DAFTAR GAMBAR

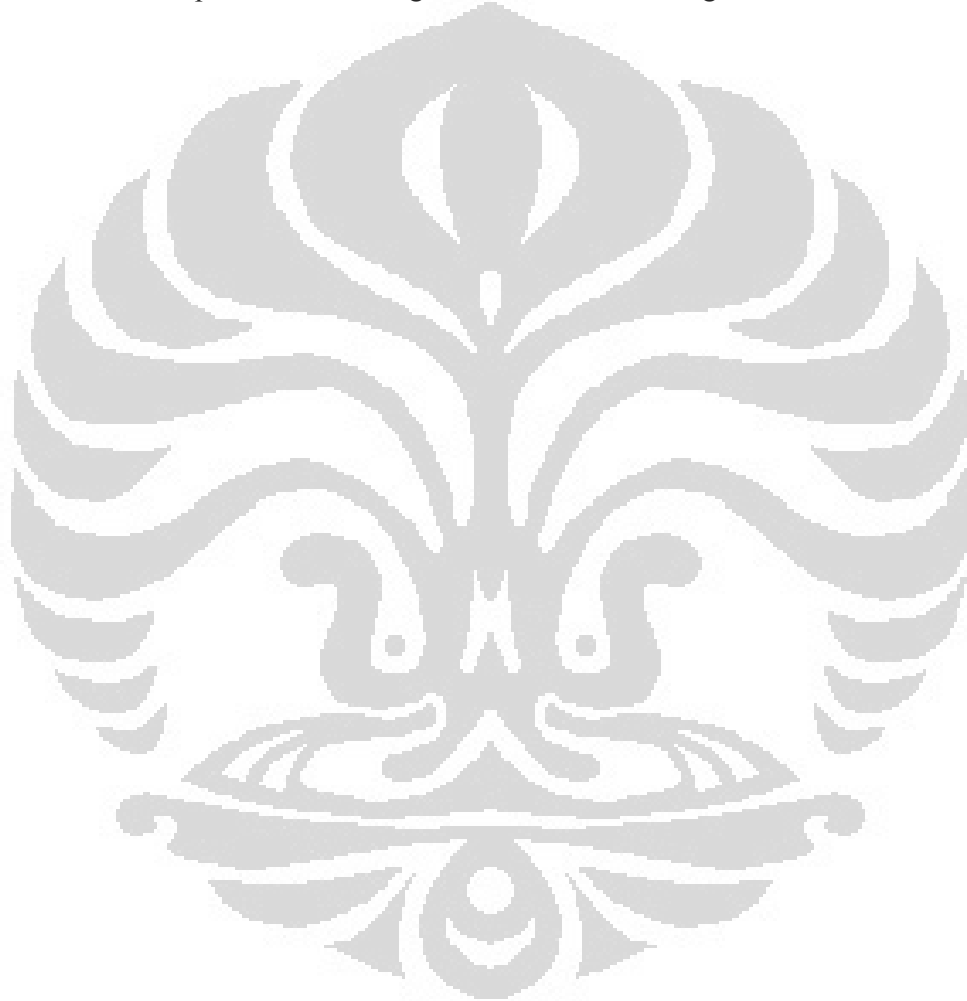
Gambar 2.1	<i>Impedance Bandwidth</i> Berdasarkan Standar (a) <i>Return loss</i> $\leq -9,54$ dB, (b) $VSWR \leq 2$ .....	9
Gambar 2.2	Representasi Pola Radiasi.....	11
Gambar 2.3	Pola Radiasi <i>Omnidirectional</i> [9].....	12
Gambar 2.4	Bentuk Polarisasi Gelombang Elektromagnet Secara Linier, Melingkar, dan <i>Elips</i> . ....	13
Gambar 2.5	Antena Waveguide Slot.....	16
Gambar 2.6	Medan <b>E</b> dan <b>H</b> pada <i>rectangular</i> waveguide untuk $TE_{10}$ [13] ....	17
Gambar 2.7	Medan <b>E</b> pada <i>rectangular</i> waveguide untuk $TE_{10}$ [13]. ....	18
Gambar 2.8	Variasi Posisi Slot pada Waveguide [12].....	19
Gambar 2.9	Arah Medan pada Slot [14].....	21
Gambar 2.10	Pola Radiasi (a) <i>Broadside</i> (b) Bukan <i>Broadside</i> .....	22
Gambar 2.11	Skematik Antena Waveguide Slot [14] .....	23
Gambar 2.12	Antena Waveguide Slot Planar[12] .....	24
Gambar 2.13	Antena Waveguide <i>Edge-Slot</i> [4] .....	25
Gambar 2.14	Pencatuan di Ujung Waveguide dan Tengah Waveguide[12].....	28
Gambar 2.15	Pencatuan di Ujung Waveguide Dengan <i>Coax Probe</i> [15].....	29
Gambar 3.1	Diagram Alir Perancangan Antena .....	31
Gambar 3.2	Slot-slot pada Antena Waveguide 8 Slot.....	34
Gambar 3.3	<i>Probe</i> pada Antena Waveguide 8 Slot.....	34
Gambar 3.4	Penampang Vertikal <i>Probe</i> pada Antena Waveguide .....	35
Gambar 3.5	Penampang Melintang <i>Coaxial Probe</i> .....	35
Gambar 3.6	<i>Analytical Line Impedance</i> pada <i>Macros-Calculate</i> Software CST 2009.....	36
Gambar 3.7	Rancangan Antena Waveguide Slot dengan <i>Probe</i> Sebagai Pencatu.....	37
Gambar 3.8	Hasil Simulasi Antena Waveguide 8 Slot dengan <i>Probe</i> Sebagai Pencatu, <i>Return loss</i> (dB) vs Frekuensi (GHz).....	38
Gambar 3.9	Gambar Spesifikasi Antena yang Akan Diiterasi (A) <i>Probe</i> pada Ujung Antena Waveguide Tampak Atas, (B) <i>Probe</i> pada Ujung Waveguide Tampak Samping (C) Slot pada Antena Waveguide Tampak Atas.....	39
Gambar 3.10	Hasil Simulasi Iterasi Panjang <i>Probe</i> (d) pada Antena Waveguide 8 Slot, <i>Return loss</i> (dB) vs Frekuensi (GHz).....	40
Gambar 3.11	Hasil Simulasi Iterasi Jarak Slot dengan <i>Centerline</i> Antena Waveguide 8 Slot, <i>Return loss</i> (dB) vs Frekuensi (GHz).....	41
Gambar 3.12	Hasil Simulasi Iterasi Panjang <i>Probe</i> pada Antena Waveguide 8 Slot, <i>Return loss</i> (dB) vs Frekuensi (GHz).....	42
Gambar 3.13	Hasil Simulasi Iterasi Jarak <i>Probe</i> dengan Slot Terdekat pada Antena Waveguide 8 Slot, <i>Return loss</i> (dB) vs Frekuensi (GHz).....	43
Gambar 3.14	Hasil Simulasi Akhir Antena Waveguide 8 Slot, (a) <i>Return loss</i> (dB) vs Frekuensi (GHz) (b)Pola Radiasi Polar Bidang <i>Theta</i> (c) Pola Radiasi Cartesian Bidang <i>Theta</i> (d) Pola Radiasi 3	

	Dimensi.....	46
Gambar 4.1	Hasil Fabrikasi Antena Waveguide 8 Slot.....	49
Gambar 4.2	<i>Return loss</i> Hasil Pengukuran Antena Waveguide 8 Slot dengan Menggunakan <i>Network Analyzer</i> .....	50
Gambar 4.3	Hasil Pengukuran VSWR Antena Waveguide 8 Slot.....	51
Gambar 4.4	Hasil Pengukuran Pola Radiasi <i>E co</i> Antena Waveguide 8 Slot....	53
Gambar 4.5	Perbandingan Hasil Pengukuran dan Hasil Simulasi Pola Radiasi <i>E co</i> Antena Waveguide 8 Slot .....	53



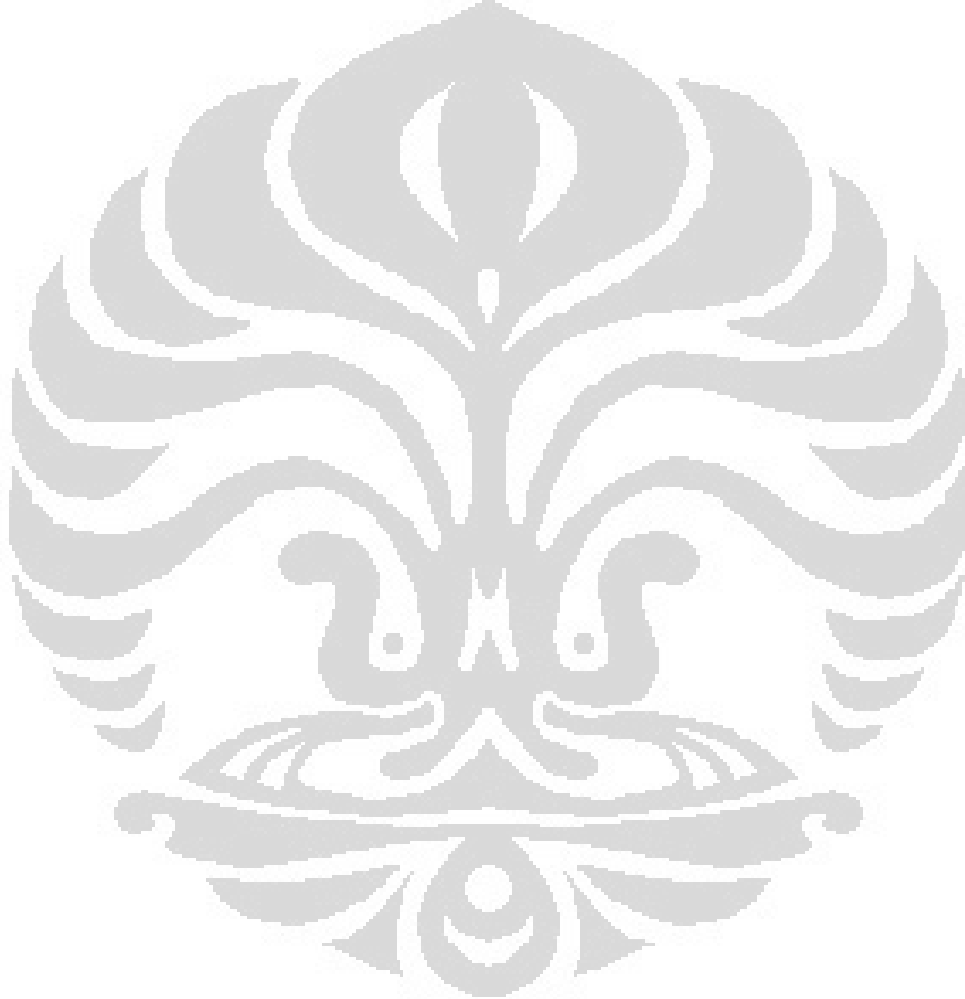
## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Data Tipe dan Frekuensi Kerja Rectangular Waveguide[9].....	32
Tabel 3.2	Spesifikasi Bahan Material Waveguide.....	33
Tabel 3.3	Spesifikasi Awal Antena Waveguide 8 Slot.....	37
Tabel 3.4	Spesifikasi Antena Waveguide 8 Slot untuk Iterasi Panjang <i>Probe</i> ..	40
Tabel 3.5	Spesifikasi Antena Waveguide 8 Slot untuk Iterasi Jarak <i>Probe</i> .....	43
Tabel 3.6	Spesifikasi Rancangan Akhir Antena Waveguide 8 Slot .....	44



## DAFTAR SINGKATAN

AUT	Antenna Under Test
dB	Decible
dBi	Decible isotropic
ISRA	Indonesian Sea Radar
RL	Return loss
SMA	SubMiniature version A
TE	Traverse Electric
VSWR	Voltage Standing Wave Ratio



# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara maritim dengan wilayah yang sangat luas, dimana 2/3 dari wilayah Indonesia berupa perairan dan memiliki lebih dari 17.000 ribu pulau. Untuk melaksanakan tugas keamanan dan pengawasan kepulauan di Indonesia ini, diperlukan aparat dan peralatan yang berjumlah sangat besar. Kemampuan TNI dan Polri untuk mengawasi wilayah RI sangat terbatas sehingga wilayah perairan Indonesia rawan akan pencurian ikan, pelanggaran wilayah oleh kapal-kapal asing, pembajakan kapal laut dan penyelundupan. Salah satu cara untuk meningkatkan kemampuan aparat pemerintah dalam mengawasi dan mengamankan wilayah perairan Indonesia adalah dengan menggunakan radar pengawas pantai. Radar ini digunakan untuk mengawasi pergerakan kapal-kapal laut sehingga dapat dicegah tindakan-tindakan yang dapat merugikan Indonesia dan juga tabrakan kapal apabila hendak merapat ke pelabuhan.

Antena merupakan komponen yang sangat krusial pada sistem radar karena dapat menentukan unjuk kerja dari keseluruhan sistem radar terutama untuk pemrosesan sinyal yang diterima, sehingga pekerjaan sinyal prosesi tidak berat. Salah satu spesifikasi yang sangat krusial dalam merancang antena radar pengawas pantai adalah *beamwidth* yang cukup kecil yaitu sekitar 1 derajat. Adapun spesifikasi teknis antena untuk radar pengawas pantai adalah sebagai berikut [1]:

- Frekuensi kerja: 9,37 – 9,43 GHz.
- *Bandwidth*  $\geq$  60 MHz
- *Gain*  $>$  15 dB
- *Beamwidth*  $<$  1,2 derajat
- VSWR:  $<$  1,5
- Polarisasi: Horizontal



ISRA (*Indonesian Sea Radar*) merupakan radar pengawas pantai yang telah dibuat oleh LIPI (Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia) dan dirancang untuk bekerja pada frekuensi 9,4 GHz. Antena yang dipakai ISRA menggunakan teknologi mikrostrip dan terdiri atas 8 modul untuk bagian penerima maupun pemancar. Masing-masing modul terdiri dari 8 *patch* segiempat, sehingga total *patch* dalam antena pemancar atau penerima adalah 64 buah. Dengan antena mikrostrip 64 *patch* ini, spesifikasi antena radar seperti yang telah dijelaskan sebelumnya telah tercapai. Namun, ada masalah yang timbul dalam sistem antena mikrostrip 8 modul ini, yaitu:

1. Untuk membentuk sistem antena pemancar atau penerima kedelapan modul antena tersebut harus digabungkan oleh *power combiner*. Modul-modul tersebut disalurkan melalui kabel *coaxial* dimana satu sama lain mempunyai persyaratan harus *phase-match*, yaitu secara teknis harus mempunyai perbedaan 3 derajat.
2. Penyusunan tiap-tiap modul yang tidak sesuai akan menimbulkan refleksi antar modul.

Adapun kelemahan-kelemahan di atas muncul karena antena ISRA terdiri dari 8 modul mikrostrip yang digabungkan. Cara menanggulangi masalah yang ditimbulkan oleh antena 8 modul mikrostrip ini adalah dengan menggunakan antena waveguide 64 slot untuk aplikasi radar. Antena waveguide slot memiliki polarisasi linier, *gain* yang cukup besar, dan *beamwidth* sempit sehingga cocok untuk dijadikan antena radar pengawas pantai. Dengan jumlah slot yang sama dengan jumlah *patch* pada antena ISRA, antena waveguide slot dapat memiliki *beamwidth* yang cukup sempit untuk dijadikan antena radar pengawas pantai. Kelebihan antena waveguide slot dibandingkan antena *patch* mikrostrip adalah antena ini dapat memiliki 64 slot dalam satu modul, sehingga tidak diperlukan lagi *power combiner* untuk penggabungan antar-modul. Sehingga, kerugian akibat menggunakan *power combiner* ini dapat dieliminasi dengan pemakaian antena waveguide slot sebagai antena radar.

Pada skripsi ini, akan dirancang antena waveguide slot dengan jumlah slot 8 buah untuk bekerja di frekuensi 9,37 – 9,43 GHz dengan  $VSWR < 1,5$ . Seperti pada satu modul antena ISRA, yaitu antena mikrostrip 8 *patch*, antena waveguide

8 slot memiliki *beamwidth* yang sempit, namun tidak cukup sempit untuk aplikasi antenna radar. Sehingga untuk ke depannya (*future work*), antenna waveguide 8 slot ini dapat diperbanyak jumlah slotnya menjadi antenna waveguide 64 slot, untuk mendapatkan spesifikasi *gain* dan *beamwidth* yang lebih baik.

Antena waveguide slot telah banyak diteliti dan dikembangkan. Beberapa telah mempelajari teknik perhitungan dimensi slot pada longitudinal slot [2] untuk polarisasi linier horizontal dan pengembangan *cross slot* [3] untuk polarisasi circular. Beberapa juga telah melakukan analisa dan pengembangan slot *samping/edge slot* antara lain [4] yang bekerja pada frekuensi 9,2 GHz sampai 10,6 GHz, [5] yang dapat menghasilkan level *cross polarization* rendah, dan [6] yang membahas tentang pengaruh ketebalan dinding waveguide. Pengembangan lainnya antara lain melapisi antenna waveguide slot [7] yang beroperasi pada frekuensi 10 GHz untuk memperkecil konduktansi resonan.

## 1.2 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah melakukan rancang bangun antenna waveguide 8 slot yang bekerja pada frekuensi 9,37 GHz sampai 9,43 GHz, yang merupakan *sub-array* dan kemudian dapat dikembangkan menjadi antenna waveguide 64 slot. *Bandwidth* antenna yang dibutuhkan adalah 60 MHz pada  $VSWR < 1,5$ , dan untuk antenna waveguide 8 slot ini, *beamwidth* tujuan antenna adalah lebih kecil dari  $10^\circ$ .

## 1.3 Batasan Masalah

Skripsi ini dibatasi pada rancang bangun antenna waveguide 8 slot, untuk mencapai spesifikasi frekuensi kerja 9,37 GHz sampai 9,43 GHz pada  $VSWR < 1,5$ . *Bandwidth* antenna ini minimal mencapai 60 MHz dan *beamwidth* horizontal yang harus dicapai adalah kurang dari/sama dengan  $10^\circ$ .

## 1.4 Metode Penelitian

Metode yang digunakan pada penelitian dan penulisan skripsi ini adalah:

a. Studi Kepustakaan

Metode ini dilakukan untuk mendasarkan penelitian pada bahan-bahan literatur dan jurnal-jurnal penelitian yang telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya.

b. Simulasi Perangkat Lunak

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

c. Pengukuran Antena

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

## 1.5 Sistematika Penulisan

Penulisan makalah ini mengikuti sistematika sebagai berikut ini:

### Bab 1: Pendahuluan

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

### Bab 2: Antena Waveguide Slot

Bagian ini akan berisi tentang bahasan teori dasar mengenai parameter antenna, teori antenna waveguide slot, jenis-jenis *array* pada antenna waveguide slot serta cara merancanginya, dan pencatuan antenna waveguide slot.

### Bab 3 Perancangan Antena dan Simulasi

Bagian ini memberikan penjelasan mengenai perlengkapan yang dibutuhkan dalam perancangan antenna waveguide 8 slot, prosedur perancangan, hasil simulasi awal, karakterisasi antenna untuk mendapatkan spesifikasi yang diinginkan, serta hasil simulasi dan analisis hasil simulasi yang telah dilakukan.

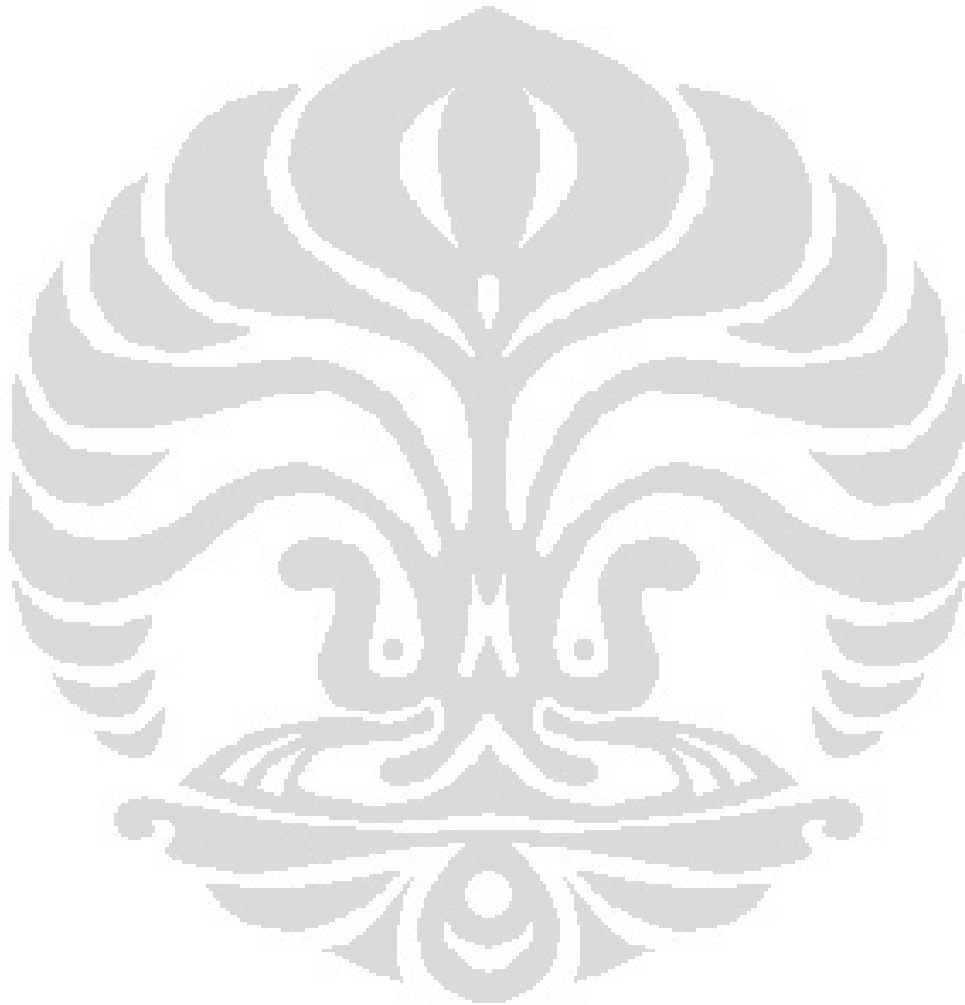
### Bab 4 Fabrikasi dan Pengukuran Antena

Bagian ini menjelaskan hasil fabrikasi antenna waveguide 8 slot berdasarkan hasil simulasi, peralatan yang digunakan untuk pengukuran antenna, hasil pengukuran

parameter-parameter antena yang meliputi pengukuran *port* tunggal dan *port* ganda, serta analisis terhadap hasil pengukuran tersebut.

## Bab 5 Kesimpulan

Bab ini berisi kesimpulan dari keseluruhan pembahasan sebelumnya.



## BAB 2

### ANTENA WAVEGUIDE SLOT

#### 2.1 Parameter Antena

Berdasarkan *IEEE Standard Definitions of Term for Antennas* (IEEE Std 145-1983), antena didefinisikan sebagai sesuatu untuk meradiasikan atau menerima gelombang radio[8]. Antena merupakan terminal akhir pada sisi *transmitter* sebagai perangkat yang berfungsi meradiasikan sinyal informasi dari sumber dalam bentuk gelombang RF (*Radio Frequency*) dan merupakan terminal pertama yang menerima gelombang RF yang membawa sinyal informasi di dalamnya pada sisi penerima (*receiver*). Antena memiliki beberapa parameter yang menentukan performansi kerja dari antena tersebut. Parameter-parameter tersebut antara lain adalah impedansi masukan, *matched impedance* (termasuk di dalamnya *return loss* dan VSWR), *bandwidth*, pola radiasi, *gain*, dan polarisasi.

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

Impedansi masukan didefinisikan sebagai impedansi dari antena pada terminal penghubungnya atau merupakan rasio tegangan dengan arus pada pasangan terminal atau rasio dari komponen yang bersesuaian dari medan elektrik dengan medan magnetik pada suatu titik[8]. Impedansi masukan antena dirumuskan secara matematis sebagai berikut:

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

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

Terdapat dua jenis resistansi pada antena yaitu  $R_L$  (*Loss Resistance*) dan  $R_r$  (*Radiation Resistance*)[8]. *Loss Resistance* merupakan resistansi yang menyebabkan hilangnya daya dalam bentuk energi panas. Sedangkan *Radiation Resistance* adalah resistansi yang digunakan untuk meradiasikan gelombang elektromagnetik. Nilai resistansi antena merupakan penggabungan nilai resistansi radiasi dan resistansi rugi-rugi.

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

Pada praktisnya, nilai impedansi antenna harus dibuat sedemikian rupa agar bernilai sama dengan nilai impedansi saluran transmisi. Ketika nilai impedansi masukan sama dengan impedansi karakteristik, maka kondisi *matching* akan terpenuhi. Disebut kondisi *matching* apabila gelombang yang ditransmisikan dari saluran transmisi ke antenna dapat diteruskan seluruhnya dan tidak ada gelombang yang dipantulkan kembali. Saluran transmisi biasanya memiliki nilai hambatan 50  $\Omega$  atau 75  $\Omega$ . Dalam penelitian ini, impedansi masukan dirancang dengan nilai 50  $\Omega$ . *Matching circuit* (rangkaian pembuat *matching*) merupakan rangkaian yang dapat menghubungkan dua struktur yang memiliki nilai hambatan yang berbeda, dapat dipakai apabila impedansi antenna tidak sama dengan impedansi saluran transmisi.

### 2.1.2 Matched Impedance

Dalam teorema saluran transmisi, suatu saluran dapat dikatakan mencapai kondisi *matched* apabila nilai koefisien refleksi memiliki nilai nol ( $\Gamma = 0$ ). Kondisi tersebut dicapai apabila nilai impedansi beban sama dengan nilai impedansi karakteristik. Pada kondisi ini, tidak ada lagi gelombang yang dipantulkan dari beban ke saluran transmisi. Nilai koefisien refleksi tersebut dapat dijadikan sebagai suatu parameter penting untuk mengetahui suatu jaringan *matched* atau tidak. Nilai koefisien refleksi dirumuskan sebagai[9]:

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

Dengan  $Z_L$  merupakan impedansi beban, sedangkan  $Z_0$  merupakan impedansi karakteristik.

Terdapat tiga kondisi koefisien refleksi ketika komponen imajinerinya bernilai nol, yaitu:

- a)  $\Gamma = 0$ , merupakan saluran transmisi dan beban dalam kondisi *matching*, yaitu tidak ada gelombang yang dipantulkan dan seluruhnya diteruskan ke beban.
- b)  $\Gamma = +1$ , koefisien refleksi positif maksimum ketika nilai impedansi beban menuju tak terhingga ( $\infty$ ) atau dengan kata lain saluran transmisi berada

pada kondisi *open circuit* sehingga seluruh gelombang datang akan dipantulkan kembali.

- c)  $\Gamma = -1$ , koefisien refleksi negatif minimum ketika nilai impedansi beban nol (0) atau saluran transmisi berada pada kondisi *short circuit* dimana pada kondisi ini seluruh gelombang akan terus dialirkan pada saluran transmisi.

Pada prakteknya, kondisi *matched* sulit sekali dicapai. Kondisi tidak *matched* ini menyebabkan tidak semua daya dari sumber (*generator*) diterima oleh beban, sehingga ada daya yang dikembalikan/dipantulkan. Adanya rugi-rugi yang dihasilkan ini disebut sebagai *Return Loss* dan dirumuskan sebagai:

$$RL = 20 \log|\Gamma| = 20 \log \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} \quad (2.4)$$

Superposisi antara gelombang datang dengan gelombang pantul akan menghasilkan gelombang berdiri [10]. VSWR (*Standing Wave Ratio*) adalah perbandingan antara amplitudo gelombang berdiri (*standing wave*) maksimum ( $|V|_{\max}$ ) dengan minimum ( $|V|_{\min}$ ). VSWR tersebut juga memiliki korelasi dengan koefisien refleksi. Hal ini dapat dilihat pada persamaan untuk memperoleh VSWR, yaitu [9]:

$$VSWR = \frac{V_{\max}}{V_{\min}} = \frac{1+|\Gamma|}{1-|\Gamma|} \quad (2.5)$$

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

### 2.1.3 *Bandwidth*

*Bandwidth* sebuah antenna dapat didefinisikan sebagai rentang frekuensi dimana performa antenna sesuai dengan standar yang ditetapkan. *Bandwidth* suatu antenna juga dapat didefinisikan sebagai rentang antar frekuensi samping dari suatu frekuensi tengah (biasanya frekuensi resonansi untuk antenna *dipole*) yang mana karakteristik-karakteristik antenna (seperti impedansi masukan, pola radiasi, *beamwidth*, polarisasi, *gain*, VSWR, dan *return loss*) masih terpenuhi [8].

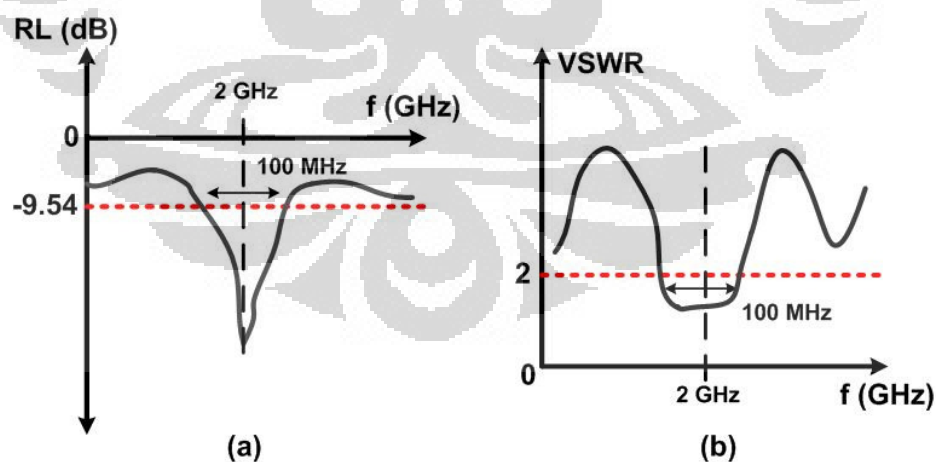
Terdapat dua jenis *bandwidth* yang dibedakan berdasarkan parameter penentunya, yaitu[8]:

a. *Pattern bandwidth*

*Pattern bandwidth* adalah 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. Secara umum *pattern bandwidth* sangat ditentukan dari parameter yang berhubungan dengan efek radiasinya.

b. *Impedance bandwidth*

*Impedance bandwidth* adalah 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. Misalnya pada skripsi ini, antenna yang dibuat diharapkan memiliki *Impedance bandwidth* minimal 60 MHz di *range* frekuensi 9,37-9,43 GHz dengan nilai *return loss*  $\leq 14$  dB atau *VSWR*  $\leq 1,5$  dB. Gambar 2.1 adalah contoh dari *impedance bandwidth* sebesar 100 MHz berdasarkan standar *Return Loss*  $\leq -9,54$  dB dan *VSWR*  $\leq 2$ .



Gambar 2.1. *Impedance Bandwidth* Berdasarkan Standar (a) *Return Loss*  $\leq -9,54$  Db, (b) *VSWR*  $\leq 2$



*Bandwidth* dinyatakan sebagai perbandingan antara frekuensi atas dan frekuensi bawah dalam level yang dapat diterima[8].

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

Dimana,

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

Dengan;

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

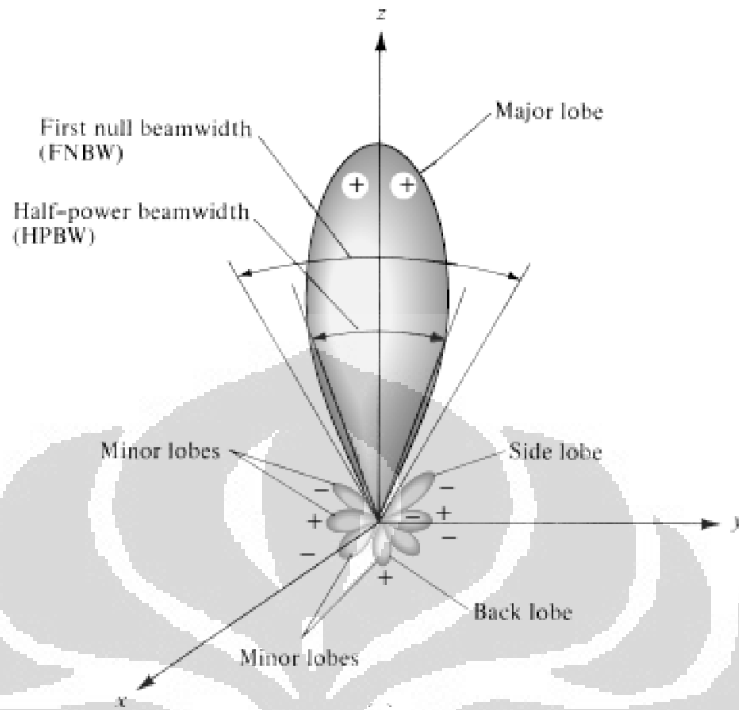
$f_l$  = frekuensi terendah dalam *band* (GHz)

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

#### 2.1.4 Pola Radiasi

Radiasi yang dihasilkan antenna akan memiliki pola tertentu dan pola ini akan berbeda untuk jenis antenna yang berbeda. Pola radiasi antenna didefinisikan sebagai fungsi matematis atau sebuah representasi grafik dari radiasi antenna sebagai sebuah fungsi dari koordinat ruang. Pada umumnya, pola radiasi ditentukan pada daerah *far-field* dan direpresentasikan sebagai suatu fungsi koordinat arah. Pola radiasi ini direpresentasikan dengan *lobes* dimana terdapat bagian yang disebut sebagai *main/major* (utama), *side* (samping), serta *back* (belakang) [10]. *Mainlobe* ialah *lobe* radiasi yang memiliki arah radiasi maksimum. *Sidelobe* ialah *lobe* selain *mainlobe*, sedangkan *backlobe* ialah *lobe* yang arahnya berlawanan 180° dengan *mainlobe*. *Sidelobe* dan *backlobe* merupakan minor *lobe* yang keberadaannya tidak diharapkan. Representasi pola radiasi dapat dilihat pada Gambar 2.2.

Pola radiasi ini menunjukkan medan radiasi antenna yang terdiri dari medan listrik dan medan magnetik. Terdapat tiga tipe pola radiasi antenna, yaitu isotropik, *directional*, dan *omnidirectional* [8].



Gambar 2.2. Representasi Pola Radiasi

a. *Isotropik*

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

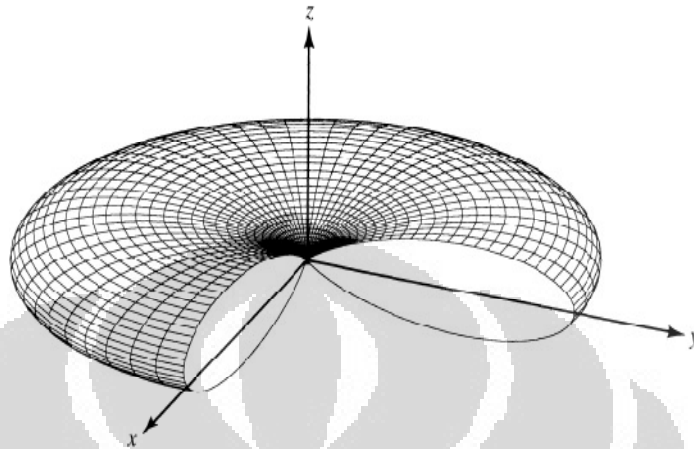
b. *Directional*

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

c. *Omnidirectional*

Pola radiasi ini dibentuk dengan penggabungan pola dari dua bidang yang saling *orthogonal* dimana pola pada salah satu bidang tidak terarah sedangkan

pola pada bidang lainnya merupakan pola terarah. Gambar 2.3 mengilustrasikan pola radiasi *omnidirectional*.



Gambar 2.3. Pola Radiasi *Omnidirectional* [9]

### 2.1.5 Penguatan (*Gain*)

Penguatan. antenna dapat dibedakan mejadi dua jenis, yaitu *absolute gain* dan *relative gain*. *Absolute gain* pada sebuah antenna merupakan 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 dihitung dengan persamaan[8]:

$$gain = 4\pi \frac{U(\theta, \phi)}{P_{in}} \quad (2.8)$$

Sedangkan *Relative gain* didefinisikan 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* dirumuskan sebagai berikut[8]:

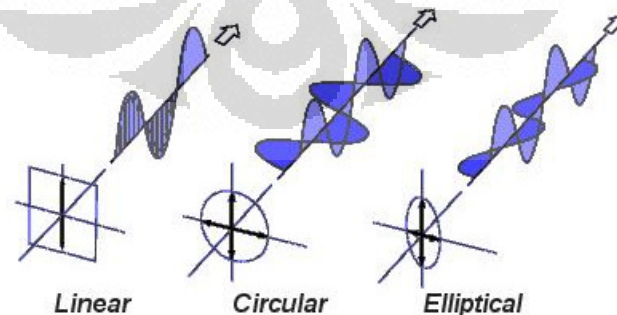
$$G = \frac{4\pi U(\theta, \phi)}{P_{in(lossless)}} \quad (2.9)$$

### 2.1.6 Polarisasi

Polarisasi antenna merupakan polarisasi gelombang yang ditransmisikan atau diradiasikan oleh antenna[8]. 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[8].

Arah polarisasi biasanya searah dengan arah *gain* maksimum. Magnitudo dan fasa dari medan akan menentukan jenis polarisasi gelombang elektromagnet yang diradiasikan. Terdapat tiga jenis polarisasi gelombang berdasarkan magnitudo dan beda fasa medan, yaitu *linear* (linier), *circular* (melingkar), atau *elliptical* (*elips*).

Polarisasi linier 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. Polarisasi melingkar 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, sedangkan polarisasi *elips* terjadi ketika gelombang yang berubah menurut waktu memiliki vektor medan (elektrik atau magnet) berada pada jalur kedudukan *elips* pada ruang[8]. Gambar 2.4 mengilustrasikan polarisasi linier, melingkar, dan *elips*.



Gambar 2.4. Bentuk Polarisasi Gelombang Elektromagnet Secara Linier, Melingkar, dan *Elips*

## 2.2. Propogasi Gelombang

### 2.2.1 Daerah Medan Radiasi Antena

Daerah medan radiasi antena terbagi menjadi tiga daerah [8]. Pada masing-masing daerah ini karakteristik distribusi medan akan berbeda, yaitu pada fungsi distribusi medan terhadap jarak.

#### a. *Reactive Near-field Region*

Daerah ini merupakan daerah yang paling dekat dengan antena, dimana medan reaktif paling mendominasi dibandingkan dengan medan radiasi. Medan radiasi antena pada daerah ini belum stabil dan daerah ini tidak dapat digunakan sebagai daerah propagasi antena untuk keperluan transmisi.

#### b. *Radiating Near-field Region*

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

Daerah ini didominasi oleh medan radiasi dan distribusi medan angular sangat tergantung pada jarak  $1/r^2$ . Kekuatan medan memang tidak secara signifikan berkurang dengan bertambahnya jarak, namun medan yang ada pada daerah ini akan memiliki karakter osilator (bolak-balik) sehingga daerah transisi ini belum dapat digunakan untuk menghitung *gain* antena [11].

#### c. *Far-field Region*

Merupakan daerah dimana pola radiasi antena tidak bergantung pada jarak. Medan radiasi pada daerah ini sudah stabil, sehingga pengukuran parameter antena seperti pola radiasi dan *gain* dilakukan pada daerah ini. Daerah *far-field* antena dimulai pada  $R_2$  hingga pada jarak tak hingga. Namun tentu saja jarak maksimum daerah ini juga ditentukan oleh *gain* antena yang terbatas dan adanya rugi-rugi propagasi udara. Sehingga jarak *far-field* tidak mencapai tak hingga. Agar propagasi gelombang dari antena pengirim menuju antena penerima berhasil, jarak antara pengirim dan penerima harus memenuhi jarak *far-field*, yaitu:

$$R_2 = 2 D^2 / \lambda \quad (2.10)$$

dimana D menyatakan dimensi linier terbesar dari antenna [m]

### 2.2.2 Daerah Fresnel

Daerah Fresnel merupakan daerah yang muncul karena adanya sinyal yang berpropagasi dari pengirim menuju penerima dimana perangkat antenna ditempatkan pada ketinggian tertentu. Kerapatan udara berbanding terbalik dengan ketinggian, sehingga semakin tinggi posisi tertentu, maka kerapatan udara pada posisi tersebut akan semakin rendah. Kondisi udara yang heterogen ini akan menyebabkan sinyal elektromagnet terefraksi sehingga sinyal yang dikirimkan dari pengirim ke penerima akan membentuk pola *ellipsoid*. Daerah propagasi yang berbentuk *ellipsoid* itulah yang disebut sebagai Daerah Fresnel. Agar jalur propagasi *Line of Sight*, maka daerah Fresnel pertama harus bebas dari objek penghalang, hal ini dapat dilakukan dengan mengetahui radius daerah Fresnel tersebut sehingga ketinggian penempatan antenna dapat ditentukan. Persamaan berikut ini dapat digunakan untuk mencari radius daerah Fresnel pertama. Dengan mengetahui radius ini, maka ketinggian antenna dapat dihitung terhadap ketinggian objek penghalang dan atau permukaan bumi sehingga jalur propagasi *Line of Sight*.

$$F_1 = 17,3 \times \sqrt{\frac{d_1 d_2}{f(d_1 + d_2)}} \quad (2.11)$$

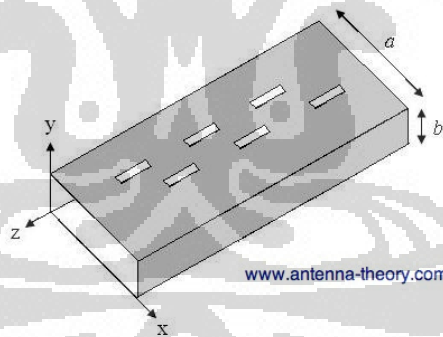
Dimana  $F_1$  menyatakan radius daerah Fresnel pertama [m],  $d$  menyatakan jarak antara antenna ( $d_1 + d_2$ ) [km], dan  $f$  menyatakan frekuensi kerja [GHz].

### 2.3 Antena Waveguide Slot

Antena waveguide slot sering digunakan sebagai antenna microwave omnidirectional, seperti dalam sistem navigasi, dan radar. Antena ini memiliki efisiensi yang tinggi dan polarisasi liner dengan *cross-polarization* yang rendah. Antena waveguide slot memiliki beberapa kelebihan, yaitu desain lebih sederhana dengan tidak lagi dibutuhkannya balun dan *matching network*, karena sistem *feeding* sudah merupakan bagian dari antenna itu sendiri[12].

Pada umumnya, antena waveguide slot memiliki slot-slot yang sempit, disusun seperti *array* pada dinding waveguide. Slot-slot yang sempit akan cenderung *narrowband* (memiliki *bandwidth* yang sempit), dan memiliki isolasi *cross-polarization* yang tinggi saat beroperasi di sekitar frekuensi resonansinya. Melebarkan slot akan dapat melebarkan *bandwidth*, namun *polarization purity* tidak sebaik pada slot yang sempit. Sehingga waveguide slot pada umumnya memiliki *bandwidth* yang terbatas.

Slot yang melubangi dinding waveguide akan menginterupsi aliran arus yang mengalir pada dinding waveguide, membuat arus mengitari slot tersebut, sehingga daya akan di-*couple* dari medan waveguide melalui lubang slot ke *free space*. Agar eksitasi slot-slot yang linier dapat terkontrol dengan baik, direkomendasikan agar waveguide hanya beroperasi pada *single-mode*, dan lebih baik pada mode paling kecil [12]. Untuk antena waveguide slot yang berbentuk *rectangular*, mode yang dimiliki adalah  $TE_{10}$ . Dengan menggunakan teori eksitasi medan magnet dan listrik pada waveguide [9], didapatkan medan elektrik dan magnetik-nya adalah [12]:



Gambar 2.5. Antena Waveguide Slot

$$H_x = \frac{-\beta}{\omega\mu} E_0 \sin\left(\frac{\pi x}{a}\right) e^{-j\beta z} \quad (2.12)$$

$$E_y = E_0 \sin\left(\frac{\pi x}{a}\right) e^{-j\beta z} \quad (2.13)$$

$$H_z = \frac{j\beta}{\omega\mu} E_0 \cos\left(\frac{\pi x}{a}\right) e^{-j\beta z} \quad (2.14)$$

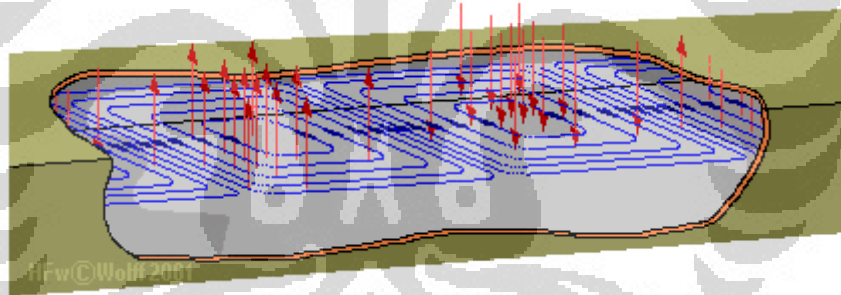
Dengan  $E_0$  adalah konstanta yang menentukan seberapa besar daya yang ditambahkan ke waveguide. Nilai  $E_0$  setara dengan  $-A_{mn} \pi / a \epsilon$ .

Hubungan antara propogasi konstan dan panjang gelombang waveguide ( $\lambda_g$ ) pada rectangular waveguide adalah sebagai berikut

$$\beta = \sqrt{k^2 - k_c^2} = \frac{2\pi}{\lambda_g} \quad (2.15)$$

dengan  $k_c = \pi/a$  untuk  $TE_{10}$ , dan  $k = 2\pi/\lambda$ , sedangkan panjang gelombang cut-off adalah  $\lambda_c = 2a$ .

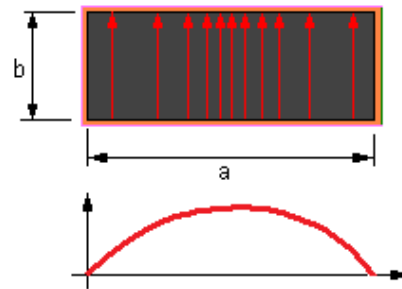
Untuk propogasi gelombang di dalam rongga waveguide sendiri, dapat diilustrasikan pada Gambar 2.6. Garis merah menunjukkan medan listrik ( $\mathbf{E}$ ), sedangkan garis biru menunjukkan medan magnet ( $\mathbf{H}$ ). Untuk  $TE_{10}$ , medan  $\mathbf{E}$  akan berulang setiap  $\lambda_g/2$  pada rongga waveguide, namun pada fase yang berlawanan.



Gambar 2.6. Medan  $\mathbf{E}$  dan  $\mathbf{H}$  pada *rectangular* waveguide untuk  $TE_{10}$  [13]

Medan  $\mathbf{E}$  maksimum pada pusat waveguide dan minimum di dekat dinding samping waveguide. kerapatan medan  $\mathbf{E}$  bervariasi seperti gelombang sinusoidal, seperti terlihat pada Gambar 2.7.





Gambar 2.7 Medan  $\mathbf{E}$  pada *rectangular* waveguide untuk  $TE_{10}$ [13]

Tangent medan magnet terhadap konduktor akan menghasilkan arus listrik pada permukaan waveguide. Kerapatan arus permukaan  $\mathbf{J}$  [Amp/m] dapat ditentukan dengan menggunakan unit normal terhadap permukaan ( $\mathbf{n}$ ), yaitu[12]:

$$\mathbf{J} = \hat{\mathbf{n}} \times \mathbf{H} \quad (2.16)$$

Pada dinding atas waveguide, atau pada  $y=b$ , rapat arus yang eksis adalah  $J_x$  dan  $J_z$

$$J_x = -j \frac{\pi}{\omega \mu a} E_0 \cos\left(\frac{\pi x}{a}\right) e^{-j\beta z} \quad (2.17)$$

$$J_z = -\frac{\pi}{\omega \mu a} E_0 \cos\left(\frac{\pi x}{a}\right) e^{-j\beta z} \quad (2.18)$$

Pada dinding bawah waveguide, atau  $y=0$ , rapat arus yang eksis sama seperti pada dinding atas waveguide, hanya saja arahnya berlawanan.

$$\mathbf{J}_{\text{bawah}} = -\mathbf{J}_{\text{atas}} \quad (2.19)$$

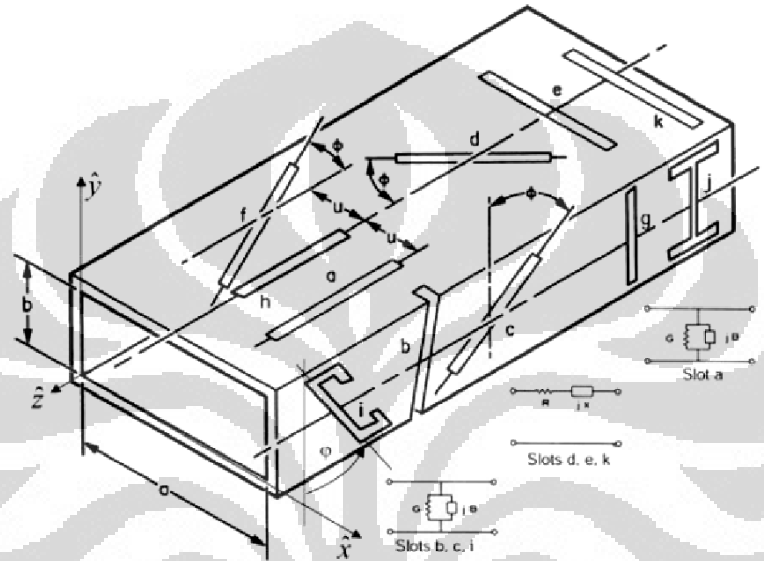
Pada dinding samping waveguide, atau  $x=0$  dan  $x=a$ , rapat arus yang eksis adalah  $J_y$ .

$$J_y = -j \frac{\pi}{\omega \mu a} E_0 e^{-j\beta z} \quad (2.20)$$

Slot yang memotong dinding waveguide akan mengganggu arus yang mengalir pada dinding waveguide, dan membuat arus mengitari slot, yang akan menginduksi medan listrik pada slot. Radiasi akan muncul ketika arus harus mengitari slot-slot untuk melanjutkannya pada arah yang diinginkan. Sehingga,

posisi slot menentukan impedansi yang diberikan pada saluran transmisi dan jumlah energi yang di-*couple* ke slot dan diradiasikan dari slot.

Gambar 2.8 mengilustrasikan posisi slot-slot yang mungkin pada waveguide. Slot-slot dapat ditempatkan pada dinding atas/bawah waveguide, maupun pada dinding samping waveguide (selanjutnya akan disebut *edge-slot*).



Gambar 2.8. Variasi Posisi Slot pada Waveguide [12]

Apabila posisi slot seperti slot h, yaitu tepat di garis tengah (*centerline*),  $J_z$  (arus pada arah z) tidak akan terganggu, karena slot sangat tipis sehingga  $J_z$  tidak perlu melewati slot. Dengan demikian,  $J_x$  yang akan berperan dalam radiasi. Namun, karena posisi slot tepat di garis tengah (*centerline*), yaitu pada  $x=a/2$ , arus  $J_x$  akan bernilai nol. Karena tidak ada arus yang mengalir di slot ini, maka tidak ada radiasi. Sehingga, untuk dapat beradiasi, slot harus digeser dari *centerline* (seperti slot a).

- Slot Paralel (*Shunt Slots*)

Slot a pada dinding atas, serta slot b, c, i, dan j pada dinding samping merupakan slot paralel (*shunt slot*), karena slot ini akan mengganggu arus  $J_x$  (slot di dinding atas) dan  $J_y$  (slot di dinding samping), sehingga dapat direpresentasikan sebagai dua terminal admitansi paralel.

- Slot Seri (*Series Slots*)

Slot d, e dan k akan mengganggu  $J_z$  dan dapat direpresentasikan sebagai impedansi seri. Slot d juga akan mengganggu arus  $J_x$ , (daya radiasi ini merupakan fungsi sudut  $\Phi$ ), namun arus memiliki magnitudo berlawanan pada sisi lain *centerline*, sehingga akan membatalkan radiasi.

Slot-slot pada waveguide dapat dibedakan berdasarkan letaknya, yaitu di dinding waveguide atas/bawah, atau di dinding waveguide samping.

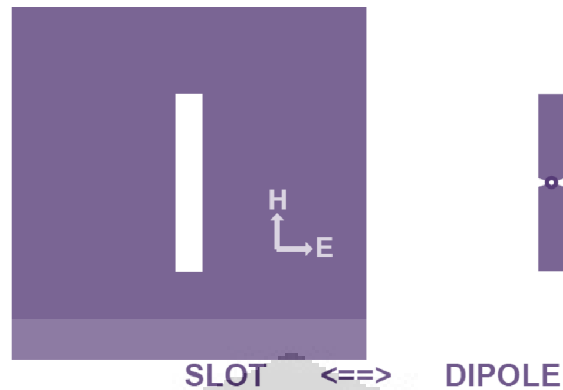
- a. Slot pada *Broadwall Waveguide*

Slot-slot pada dinding waveguide atas/bawah, atau *broadwall*, adalah slot a, d, e, f, h, dan k. Slot-slot ini dapat berupa slot paralel seperti slot a, maupun slot seri seperti slot d, e dan k. Slot pada *broadwall* disebut juga sebagai slot longitudinal. Antena dengan slot ini akan memiliki polarisasi yang linier horizontal[12].

- b. Slot pada *Edgwall Waveguide*

Slot-slot pada dinding samping, disebut juga sebagai *edge-slot*, adalah seperti slot i, b, c, g, dan j. Slot di dinding samping biasanya berupa slot paralel seperti slot b, c, i, dan j. Antena waveguide dengan *edge-slot* akan memiliki polarisasi yang linier vertikal[12].

Untuk mengetahui arah medan yang diradiasikan slot, dapat dilihat pada Gambar 2.9. Slot akan memiliki pola radiasi seperti *dipole* dengan dimensi yang sama dengan slot, kecuali bahwa medan **E** dan **H** ditukar (prinsip Babinet). Arah medan magnet akan sejajar dengan slot. Sehingga radiasi dari slot vertikal akan memiliki polarisasi linier horizontal. Slot vertikal memiliki pola seperti *dipole* horizontal pada arah yang sama. Maka, slot pada dinding waveguide meradiasi seperti sebuah antena *dipole* yang tegak lurus terhadap slot [14].



Gambar 2.9. Arah Medan pada Slot [14]

#### 2.4 Jenis-jenis Antena *Array Waveguide Slot*

*Array slot* dapat dipakai untuk membentuk pola radiasi sesuai yang diinginkan. *Array slot* akan meningkatkan *gain* dengan menyempitkan *beam*. Apabila arah slot vertikal sepanjang waveguide, polarisasinya akan horizontal, seperti antena *dipole* yang disusun (di-*array*) secara horizontal [14]. *Array waveguide slot* dapat diklasifikasikan menjadi dua kelompok, yaitu:

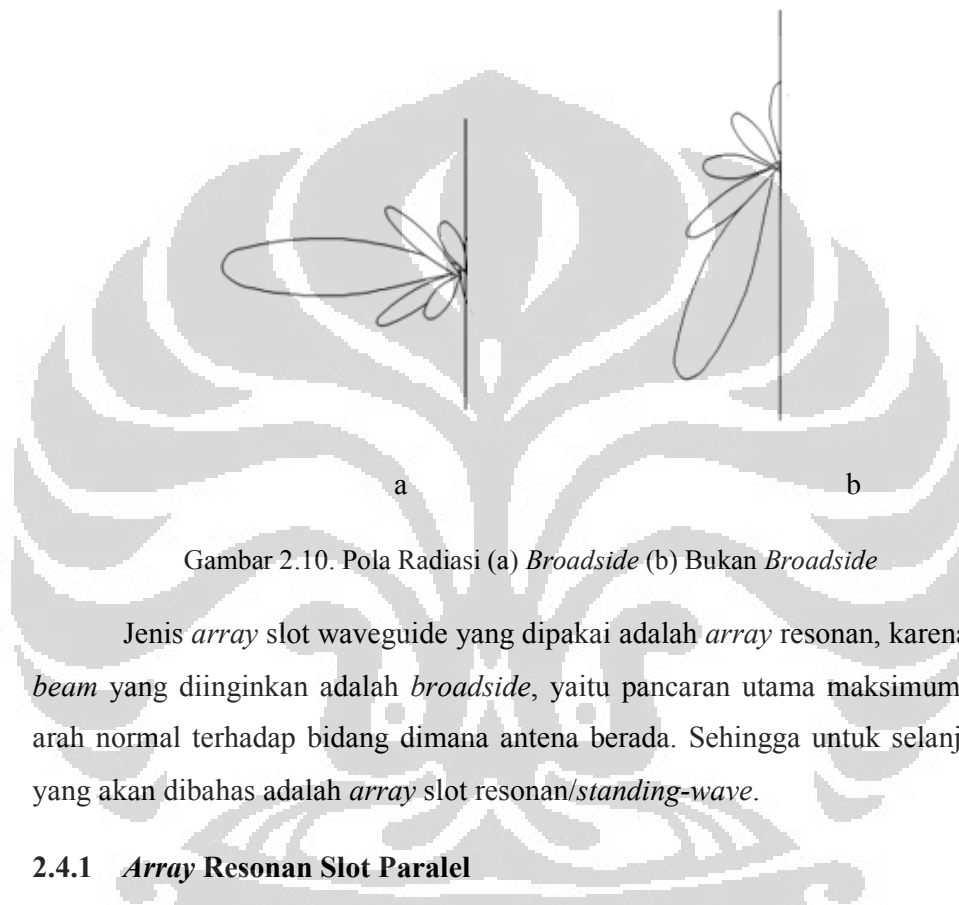
1. *Array Standing-wave (Array Resonan)*

*Array standing-wave* memiliki jarak antarslot (elemen) sebesar  $\lambda_g/2$  dan meradiasikan *beam* secara *broadside* terhadap waveguide seperti pada Gambar 2.7 (a). Medan-medan dalam waveguide akan berulang setiap  $\lambda_g/2$  namun pada fase yang berlawanan. Karena dispersi dalam waveguide, *bandwidth* di sekitar frekuensi tengah operasi tidak dapat menyimpang lebih dari beberapa persen tanpa menimbulkan perburukan pola *beam* dan level *sidelobe* yang signifikan [12].

2. *Array Traveling-wave (Array Nonresonan)*

*Array traveling-wave* digunakan pada aplikasi dimana arah dari *beam* utama ditujukan pada sudut yang tidak *broadside* terhadap dinding waveguide, atau dimana frekuensi *scanning* diinginkan, seperti pada Gambar 2.7 (b). Jarak antarslot tidak harus sama pada setiap slot, dan jarak sebesar  $\lambda_g/2$  sangat dihindari. Dalam mendesain *array* ini, sangat penting untuk memiliki terminasi *wideband* dengan VSWR yang sangat rendah untuk menghindari pembentukan gelombang pantul atau gelombang balik. Gelombang balik muncul pertama kali

dari ujung waveguide yang berlawanan dan akan membuat slot-slot menghasilkan *beam* yang tidak diinginkan pada arah yang berlawanan. *Array traveling-wave* hanya dapat diumpangkan dari ujung-ujung waveguide. Untuk memaksimalkan *impedance bandwidth* pada *array*, elemen slot didesain untuk beresonansi pada frekuensi tengah operasi[12].



Gambar 2.10. Pola Radiasi (a) *Broadside* (b) Bukan *Broadside*

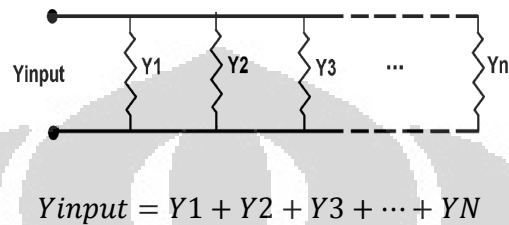
Jenis *array* slot waveguide yang dipakai adalah *array* resonan, karena arah *beam* yang diinginkan adalah *broadside*, yaitu pancaran utama maksimum pada arah normal terhadap bidang dimana antenna berada. Sehingga untuk selanjutnya yang akan dibahas adalah *array* slot resonan/*standing-wave*.

#### 2.4.1 *Array* Resonan Slot Paralel

Prinsip operasi waveguide slot *array* resonan adalah elemen slot dieksitasi oleh *standing-wave* yang dalam waveguide, dan oleh karena itu semua slot memiliki fase yang sama[12]. Medan-medan dalam waveguide akan berulang setiap  $\lambda_g/2$ , namun pada fase yang berlawanan. Peletakan slot-slot dengan interval  $\lambda_g/2$  pada waveguide akan memiliki jarak elektrik  $180^\circ$ . Oleh karena itu, tiap slot akan memiliki fase yang berlawanan dengan slot disebelahnya, sehingga radiasinya akan meniadakan satu sama lain. Maka, peletakkan posisi slot dibuat disebelah kanan dan kiri *centerline* (berseberangan), karena slot pada seberang

*centerline* akan memiliki fase yang berlawanan pula ( $180^\circ$ ), sehingga slot-slot akan memiliki perbedaan fase  $360^\circ$  (kembali sefase)[14].

Pada *array* resonan slot paralel, waveguide sendiri akan berperilaku seperti saluran transmisi, dan slot-slot longitudinal waveguide dapat dianggap sebagai admitansi paralel, digambarkan secara skematik pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11. Skematik Antena Waveguide Slot [14]

Tiap resistor paralel merepresentasikan satu slot, sehingga akan ada N buah resistansi yang paralel. Adapun slot terakhir berjarak  $\lambda_g/4$  dari ujung waveguide yang di-*short* (terminasi)[14]. Jika impedansi/admitansi dari slot-slot seri maupun paralel adalah sama pada frekuensi tengah resonansinya, maka impedansi/admitansi dari slot sebelumnya pada waveguide tinggal dijumlahkan dengan slot selanjutnya. Tujuannya adalah agar total impedansi/admitansi semua slot pada *feedpoint* bernilai sama dengan impedansi/admitansi intrinsik waveguide ( $Y_{input}$ ). Slot-slot akan ditempatkan sepanjang waveguide dimana eksitasi arusnya mendekati maksimal. Pada *array* slot resonan, arus maksimum pada *centerline* waveguide.

Biasanya, untuk *array* slot resonan, panjang slot sekitar  $\lambda_0/2$  pada frekuensi tengah operasi. Lebar slot ditetapkan sebesar  $1/20$  panjang gelombang ( $\lambda_0/20$ )[13]. Sesuai dengan jenis slot yang digunakan, impedansi/admitansi slot diatur dengan memberi jarak slot-slot ini dari *centerline* (garis tengah) waveguide, dengan memutar slot di pusatnya, atau dengan kombinasi keduanya. Untuk *array* linier dengan N buah slot, konduktansi slot harus memenuhi persamaan 2.21[12],

$$\sum_{n=1}^N g_n = W \quad (2.21)$$

Di mana  $g_n$  merupakan konduktansi resonan dari slot ke-n yang dinormalisasi dengan admitansi waveguide ( $Y_0$ ). Pada slot paralel longitudinal,

konduktansi slot ( $g$ ) yang ada pada dinding waveguide adalah sebagai berikut[12]:

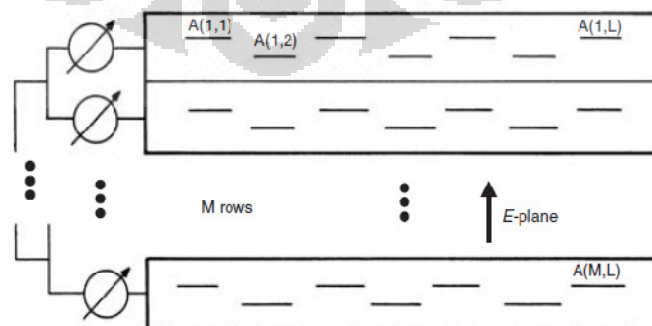
$$g = g_i \sin^2 \left( \frac{x\pi}{a} \right) \quad (2.22)$$

$$g_i = \frac{2.09a\lambda_g}{b\lambda} \cos^2 \left( \frac{\lambda_0\pi}{2\lambda_g} \right) \quad (2.23)$$

dimana  $x$  adalah pergeseran slot dari garis tengah waveguide.

Jumlah slot yang dapat di-*array* dalam satu waveguide sangat terbatas. Impedansi *bandwidth* pada *array* waveguide akan mengecil dengan cepat bersamaan dengan meningkatnya jumlah slot. *Array* slot resonan dapat disusun secara linier/tunggal, yaitu *array* slot berada satu batang waveguide, maupun *planar*. Waveguide slot *planar* dibangun dengan menempatkan beberapa *array* slot linier berjejeran. Karena lebar minimum dari waveguide sama dengan setengah panjang gelombang *cutoff*, jarak antarslot pada waveguide yang berdekatan akan lebih dari  $\lambda_g/2$  pada frekuensi operasi, yang akan menyebabkan *grating lobe* pada beberapa sudut di bidang ortogonal terhadap waveguide. Dengan desain standar, pola radiasi dipengaruhi oleh penempatan slot relatif satu dengan yang lain, dalam satu sub-*array* maupun antarsub-*array*. Oleh sebab itu, ketebalan dinding waveguide yang berdekatan dibuat setipis (yang diperbolehkan secara struktural) mungkin[12].

Gambar 2.12 menunjukkan ilustrasi *array* slot resonan *planar* yang diumpan dengan *phase shifter* pada ujung waveguide.

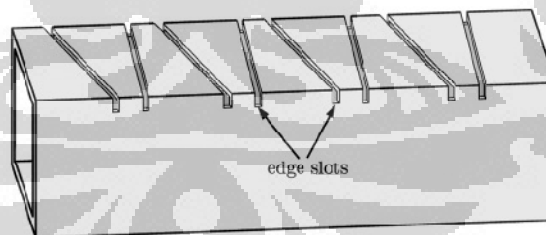


Gambar 2.12. Antena Waveguide Slot Planar[12]

Desain *array* resonan slot paralel dapat berupa slot longitudinal (di *broadwall*) maupun *edge*-slot (di *edgewall*). Untuk *array* slot longitudinal, polarisasinya adalah linier horizontal. Slot longitudinal paralel akan meradiasikan pola *array* yang memiliki isolasi *cross*-polarisasi yang tinggi. Sedangkan *array edge*-slot akan menghasilkan linier vertikal. Isolasi *cross*-polarisasi dengan *edge*-slot tidak sebaik pada slot longitudinal, karena setiap slot dimiringkan pada arah yang berbeda, dan polarisasi *purity* bergantung pada eksitasi keseragaman slot-slot. Oleh karena itu, jenis *array* yang dipakai di sini adalah *array* resonan slot longitudinal paralel. Namun, selanjutnya akan dibahas sedikit tentang *array edge*-slot paralel, maupun *array* seri.

#### 2.4.2 Array Resonan Edge-slot Paralel

Slot *edge* berada pada dinding samping waveguide seperti terlihat pada Gambar 2.13. Slot ini dirancang untuk beroperasi pada frekuensi resonansi, dan panjangnya mendekati  $\lambda_0/2$ . Karena dinding samping waveguide (*edgewall*) biasanya lebih kecil daripada panjang slot ( $\lambda_0/2$ ), kedalaman slot akan memotong dinding atas/bawah waveguide [12]. Panjang slot diperkirakan sama dengan panjang yang terlihat pada dinding samping ditambah dengan dua kali panjang bagian slot yang memotong dinding atas/bawah.



Gambar 2.13. Antena Waveguide Edge-Slot[4]

*Array edge*-slot juga memiliki kesulitan dalam mencapai isolasi *cross*-polarisasi yang tinggi, karena *array* ini terdiri dari elemen-elemen slot dengan sudut kemiringan yang berlawanan[12]. Sebagian besar pada rancangan *array* slot, jarak antarslot akan sama pada semua elemen slot sepanjang waveguide. Namun, hal ini tidak berlaku pada *array edge*-slot. Karena *edge*-slot akan memiliki eksitasi yang berbeda walaupun memiliki frekuensi resonansi yang



sama, maka slot-slot ini akan memiliki jarak slot dengan *centerline* yang berbeda untuk mencapai konduktansi dan/atau resistansi resonansi. *Layout* slot juga tidak benar-benar periodik. Oleh karena itu, penempatan dan orientasi harus diperkirakan.

Konduktansi slot pada *edge*-slot dapat dihitung dengan persamaan[12]:

$$g = \frac{30\lambda_0^3\lambda_g}{73\pi a^3 b} \left[ \frac{\sin\theta \cos\left(\frac{\pi\lambda \sin\theta}{2\lambda_g}\right)}{1 - \left(\frac{\lambda_0 \sin\theta}{\lambda_g}\right)^2} \right]^2 \quad (2.24)$$

Dimana  $\theta$  merupakan sudut putar slot terhadap garis vertical.

### 2.4.3 Array Resonan Slot Seri

*Array* resonan seri didesain dengan bentuk yang sama seperti *array* slot paralel longitudinal. Karena isolasi *cross*-polarisasi yang tidak sebgus slot longitudinal, slot ini jarang digunakan sebagai radiator primer[12]. Elemen slot diposisikan sepanjang *centerline* waveguide, diputar pada sudut dari *centerline* (sudut putar ini biasanya disebut sudut inklinasi). Tidak seperti slot paralel, yang panjang resonannya dipengaruhi oleh jarak slot dari *centerline*, panjang resonan slot seri tidak begitu sensitif terhadap sudut putar. Ketika elemen slot seri ditempatkan pada  $\lambda_g/2$  sepanjang waveguide, slot ini akan memiliki polaritas yang berbeda. Polaritas akan berubah terbalik dengan memutar slot ke sudut negatif dari *centerline*[12]. Ketika medan yang diradiasikan oleh tiap slot dipisahkan dalam komponen yang terpolaritas sepanjang arah waveguide dan satu tegak lurus terhadap waveguide, komponen longitudinal akan saling menghilangkan dan tergabunglah komponen-komponen *tranverse*. Inilah mengapa bidang E pada *array* slot seri juga tegak lurus terhadap sumbu waveguide.

Resistansi dan konduktansi slot dapat dihitung sebelum menentukan dimensi slot dan jarak slot dari *centerline* waveguide (untuk slot paralel), atau sudut putar slot untuk slot seri. Dengan menggunakan rangkaian ekuivalen, normalisasi resistansi slot seri ( $R_{\text{slot}}/Z_{0\text{waveguide}}$ ) pada waveguide dengan N buah slot ditentukan dengan persamaan[12]:

$$\sum_{i=1}^N ri = W \quad (2.25)$$

Dengan resistansi slotnya adalah

$$r = \frac{0,131\lambda_0^3}{ab\lambda_g} \left[ I(\emptyset)\sin\emptyset + \frac{\lambda_g}{2a}j(\emptyset)\cos\emptyset \right]^2 \quad (2.26)$$

$$\frac{\cos(\pi\xi/2)}{1-\xi^2} \mp \frac{\cos(\pi\zeta/2)}{1-\zeta^2} = \begin{cases} I(\emptyset) \\ J(\emptyset) \end{cases} \quad (2.27)$$

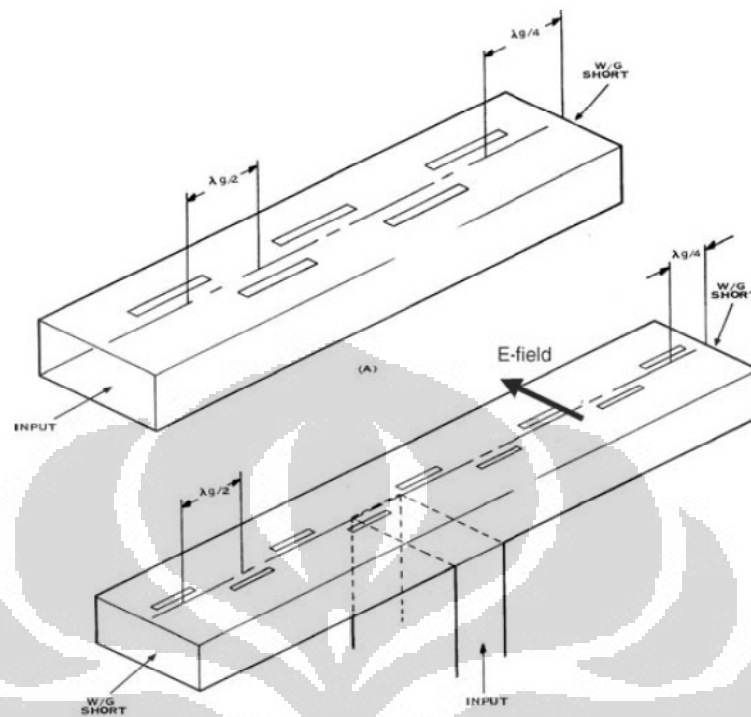
$$\frac{\lambda_0}{\lambda_g}\cos\emptyset \mp \frac{\lambda_0}{2a}\sin\emptyset = \begin{cases} I(\emptyset) \\ J(\emptyset) \end{cases} \quad (2.28)$$

Dimana  $\emptyset$  adalah sudut putar slot terhadap *centerline* waveguide.

## 2.5 Pencatuan Antena Waveguide Slot

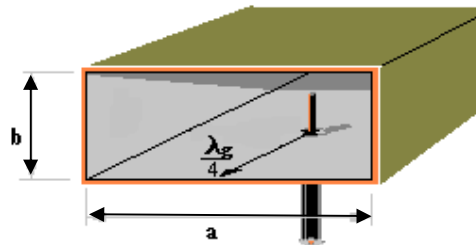
Antena waveguide slot dapat diumpan pada salah satu ujung waveguide, dengan ujung lainnya diterminasi dengan beban *matched* atau *short-circuit*. Dapat pula diumpan ditengah-tengah waveguide dengan terminasi beban *matched* atau *short-circuit* di kedua ujung waveguide. Terminasi *short-circuit* akan efisien karena gelombang yang direfleksikan dari ujung-ujung waveguide dapan sefase dengan gelombang masuk. Hal ini akan memungkinkan kapabilitas pengaturan daya yang lebih tinggi. Gambar 2.14 menunjukkan bagaimana waveguide diumpan dengan 2 metode, yaitu dengan diumpan di ujungnya maupun ditengah-tengahnya. Pada kedua metode ini, berlaku jarak antara terminasi *short-circuit* waveguide dengan slot terdekat adalah  $\lambda_g/4$ . *Short-circuit* ini berperilaku seperti *open-circuit*, yang memiliki admitansi nol, terhadap slot pertama dari ujung.

Ketika waveguide diumpan di salah satu ujungnya, nilai  $W$  pada persamaan normalisasi konduktansi  $\sum_{i=1}^N gi = W$ , akan sama dengan 1 untuk mendapatkan input yang *matching*. Ketika waveguide diumpan ditengah-tengah, normalisasi konduktansi dilihat dari kedua sisi merupakan paralel pada *feedpoint*, sehigga nilai  $W$  akan sama dengan 2 [12].



Gambar 2.14. Pencatuan di Ujung Waveguide dan Tengah Waveguide[12]

Antena waveguide slot dapat dicatu dengan menggunakan koaksial *probe*. Konduktor dalam koaksial *probe* akan masuk ke rongga waveguide. Ketika *probe* dimasukkan ke dalam waveguide dan disuplai dengan energi microwave, *probe* ini akan bertindak seperti antena *quarter-wave*. Arus akan mengalir dalam *probe* dan membangun medan E. Garis-garis medan E akan keluar dari *probe*. Ketika *probe* ditempatkan di titik dengan efisiensi terbesar, garis-garis medan E akan membentuk medan E dengan intensitas yang tinggi. Tempat yang paling efisien untuk menempatkan *probe* adalah di tengah-tengah dinding a (*broadwall*), paralel terhadap dinding b (*edgewall*), dan berjarak *quarter-wavelength* ( $\lambda_g/4$ ) dari terminasi *short-circuit* waveguide, seperti terlihat pada Gambar 2.15. Titik ini adalah titik dimana medan E maksimum pada mode dominan (di sini  $TE_{10}$ ). Sehingga, transfer energi adalah maksimum pada titik ini [13].



Gambar 2.15. Pencatuan di Ujung Waveguide dengan *Coax Probe*[13]

Jarak antara *probe* dengan slot terdekat adalah  $\lambda_g$  [15], dengan panjang *probe* yang menembus waveguide adalah  $\lambda_0/4$ . *Probe* yang menembus rongga waveguide ini bisa dilihat sebagai antena *monopole*. Namun, panjang dari antena *monopole quarter-wavelength* resonan ternyata sedikit lebih kecil daripada  $\lambda_0/4$ , atau dapat dirumuskan sebagai berikut[16]:

$$\text{Panjang} = \frac{2808}{f \text{ (MHz)}} \text{ inchi} = \frac{71,3232}{f \text{ (GHz)}} \text{ mm} \quad (2.29)$$

Koaksial *probe* harus dalam keadaan *matched* dengan saluran transmisi, atau pada kasus ini, harus memiliki impedansi  $50 \Omega$ . Hal ini dapat dicapai dengan mengatur dimensi koaksial, yaitu diameter konduktor dan dielektrik koaksial.

## BAB 3

### PERANCANGAN ANTENA DAN SIMULASI

#### 3.1 Pendahuluan

Pada penelitian ini akan dilakukan perancangan suatu antena waveguide slot longitudinal dengan jumlah slot 8 buah. Spesifikasi yang dituju dalam perancangan ini adalah untuk mendapatkan antena dengan frekuensi kerja 9,37 – 9,43 GHz (*bandwidth* minimal 60 MHz) pada  $VSWR < 1,5$ . Karakteristik dasar antena waveguide slot adalah memiliki *bandwidth* yang sempit. Untuk memperlebar *bandwidth*, jarak slot dari *centerline* akan divariasikan. Slot longitudinal ini akan menghasilkan polarisasi linier horizontal. Sedangkan untuk pencatutan antena waveguide ini, digunakan *coaxial probe* yang diletakkan pada salah satu ujung waveguide.

Dalam merancang antena ini diperlukan beberapa tahapan hingga antena tersebut dapat difabrikasi. Tahapan-tahapan ini dapat dilihat pada diagram alir pembuatan antena yang akan dijelaskan selanjutnya. Seluruh tahapan tersebut diterapkan pada perangkat lunak yang digunakan yaitu CST STUDIO SUIT 2009.

#### 3.2 Peralatan yang Digunakan

Proses perancangan antena ini hanya dibatasi hingga simulasi dari antena yang diinginkan. Untuk itu, peralatan yang digunakan berkisar pada perangkat lunak. Adapun perangkat lunak yang digunakan antara lain:

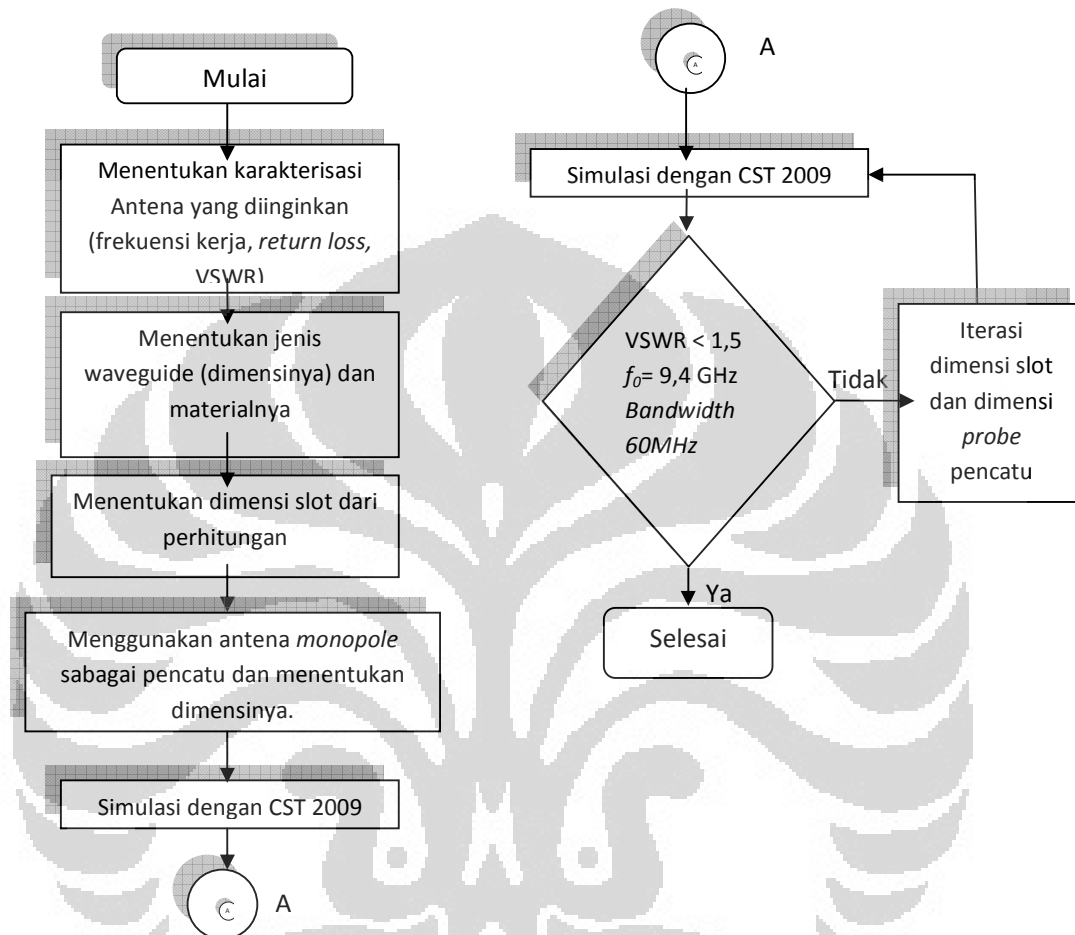
- CST STUDIO SUITE 2009

Perangkat lunak ini digunakan untuk merancang dan mensimulasikan antena yang akan dibuat. Setelah disimulasi akan diperoleh beberapa karakteristik antena seperti frekuensi kerja, *bandwidth*, *beamwidth*, *Return loss*,  $VSWR$ , pola radiasi, *gain*, dan impedansi input.

#### 3.3 Diagram Alir Perancangan Antena

Seperti yang telah disinggung sebelumnya terdapat beberapa tahapan hingga antena yang diinginkan terwujud. Untuk mempermudah dalam pembuatan antena tersebut, perlu ditentukan langkah-langkah yang sistematis dalam bentuk

diagram alir. Untuk sampai tahap simulasi, diagram alir perancangan antenna ini ditunjukkan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram Alir Perancangan Antena

### 3.4 Menentukan Karakteristik Antena

Berdasarkan diagram alir yang telah dibuat sebelumnya tahapan perancangan antenna yang pertama yaitu menentukan karakteristik antenna yang diinginkan. Karakteristik-karakteristik yang perlu ditentukan antara lain frekuensi kerja, *beamwidth*, *bandwidth*, dan *return loss/VSWR*. Karakteristik *antena* yang ingin dicapai adalah:

1. Frekuensi kerja : 9,37 – 9,43 GHz
2. *Impedance bandwidth* : 60 MHz

3. *Beamwidth* Horizontal :  $\leq 10^\circ$
4. VSWR :  $< 1,5$

### 3.5 Menentukan Tipe Waveguide dan Materialnya

Setelah menentukan karakteristik antena yang diinginkan, langkah kedua adalah menentukan jenis waveguide berdasarkan frekuensi operasi yang diinginkan. Dimensi panjang dan lebar waveguide akan menentukan frekuensi *cutoff* waveguide, dimana waveguide ini akan bekerja di frekuensi di atas frekuensi *cutoff*-nya. Tabel 3.1 menunjukkan tipe-tipe waveguide, frekuensi *cutoff*, dan frekuensi kerjanya.

Tabel 3.1. Data Tipe dan Frekuensi Kerja *Rectangular* Waveguide[9]

<i>Band</i>	<i>Range</i> Frekuensi yang Disarankan (GHz)	Frekuensi <i>cutoff</i> TE <sub>10</sub> (GHz)	Tipe WR-XX	Dimensi Dalam (mm)
L	1,12-1,70	0,908	WR-650	165,1×82,55
R	1,70-2,60	1,372	WR-430	109,22×54,61
S	2,60-3,95	2,078	WR-284	72,14×34,04
H (G)	3,95-5,85	3,152	WR-187	47,55×22,15
C (J)	5,85-8,20	4,301	WR-137	34,85×15,80
W (H)	7,05-10,0	5,259	WR-112	28,50×12,62
X	8,20-12,4	6,557	WR-90	22,86×10,16
Ku (P)	12,4-18,0	9,486	WR-62	15,80×7,90
K	12,4-26,5	14,407	WR-42	4,20×1,70

Karena antena ini akan bekerja di frekuensi 9,4 GHz (X band), maka tipe waveguide yang dipilih adalah WR-90, dengan dimensi waveguide adalah sebesar 22,86 mm × 10,16 mm. Frekuensi *range* yang direkomendasikan untuk WR-90 adalah 8,20 GHz sampai 12,4 GHz. Waveguide biasanya terbuat dari material tembaga, aluminium, atau kuningan. Pada perancangan ini, material yang digunakan adalah kuningan.

Tabel 3.2. Spesifikasi Bahan Material Waveguide

Tipe Waveguide	Dimensi Waveguide	Material	Tebal Material
WR-90	22,86mm x 10,16mm	Kuningan	2,54 mm

### 3.6 Perancangan Dimensi Slot

Setelah didapatkan spesifikasi dimensi waveguide, selanjutnya akan ditentukan spesifikasi dimensi slot pada antenna waveguide ini. Dimensi slot akan menentukan bagaimana antenna ini beradiasi. Penentuan dimensi slot ini akan melewati beberapa tahap seperti:

- Menentukan Jenis Slot

Untuk aplikasi radar, *array* slot yang digunakan adalah *array* slot resonan/*standing-wave* (telah dibahas pada Bab II). Untuk mendapatkan karakteristik antenna yang diinginkan, yaitu memiliki polarisasi linier horizontal, maka jenis slot yang dipilih adalah slot longitudinal paralel.

- Menentukan Jarak Antarslot (j)

Untuk *array* slot resonan (*standing-wave*), jarak antarslot adalah  $\lambda_g/2$ . Dengan persamaan 2.15 pada Bab II, didapatkan panjang gelombang waveguide untuk frekuensi tengah operasi 9,4 GHz adalah  $\lambda_g = 44,57$  mm, sehingga jarak antarslotnya adalah  $\lambda_g/2 = 22,28$  mm. *Array* slot resonan memiliki jarak antarslot yang sama pada semua slot.

- Menentukan Panjang Slot (p)

Untuk *array* slot resonan, panjang slot untuk dapat beresonansi adalah sebesar  $\lambda_0/2$ . Untuk frekuensi 9,4 GHz, nilai  $\lambda_0$  adalah 31,915 mm, sehingga panjang slot antenna ini adalah  $\lambda_0/2 = 15,96$  mm.

- Menentukan Jarak Terminasi (t)

Jarak terminasi merupakan jarak slot pertama dengan terminasi *short-circuit*. Jarak ini dibuat  $\lambda_g/4$ , yaitu 11,14 mm.

- Menentukan Lebar Slot

Berdasarkan perhitungan, lebar slot adalah 2,23 mm, sedangkan menurut pendekatan Elliot[13] lebar slot untuk WR-90 adalah sebesar 1,6 mm. Di sini

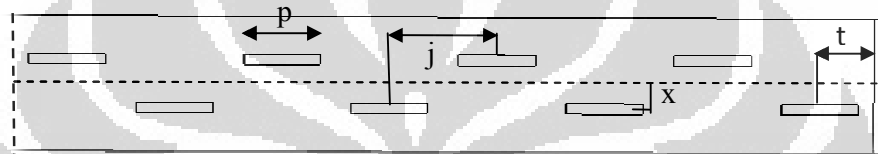


yang dipakai adalah yang berdasarkan perhitungan.

- Menentukan Jarak Slot dengan *Centerline* ( $x$ )

Jarak slot dengan *centerline* akan mempengaruhi konduktansi slot tersebut. Konduktansi slot harus memenuhi persamaan 2.21 pada Bab II agar antenna dapat *matching*. Setelah mendapatkan konduktansi slot, jarak slot dengan *centerline* ( $x$ ) dapat dicari dengan persamaan 2.22 dan 2.23. Untuk antenna dengan 8 slot, jarak slot dengan *centerline* adalah 2,36 mm.

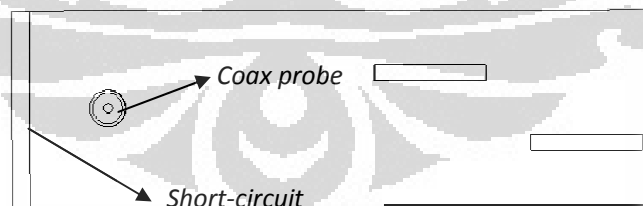
Gambar 3.2 mengilustrasikan antenna waveguide dengan dimensi slot seperti spesifikasi yang telah ditentukan.



Gambar 3.2 Slot-slot pada Antena Waveguide 8 Slot

### 3.7 Perancangan Dimensi Pencatu

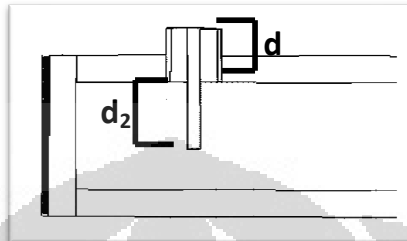
Seperti yang telah disebutkan pada dasar teori, pencatuan antenna waveguide slot dapat dilakukan di ujung waveguide maupun di tengah waveguide. Untuk perancangan antenna waveguide dengan 8 slot ini, dilakukan pencatuan di salah satu ujung waveguide, sementara ujung yang lain diterminasi dengan *short-circuit*. Gambar 3.3 menggambarkan ujung waveguide yang diberi pencatu.



Gambar 3.3 Probe pada Antena Waveguide 8 Slot

Pencatu yang paling sederhana adalah dengan menggunakan *coaxial probe*, diletakkan dengan posisi seperti Gambar 3.10. Probe ini akan melubangi dinding atas waveguide (*broadwall*) di *centerline* untuk mendapatkan *couple* energi yang maksimum. Ujung waveguide yang diberi pencatu ini juga harus

diterminasi dengan *short-circuit*. Material dielektrik yang dipakai pada bagian tengah *probe* adalah Teflon dengan konstanta dielektrik 2,08. Silinder konduktor di tengah *probe* akan menembus ke dalam rongga waveguide, seperti pada Gambar 3.4



Gambar 3.4 Penampang Vertikal *Probe* pada Antena Waveguide

Sedangkan penampang melintang koaksial *probe* diilustrasikan oleh Gambar 3.5. Penentuan dimensi *probe* akan melewati beberapa tahap seperti di bawah ini:

- Menentukan Jarak *Probe* dengan Terminasi *Short-circuit*

Jarak *probe* dengan terminasi adalah  $\lambda_g/4$ , yaitu 11,14 mm.

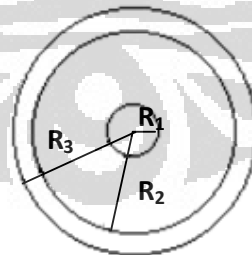
- Menentukan Jarak *Probe* dengan Slot Terdekat

Jarak *probe* dengan slot terdekat adalah  $\lambda_g$ , yaitu 44,57 mm.

- Menentukan Panjang *Probe* ( $d_2$ )

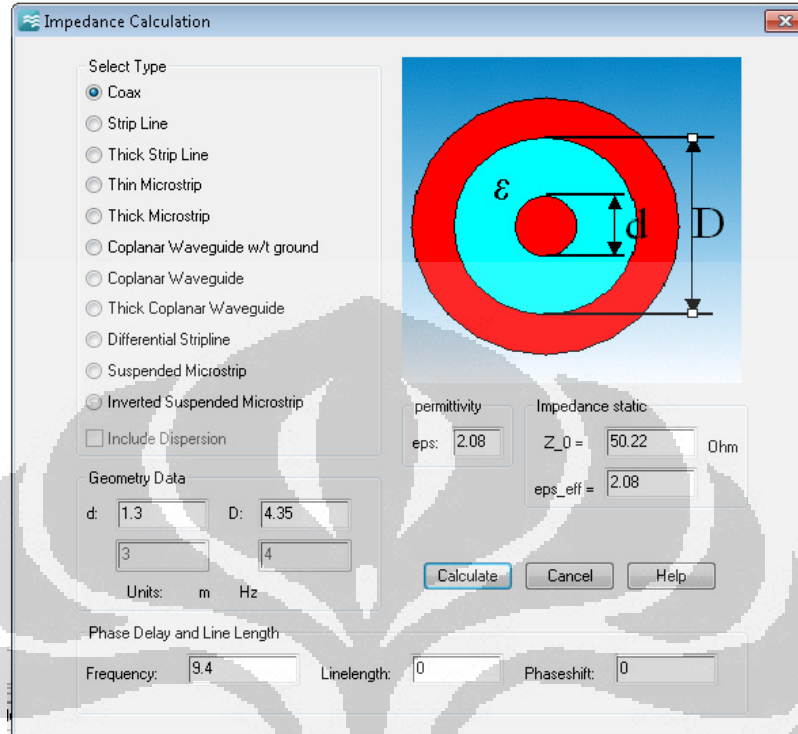
Panjang *probe* adalah  $\lambda_0/4$ , yaitu 7,99 mm, dengan teori antena *monopole*

resonan, panjang *probe* =  $\frac{71,3232 \text{ mm}}{f \text{ (GHz)}} = 7,6 \text{ mm}$



Gambar 3.5 Penampang Melintang *Coaxial Probe*

Dengan menggunakan *Macros-calculate analytical line impedance* pada software CST 2009 dapat dicari panjang dimensi koaksial untuk mendapatkan impedansi input 50 ohm. Gambar 3.13 menunjukkan *box* pada menu *Macros-calculate analytical line impedance* pada software CST 2009.



Gambar 3.6. *Analytical Line Impedance* pada *Macros-Calculate* Software CST 2009

Dapat dilihat dari Gambar 3.6, impedansi akan mendekati 50 ohm, bila diameter konduktor dalam adalah 1,3 mm, sedangkan diameter Teflon adalah 4,35 mm, atau dengan melihat penampang melintang pada Gambar 3.5, dapat ditulis:

$$R_1 = 0,65 \text{ mm}$$

$$R_2 = 2,175 \text{ mm}$$

$$R_3 = 2,625 \text{ mm}$$

### 3.8 Simulasi Antena Waveguide 8 Slot

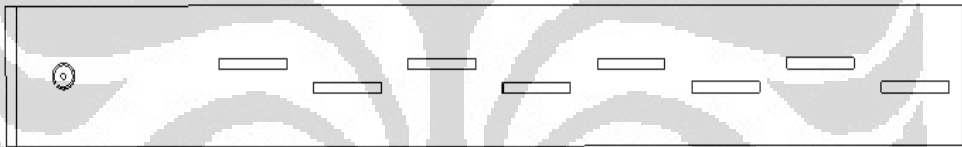
Setelah menentukan dimensi slot, langkah selanjutnya dalam perancangan antena adalah mensimulasikan rancangan *antena* waveguide 8 slot yang spesifikasinya telah didapatkan sebelumnya, dengan menggunakan software CST 2009. Ada beberapa tahap dalam simulasi, untuk mendapatkan hasil simulasi sesuai dengan yang diinginkan. Posisi, bentuk, dan dimensi slot akan menentukan bagaimana antena ini beradiasi, sehingga dalam menentukan dimensi slot harus

berhati-hati. Posisi slot juga akan menentukan *matching* tidaknya antenna ini pada frekuensi kerja yang diinginkan.

Rancangan antenna waveguide slot di sini menggunakan *coaxial probe* dengan impedansi 50 ohm sebagai pencatu. *Probe* ini yang akan mengkopel energi ke waveguide. Sehingga, posisi dan dimensi *probe* juga akan berpengaruh pada kinerja dari antenna ini.

### 3.8.1 Hasil Simulasi Awal

Simulasi awal yang dilakukan adalah simulasi rancangan antenna waveguide 8 slot dengan spesifikasi sesuai dengan hasil perhitungan. Perancangan ini bertujuan untuk mendapatkan frekuensi kerja 9,37 – 9,43 GHz pada VSWR < 1,5. Gambar 3.7 menunjukkan bentuk rancangan antenna yang disimulasikan. Spesifikasi ukuran antenna dapat dilihat pada Tabel 3.7.



Gambar 3.7. Rancangan Antena Waveguide Slot dengan *Probe* Sebagai Pencatu

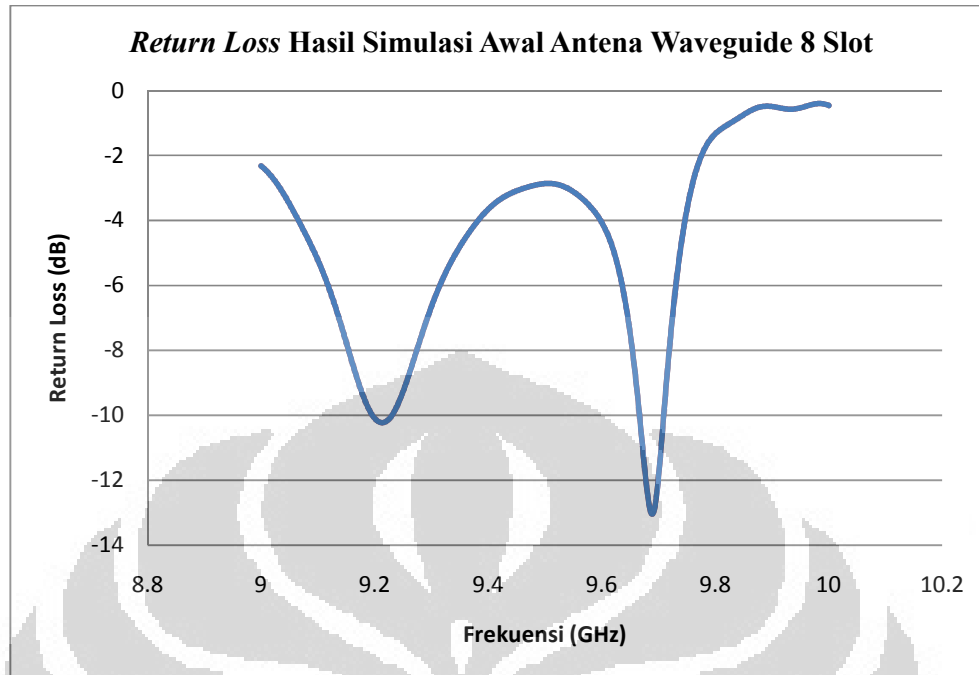
Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, *coaxial probe* diletakkan pada ujung waveguide dengan jarak tertentu dari terminasi dan slot terdekat. Konduktor tengah *probe* yang menembus rongga waveguide dapat dilihat sebagai antenna *monopole*. Jadi dapat juga dikatakan bahwa pencatu antenna waveguide slot ini adalah antenna *monopole*.

Tabel 3.3. Spesifikasi Awal Antena Waveguide 8 Slot

Jarak antarslot	Panjang slot	Lebar slot	Jarak slot dengan centerline(x)	Jarak terminasi	Panjang probe (d)	Jarak probe – slot (L)
22,28	15,96	2,23	2,36	11,14	7,6	44,56

semua dimensi dalam mm

Hasil simulasi awal berdasarkan spesifikasi hasil perhitungan pada Tabel 3.3 ditunjukkan pada Gambar 3.8.



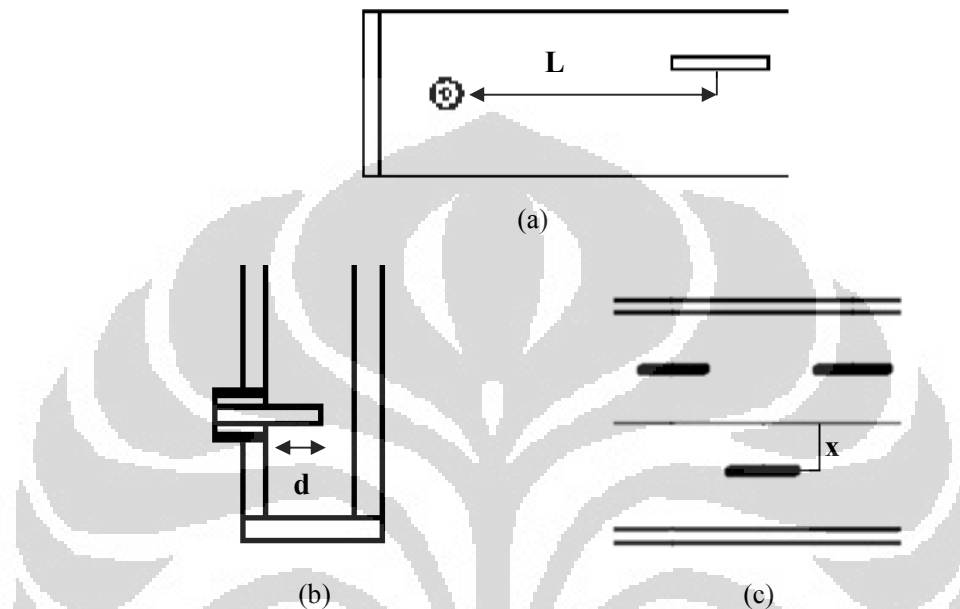
Gambar 3.8. Hasil Simulasi Antena Waveguide 8 Slot dengan *Probe* Sebagai Pencatu, *Return Loss* (dB) vs Frekuensi (GHz)

Dari hasil simulasi pada Gambar 3.8, terlihat frekuensi kerja dari antena waveguide slot ini adalah 9,21 GHz dengan *return loss* 10,2 dB dan 9,69 GHz dengan *return loss* 13 dB. Frekuensi kerja tujuan adalah 9,37 – 9,43 GHz, sehingga hasil simulasi ini belum memenuhi frekuensi kerja yang dituju. *Impedance bandwidth* yang dituju adalah 60 MHz untuk  $VSWR < 1,5$  (*return loss* > 14 dB), sedangkan hasil simulasi menunjukkan *return loss* lebih kecil dari 14 dB. Sehingga untuk parameter *bandwidth*, perancangan antena ini juga belum memenuhi.

### 3.8.2 Karakterisasi Antena Waveguide 8 Slot

Karena hasil simulasi yang didapatkan belum sesuai dengan yang diinginkan, diperlukan beberapa perubahan pada rancangan ini. Pertama-tama, yang akan dilakukan adalah melakukan perubahan pada rancangan awal sehingga didapatkan *bandwidth* yang cukup lebar. Setelah spesifikasi *bandwidth* didapatkan, dilakukan beberapa iterasi agar antena dapat beresonansi pada frekuensi 9,37 – 9,43 GHz dengan  $VSWR < 1,5$ . Pada hasil simulasi sebelumnya, terlihat bahwa parameter-parameter antena yang diinginkan belum tercapai.

Sehingga, di sini akan dilakukan iterasi panjang *probe* pencatu ( $d$ ), jarak slot dengan *centerline* ( $x$ ), dan jarak *probe* dengan slot terdekat ( $L$ ), seperti yang terlihat pada Gambar 3.9, untuk mendapatkan spesifikasi antenna yang diinginkan.



Gambar 3.9. Gambar Spesifikasi Antena yang Akan Diiterasi (A) *Probe* pada Ujung Antena Waveguide Tampak Atas, (B) *Probe* pada Ujung Waveguide Tampak Samping (C) Slot pada Antena Waveguide Tampak Atas

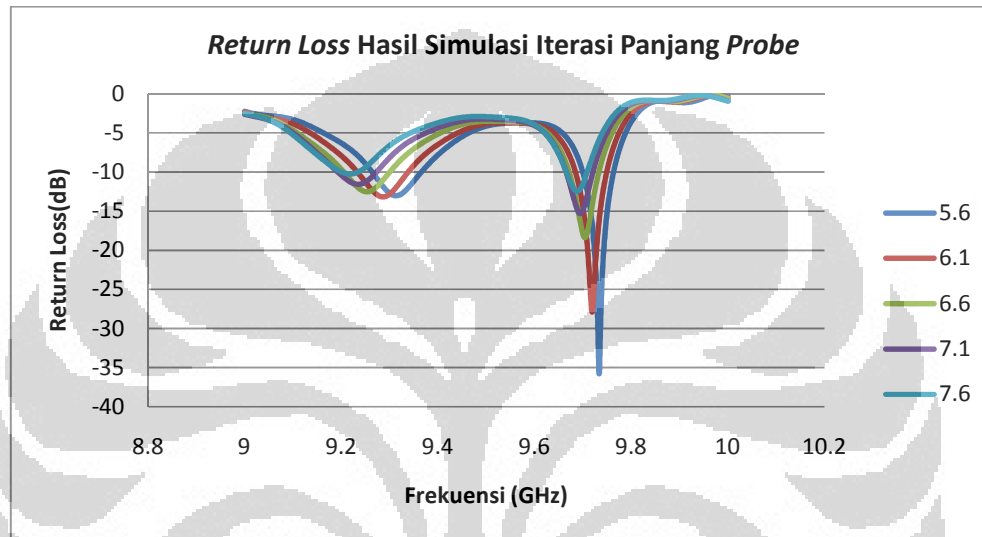
### 3.8.2.1. Iterasi Panjang *Probe* Pencatu ( $d$ )

Iterasi pertama yang dilakukan pada rancangan antenna waveguide 8 slot adalah iterasi panjang *probe* pencatu ( $d$ ). Panjang *probe* pasti akan mempengaruhi kinerja antenna, karena energi dikopel dari *probe* ini. *Probe* pencatu ini dapat dilihat sebagai antenna *monopole*. Berdasarkan perhitungan, panjang antenna *monopole* ini adalah  $\lambda_0/4 = 7,6$  mm. Di sini akan diiterasi jarak panjang antenna *monopole* pencatu dari 7,6 mm sampai 5,6 mm dan dilihat apa pengaruhnya pada performa antenna yang dirancang. Spesifikasi selain panjang *probe* sama seperti sebelumnya, yaitu ukuran berdasarkan hasil perhitungan. Hasil simulasi iterasi ini ditunjukkan pada Gambar 3.10, dengan spesifikasi antenna ditunjukkan pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Spesifikasi Antena Waveguide 8 Slot untuk Iterasi Panjang *Probe*

Jarak antarslot	Panjang slot	Lebar slot	Jarak slot dengan <i>centerline</i> ( <i>x</i> )	Jarak terminasi	Jarak <i>probe</i> dengan slot ( <i>L</i> )
22,28	15,96	2,23	2,36	11,14	44,56

semua dimensi dalam mm



Gambar 3.10. Hasil Simulasi Iterasi Panjang *Probe* (*d*) pada Antena Waveguide 8 Slot, *Return Loss* (dB) vs Frekuensi (GHz)

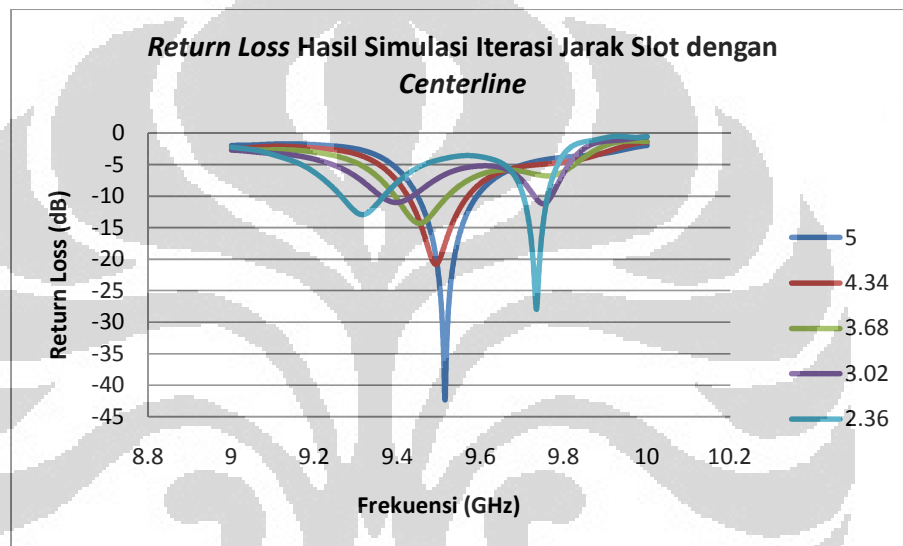
Dari hasil simulasi pada Gambar 3,10, terlihat bahwa dengan memperpendek panjang *probe*, frekuensi akan bergeser ke kanan (semakin besar). Dari hasil iterasi simulasi, panjang *probe* yang paling baik adalah 5,6 mm, karena dengan panjang *probe* ini, frekuensi kerja antena mendekati 9,4 GHz. Di sini kondisi *matching* di frekuensi 9,37 – 9,43 GHz belum tercapai, sehingga dilakukan iterasi berikutnya, yaitu memperlebar jarak slot terhadap *centerline* (*x*).

### 3.8.2.2. Memperlebar Jarak Slot dengan *Centerline* (*x*)

Telah dijelaskan bahwa slot pada antena waveguide dapat dilihat sebagai impedansi sepanjang saluran transmisi, atau beban admitansi ekivalen saluran transmisi. Dengan slot yang semakin jauh dari *centerline*, waveguide akan memiliki admitansi yang lebih besar (impedansi lebih kecil). Total admitansi slot-slot harus sama dengan admitansi waveguide, agar antena *matching*. Jadi untuk jumlah slot tertentu, slot-slot akan memiliki jarak tertentu pula dari *centerline* agar

dapat beresonansi di frekuensi yang diinginkan. Dengan merubah posisi ini, yaitu dengan memperlebar jarak slot dengan *centerline*, akan terjadi gangguan, yaitu berubahnya admitansi slot. Diharapkan gangguan ini dapat memperlebar *bandwidth* frekuensi kerja.

Selanjutnya, jarak slot dengan *centerline* akan diperlebar dan diiterasi untuk mendapatkan performa *bandwidth* yang paling baik. Hasil simulasi iterasi jarak slot dengan *centerline* dari 2,36 mm sampai 5 mm ditunjukkan pada Gambar 3.11 .



Gambar 3.11. Hasil Simulasi Iterasi Jarak Slot dengan *Centerline* Antena Waveguide 8 Slot, *Return Loss* (dB) vs Frekuensi (GHz)

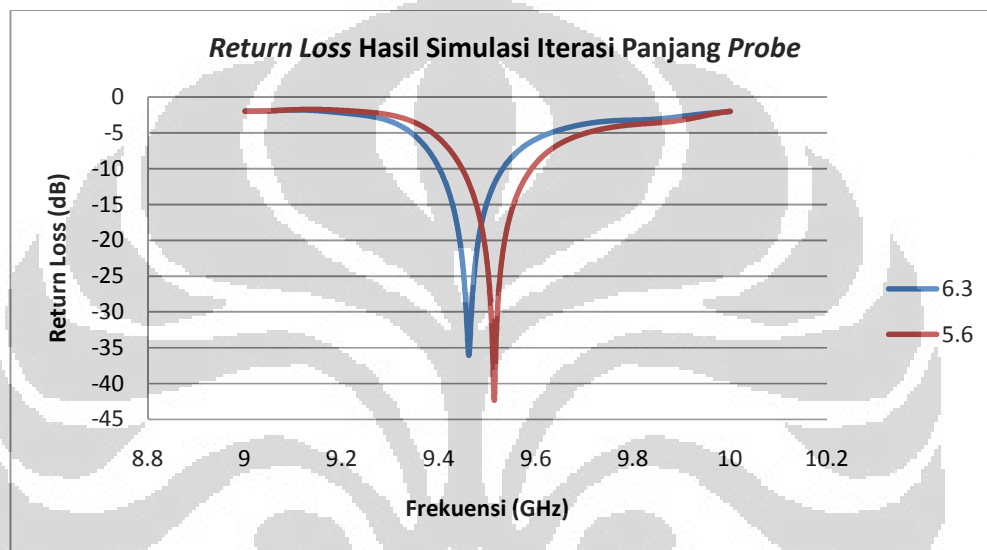
Terlihat pada Gambar 3.11, bahwa performa *bandwidth* yang paling baik ada pada jarak slot terhadap *centerline* sejauh 5 mm. Terlihat juga bahwa perubahan jarak slot terhadap *centerline* mempengaruhi frekuensi resonansi dan *return loss* yang didapatkan. Namun, dengan jarak slot dengan *centerline* sejauh 5 mm, frekuensi resonansi antenna belum berada di 9,4 GHz.

Setelah mendapatkan *bandwidth* yang lebar, akan dicari kondisi *matching* dari antenna ini pada frekuensi 9,4 GHz, sehingga dibutuhkan perubahan dimensi slot yang lain untuk mendapatkan kondisi *matching*. Parameter yang diubah secara bersamaan dan simultan akan menghasilkan kondisi yang *matching* dan *bandwidth* yang lebar.

Pelebaran jarak antara slot dengan *centerline* diikuti dengan perubahan panjang *probe* yang telah dilakukan sebelumnya. Disimulasikan perbandingan



performa antenna waveguide yang memiliki panjang *probe* pencatu 5,6 mm dan 6,3 mm, dengan jarak slot dengan *centerline* 5 mm. Untuk jarak slot dengan *centerline* yang diperlebar sampai 5 mm, panjang *probe* sebesar 5,6 mm akan memberikan *return loss* yang lebih baik, namun panjang *probe* 6,3 mm memberikan frekuensi resonansi yang lebih mendekati 9,4 GHz. Hasil simulasi ditunjukkan pada Gambar 3.12.



Gambar 3.12. Hasil Simulasi Iterasi Panjang *Probe* pada Antena Waveguide 8 Slot, *Return Loss* (dB) vs Frekuensi (GHz)

Karena memiliki performa yang lebih baik, panjang *probe* 6,3 mm akan dipakai pada simulasi selanjutnya. Pencapaian yang didapat dengan memberi jarak slot dengan *centerline* sejauh 5 mm dan panjang *probe* 6,3 mm, adalah *bandwidth* yang cukup lebar, yaitu 70 MHz. Namun, antenna ini belum dapat *matching* di frekuensi 9,37 – 9,43 GHz. Sehingga, selanjutnya akan dilakukan iterasi jarak *probe* dengan slot terdekat (*L*) agar antenna dapat beresonansi pada frekuensi 9,37 – 9,43 GHz dengan  $VSWR < 1,5$ .

### 3.8.2.3. Iterasi Jarak *Probe* dengan Slot Terdekat (*L*)

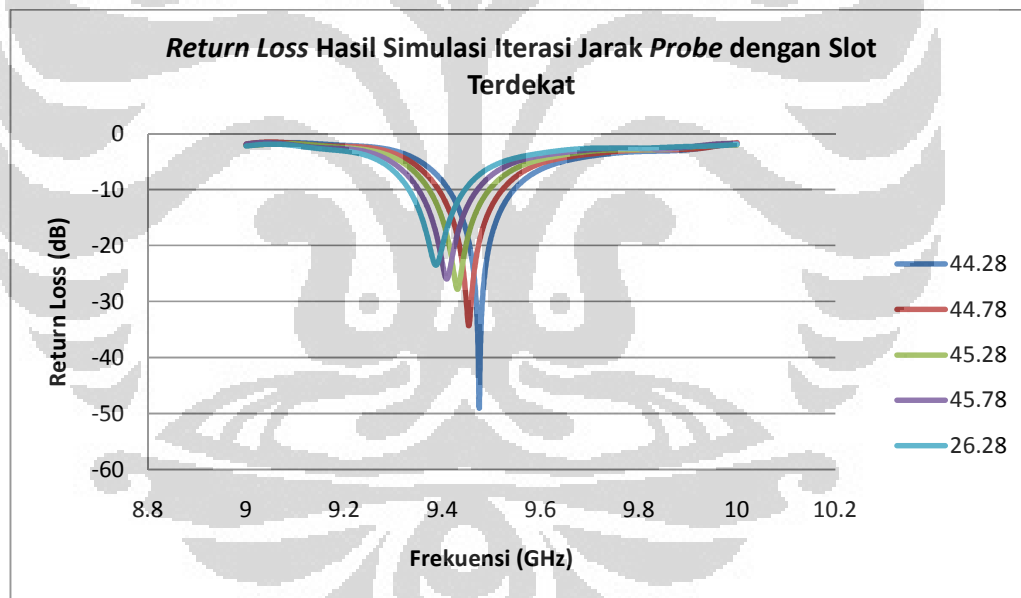
Pada teori *antenna* waveguide slot di Bab II, dijelaskan bahwa jarak *probe* dengan slot terdekat adalah  $\lambda_g$ , atau dalam hal ini sepanjang 44,56 mm. Perubahan jarak *probe* dengan slot terdekat pasti akan merubah performa antenna, karena

energi dikopel dari *probe* ini. Berdasarkan hasil simulasi sebelumnya (Gambar 3.12), dengan jarak slot sejauh 44,56 mm dari slot terdekat ( $L=44,56$  mm), antena belum beresonansi pada frekuensi tengah 9,4 GHz. Oleh karena itu, akan diiterasi jarak *probe* dengan slot ini untuk mendapat performa *antena* yang lebih baik. Hasil simulasi iterasi ini ditunjukkan pada Gambar 3.13, sedangkan spesifikasi *antena* yang disimulasi ditunjukkan pada Tabel 3.5.

Tabel 3.5. Spesifikasi Antena Waveguide 8 Slot untuk Iterasi Jarak *Probe*

Jarak antarslot	Panjang slot	Lebar slot	Jarak slot dengan <i>centerline</i> (x)	Jarak terminasi	Panjang <i>probe</i> (d)
22,28	15,96	2,23	5	11,14	6,3

semua dimensi dalam mm



Gambar 3.13. Hasil Simulasi Iterasi Jarak *Probe* dengan Slot Terdekat pada Antena Waveguide 8 Slot, *Return Loss* (dB) vs Frekuensi (GHz)

Terlihat pada Gambar 3.13, bahwa semakin jauh jarak *probe* dengan slot, frekuensi akan bergeser ke kiri (semakin kecil), namun *return loss* juga akan mengecil. Dari hasil iterasi ini, jarak *probe* dengan slot yang paling mendekati frekuensi 9,4 GHz adalah 45,78 mm. Untuk simulasi selanjutnya, jarak *probe*

dengan slot ini diperbesar sedikit menjadi 45,96 mm agar dapat bekerja di frekuensi 9,37 – 9,43 GHz.

### 3.8.3. Rancangan Akhir Antena Waveguide 8 Slot

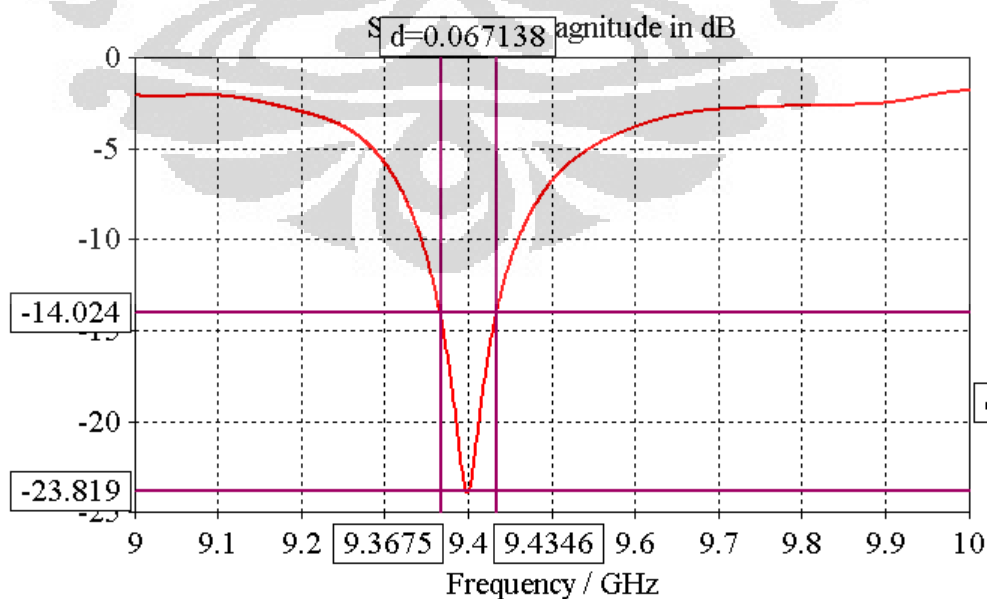
Setelah melakukan beberapa iterasi pada slot-slot serta *probe* antena waveguide 8 slot, didapatkan karakteristik antena agar antena ini dapat bekerja di frekuensi 9,37 – 9,43 GHz. Hasil simulasi rancangan akhir antena waveguide 8 slot ditunjukkan pada Gambar 3.14.

Tabel 3.6. Spesifikasi Rancangan Akhir Antena Waveguide 8 Slot

Jarak antarslot	panjang slot	lebar slot	jarak slot dengan centerline	Jarak terminasi	Panjang probe	Jarak probe – slot
22,28	15,96	2,23	5	11,14	6,3	45,98

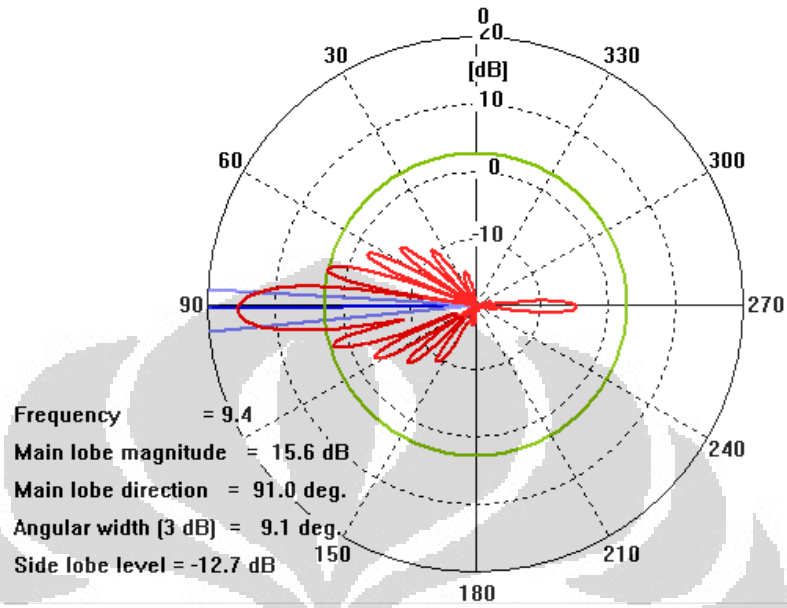
semua dimensi dalam mm

Antena waveguide 8 slot yang berhasil dirancang memiliki spesifikasi ukuran seperti pada Tabel 3.6. Dari hasil simulasi pada Gambar 3.14 (a), terlihat bahwa antena ini telah memiliki frekuensi kerja di 9,37 – 9,43 GHz, dengan *bandwidth* 67 MHz pada  $VSWR < 1,5$ . Gambar 3.14 (b), (c), dan (d) menunjukkan pola radiasi antena ini. *Gain* yang dicapai adalah 15,41 dBi, sedangkan *beamwidth* horizontal-nya adalah  $9,1^\circ$ .

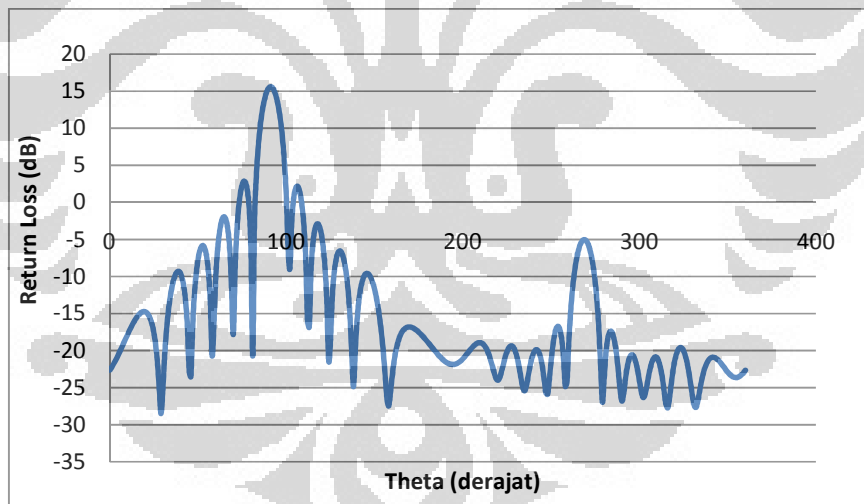


(a)

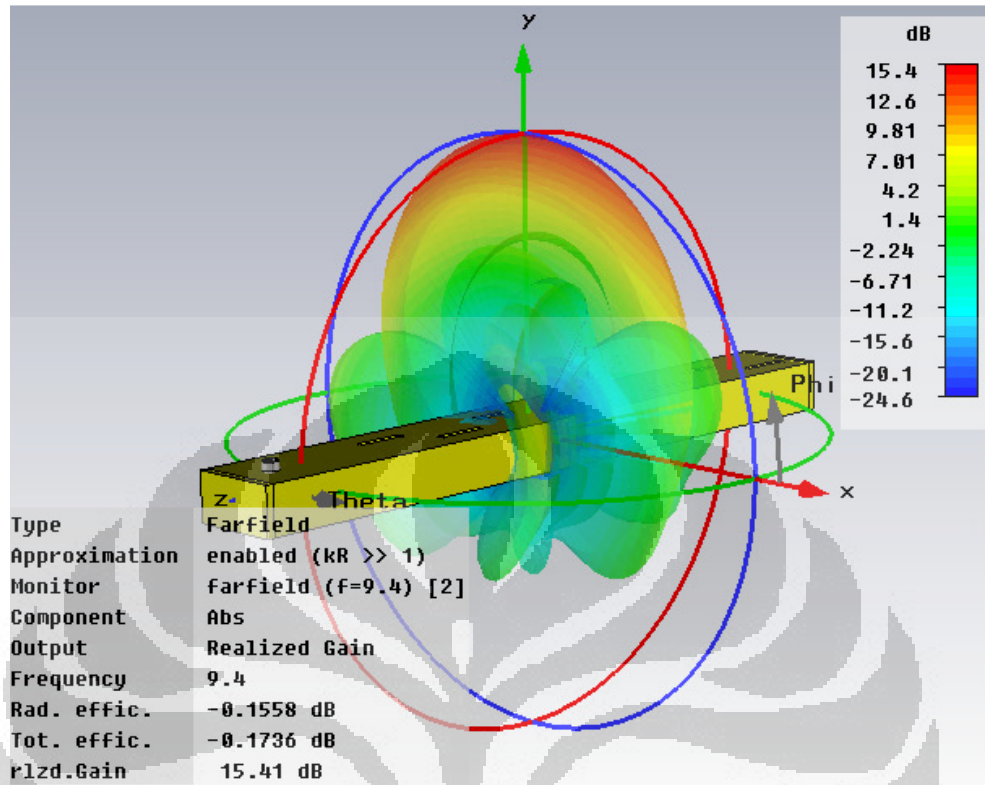
Farfield 'farfield (f=9.4) [2]' Realized Gain\_Abs(Theta); Phi= 90.0 deg.



(b)



(c)



(d)

Gambar 3.14. Hasil Simulasi Akhir Antena Waveguide 8 Slot, (a) *Return Loss* (dB) vs Frekuensi (GHz) (b) Pola Radiasi Polar Bidang *Theta* (c) Pola Radiasi Cartesians Bidang *Theta* (d) Pola Radiasi 3 Dimensi

Pencapaian rancangan akhir antena waveguide 8 slot ini cukup baik, karena parameter-parameter tujuan telah terpenuhi, yaitu bekerja pada frekuensi 9,37 – 9,43 GHz dengan  $VSWR < 1,5$ , dan *beamwidth* yang kurang dari  $10^\circ$ . *Gain* yang dicapai cukup bagus untuk jumlah slot 8 buah, yaitu 15,41 dBi. Perancangan antena waveguide 8 slot ini cukup baik untuk kelak dikembangkan menjadi antena waveguide 64 slot agar mendapatkan *beamwidth* yang lebih sempit untuk dapat diaplikasikan sebagai antena radar pengawas pantai.

Selanjutnya, rancangan antena yang telah memenuhi semua parameter yang dituju ini akan difabrikasi. Hasil fabrikasi antena akan diukur dan kemudian dianalisis.

## BAB 4

### FABRIKASI DAN PENGUKURAN ANTENA

Pada bab ini, dilakukan fabrikasi dan pengukuran antenna. Sebelumnya telah didapatkan rancangan antenna *waveguide* 8 slot dengan *bandwidth* yang lebar. Setelah difabrikasi, antenna ini akan diukur parameter-parameternya. Parameter antenna yang akan diukur diharapkan akan memiliki frekuensi kerja 9,37 – 9,43 GHz (*bandwidth* minimal 60 MHz) dan VSWR minimal 1,5. Hasil pengukuran antenna yang didapatkan akan dibandingkan dengan hasil simulasi, dan kemudian dianalisis.

Pengukuran antenna *waveguide* 8 slot yang akan dilakukan adalah pengukuran *return loss*, pola radiasi antenna, dan *gain* antenna. Pengukuran *return loss* bertujuan untuk mengetahui parameter antenna yang telah difabrikasi seperti frekuensi kerja, *impedance bandwidth*, dan VSWR. Pengukuran ini menggunakan pengukuran *port* tunggal. Pengukuran pola radiasi bertujuan untuk mengetahui pola radiasi dan *beamwidth* antenna. Pengukuran ini menggunakan pengukuran *port* ganda. Adapun pengukuran *gain* antenna juga menggunakan *port* ganda.

#### 4.1 Peralatan Yang Digunakan Untuk Pengukuran

Pada pengukuran antenna, diperlukan berbagai macam peralatan yang digunakan baik berupa perangkat keras (*hardware*) maupun perangkat lunak (*software*). Perangkat keras digunakan untuk fabrikasi dan pengukuran antenna, sedangkan perangkat lunak digunakan untuk melakukan simulasi dan untuk mengetahui karakteristik antenna yang dirancang. Berikut ini adalah peralatan yang digunakan untuk melakukan pengukuran, yaitu:

Perangkat keras yang digunakan dalam perancangan dan pengukuran antenna *waveguide* 8 slot antara lain :

1. Material kuningan, sebagai material dasar antenna *waveguide slot*
2. *Network Analyzer* Agilent N5230C (300 kHz - 13,5 GHz)

Alat ini dapat digunakan untuk pengukuran *port* tunggal (mengukur VSWR, frekuensi kerja, *return loss*, dan *bandwidth*), serta *port* ganda (mengukur pola radiasi dan *gain*).

3. *Calibration Kit Agilent 85052D*  
Peralatan kalibrasi ini digunakan untuk mengkalibrasi *Network Analyzer* sebelum dilakukan pengukuran
4. *Connector SMA (SubMiniature version A) 50 ohm*
5. Kabel *Coaxial 50 ohm*

Adapun perangkat lunak (*software*) yang digunakan yaitu :

1. *CST 2009*

Perangkat lunak ini digunakan untuk merancang dan mensimulasikan antena yang akan dibuat. Setelah disimulasi akan diperoleh beberapa karakteristik antena seperti frekuensi kerja, *bandwidth*, impedansi input, *return loss*, VSWR, dan pola radiasi.

2. *Microsoft Excel 2007*

Perangkat lunak ini digunakan untuk mengolah data dan grafik dengan persamaan matematis.

## 4.2 Pengukuran Antena Waveguide 8 Slot

Pengukuran antena *waveguide* 8 slot yang akan dilakukan adalah pengukuran *port* tunggal dan pengukuran *port* ganda. Pengukuran *port* tunggal bertujuan untuk mendapatkan frekuensi kerja, *return loss*, dan *bandwidth* antena. Sedangkan pengukuran *port* ganda yang akan dilakukan adalah pengukuran pola radiasi dan *gain* antena. Namun, sebelum melakukan pengukuran ini, kondisi pengukuran antena harus dipenuhi.

### 4.2.1 Kondisi Pengukuran Antena

Pada pengukuran antena yang telah difabrikasi, ada beberapa kondisi yang harus dipenuhi agar didapatkan data hasil pengukuran yang valid. Gambar 4.1 menunjukkan hasil fabrikasi antena *waveguide* 8 slot yang akan diukur. Khusus pengukuran antena *port* ganda dilakukan pada *anechoic chamber*, dan harus memenuhi kondisi propagasi gelombang yang meliputi daerah medan radiasi antena dan daerah Fresnel.



Gambar 4.1 Hasil Fabrikasi Antena Waveguide 8 Slot

Pengukuran antenna ini berada pada daerah medan *far-field*, karena medan radiasi pada daerah ini sudah stabil, Antena yang akan diukur atau *Antenna Under Test* memiliki ukuran dimensi panjang 28 mm x 15,3 mm x 225 mm, sehingga dimensi linier terbesar antenna adalah 225 mm. Dengan persamaan 2.10 yang telah dijelaskan pada Bab II, didapatkan jarak *far-field* antenna dengan frekuensi kerja 9,4 GHz adalah

$$R_2 = \frac{2D^2}{\lambda} = \frac{2 \times (0,225)^2}{0,031915} = 3,17 \text{ meter}$$

Sehingga, pada pengukuran ini jarak AUT (*Antenna Under Test*) dan antenna penguji (antenna lain yang digunakan sebagai pemancar) adalah 3,2 meter. Agar jalur propagasi *Line of Sight*, maka daerah Fresnel pertama harus bebas dari objek penghalang. Radius daerah Fresnel dapat dihitung dengan persamaan 2.11 pada Bab II, yaitu:

$$F_1 = 17,3 \times \sqrt{\frac{d_1 d_2}{f(d_1 + d_2)}} = 17,3 \times \sqrt{\frac{0,0016 \times 0,0016}{9,4 \times (0,00317)}} = 0,17 \text{ meter}$$

Sehingga ketinggian AUT dan penguji minimal adalah 0,17 meter dari permukaan bumi atau dari objek penghalang. Pada pengukuran ini, tinggi AUT dan penguji adalah 0,5 meter.

#### 4.2.2 Pengukuran *Port Tunggal*

Pengukuran parameter *port tunggal* merupakan pengukuran AUT secara langsung tanpa bantuan antenna lainnya. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan alat ukur *Network Analyzer*. Antena yang ingin diukur dihubungkan

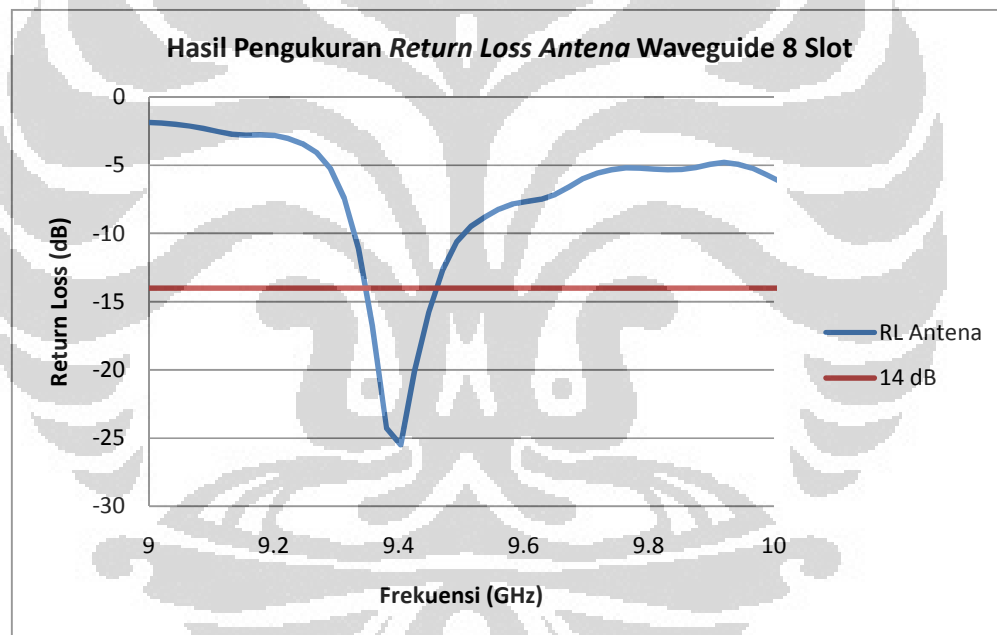


pada salah satu *port* pada *Network Analyzer*. Melalui pengukuran ini, dapat diperoleh parameter-parameter antenna seperti *return loss*, *VSWR*, dan *bandwidth*.

Lubang di ujung kiri antenna *waveguide* pada Gambar 4.1 adalah lubang untuk peletakan pencatu *waveguide*. Pada pengukuran ini, dipakai antenna *monopole* sebagai *probe* pencatu antenna *waveguide* 8 slot.

#### 4.2.2.1 Pengukuran *Return Loss* Antena *Waveguide* 8 Slot

Dengan menggunakan antenna *monopole* sebagai pencatu, dilakukan pengukuran terhadap antenna *waveguide* 8 slot yang telah difabrikasi. Data hasil pengukuran *return loss* antenna ini dapat dilihat pada **Lampiran A1**, sedangkan grafik hasil pengukuran antenna ini dapat dilihat pada Gambar 4.2



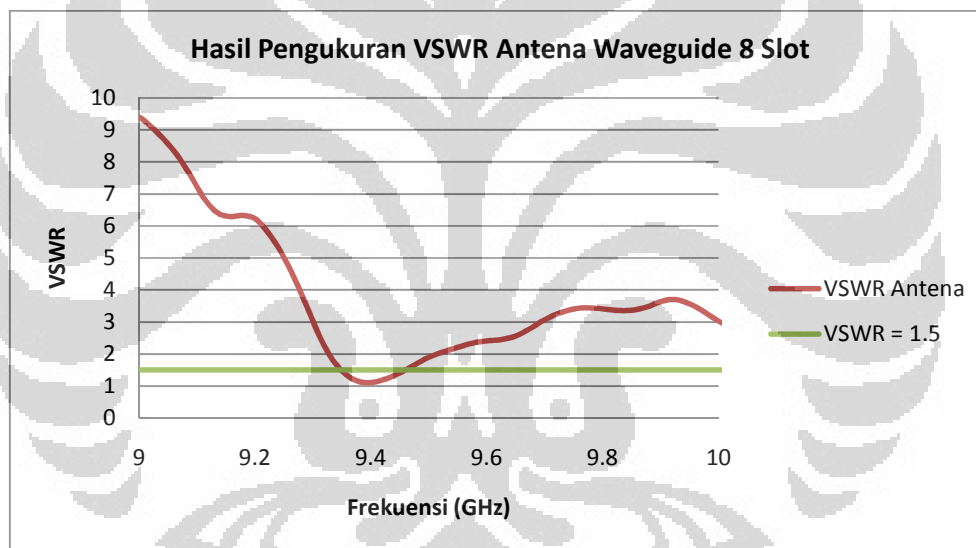
Gambar 4.2. *Return loss* Hasil Pengukuran Antena *Waveguide* 8 Slot dengan Menggunakan *Network Analyzer*

Sebenarnya, dari data hasil pengukuran, antenna *waveguide* 8 slot ini beresonansi di beberapa frekuensi, salah satunya di frekuensi 9,4 GHz. Untuk memperjelas grafik, Gambar 4.2 hanya menunjukkan hasil pengukuran pada *range* frekuensi 9 GHz sampai 10 GHz. Seperti yang terlihat pada Gambar 4.2, antenna *waveguide* 8 slot ini dapat bekerja pada frekuensi 9,35 – 9,46 GHz, dan *bandwidth*

yang diperoleh adalah 110 MHz. Sedangkan berdasarkan simulasi, antenna ini harus dapat mencakup frekuensi 9,37 – 9,43 GHz. Sehingga, frekuensi kerja pada hasil pengukuran sudah mencakup frekuensi tujuan, yaitu 9,37 – 9,43 GHz. Bahkan, *bandwidth* yang didapatkan saat pengukuran lebih besar daripada *bandwidth* pada simulasi, yaitu 110 MHz.

#### 4.2.2.2 Pengukuran VSWR Antena *Waveguide* 8 Slot

Berdasarkan dasar teori, nilai VSWR berkaitan dengan nilai *return loss*. Sehingga, hasil VSWR dapat pula dihitung dari *return loss* pada hasil Gambar 4.2. Data hasil pengukuran VSWR dapat dilihat pada **Lampiran A2**. Grafik hasil pengukuran VSWR antena *waveguide* 8 slot dapat dilihat pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Hasil Pengukuran VSWR Antena *Waveguide* 8 Slot

Dari Gambar 4.3, antena sudah *matching* pada frekuensi kerja 9,37 – 9,43 GHz dengan referensi VSWR < 1,5, sehingga antena *waveguide* 8 slot mampu memenuhi kriteria antena yang diinginkan.

#### 4.2.3 Pengukuran *Port* Ganda

Pengukuran parameter *port* ganda merupakan pengukuran AUT dengan menggunakan bantuan antena penguji. Antena penguji yang digunakan harus beresonansi pada frekuensi 9,4 GHz juga. Pengukuran dilakukan dengan

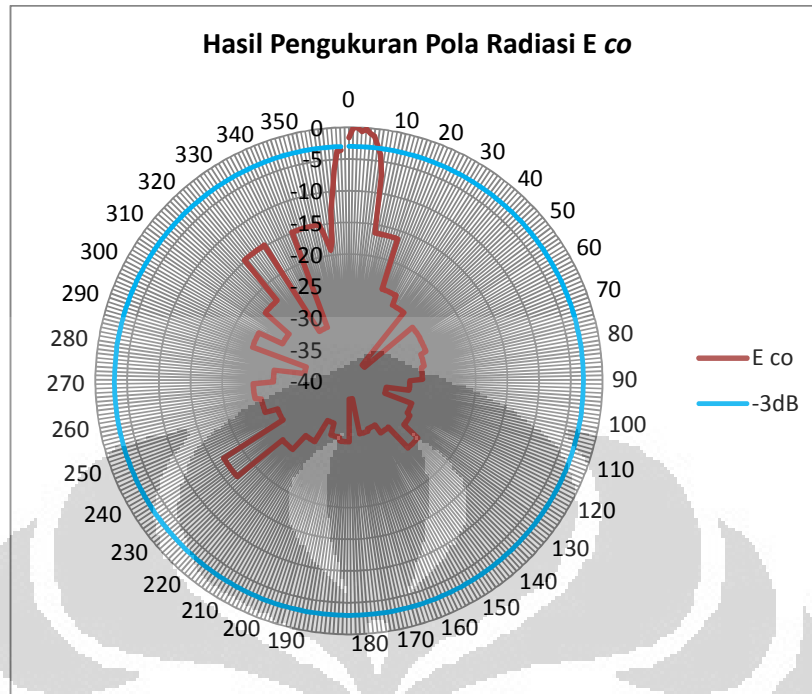
menggunakan alat ukur *Network Analyzer*, dan dilakukan di dalam *anechoic chamber*. Persyaratan daerah medan *far-field* dan Fresnel harus dipenuhi dalam pengukuran ini.

#### 4.2.3.1 Pengukuran Pola Radiasi Antena Waveguide 8 Slot

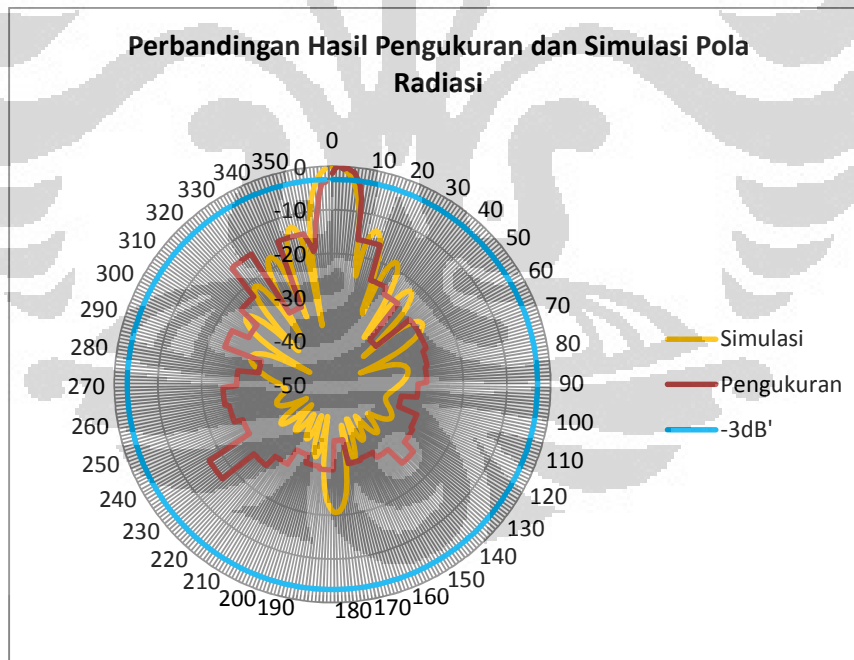
Setelah dilakukan pengukuran *port* tunggal, selanjutnya dilakukan pengukuran pola radiasi antena *waveguide* 8 slot. Pengukuran pola radiasi ini bertujuan untuk mengetahui pola radiasi dan *beamwidth* AUT. *Port* 2 pada *Network Analyzer* dihubungkan dengan AUT, yaitu antena *waveguide* 8 slot yang akan diukur. AUT berperan sebagai antena penerima, dan dihubungkan dengan *Network Analyzer* dengan menggunakan kabel *coaxial* yang memiliki impedansi karakteristik 50 Ohm. *Port* 1 pada *Network Analyzer* dihubungkan dengan antena pemancar, yaitu antena penguji yang beresonansi di frekuensi kerja AUT, yaitu 9,4 GHz.

Pada pengukuran pola radiasi ini, jarak antara AUT dan penguji harus memenuhi persyaratan daerah medan *far-field*, dengan ketinggian yang memenuhi persyaratan daerah Fresnel. Pengukuran pola radiasi dilakukan dengan memutar AUT 360° pada sumbunya. Data yang diambil pada pengukuran ini adalah daya yang diterima oleh antena uji (AUT). Pada pengukuran ini, pola radiasi yang diambil adalah pola radiasi *E-co*, karena pengukuran ini hanya bertujuan untuk mengetahui *beamwidth* horizontal antena uji. Oleh karena itu, AUT diposisikan horizontal, agar posisi medan **E** vertikal, sehingga *beamwidth* horizontal dapat diukur. Interval pemutaran antena uji adalah 10°. Namun, karena berdasarkan simulasi yang didapatkan *beamwidth* antena *waveguide* 8 slot adalah 9,1°, maka pada posisi tertentu interval pemutaran dibuat 1°, yaitu di posisi *main lobe* terpancar.

Data hasil pengukuran pola radiasi antena *waveguide* 8 slot ini dapat dilihat pada **Lampiran B**. Data yang telah dirata-ratakan tersebut kemudian dinormalisasikan terhadap nilai rata-rata yang maksimum. Hasil normalisasi selanjutnya di-*plot* ke dalam grafik *radar* pada *Microsoft Excel* 2007. Gambar 4.4 memperlihatkan hasil pengukuran pola radiasi *E-co* antena *waveguide* 8 slot.



Gambar 4.4. Hasil Pengukuran Pola Radiasi E<sub>co</sub> Antena Waveguide 8 Slot



Gambar 4.5. Perbandingan Hasil Pengukuran dan Hasil Simulasi Pola Radiasi E<sub>co</sub> Antena Waveguide 8 Slot

Pengukuran *beamwidth* yang diambil adalah HPBW (*Half Power Beamwidth*) yang menunjukkan seberapa lebar berkas pancaran ketika telah kehilangan setengah dayanya atau secara logaritmik terlihat penurunan 3 dB. Dari Gambar 4.5, terlihat bahwa pola radiasi hasil pengukuran tidak jauh berbeda dengan hasil simulasi. Grafik merah menggambarkan hasil pengukuran, grafik kuning menggambarkan hasil simulasi, dan grafik biru menggambarkan penurunan 3 dB. Dari hasil pengukuran didapatkan *beamwidth* horizontal antenna sebesar  $9^\circ$ . Hasil ini sesuai dengan hasil simulasi, yaitu *beamwidth* sebesar  $9,1^\circ$ .

#### 4.2.3.2 Pengukuran *Gain* Antena Waveguide 8 Slot

Pengukuran selanjutnya yang dilakukan adalah pengukuran *gain* antenna *waveguide* 8 slot. Pengukuran *gain* antenna ini menggunakan dua antenna pengujian, satu sebagai pemancar (antenna pengujian 1), dan satu lagi sebagai penerima (antenna referensi). Adapun AUT di sini (antenna *waveguide* 8 slot) juga bekerja sebagai antenna penerima. Antenna pengujian 1 merupakan antenna pemancar yang beresonansi pada frekuensi 9,4 GHz, namun tidak harus diketahui *gain*-nya, sedangkan antenna referensi merupakan antenna *dipole* yang bekerja di frekuensi 9,4 GHz, dan memiliki *gain* sebesar 2,15 dBi. Posisi jarak dan tinggi antenna harus memenuhi *fresnel zone*, seperti pada pengukuran pola radiasi.

Pengukuran ini memiliki dua tahap, yang pertama AUT dihubungkan ke *port* 2 pada *Network Analyzer* dan antenna pengujian 1 dihubungkan pada *port* 1. Kemudian diukur besarnya daya yang diterima AUT dengan *Network Analyzer* ini. Pada pengukuran ini, didapatkan  $S_{21}$  sebesar -46,69 dB.

Pada tahap kedua, dilakukan hal yang sama seperti pada tahap pertama, namun kali ini pengukuran dilakukan antara antenna pengujian 1 dan antenna referensi (antenna *dipole*). *Port* 2 pada *Network Analyzer* dihubungkan dengan antenna *dipole* sebagai antenna penerima dan *port* 1 masih terpasang di antenna pengujian 1 sebagai pemancar. Hasil  $S_{21}$  pada pengukuran ini adalah -57,705 dB.

Maka, *gain* antenna *waveguide* 8 slot dapat dihitung dengan persamaan berikut[17]:

$$(G_{AUT})_{dB} = (G_{ref})_{dB} + (|S_{21}|_{AUT})_{dB} - (|S_{21}|_{ref})_{dB} + (M_{AUT})_{dB}$$

Dimana  $G_{AUT}$  adalah *gain* AUT,  $G_{ref}$  adalah *gain* antenna referensi (antena *dipole*), dan  $M_{AUT}$  adalah faktor koreksi. Faktor koreksi dapat dihitung dengan persamaan[17]:

$$M_{AUT} = 1/(1 - |\Gamma_{AUT}|^2)$$

$$M_{AUT} = 1/\left(1 - (10^{S_{22ref}/10})^2\right)$$

Hasil pengukuran  $S_{22}$  pada antenna referensi (*dipole*) adalah -13,19 dBi, sehingga:

$$M_{AUT} = 1/\left(1 - (10^{-13.19/10})^2\right) = 1,0023 \text{ dBi}$$

Maka, *gain* AUT adalah:

$$(G_{AUT})_{dB} = 2,15 \text{ dBi} + -46,69 \text{ dB} - (-57,705) \text{ dB} + 1,0023 \text{ dBi}$$

$$(G_{AUT})_{dB} = 14,17 \text{ dBi}$$

Dari hasil pengukuran, didapatkan *gain* antenna *waveguide* 8 slot ini sebesar 14,17 dBi. Sedangkan berdasarkan hasil simulasi, didapatkan *gain* sebesar 15,41 dBi. Hasil pengukuran dan simulasi yang didapatkan tidak jauh berbeda, dan hanya mengalami sedikit perubahan. Ketidaksesuaian hasil ini dapat dipengaruhi beberapa faktor, yang akan dijelaskan pada subbab berikutnya.

### 4.3 Analisis Pengukuran

#### 4.3.1 Pengukuran *Port* Tunggal

Telah dijelaskan bahwa antenna *waveguide* 8 slot yang difabrikasi ini memakai *coaxial probe* atau antenna *monopole* untuk pencatuan energi. Antenna *monopole* ini disolder pada SMA 50 ohm. Panjang antenna *monopole* sangat mempengaruhi frekuensi kerja dari antenna *waveguide* slot, karena energi dikopel dari antenna ini.

Dalam proses pengukuran antenna *waveguide* 8 slot, posisi peletakkan antenna *monopole* sangat berpengaruh terhadap frekuensi resonansi. Karena lubang tempat peletakkan antenna *monopole* terlalu besar, posisi antenna *monopole* dapat bergeser ketika disolder. Pergeseran letak pencatu berapa millimeter saja akan

menyebabkan perubahan frekuensi kerja yang cukup signifikan. Jadi, pengukuran antenna waveguide slot ini harus dilakukan dengan sangat berhati-hati, karena antenna ini bekerja pada frekuensi yang sangat tinggi, yaitu 9,4 GHz, sehingga sedikit perubahan letak pencatu akan mempengaruhi performa antenna waveguide ini.

Untuk hasil pengukuran *return loss* dan VSWR antenna, didapatkan data yang cukup baik, yaitu didapaknya *bandwidth* yang cukup lebar, yang mencakup *range* frekuensi tujuan, yaitu 9,37 – 9,43 GHz pada VSWR < 1,5. *Return Loss* hasil pengukuran lebih kecil dibandingkan hasil simulasi. Hal ini dapat disebabkan oleh kesalahan-kesalahan umum seperti efek penyolderan konektor SMA yang kurang baik, dan adanya *loss* maupun *bending* pada kabel penghubung.

#### 4.3.2 Pengukuran Port Ganda

##### 4.3.2.1 Pengukuran Pola Radiasi

Pada pengukuran pola radiasi antenna, ada sedikit perbedaan pada hasil pengukuran dan simulasi. Dari grafik hasil pengukuran yang ditunjukkan pada Gambar 4.4, terlihat bahwa *main lobe* dari antenna waveguide slot ini berada di antara sudut  $0^\circ$  sampai  $10^\circ$ . Posisi dan level *main lobe* ini cukup sesuai dengan hasil simulasi, karena saat pengukuran, interval perputaran AUT pada sudut ini cukup kecil, yaitu  $1^\circ$ . Sehingga, didapatkan hasil pengukuran yang cukup presisi.

Pada Gambar 4.5, dapat dilihat bahwa level *side lobe* pada hasil pengukuran cukup menyerupai hasil simulasi, namun masih ada perbedaan pola pada *side lobe* ini. Adapun perbedaan pola *side lobe* pada antara pengukuran dan simulasi disebabkan karena pada sudut-sudut ini, dilakukan pengukuran dengan interval pemutaran AUT yang cukup besar yaitu  $10^\circ$ . Sehingga data hasil pengukuran yang didapatkan kurang presisi. Namun, hal ini dapat ditoleransi karena tujuan dari pengukuran ini adalah untuk melihat *beamwidth* antenna, yang dibentuk oleh *main lobe*.

Dari data hasil pengukuran pada **Lampiran B**, didapatkan hasil  $S_{21}$  yang cukup kecil, yang berarti *loss* pada antenna ini cukup besar. Hal ini disebabkan oleh

beberapa faktor yang menghambat dalam pengukuran. Faktor pertama yang dapat menjadi penyebab kesalahan adalah penyolderan SMA yang kurang baik. Karena waveguide terbuat dari kuningan, maka harus dipakai timah khusus untuk kuningan dalam proses penyolderan. Pemakaian timah biasa akan membuat solderan yang dihasilkan mudah terlepas. Penyolderan yang tidak sempurna akan membuat data hasil pengukuran yang kurang valid.

Faktor penyebab kesalahan lainnya adalah jarak kedua antenna yang terlalu jauh, yaitu 3,2 meter. Semakin jauh jarak antara antenna-antenna yang diukur, pengaruh dari *free space loss* akan semakin besar. *Free space loss* atau redaman ruang bebas merupakan rugi-rugi propagasi di ruang bebas antara dua antenna akibat energi yang tersebar. *Loss* ini akan menjadikan data yang didapatkan tidak valid. Selain itu, antenna yang bekerja pada frekuensi microwave lebih rentan terhadap atenuasi. *Thermal noise* dan *external noise* dapat mengganggu propogasi gelombang antenna yang diukur.

#### 4.3.2.2 Pengukuran *Gain*

Pangukuran *gain* dilakukan dengan membandingkan kekuatan sinyal yang diterima oleh AUT dengan antenna yang telah diketahui *gain*-nya, biasanya antenna *dipole*, karena telah diketahui bahwa antenna ini memiliki *gain* sebesar 2,15 dBi. Antenna dengan frekuensi yang sama akan digunakan sebagai pemancar. Hasil *gain* antenna waveguide 8 slot didapatkan dengan menyelisihkan daya tangkap AUT dengan antenna *dipole*, kemudian menjumlahkannya dengan *gain* antenna *dipole*, dan faktor koreksi.

Teknik pengukuran ini merupakan teknik yang paling sederhana untuk mengukur *gain*. Posisi antenna pemancar dan penerima harus *Line of Sight*. Hasil pengukuran yang didapatkan cukup berbeda dengan hasil simulasi. Pada simulasi didapatkan *gain* 15,41 dBi, sedangkan pada pengukuran didapatkan 14,71 dBi. Penyebab turunnya perfoma antenna ini dapat disebabkan oleh kesalahan umum seperti adanya *free space loss*, maupun *loss* dan *bending* pada kabel konektor. Selain itu, penyebab kesalahan pada pengukuran ini adalah adanya penghalang yang berada dalam daerah Fresnel. Kondisi ini dapat menyebabkan data hasil pengukuran yang dilakukan kurang valid.



#### 4.4 Analisis Kesalahan Umum

Secara garis besar ada beberapa hal yang menyebabkan hasil pengukuran parameter antenna tidak sesuai dengan hasil simulasi atau dengan kata lain mengalami pergeseran nilai. Penyebab-penyebab itu antara lain:

1. Hasil fabrikasi antenna tidak 100% tepat dengan rancang bangun antenna yang disimulasikan.
2. Proses penyolderan konektor SMA dengan saluran pencatu *probe*/antenna *monopole* yang kurang sempurna.
3. Simulasi tidak memperhitungkan tingkat temperatur dan kelembapan udara, tetapi pada saat pengukuran temperatur dan tingkat kelembapan berpengaruh pada propagasi gelombang dan resistansi udara.
4. Adanya rugi-rugi pada kabel penghubung, *port* SMA, dan konektor pada *Network Analyzer*.
5. Kondisi *chamber* yang tidak sempurna sehingga memungkinkan munculnya gangguan pada saat pengukuran.

## BAB 5

### KESIMPULAN

1. Pada skripsi ini telah berhasil dirancang dan difabrikasi antenna waveguide 8 slot.
2. Antena waveguide 8 slot yang dirancang bekerja pada frekuensi 9,37 GHz sampai 9,43 GHz pada VSWR < 1,5, dan memiliki *beamwidth* horizontal 9,1° serta *gain* 15,41 dBi.
3. Pencatutan antenna waveguide 8 slot ini menggunakan antenna *monopole*, yang diletakkan di salah satu ujung waveguide.
4. Untuk mendapatkan parameter-parameter antenna yang diinginkan, telah dilakukan iterasi panjang *probe* pencatu, jarak slot dengan *centerline*, serta jarak *probe* dengan slot terdekat pada antenna waveguide 8 slot ini.
5. Hasil fabrikasi dan pengukuran antenna waveguide 8 slot didapatkan antenna bekerja pada frekuensi 9,35 – 9,46 GHz pada VSWR < 1,5, dengan *beamwidth* horizontal sebesar 9°, dan *gain* 14,17 dBi.

## DAFTAR ANCUAN

- [1] Wahab, Mashury, et al., *Measurement dan Evaluation of ISRA LIPI Radar's Antenna Radiation Pattern*, The 5th International Conference TSSA 2009.
- [2] Mondal, M. and A Chakrabarty. *Resonant Length Calculation dan Radiation Pattern Synthesis of Longitudinal Slot Antena In Rectangular Waveguide*. Progress in Electromagnetics Research Letters, vol. 3, 187–195, 2008.
- [3] Akkaraekthalin, Prayoot, Vech Vivek, and Preecha Tongdit,. *Optimizing Cross Slot Parameters for Circular Polarization of Rectangular Waveguide Antenna*. The Jurnal of KMITNB vol.11 No.3 Juli- Sept 2001.
- [4] Young, John C., Jiro Hirokawa, and Makoto Dano. *Analysis of A Rectangular Waveguide Edge Slot Array With Finite Wall Thickness*. IEEE Transactions on Antennas and Propagation vol. 55, No. 3, March 2007. Jurnal of IEEE, 0018-926X.
- [5] Dogan, Doganay. *A Novel Edge Wall Waveguide Slot Antenna*. Jurnal of IEEE, 978-1-4244-5128-9/10.
- [6] Cheng-Geng Jan, Ruey-Beei Wu, Powen Hsu, and Dau-Chyrh Chang. *Analysis of Edge Slots in Rectangular Waveguide with Finite Waveguide Wall Thickness*. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. 44, No. 8, August 1996. Jurnal of IEEE, 0018-926X/96.
- [7] Farrall, A.J. and P.R Young. "Integrated Waveguide Slot Antenas". IEE Electronic Letters 5<sup>th</sup> August 2004 Vol.40 No.16.
- [8] Balanis, Constantine A. *Antenna Theory Analysis and Design* (2<sup>nd</sup> ed.). New York: John Wiley & Sons, Inc. 1997.
- [9] Pozar, David M. *Microwave Engineering* (2<sup>nd</sup> ed.). New York: John Wiley & Sons, Inc, 1998.

- [10] Wentworth, Stuart M. *Fundamentals of Electromagnetic with Engineering Application*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- [11] Lehpamer, Harvey. *Microwave Transmission Networks: Planning, design, and Deployment* (2<sup>nd</sup> ed.). New York: McGraw-Hill. 2010.
- [12] Gilbert, A. Roland. *Antenna Engineering Handbook*. New York: McGraw-Hill. 2007.
- [13] <http://www.radartutorial.eu/03.linetheory/tl11.en.html>. Diakses tanggal 27 Maret 2011 12:25 PM.
- [14] Wade, Paul. The W1GHZ Online Microwave Antenna Book. *Chapter 7 Slot Antennas*. 8 July 2001.  
<[http://www.w1ghz.org/antbook/ch7\\_part1.pdf](http://www.w1ghz.org/antbook/ch7_part1.pdf)> Diakses tanggal 11 Januari 2011 10:38 AM.
- [15] <http://www.wikarekare.org/Antenna/8+8Waveguide.html>. Diakses tanggal 1 Maret 2011 3:49 PM.
- [16] Yestrebsky, Tom. Application Note 23-MICRF001. *Antenna Design Tutorial*.  
<[http://www.micrel.com/\\_PDF/App-Notes/an-23.pdf](http://www.micrel.com/_PDF/App-Notes/an-23.pdf)> Diakses tanggal 12 April 2011 2:12 PM.
- [17] Basari. *Cara Pengukuran Antena*. Presentation presented at seminar of Desain Sistem Antena dan Implementasinya di dalam Dunia Komunikasi Nirkabel, Electrical Engineering Departement Universitas Indonesia, Depok. 23 September 2010.

## DAFTAR PUSTAKA

Gilbert, A. Roland. *Antenna Engineering Handbook*. New York: McGraw-Hill. 2007.

Wade, Paul. The W1GHZ Online Microwave Antenna Book. *Chapter 7 Slot Antennas*. 8 July 2001. <[http://www.w1ghz.org/antbook/ch7\\_part1.pdf](http://www.w1ghz.org/antbook/ch7_part1.pdf)>  
Diakses tanggal 11 Januari 2011 10:38 AM.

Pozar, David M. *Microwave Engineering Second Edition*. New York: John Wiley & Sons, Inc. 1998.

Balanis, Constantine A. *Antenna Theory Analysis dan Design* (2<sup>nd</sup> ed.). New York: John Wiley & Sons, Inc. 1997.

<http://www.antenna-theory.com/antennas/aperture/slottedWaveguide.php>.  
Diakses pada tanggal 9 Februari 2011 1:32 PM.



**LAMPIRAN-**  
**DATA HASIL PENGUKURAN**

## A. HASIL PENGUKURAN *PORT* TUNGGAL

### A1. Data Hasil Pengukuran *Return Loss*

Freq(Hz)	S22(DB)	S22(DEG)
6.5E+09	-2.71613	88.93247
6.52E+09	-1.2323	58.00606
6.55E+09	-0.86036	41.48573
6.57E+09	-0.79853	28.02383
6.59E+09	-0.8377	14.00767
6.61E+09	-1.05519	-3.79101
6.64E+09	-1.58022	-30.0602
6.66E+09	-2.73495	-74.6485
6.68E+09	-3.88743	-148.54
6.7E+09	-2.89657	139.2308
6.73E+09	-1.85462	96.11399
6.75E+09	-1.33056	69.99501
6.77E+09	-1.08548	51.34234
6.79E+09	-1.06204	35.56703
6.82E+09	-1.13472	19.91868
6.84E+09	-1.38538	2.034576
6.86E+09	-1.92262	-21.1589
6.88E+09	-2.92345	-55.1957
6.91E+09	-4.32109	-108.944
6.93E+09	-4.28841	-178.443
6.95E+09	-2.80939	127.9972
6.97E+09	-1.77332	94.96236
7E+09	-1.24941	73.35954
7.02E+09	-0.94553	57.58386
7.04E+09	-0.83929	44.59738
7.06E+09	-0.77686	32.92545
7.09E+09	-0.79864	21.59625
7.11E+09	-0.91699	9.864348
7.13E+09	-1.09684	-3.19305
7.15E+09	-1.50553	-19.1651
7.18E+09	-2.3407	-41.402
7.2E+09	-4.06258	-77.2882
7.22E+09	-6.48778	-142.064
7.24E+09	-5.40294	139.8891
7.27E+09	-3.11683	92.76849
7.29E+09	-1.93709	65.18604
7.31E+09	-1.35003	46.77431
7.33E+09	-1.06495	33.19892
7.36E+09	-0.89183	22.24392
7.38E+09	-0.80501	12.82677

7.4E+09	-0.77294	4.15814
7.42E+09	-0.78226	-4.50836
7.45E+09	-0.86576	-13.6362
7.47E+09	-1.02374	-23.526
7.49E+09	-1.27419	-35.0161
7.51E+09	-1.67869	-49.0135
7.54E+09	-2.46398	-67.7768
7.56E+09	-4.03061	-96.444
7.58E+09	-6.78028	-147.228
7.6E+09	-7.17009	132.3772
7.63E+09	-4.28098	74.65574
7.65E+09	-2.60026	42.66188
7.67E+09	-1.7427	22.03592
7.69E+09	-1.36437	6.931877
7.72E+09	-1.18773	-4.90978
7.74E+09	-1.09824	-14.8343
7.76E+09	-1.05704	-23.7705
7.78E+09	-1.08856	-32.075
7.81E+09	-1.1683	-40.3579
7.83E+09	-1.29219	-49.2096
7.85E+09	-1.53978	-58.9447
7.87E+09	-1.84257	-70.2318
7.9E+09	-2.34168	-83.6519
7.92E+09	-3.1234	-101.264
7.94E+09	-4.56078	-126.354
7.96E+09	-7.03232	-167.247
7.99E+09	-8.51472	125.2836
8.01E+09	-6.21609	63.05431
8.03E+09	-3.99667	26.19349
8.05E+09	-2.83815	2.431927
8.08E+09	-2.24825	-14.8206
8.1E+09	-1.9562	-28.3015
8.12E+09	-1.8462	-39.4792
8.14E+09	-1.83779	-48.9741
8.17E+09	-1.84695	-57.6825
8.19E+09	-1.93535	-65.9386
8.21E+09	-2.07325	-74.5144
8.23E+09	-2.3019	-84.1791
8.26E+09	-2.68374	-95.1243
8.28E+09	-3.27588	-108.049
8.3E+09	-4.24648	-124.035
8.32E+09	-6.02714	-145.04
8.35E+09	-9.19922	-176.133
8.37E+09	-13.5715	124.7597
8.39E+09	-11.8296	48.44409



8.41E+09	-8.27184	10.13847
8.44E+09	-6.134	-10.7139
8.46E+09	-4.69027	-25.7085
8.48E+09	-3.63321	-38.9637
8.5E+09	-2.99105	-51.5461
8.53E+09	-2.75176	-62.8704
8.55E+09	-2.87801	-72.514
8.57E+09	-3.2872	-79.6461
8.59E+09	-3.63575	-84.64
8.62E+09	-3.94215	-89.5779
8.64E+09	-4.40186	-95.3219
8.66E+09	-5.23371	-100.455
8.68E+09	-6.65571	-101.006
8.71E+09	-7.3786	-90.646
8.73E+09	-6.02294	-82.0463
8.75E+09	-4.39931	-83.5075
8.77E+09	-3.39123	-89.2914
8.8E+09	-2.88262	-95.8926
8.82E+09	-2.71302	-102.304
8.84E+09	-2.66915	-108.103
8.86E+09	-2.73906	-113.096
8.89E+09	-2.75178	-116.626
8.91E+09	-2.5368	-119.645
8.93E+09	-2.25122	-123.588
8.95E+09	-2.00638	-128.242
8.98E+09	-1.87876	-133.61
9E+09	-1.85463	-139.449
9.02E+09	-1.91755	-145.481
9.04E+09	-2.00681	-151.561
9.07E+09	-2.12555	-157.55
9.09E+09	-2.30428	-163.28
9.11E+09	-2.53543	-168.265
9.13E+09	-2.72242	-172.564
9.16E+09	-2.78456	-177.411
9.18E+09	-2.77069	176.0811
9.2E+09	-2.81738	167.221
9.22E+09	-3.037	156.7101
9.25E+09	-3.41549	144.9441
9.27E+09	-4.05658	131.2708
9.29E+09	-5.21568	115.1021
9.31E+09	-7.43658	96.09947
9.34E+09	-11.1242	74.89472
9.36E+09	-16.7456	50.27589
9.38E+09	-24.2447	13.52842
9.4E+09	-25.488	-32.7025

9.43E+09	-20.0845	-61.5309
9.45E+09	-15.7676	-81.9572
9.47E+09	-12.6464	-99.1669
9.49E+09	-10.6055	-114.942
9.52E+09	-9.47822	-126.649
9.54E+09	-8.79624	-134.417
9.56E+09	-8.22425	-139.828
9.58E+09	-7.82946	-145.637
9.61E+09	-7.65008	-150.524
9.63E+09	-7.50396	-155.035
9.65E+09	-7.14613	-158.726
9.67E+09	-6.55691	-162.922
9.7E+09	-5.96743	-168.047
9.72E+09	-5.564	-173.417
9.74E+09	-5.32422	-178.304
9.76E+09	-5.20656	176.7084
9.79E+09	-5.21466	171.7153
9.81E+09	-5.27622	166.5649
9.83E+09	-5.33935	161.5044
9.85E+09	-5.31345	157.0303
9.88E+09	-5.16547	152.8794
9.9E+09	-4.9248	148.4032
9.92E+09	-4.8102	142.8805
9.94E+09	-4.93304	137.2136
9.97E+09	-5.2271	131.1969
9.99E+09	-5.6935	125.2021
1E+10	-6.20053	119.5489
1E+10	-6.66948	114.3857
1.01E+10	-7.04625	109.133
1.01E+10	-7.60573	103.2215
1.01E+10	-8.69007	98.22237
1.01E+10	-10.4623	96.46152
1.01E+10	-12.6284	102.7692
1.02E+10	-13.7086	120.1197
1.02E+10	-12.3547	134.7461
1.02E+10	-10.4456	137.8218
1.02E+10	-8.78009	135.3673
1.03E+10	-7.33375	130.4267
1.03E+10	-6.09188	123.4839
1.03E+10	-5.15671	115.5346
1.03E+10	-4.48117	107.3959
1.03E+10	-3.96792	98.44213
1.04E+10	-3.64291	88.70107
1.04E+10	-3.48059	78.44947
1.04E+10	-3.39733	67.89063

1.04E+10	-3.39642	56.99085
1.05E+10	-3.47098	45.43995
1.05E+10	-3.67264	33.02672
1.05E+10	-4.00368	19.37613
1.05E+10	-4.48785	3.894975
1.06E+10	-5.16334	-13.2172
1.06E+10	-5.997	-32.2864
1.06E+10	-6.94705	-53.8193
1.06E+10	-7.88557	-78.7125
1.06E+10	-8.5919	-107.781
1.07E+10	-8.68472	-139.404
1.07E+10	-8.1138	-170
1.07E+10	-7.18254	163.1176
1.07E+10	-6.27463	139.7247
1.08E+10	-5.42651	118.8158
1.08E+10	-4.70164	99.71902
1.08E+10	-4.08428	82.0644
1.08E+10	-3.58491	65.98295
1.08E+10	-3.17386	50.996
1.09E+10	-2.88503	36.4899
1.09E+10	-2.68592	22.04108
1.09E+10	-2.55487	7.347019
1.09E+10	-2.49302	-7.55749
1.1E+10	-2.43029	-22.2978
1.1E+10	-2.43373	-36.7281
1.1E+10	-2.49536	-50.8731

A2 Data Hasil Pengukuran VSWR

Freq(Hz)	VSWR Antena
6.5	6.447821
6.5225	14.12071
6.545	20.2078
6.5675	21.7699
6.59	20.75349
6.6125	16.48344
6.635	11.02356
6.6575	6.404176
6.68	4.543053
6.7025	6.052841
6.725	9.402297
6.7475	13.08154
6.77	16.02453

6.7925	16.37734
6.815	15.33111
6.8375	12.56589
6.86	9.072311
6.8825	5.998207
6.905	4.102809
6.9275	4.132819
6.95	6.237282
6.9725	9.830178
6.995	13.92797
7.0175	18.39069
7.04	20.71439
7.0625	22.37643
7.085	21.7669
7.1075	18.96191
7.13	15.85908
7.1525	11.5675
7.175	7.466489
7.1975	4.353713
7.22	2.800962
7.2425	3.318256
7.265	5.63322
7.2875	9.005123
7.31	12.89359
7.3325	16.33278
7.355	19.49585
7.3775	21.595
7.4	22.48969
7.4225	22.22207
7.445	20.08199
7.4675	16.98861
7.49	13.65806
7.5125	10.38059
7.535	7.097514
7.5575	4.387029
7.58	2.690901
7.6025	2.558856
7.625	4.139716
7.6475	6.730609
7.67	10.00174
7.6925	12.75859
7.715	14.64881
7.7375	15.83885
7.76	16.45471
7.7825	15.97931

7.805	14.89168
7.8275	13.46849
7.85	11.3115
7.8725	9.463364
7.895	7.463393
7.9175	5.621617
7.94	3.896066
7.9625	2.603765
7.985	2.201031
8.0075	2.912919
8.03	4.422981
8.0525	6.17517
8.075	7.769876
8.0975	8.91789
8.12	9.444902
8.1425	9.487756
8.165	9.441053
8.1875	9.013155
8.21	8.418773
8.2325	7.590833
8.255	6.524387
8.2775	5.365644
8.3	4.172025
8.3225	2.996989
8.345	2.061699
8.3675	1.530414
8.39	1.688771
8.4125	2.256483
8.435	2.948781
8.4575	3.793355
8.48	4.850895
8.5025	5.865192
8.525	6.365678
8.5475	6.091154
8.57	5.347602
8.5925	4.847605
8.615	4.482063
8.6375	4.030564
8.66	3.419034
8.6825	2.736535
8.705	2.494254
8.7275	2.998921
8.75	4.032808
8.7725	5.187474
8.795	6.081603

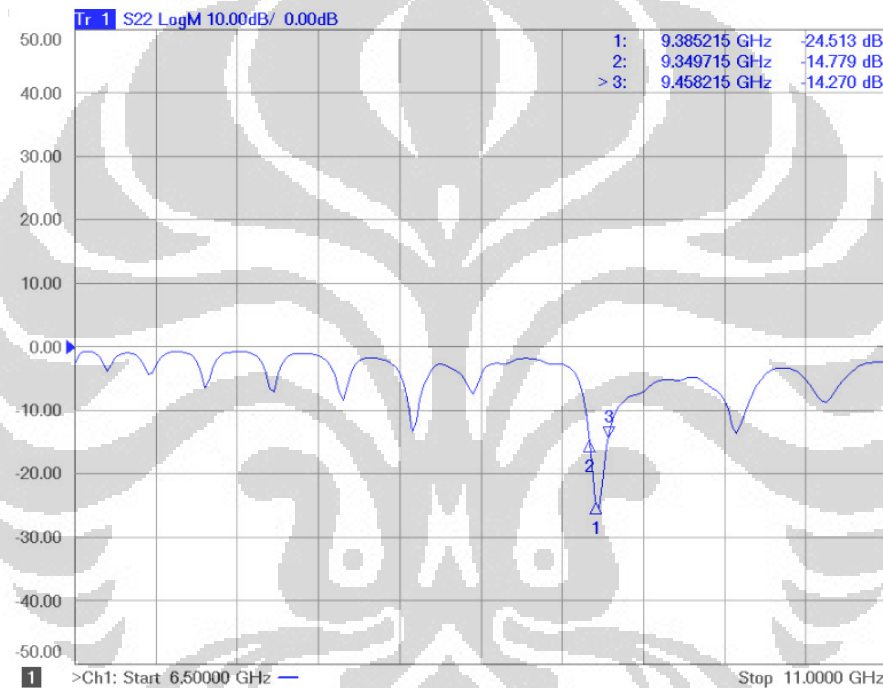
8.8175	6.455098
8.84	6.559503
8.8625	6.394707
8.885	6.36563
8.9075	6.896527
8.93	7.759759
8.9525	8.696739
8.975	9.282426
8.9975	9.402257
9.02	9.096149
9.0425	8.694875
9.065	8.213594
9.0875	7.583087
9.11	6.900197
9.1325	6.433154
9.155	6.291953
9.1775	6.322919
9.2	6.219909
9.2225	5.778207
9.245	5.151543
9.2675	4.359928
9.29	3.430167
9.3125	2.476972
9.335	1.769463
9.3575	1.34042
9.38	1.130704
9.4025	1.112294
9.425	1.219833
9.4475	1.388879
9.47	1.608156
9.4925	1.836609
9.515	2.011171
9.5375	2.140877
9.56	2.267763
9.5825	2.367008
9.605	2.415724
9.6275	2.457242
9.65	2.566533
9.6725	2.774021
9.695	3.024714
9.7175	3.228215
9.74	3.364311
9.7625	3.435831
9.785	3.430799
9.8075	3.393088

9.83	3.355349
9.8525	3.370726
9.875	3.461595
9.8975	3.6214
9.92	3.703276
9.9425	3.615668
9.965	3.423108
9.9875	3.159636
10.01	2.91964
10.0325	2.731404
10.055	2.599137
10.0775	2.428146
10.1	2.163067
10.1225	1.856476
10.145	1.609802
10.1675	1.519954
10.19	1.635523
10.2125	1.858826
10.235	2.144215
10.2575	2.507821
10.28	2.967573
10.3025	3.467142
10.325	3.962225
10.3475	4.453928
10.37	4.83835
10.3925	5.057651
10.415	5.17838
10.4375	5.179736
10.46	5.071291
10.4825	4.800319
10.505	4.415502
10.5275	3.956576
10.55	3.462944
10.5725	3.010911
10.595	2.632499
10.6175	2.352255
10.64	2.184113
10.6625	2.164202
10.685	2.294487
10.7075	2.554887
10.73	2.887939
10.7525	3.304733
10.775	3.784616
10.7975	4.331406
10.82	4.914404

10.8425	5.534158
10.865	6.076608
10.8875	6.519168
10.91	6.848417
10.9325	7.015947
10.955	7.194607
10.9775	7.184572
11	7.009448

### A3 Hasil Pengukuran Port Tunggal pada Layar Network Analyzer

#### A.3.1. Return Loss

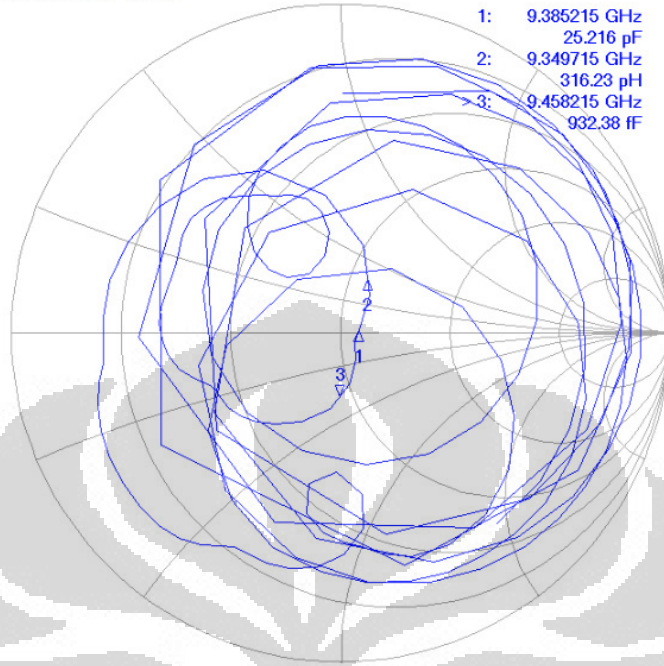




## A.3.2. Smith Chart

Tr 1 S22 Smith 1.000U/ 1.00U

1:	9.385215 GHz	55.821 $\Omega$
	25.216 pF	853.78 m $\Omega$
2:	9.349715 GHz	55.109 $\Omega$
	316.23 pH	18.569 $\Omega$
> 3:	9.458215 GHz	46.465 $\Omega$
	932.38 fF	-18.315 $\Omega$



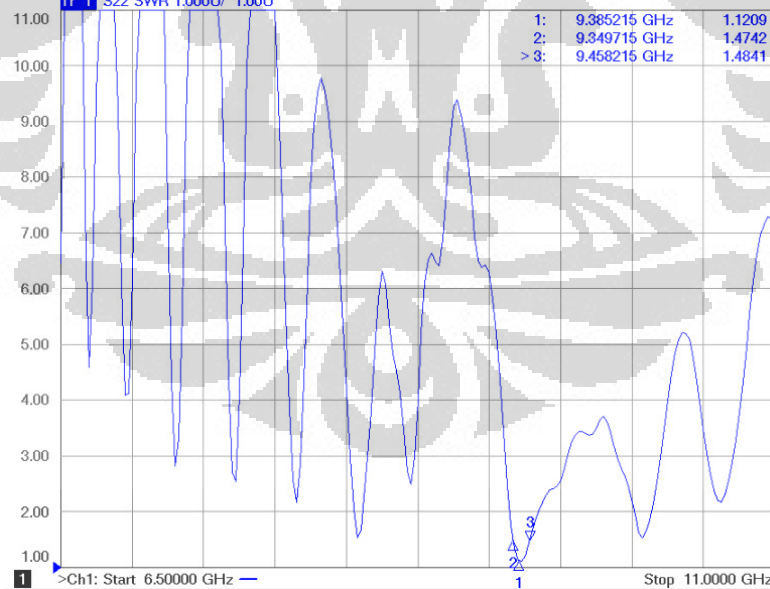
&gt;Ch1: Start 6.50000 GHz —

Stop 11.0000 GHz

## A.3.3. VSWR

S22 SWR 1.000U/ 1.00U

1:	9.385215 GHz	1.1209
2:	9.349715 GHz	1.4742
> 3:	9.458215 GHz	1.4841



&gt;Ch1: Start 6.50000 GHz —

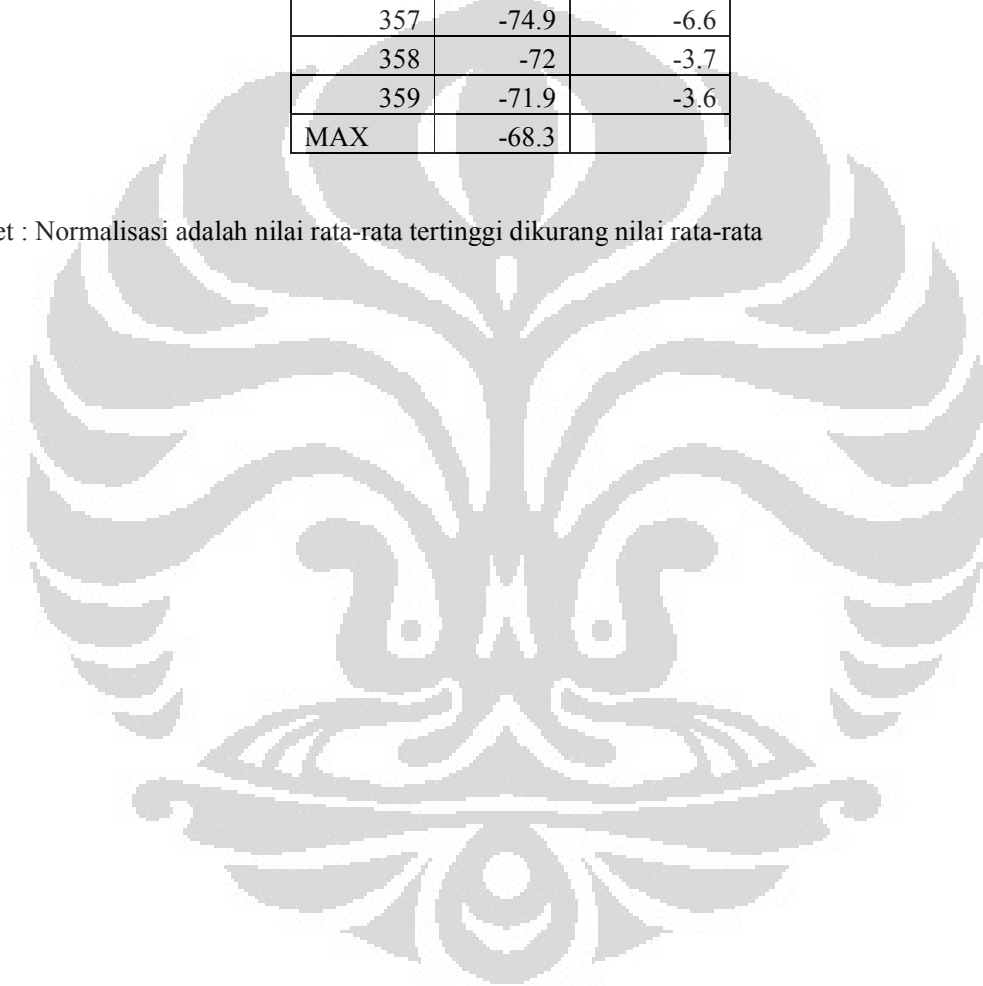
Stop 11.0000 GHz

## B. HASIL PENGUKURAN POLA RADIASI E Co

Sudut ( $^{\circ}$ )	Data (dB)	Normalisasi
0	-69.9	-1.6
1	-68.4	-0.1
2	-68.3	0
3	-68.9	-0.6
4	-68.5	-0.2
5	-69.1	-0.8
6	-69.5	-1.2
7	-70.9	-2.6
8	-72.3	-4
9	-75.3	-7
10	-84.6	-16.3
20	-92.9	-24.6
30	-94.5	-26.2
40	-105	-36.7
50	-95.2	-26.9
60	-95.3	-27
70	-96.2	-27.9
80	-96.7	-28.4
90	-98.7	-30.4
100	-102.3	-34
110	-97.8	-29.5
120	-97.2	-28.9
130	-94.2	-25.9
140	-98.7	-30.4
150	-100.2	-31.9
160	-99.8	-31.5
170	-105.4	-37.1
180	-98.7	-30.4
190	-99.3	-31
200	-101.2	-32.9
210	-97.3	-29
220	-94.3	-26
230	-85.1	-16.8
240	-96.2	-27.9
250	-94.2	-25.9
260	-93.2	-24.9
270	-96.4	-28.1
280	-101.2	-32.9
290	-92.2	-23.9
300	-96.3	-28
310	-91.3	-23

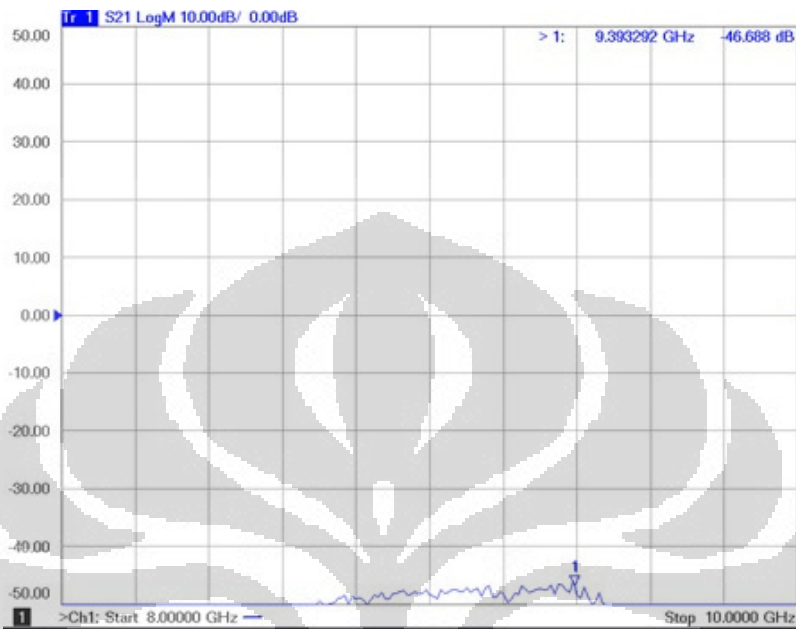
320	-83.1	-14.8
330	-99.2	-30.9
340	-83.2	-14.9
350	-83.1	-14.8
351	-84.5	-16.2
352	-85.9	-17.6
353	-87.5	-19.2
354	-86.2	-17.9
355	-81.2	-12.9
356	-78.4	-10.1
357	-74.9	-6.6
358	-72	-3.7
359	-71.9	-3.6
MAX	-68.3	

Ket : Normalisasi adalah nilai rata-rata tertinggi dikurang nilai rata-rata



### C. HASIL PENGUKURAN *GAIN*

Hasil Pengukuran  $S_{21}$  pada Antena Penguji 1 dan Antena Waveguide 8 Slot dengan Menggunakan *Network Analyzer*



Hasil Pengukuran  $S_{21}$  pada Antena Penguji 1 dan Antena Dipole 8 Slot dengan Menggunakan *Network Analyzer*

