

**PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ANTENA WAVEGUIDE  
SLOT PADA FREKUENSI 2.4 GHz**

**SKRIPSI  
KONSENTRASI TEKNIK TELEKOMUNIKASI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh :

**MUCHAMAD LUDFI CHURNIA  
NIM. 0410630066**

**DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL  
UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS TEKNIK JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
MALANG  
2009**

**PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ANTENA WAVEGUIDE  
SLOT PADA FREKUENSI 2.4 GHz**

**SKRIPSI**

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**



Disusun oleh :

**MUCHAMAD LUDFI CHURNIA**

**NIM. 04110630066**

**DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**

**FAKULTAS TEKNIK**

**MALANG**

**2009**

**PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ANTENA WAVEGUIDE  
SLOT PADA FREKUENSI 2.4GHz**

**SKRIPSI**

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh :  
**MUCHAMAD LUDFI CHURNIA**  
**NIM. 0410630066**

**DOSEN PEMBIMBING:**

**Dwi Fadila Kurniawan, ST., MT..**

**NIP. 19720 630 200003 1 002**

**Gaguk Asmungi, ST., MT.**

**NIP. 19670627 199802 1 001**

**PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ANTENA WAVEGUIDE  
SLOT PADA FREKUENSI 2.4GHZ**

Disusun oleh:

**MUCHAMAD LUDFI CHURNIA**

**NIM. 0410630066**

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada  
Tanggal 23 September 2009

**DOSEN PENGUJI**

**Rudy Yuwono, ST., MT.**  
**NIP. 19710615 199802 1 003**

**M. Fauzan E.P., ST., MT**  
**NIP. 19710609 200002 1 001**

**Ir. Erfan A, Dahlan, MT**  
**NIP. 19530714 198203 1 003**

Mengetahui,  
Ketua Jurusan Teknik Elektro,

**RUDY YUWONO, ST. MSc.**  
**NIP. 19710615 199802 1 003**

**PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ANTENA  
WAVEGUIDE SLOT PADA FREKUENSI 2.4 GHz**

**MAKALAH SEMINAR SKRIPSI**



**Disusun oleh :**

**MUCHAMAD LUDFI CHURNIA  
NIM. 0410630066**

**DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL  
UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS TEKNIK  
MALANG  
2009**

**LEMBAR PERSETUJUAN**  
**PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ANTENA WAVEGUIDE SLOT PADA**  
**FREKUENSI 2.4 GHz**

**MAKALAH SEMINAR HASIL**

**Disusun Oleh :**  
**MUCHAMAD LUDFI CHURNIA**  
**0410630066**

**Menyetujui,**  
**Dosen Pembimbing**

**Pembimbing I**

**Pembimbing II**

**Dwi Fadila K. ST., MT**  
**NIP. 19720630 200003 1 002**

**Gaguk Asmungi, ST., MT**  
**NIP. 19670627 199802 1 001**

## PENGANTAR

Alhamdulillah, segenap puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT. Yang telah melimpahkan rahmat, hidayah, ridho, nikmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan judul “**Perancangan Dan Pembuatan Antena Waveguide Slot Pada Frekuensi 2,4 Ghz**”. Tidak lupa shalawat serta salam semoga senantiasa tercurahkan untuk Rasulullah Muhammad SAW beserta keluarga, sahabat, kerabat dan para pengikutnya sampai akhir jaman.

Dengan kesungguhan dan rasa rendah hati, penyusun mengucapkan terima kasih kepada Bapak Dwi Fadila Kurniawan, ST., MT. dan Bapak Gaguk Asmungi, ST., MT. sebagai dosen pembimbing atas saran, konsultasi, motivasi, kesabaran dan waktu yang telah dicurahkan dalam pengerjaan hingga penyelesaian tugas akhir ini. Tidak terkecuali, ucapan terima kasih penulis haturkan kepada :

1. Bapak Rudy Yuwono, ST. MSc. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro.
2. Bapak Azis Muslim, ST., MT., Ph.D selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro.
3. Ibu Ir. Endah Budi P. MT. selaku Ketua Kelompok Dosen dan Keahlian Teknik Telekomunikasi.
4. Bapak Dwi Fadila K., ST, MT selaku Kepala Laboratorium Transmisi dan Gelombang Mikro.
5. Bapak, Ibu dosen serta segenap staf dan karyawan Jurusan Teknik Elektro baik secara langsung maupun tidak langsung yang telah banyak membantu dalam menyelesaikan skripsi ini.
6. Ibuku tercinta, terima kasih atas doa, kasih sayang, perhatian serta dorongan yang telah beliau berikan, Kepada Almarhum Ayahku Sarmen dan Rohmadi yang memberikan semangat dan do'a hanya dengan do'a untuk dapat membalasnya, serta kakak – kakakku Mbak Nunung, Mas Samsi, Mas Kandar yang selalu memberikan dorongan.
7. Sahabat-sahabat yang telah membantu memberikan saran-saran dari awal hingga akhir pengerjaan skripsi ini, Lutfiannur, Fendi, Balad, Sulton, Ajun, Gigih. Terima kasih atas dukungan, semangat, kebersamaan, *sharing*, bantuan ilmu, doa serta perhatiannya.
8. Teman-teman IT Telkom Bandung, April, Sandy, Kohan, Mang Deden. Terima kasih atas bantuan dan sudah memberi tempat berteduh selama saya di Bandung.

9. Seluruh rekan mahasiswa Jurusan Teknik Elektro terima kasih atas dukungannya.
10. Semua pihak yang tidak dapat kami sebutkan satu persatu. Terima kasih, sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan sebaik – baiknya.

Penyusun menyadari bahwa yang tersusun dalam skripsi ini masih banyak kekurangan-kekurangan dan jauh dari sempurna, hal ini tidak lain karena keterbatasan materi dan pengetahuan yang dimiliki penyusun. Karena itu kritik dan saran sangat kami harapkan demi kesempurnaan penyusunan skripsi ini.

Akhir kata, penulis mengharapkan semoga yang terdapat dalam skripsi ini bermanfaat untuk kita semua, rekan-rekan mahasiswa khususnya dan bagi seluruh pembaca pada umumnya.

Malang, November 2009

Penulis



## DAFTAR ISI

<b>PENGANTAR .....</b>	<b>i</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>iii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR GRAFIK DAN TABEL.....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN.....</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR SIMBOL.....</b>	<b>x</b>
<b>ABSTRAKSI .....</b>	<b>xi</b>
<b>BAB I. PENDAHULUAN</b>	
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	1
1.3. Batasan Masalah .....	2
1.4. Tujuan .....	2
1.5. Kontribusi Penulisan.....	2
1.6. Sistematika Penulisan.....	3
<b>BAB II. TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1. Pendahuluan.....	4
2.2. Dasar Teori Antena.....	4
2.3. Parameter Antena.....	4
2.4. Dasar-dasar Antena Dipole.....	15
2.5. Prinsip-prinsip Babinet .....	18
2.6. Waveguide Balok.....	21
2.7. Desain Antena Waveguide Slot Array .....	24
2.8. Desain Slot Miring Pada Pusat Dinding Luas Waveguide .....	32
2.9. Radiasi Elektromagnetik Pada Slot Datar.....	33
2.10. Menggunakan Banana Slot .....	34
2.11. Metode Penyambungan Waveguide .....	35

**BAB III. METODOLOGI**

3.1. Studi Literatur .....	38
3.2. Pengumpulan Data .....	38
3.3. Perancangan dan Pembuatan .....	38
3.4. Pengujian .....	39
3.4.1 Pengukuran <i>Return Loss</i> , Koefisien Pantul dan <i>VSWR</i> .....	39
3.4.2 Pengukuran <i>Gain</i> .....	39
3.4.3 Perhitungan <i>Directivity</i> .....	39
3.4.4 Perhitungan Pola radiasi.....	39
3.4.4 Pengukuran <i>Polarisasi</i> .....	39
3.5. Analisis.....	39
3.6. Pengambilan Kesimpulan dan Saran.....	39

**BAB IV. PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ANTENA WAVEGUIDE SLOT**

4.1 Tinjauan Umum.....	40
4.2 Perencanaan Antena <i>Waveguide Slot Array</i> .....	40
4.3 Perencanaan Peradiator Larik <i>Slot</i> .....	42
4.4 Perencanaan Antena <i>Waveguide slot</i> dengan Simulator.....	42
4.4.1 Perencanaan Bentuk <i>Slot</i> Pada Dinding <i>Waveguide</i> .....	42
4.4.2 Perencanaan Simulasi <i>Rectangular Slot</i> Pada Dinding <i>Waveguide</i> .....	43
4.4.3 Hasil Simulasi <i>Rectangular Slot</i> Pada <i>Waveguide</i> .....	43
4.4.4 Perencanaan Simulasi <i>Banana Slot</i> Pada <i>Waveguide</i> .....	46
4.4.5 Hasil Simulasi .....	48
4.4.6 Perencanaan Antena <i>Cone</i> Sebagai <i>Coupling</i> Pada Antena <i>Waveguide Slot</i> .....	51
4.4.7 Hasil Simulasi Antena <i>Cone</i> .....	52
4.5 Optimasi Pada Antena.....	54
4.6 Alat-Alat dan Bahan Yang Digunakan.....	56
4.7 Proses Pembuatan <i>Waveguide</i> Balok .....	57
4.8 Proses Pembuatan Larik <i>Slot</i> .....	58
4.9 Proses Pembuatan <i>Coupling</i> .....	59



**BAB V. PENGUKURAN DAN ANALISIS ANTENA WAVEGUIDE SLOT ARRAY**

5.1	Pendahuluan .....	60
5.2	Pengukuran Return loss, Koefisien Pantul dan Perhitungan VSWR .....	60
5.2.1	Alat-alat yang digunakan .....	60
5.2.2	Prosedur Pengukuran .....	60
5.2.3	Hasil Pengukuran .....	61
5.2.4	Analisis Hasil Pengukuran .....	64
5.3	Pengukuran Gain Antena .....	64
5.3.1	Alat-alat yang digunakan .....	64
5.3.2	Prosedur Pengukuran .....	65
5.3.3	Hasil Pengukuran .....	65
5.3.4	Analisis Hasil Pengukuran .....	67
5.4	Pengujian Pola radiasi .....	67
5.4.1	Alat-alat yang digunakan .....	67
5.4.2	Prosedur Pengukuran .....	68
5.4.3	Hasil dan Analisis Pengukuran .....	69
5.5	Pengukuran Polarisasi .....	72
5.5.1	Alat-alat Yang Digunakan .....	72
5.5.2	Prosedur Pengukuran .....	73
5.6	Perhitungan Directivity .....	75
5.7	Perhitungan Bandwidth .....	76
5.8	Kesimpulan Spesifikasi Antena Hasil Pengukuran .....	77

**BAB VI. PENUTUP**

6.1.	Kesimpulan .....	78
6.2.	Saran .....	79

<b>BAB VII DAFTAR PUSTAKA</b> .....	80
-------------------------------------	----



**LAMPIRAN**

Lampiran 1. Langkah-Langkah Pembuatan Simulasi..... 82

Lampiran 2. Dokumentasi Pengukuran..... 97



## DAFTAR GAMBAR

No	Judul	Halaman
Gambar 2.1.	Sistem koordinat untuk melakukan analisa pada <i>antena</i>	5
Gambar 2.2.	Dua dimensi normalisasi pola medan, pola daya, dan pola daya dalam dB	6
Gambar 2.3.	(a) <i>Radiations lobes</i> dan <i>beamwidth</i> pada pola <i>antena</i> (b) <i>Plot</i> linear pada daya <i>antena</i> dan hubungannya dengan lobe dan <i>beamwidth</i>	8
Gambar 2.4.	Bagian-bagian daerah Medan Radiasi Antena	9
Gambar 2.5.	Gambaran radiasi <i>antena</i>	10
Gambar 2.6.	<i>Bandwidth</i> <i>antena</i>	13
Gambar 2.7	Perbandingan panjang <i>antena</i> 1 dan panjang gelombang $\lambda$	16
Gambar 2.8	Pola radiasi <i>antena dipole</i>	17
Gambar 2.9	Sumber medan elektrik pada media luas tak terbatas dan persamaan prinsip babinet	19
Gambar 2.10	Medan radaisi dari <i>slot</i> $\lambda/2$ pada sebuah bidang dan <i>dipole</i> datar $\lambda/2$	21
Gambar 2.11	<i>Waveguide</i> balok dengan penampang melintang	22
Gambar 2.12.	Gambaran aliran Medan Elektrik dan Medan Magnetik pada <i>Waveguide</i> Balok	24
Gambar 2.13.	Perbandingan antara <i>slot</i> kotak pada bidang luas dengan <i>antena dipole</i>	24
Gambar 2.14	<i>Slot</i> yang dibentuk pada dinding <i>waveguide</i> balok	26
Gambar 2.15	Rangkaian Setara <i>Suceptance</i> pada TE	27
Gambar 2.16	Impedansi setara longitudinal <i>slot</i> pada <i>waveguide</i> balok	28
Gambar 2.17	<i>Standing wave</i>	30
Gambar 2.18	Gambar desain <i>waveguide slot</i>	31
Gambar 2.19	<i>Waveguide slot</i> <i>antena</i> dengan jumlah <i>slot</i> 32 dengan <i>feeder</i>	32
Gambar 2.20	Sistem koordinat pada <i>rectangular slot</i>	33
Gambar 2.21	<i>Desain Banana Slot</i>	34

No	Judul	Halaman
Gambar 2.22	Medan elektrik pada pertengahan banana slot.....	35
Gambar 2.23	<i>Probe</i> kapasitif ( <i>coupling</i> ).....	36
Gambar 2.24	Loop ( <i>inductive</i> ) <i>coupling</i> .....	37
Gambar 2.25	<i>Slot coupling</i> .....	37
Gambar 4.1	Desain <i>rectangular slot</i> pada <i>waveguide</i> .....	43
Gambar 4.2	<i>Port</i> S11.....	43
Gambar 4.3	VSWR pada <i>antena waveguide rectangular slot</i> .....	44
Gambar 4.4	VSWR pada <i>antena waveguide</i> dengan <i>rectangular slot</i> slot 0 GHz sampai 30 GHz.....	44
Gambar 4.5	<i>Gain</i> pada <i>Antena waveguide rectangular slot 3D Polar Plot</i> .....	45
Gambar 4.6	<i>Directivity</i> pada <i>Antena waveguide rectangular slot</i> dengan <i>3D Polar Plot</i> .....	45
Gambar 4.7	<i>Polarization</i> pada <i>Antena waveguide rectangular slot</i> dengan <i>3D Polar Plot</i> .....	46
Gambar 4.8	Bentuk desain <i>banana slot</i> .....	47
Gambar 4.9	Desain <i>antena waveguide banana slot array</i> .....	47
Gambar 4.10	<i>Port</i> S11.....	48
Gambar 4.11	VSWR pada <i>antena waveguide</i> dengan <i>banana slot</i> .....	48
Gambar 4.12	VSWR pada <i>antena waveguide</i> dengan <i>banana slot slot</i> 0 GHz sampai 30 GHz.....	49
Gambar 4.13	<i>Gain</i> pada <i>Antena waveguide banana slot 3D Polar Plot</i> .....	50
Gambar 4.14	<i>Directivity</i> pada <i>Antena waveguide banana slot</i> dengan <i>3D Polar Plot</i> .....	50
Gambar 4.15	<i>Polarization</i> pada <i>Antena waveguide rectangular slot</i> dengan <i>3D Polar Plot</i> .....	51
Gambar 4.16	Desain <i>antena cone</i> .....	51
Gambar 4.17	<i>Port</i> S11.....	52
Gambar 4.18	VSWR pada desain <i>coupling</i> <i>antena waveguide slot</i> .....	52

No	Judul	Halaman
Gambar 4.19	VSWR pada desain <i>coupling</i> antena <i>waveguide slot</i> dengan range pengukuran yang lebih besar.....	53
Gambar 4.20	<i>Gain</i> pada desain <i>coupling</i> antena <i>waveguide slot</i> .....	53
Gambar 4.21	<i>Directivity</i> pada desain <i>coupling</i> antena <i>waveguide slot</i> ..	54
Gambar 4.22	Peralatan dan bahan yang digunakan.....	56
Gambar 4.23	Tampilan desain <i>waveguide</i> .....	57
Gambar 4.24	Desain larik <i>banana slot</i> dan <i>coupling</i> .....	58
Gambar 4.25	Potongan lempengan kuningan/tembaga.....	59
Gambar 4.26	<i>Coupling</i> pada <i>waveguide</i> .....	59
Gambar 4.27	Hasil Pembuatan Antena <i>Waveguide Slot Array</i> .....	59
Gambar 5.1	Rangkaian pengukuran <i>Return Loss</i> dan VSWR.....	61
Gambar 5.2	Rangkaian Pengukuran <i>Gain</i> Antena.....	65
Gambar 5.3	<i>Gain</i> pada Antena <i>waveguide</i> <i>banana slot</i> 3D polar plot dalam dBm.....	67
Gambar 5.4	Rangkaian Pengukuran Pola radiasi Antena.....	68
Gambar 5.5	Pola radiasi Horizontal Antena <i>Waveguide Slot Array</i> ...	70
Gambar 5.6	Pola radiasi Vertikal Antena <i>Waveguide Slot Array</i> .....	72
Gambar 5.7	Rangkaian Pengukuran <i>Polarisasi</i> Antena.....	73
Gambar 5.8	Bentuk <i>Polarisasi</i> Antena <i>waveguide slot</i> .....	75

**DAFTAR GRAFIK**

No	Judul	Halaman
Grafik 5.1	Nilai <i>Return Loss</i> terhadap frekuensi.....	63
Grafik 5.2	Nilai VSWR terhadap frekuensi.....	63

**DAFTAR TABEL**

No	Judul	Halaman
Tabel 4.1	Optimasi Bentuk Kelengkungan <i>Banana Slot</i> .....	55
Tabel 4.2	Optimasi Besarnya Offset <i>slot</i> terhadap besarnya gain antena.....	55
Tabel 5.1	Hasil pengukuran <i>Return Loss</i> , Koefisien pantul dan perhitungan VSWR Antena <i>Waveguide Slot Array</i> .....	62
Tabel 5.2	Hasil pengukuran <i>Gain</i> .....	66
Tabel 5.3	Hasil pengukuran Pola radiasi Harisontal ( <i>Azimuth</i> ) pada frekuensi 2400 MHz.....	69
Tabel 5.4	Hasil pengukuran Pola radiasi Vertikal ( <i>Elevation</i> ) pada frekuensi 2400 MHz.....	71
Tabel 5.5	Hasil Pengukuran Polarisasi pada Frekuensi 2400 MHz...	74



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Langkah-Langkah Pembuatan Simulasi..... 82  
 Lampiran 2. Dokumentasi Pengukuran..... 97

DAFTAR SIMBOL

Besaran dasar	Satuan dan Singkatannya	Simbol
Lebar bagian dalam <i>waveguide</i>	<i>m</i>	<i>a</i>
Tinggi bagian dalam <i>waveguide</i>	<i>m</i>	<i>b</i>
Kecepatan cahaya ( $2,99 \times 10^8$ )	$m/s$	<i>c</i>
Jarak <i>slot</i> dari garis pusat <i>waveguide</i>	<i>m</i>	<i>d</i>
<i>Directivity</i> antena;	<i>dB</i> ;	<i>D</i>
Jarak pusat <i>slot</i> yang berdekatan	<i>m</i>	
Medan Elektrik	<i>V/m</i>	<i>E</i>
Frekuensi	<i>Hz</i>	<i>f</i>
Frekuensi <i>cut-off</i>	<i>Hz</i>	<i>f<sub>c</sub></i>
Konduktansi ternormalisasi	-	<i>g</i>
Penguatan antena ( <i>gain</i> )	<i>dB</i>	<i>G</i>
Medan magnetic	<i>A/m</i>	<i>H</i>
Mode angka <i>waveguide</i>	-	<i>m,n</i>
Jumlah <i>slot</i> pada dinding <i>waveguide</i>	-	<i>N</i>
Daya radiasi	<i>W</i>	<i>P</i>
<i>Pointing vector</i>	$W/m^2$	<i>S</i>
Rapat daya radiasi	$W/m^2$	$W_{rad}$
Impedansi antena <i>dipole</i>	$\Omega$	$Z_{dipole}$
Impedansi antena <i>slot</i>	$\Omega$	$Z_{slot}$
Konstanta atenuasi	$m^{-1}; Np/m; dB/m$	$\alpha$
Konstanta fasa	$m^{-1}$	$\beta$
Permitivitas bahan	<i>F/m</i>	$\epsilon$
Permeabilitas bahan	<i>H/m</i>	$\mu$



## ABSTRAK

**MUCHAMMAD LUDFI CHURNIA, Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya, Nopember 2009, Perancangan dan Pembuatan Antena Waveguide Slot Pada Frekuensi 2.4 GHz. Dosen Pembimbing : Dwi Fadila K., ST., MT. dan Gaguk Asmungi , ST., MT.**

Penggunaan teknologi *wireless* sudah tidak asing lagi bagi masyarakat sekarang ini, khususnya penggunaan teknologi *wireless* pada frekuensi 2.4 GHz yaitu pada frekuensi ISM (*Industrial, scientific, Medical*) yaitu berada pada frekuensi 900 MHz, 2.4 GHz, dan 5.8 GHz, yang sering digunakan untuk layanan *Wireless Local Area Network* (WLAN). Antena adalah komponen yang penting dalam sistem komunikasi *wireless*, dimana komponen ini mampu untuk mengirimkan sinyal dari saluran kabel ke udara. Antena *Waveguide Slot*, sudah diterapkan pada bidang pembuatan peluru misil, pesawat terbang dan radar. Memiliki karakteristik bentuk geometris yang sederhana, pancaran gelombang yang luas.

Parameter yang digunakan untuk menilai unjuk kerja dari antena yang dibuat adalah *VSWR*, *Return loss*, *Bandwidth*, *gain*, *directivity*, pola radiasi dan *Polarisasi*. Dan untuk mendapatkan parameter yang diinginkan dilakukan optimasi pada dimensi *waveguide*, bentuk *slot* dan besar *offset slot*.

Pada perancangan dan pembuatan antena ini digunakan bahan *waveguide* berupa aluminium dengan konstanta permitivitas dielektrik ( $\epsilon_r$ ) = 1, dan konstanta permeabilitas = 1.000021. Element peradiator *slot* pada *waveguide* disusun secara *array* sejumlah delapan elemen peradiator. Antena hasil perancangan disimulasikan menggunakan *software* simulator ANSOFT HFSS™. Setelah menemukan parameter yang diinginkan dalam perancangan, selanjutnya dilakukan pembuatan antena dan dilakukan pengukuran terhadap hasil pembuatan antena.

Hasil pengukuran antena *waveguide slot array* pada frekuensi 2400 MHz yaitu memiliki nilai *VSWR* sebesar 1,739; *Return Loss* sebenarnya -11,375; nilai *gain* 5,126 dBi, nilai *directivity* sebenarnya 16,658 dB dan *Polarisasi* linear. Dengan bentuk pola radiasi *unidirectional* dengan  $\phi^0 = 15^0$  dan  $\theta^0 = 59^0$ . Berdasarkan parameter yang didapat dari pengukuran maka antena ini dapat bekerja pada frekuensi 2400 MHz.

Kata kunci : Antena, *waveguide*, *slot*, *array*.

## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Penggunaan teknologi *wireless* sudah tidak asing lagi bagi masyarakat sekarang ini, khususnya penggunaan teknologi *wireless* pada frekuensi 2.4 GHz yaitu pada frekuensi ISM (*Industrial, scientific, Medical*) yaitu berada pada frekuensi 900 MHz, 2.4 GHz, dan 5.8 GHz, yang sering digunakan untuk layanan *Wireless Local Area Network* (WLAN). Jika dilihat dari penggunaan peralatan *wireless* tersebut maka, peralatan tersebut tidak akan terlepas dari penggunaan antena.

Antena adalah komponen yang penting dalam sistem komunikasi *wireless*, dimana komponen ini mampu untuk mengirimkan sinyal dari saluran kabel ke udara. Yaitu dengan mengubah sinyal tersebut menjadi gelombang elektromagnetik yang merambat dalam udara sehingga dapat diterima oleh antena penerima, kemudian oleh antena penerima gelombang elektromagnetik yang diterima akan dirubah menjadi sinyal atau tegangan dan sesudah itu akan diproses oleh *receiver*.

Desain pada sistem antena sangat penting pada stasiun pemancar maupun pada stasiun penerima, untuk antena pemancar pada WLAN biasa disebut *access point* dimana antena harus dapat memancarkan gelombang secara efisien sehingga daya yang diberikan oleh *transmitter* tidak sia-sia. Untuk meningkatkan efisiensi pada antena pemancar maka harus mempunyai bentuk dimensi yang benar, yang ditentukan oleh besar frekuensi yang dipancarkan. Dimensi atau desain antena pada antena penerima sangat penting pada frekuensi rendah tetapi lebih penting lagi ketika frekuensi pancar meningkat atau pada frekuensi 2.4 GHz ini. Sebab digunakannya antena *waveguide slot* pada desain antena *access point* atau antena pemancar karena antena ini mempunyai ketahanan yang lebih karena bentuknya yang kokoh, selain itu sifat-sifat yang terdapat pada *waveguide* balok yang baik sebagai antena pemancar yang meliputi *gain*/penguatan maupun pola radiasi antena tersebut sekaligus mudah untuk penerapan antena *slot* pada salah satu sisinya, dimana *waveguide* adalah media transmisi yang mempunyai rugi-rugi yang kecil sehingga sesuai menjadi saluran transmisi pada *slot* sebagai *radiator*.

## 1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang masalah yang telah dikemukakan maka pada skripsi ini pembahasan ditekankan pada:

1. Bagaimana merancang antena *waveguide slot* supaya mempunyai performansi yang baik pada frekuensi 2.4 GHz.
2. Bagaimana melakukan pengujian unjuk kerja antena hasil rancangan.
3. Bagaimana melakukan pengukuran terhadap antena hasil rancangan untuk mengetahui performansinya yang meliputi pola radiasi, impedansi, polarisasi, *loss return*, *gain*, *bandwith*, dan VSWR (*Voltage Standing Wave Ratio*)
4. Bagaimana penggunaan antena *waveguide slot* tersebut

## 1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penyusunan skripsi ini adalah sebagai berikut:

1. Perancangan dan pembuatan antena *waveguide slot* ini menggunakan frekuensi kerja 2.4 GHz.
2. Bahan pembuatan *waveguide* menggunakan aluminium
3. Perhitungan parameter meliputi *return loss*, VSWR, *bandwidth*, *gain*, pola radiasi dan polarisasi antena.
4. Parameter dari performansi antena ini adalah jarak jangkauan, kualitas sinyal, dan SNR (*Signal to Noise Ratio*)
5. Tidak membahas dari penurunan rumus dari semua rumus yang digunakan.
6. Tidak membahas tentang karakteristik alat ukur serta pendukung yang digunakan.

## 1.4 Tujuan

Tujuan dari penulisan skripsi ini adalah untuk merancang dan membuat antena *waveguide slot* yang digunakan sebagai antena pemancar sektoral dan mengetahui nilai performansinya.

## 1.5 Kontribusi Penelitian

Dari penulisan skripsi ini diharapkan :

1. Tugas akhir ini dapat menjadi acuan bagi pembaca yang ingin merancang dan membuat antena *waveguide slot* yang berfungsi salah satunya sebagai antena pemancar tetapi juga dapat digunakan sebagai antena penerima.
2. Penggunaan antena salah satunya adalah sebagai antena pada WLAN, baik digunakan sebagai *access point*, maupun sebagai *point to point*.

## 1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan skripsi ini adalah sebagai berikut:

### BAB I Pendahuluan

Memuat latar belakang, rumusan masalah, ruang lingkup, tujuan, dan sistematika penulisan.

### BAB II Tinjauan Pustaka

Memuat teori dasar antena, Dasar – dasar Antena *Dipole*, teori dasar *waveguide* balok, desain antena *waveguide slot* dengan bentuk dan posisi *slot* tertentu.

### BAB III Metodologi

Memuat penyelesaian skripsi ini meliputi studi literatur, perancangan, pembuatan, pengujian, dan analisis serta pengambilan kesimpulan dan saran.

### BAB IV Perancangan dan Pembuatan Antena

Memuat perancangan dan pembuatan antena *waveguide slot* serta peralatan yang digunakan dalam pembuatan antena. .

### BAB V Pengujian dan Analisis

Memuat pengujian dan hasil analisis performansi dari antena *waveguide slot* yang telah dibuat serta peralatan yang digunakan dalam pengujian..

### BAB VI Penutup

Memuat kesimpulan dari pembuatan antena *waveguide slot*, dan saran untuk pengembangan lebih lanjut.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Pendahuluan

*Wireless Local Area Network* (WLAN) sudah banyak digunakan di banyak tempat yang digunakan untuk memberikan kemudahan untuk berhubungan dengan suatu jaringan komputer tanpa menggunakan kabel yang biasa digunakan supaya bisa terhubung dengan jaringan. Penerapan WLAN ini tidak terlepas dari penggunaan *wireless access point* (WAP) atau biasa disebut *access point* yaitu perangkat yang menghubungkan *Ethernet hub* atau *server* dan memancarkan frekuensi gelombang radio melalui dari pada jarak 10 sampai dengan 500 *feet* atau 3 samapi 150 m, yang mana dapat menembus dinding dan penghalang nonmetal yang lain. *Access point* ini biasanya menggunakan antena sebagai media pemancarnya, yang secara umum mempunyai gain 5 dBi, karena untuk memberikan unjuk kerja yang lebih baik pada *access point* maka di sini dicoba untuk mendesain suatu antena dengan spesifikasi sebagai berikut:

- Mampu bekerja sebagai antena penerima pada aplikasi WLAN
- Mampu bekerja sebagai antena pemancar pada aplikasi WLAN
- Desain antena mempunyai *gain* yang lebih besar dari antena *access point* yang biasa digunakan.
- Dapat digunakan pada *access point* dan dapat menggantikan antena *access point* yang biasa digunakan.

#### 2.2 Dasar Teori Antena

Antena didefinisikan sebagai peralatan yang digunakan untuk meradiasikan atau menerima gelombang radio, sehingga antena berfungsi sebagai media peralihan antara ruang bebas dan dengan saluran transmisi. Yang mengubah gelombang elektromagnetik menjadi gelombang listrik maupun sebaliknya, yang sering digunakan dalam komunikasi *wireless*.

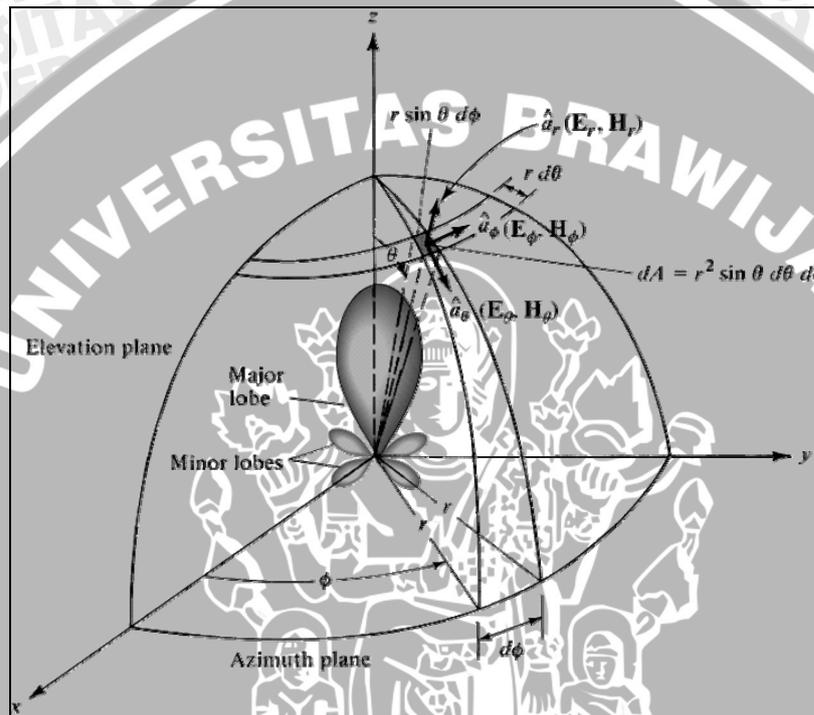
#### 2.3 Parameter Antena

Sebelum melakukan perancangan dan mengetahui unjuk kerja suatu antena maka, terlebih dahulu perlu untuk diketahui dan dipahami parameter – parameter yang dibutuhkan, seperti pola radiasi dari antena yang dikehendaki, intensitas radiasi antena, *directivity* atau keterarahan antena, efisiensi antena, penguatan antena atau *gain*,

beamwidth, polarisasi antenna, impedansi masukan antenna, dan VSWR (*Standing Wave Ratio Antena*).

### 2.2.1 Pola Radiasi Antena

Pola radiasi antenna atau pola antenna didefinisikan sebagai fungsi matematis atau representasi grafik dari bentuk radiasi antenna dalam koordinat fungsi ruang pada medan jauh (Balanis, 2005:27). Pola radiasi biasanya ditunjukkan dalam fungsi koordinat ruang, seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.1. di bawah.

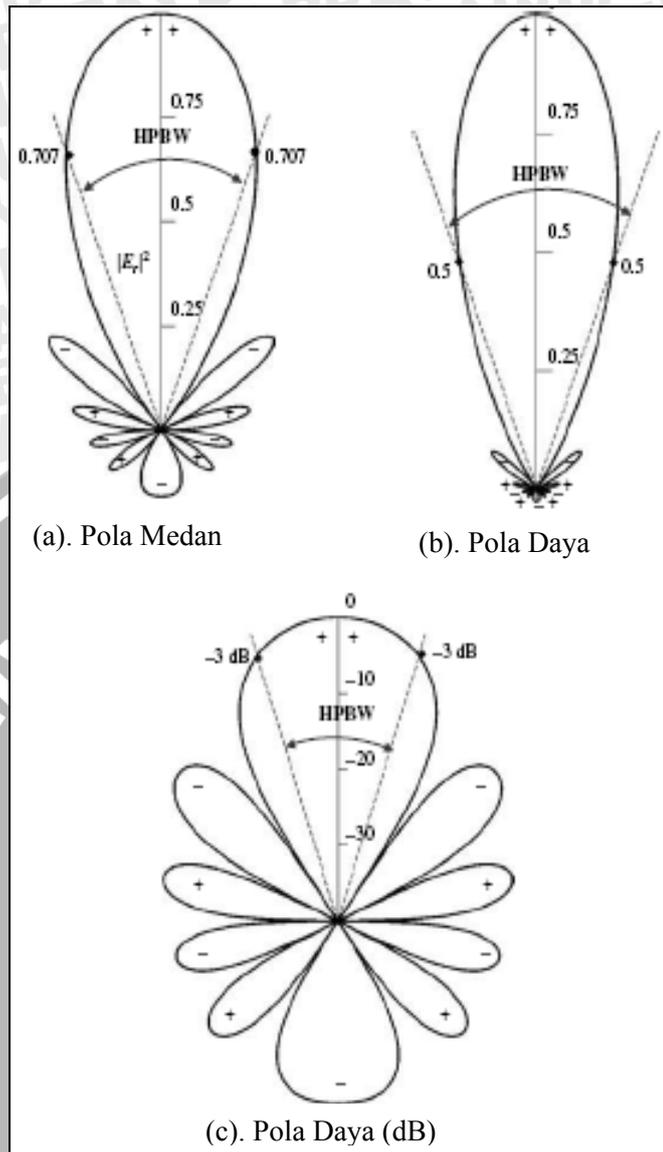


Gambar 2.1 Sistem koordinat untuk melakukan analisis pada antenna.  
Sumber : Balanis(2005:28)

Dimana untuk sebuah antenna memiliki :

- Pola medan (*field pattern*) dalam skala linear biasanya menunjukkan *plot magnitude* dari medan elektrik dan magnetik sebagai fungsi sudut
- Pola daya (*power pattern*) dalam skala linear biasanya menunjukkan *plot kuadrat magnitude* dari medan elektrik dan magnetik sebagai fungsi sudut, dan
- Pola daya (*power pattern*) dalam skala *dB* menunjukkan *magnitude* dari medan magnetik dan elektrik dalam *decibel*, dalam fungsi *angular*

Sebagai contoh untuk menggambarkan pola medan, pola daya (dalam skala linear), dan pola daya (dalam skala *dB*) dari 10 bagian linear dari *antenna array* dengan sumber *isotropis* dengan jarak tiap elemen  $d=0.25\lambda$ , dapat dilihat dalam Gambar 2.2 di bawah



Gambar 2.2 Dua dimensi normalisasi pada (a).Pola medan, (b).Pola daya, dan (c).Pola daya dalam dB  
 Sumber : Balanis(2005:29)

Pola medan ternormalisasi ini didapat dari perbandingan setiap harga dari pola radiasi tersebut dengan harga maksimumnya.

$$F_{(\theta,\phi)} = \frac{E_{(\theta,\phi)}}{E_{(\theta,\phi)_{\max}}} \quad (2.1)$$

Karena *poyniting vector* hanya mempunyai komponen radiasi yang sebenarnya berbanding lurus dengan *magnitude* kuat medannya, maka untuk pola daya apabila dinyatakan dalam pola ternormalisasikan, tidak lain sama dengan kuadrat dari pola medan yang sudah dinormalisasikan itu

$$P_{(\theta,\phi)} = |F_{(\theta,\phi)}|^2 \quad (2.2)$$

Seringkali juga pola radiasi suatu antenna digambarkan dengan satuan *decibel* (dB).

Intensitas medan dalam *decibel* didefinisikan sebagai:

$$F_{(\theta,\phi)dB} = 20 \log |F_{(\theta,\phi)}| \text{ (dB)} \dots \dots \dots (2.3)$$

Sedangkan untuk pola dayanya di dalam *decibel* adalah:

$$\begin{aligned} P_{(\theta,\phi)dB} &= 10 \log P_{(\theta,\phi)} \\ &= 20 \log |F_{(\theta,\phi)}| \dots \dots \dots (2.4) \end{aligned}$$

Bagian-bagian dari pola radiasi dibagi menjadi *major* atau *main*, *minor*, *side*, dan *back lobe*. *Radiation lobe* adalah bagian pola radiasi yang dibatasi oleh daerah dengan intensitas radiasi yang rendah. Dalam Gambar 2.3, di bawah ditunjukkan secara simetris tiga dimensi pola radiasi dengan sejumlah *radiations lobe* dengan beberapa *lobe* mempunyai intensitas yang lebih besar daripada *lobe* yang lain.

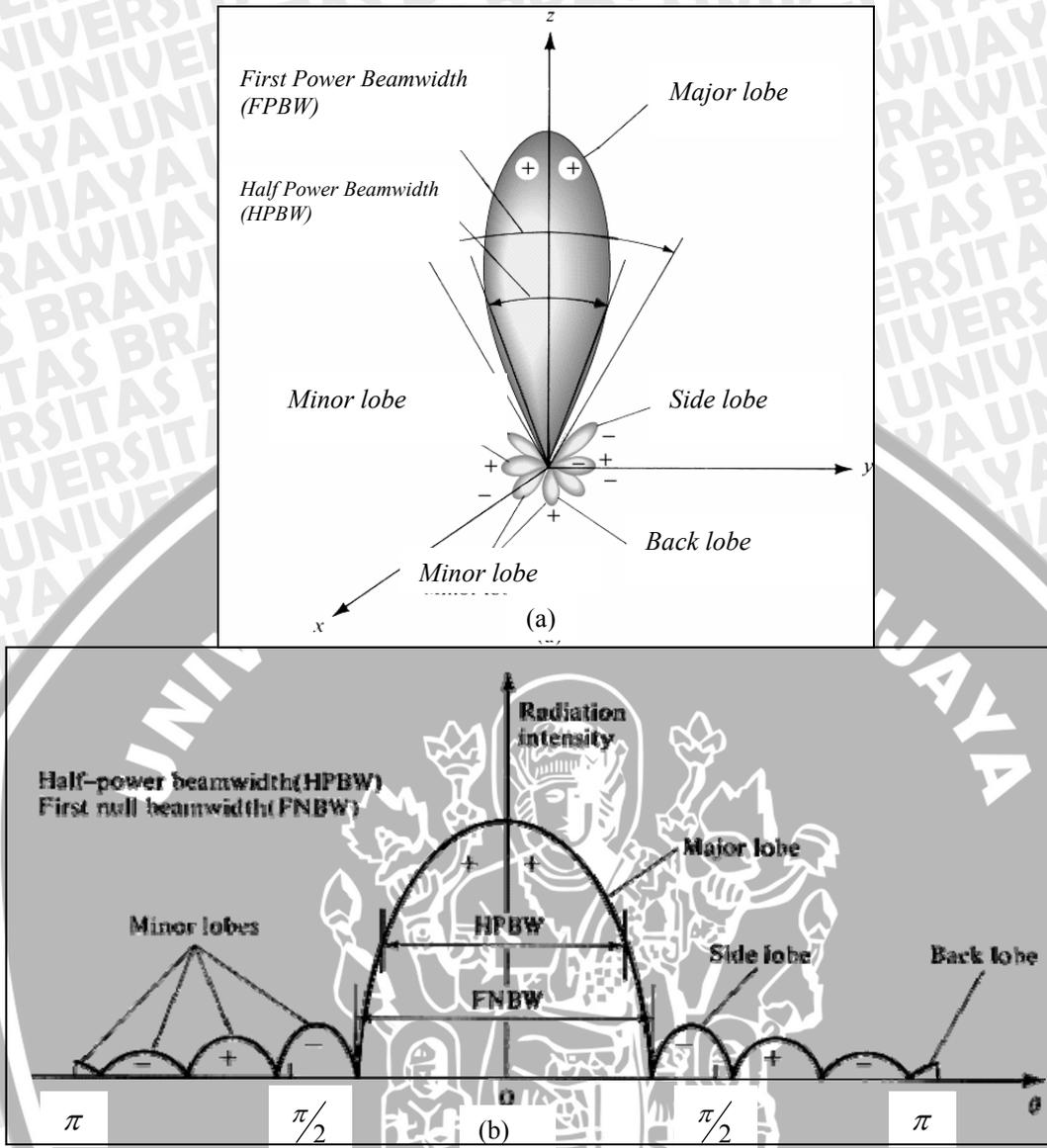
*Half-power beamwidth* (HPBW) adalah sudut di bawah setengah daya radiasi pada radiasi antenna atau -3 dB. Sedangkan *First null beamwidth* (FNBW) adalah lebar pancaran gelombang di antara *first null*, atau -12 dB. *Main lobe* atau *major lobe* adalah arah radiasi maksimum antenna, sedangkan *minor lobe* terdiri dari *side lobe* dan *back lobe* adalah radiasi antenna pada arah yang lain yang sebetulnya tidak dikehendaki. Untuk menentukan bagian yang menunjukkan *main lobe* maupun *minor lobe* ditentukan dengan ukuran yang disebut *side lobe level*, yang menyatakan perbandingan besar puncak *side lobe* dengan puncak *main lobe*, dapat juga ditentukan dengan persamaan

$$SLL_{dB} = 20 \log \left| \frac{F(SLL)}{F(\max)} \right| \dots \dots \dots (2.5)$$

dalam hal ini

- SLL = *Side Lobe Level*
- F(SLL) = nilai maksimum *main lobe*
- F(max) = nilai maksimum *side lobe*





Gambar 2.3 (a) Radiations lobes dan beamwidth pada pola antenna (b) Plot linear pada daya antenna dan hubungannya dengan lobe dan beamwidth  
 Sumber : Balanis (2005:30)

Dalam melakukan pengukuran pola radiasi, yang harus diperhatikan adalah faktor jarak pada saat pengukuran karena semakin jauh jarak pengukuran pola radiasi maka semakin baik hasil yang akan diperoleh. Maka untuk melakukan pengukuran tersebut, terdapat satu daerah yang dapat dianggap sebagai medan jauh karena tidak dapat melakukan pengukuran pada jarak tidak terhingga, dapat dianggap medan jauh bila memenuhi ketentuan sebagai berikut :

$$r > \frac{2D^2}{\lambda} \dots \dots \dots (2.6)$$

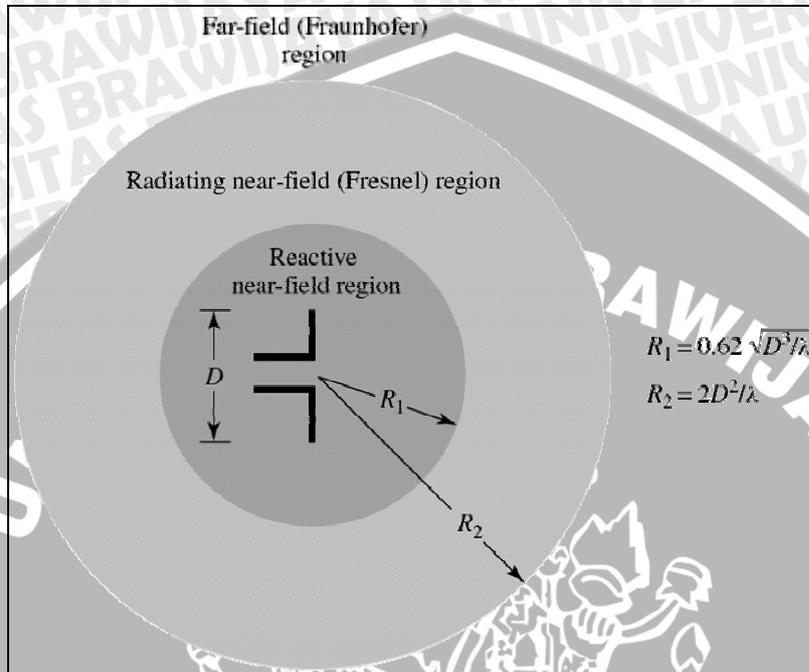
$$r \gg D \text{ dan } r \gg \lambda$$

Dimana



- $r$  : jarak pengukuran
- $D$  : dimensi antenna yang diperpanjang
- $\lambda$  : panjang gelombang yang dipancarkan sumber

Sedangkan daerah medan radiasi suatu antenna adalah daerah yang masih dapat menerima radiasi antenna, yang juga biasa disebut jangkauan sinyal dari suatu antenna



Gambar 2.4 Bagian-bagian daerah Medan Radiasi Antena  
 Sumber : Balanis(2005:34)

dengan  $r_1 = 0.62\sqrt{D^3/\lambda}$ ,  $r_2 = 2D^2/\lambda$ , dan  $r_3 < \text{medan jauh} < \infty$

daerah medan radiasi ini dibagi menjadi tiga yaitu:

1. *Reactive Near Field Zone*

Pada daerah ini, medan reaktif sangat berpengaruh. Batas daerah ini adalah

$r < 0.62\sqrt{D^3/\lambda}$  dengan  $\lambda$  adalah panjang gelombang, dan D adalah dimensi terpanjang antenna.

2. *Radiating Near Field (Fresnel) Zone,*

Daerah yang berada diantara *reactive near field* dan *far field region*. Dimana pada daerah ini medan radiasi sangat berpengaruh, dan distribusi medan sudut (*angular field distribution*) tergantung pada jarak dari antenna, dengan batas

$0.62\sqrt{D^3/\lambda} \leq \text{daerah Fresnel} \leq 2D^2/\lambda$  yang ditentukan berdasarkan pada

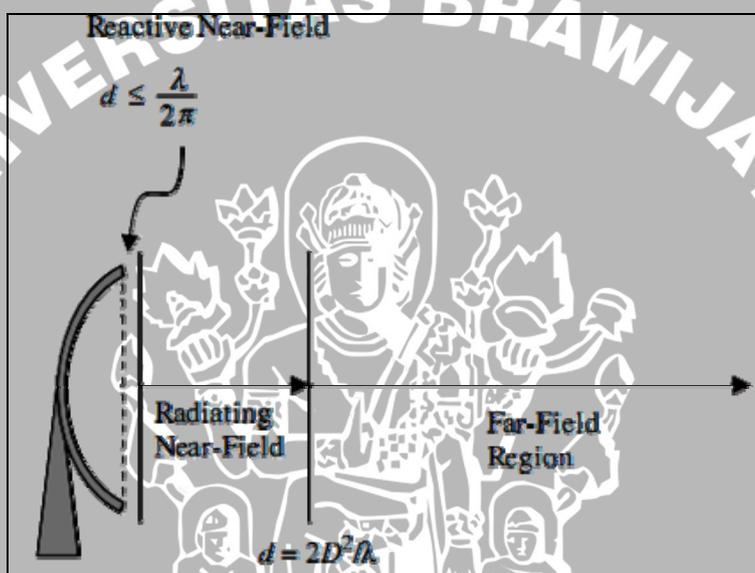
kesalahan kesalahan fasa maksimum  $\frac{\pi}{8}$ . Pola medan pada daerah ini merupakan fungsi jarak radial dari antenna.

3. *Far field (Franhouffer) zone*

Daerah medan dengan distribusi medan sudut sangat bergantung pada jarak dari antenna :

Batas daerah ini:  $r > 2D^2/\lambda$  sampai  $\infty$ ..... (2.7)

Pola medan pada daerah ini mempunyai komponen-komponen medan saling tegak lurus dan distribusi medan sudut sangat bergantung pada jarak radial antenna.



Gambar 2.5 Gambaran radiasi antenna  
 Sumber : Seybold(2005:47)

Sedangkan Intensitas radiasi sebagai daya yang diradiasikan pada suatu arah per unit ruang, dalam bentuk matematis dinyatakan sebagai : (Balanis, 1982 : 27)

$$u(\theta, \phi) = r^2 W_{rad} = r^2 [0,5 \text{Re}(E \times H^*)] \dots \dots \dots (2.8)$$

dalam hal ini:

- $u(\theta, \phi)$  = intensitas radiasi ( $W/sr$ )
- $r$  = jarak pengamat ke sumber radiasi
- $W_{rad}$  = rapat daya radiasi ( $W/m^2$ )
- $= 0,5 \text{Re}(E \times H^*)$

dan besarnya radiasi total adalah :

$$P_{rad} = \iint u(\theta, \phi) d\Omega \dots \dots \dots (2.9)$$



dimana

$P_{rad}$  = daya radiasi total ( $W$ )

$d\Omega$  = elemen sudut ruang

=  $\sin \theta d\theta d\phi$

Intensitas radiasi sumber *isotropis* adalah tetap untuk setiap daerah radiasi, sedangkan untuk sumber non *isotropis* intensitas radiasinya tidak tetap untuk setiap daerah radiasi, sedangkan daya rata-rata per *steradian* dapat dinyatakan sebagai

$$u_{av} = \frac{1}{4\pi} \iint u(\theta, \phi) d\Omega = \frac{P_{rad}}{4\pi} \dots \dots \dots (2.10)$$

Dalam hal ini

$u_{av}$  = intensitas radiasi rata-rata ( $W/sr$ )

$u_{av}$  juga dinyatakan sebagai intensitas radiasi suatu sumber *isotropis* yang meradiasikan daya total yang sama dengan daya nyata.

### 2.2.2 *Beamwidth*

*Beamwidth* didefinisikan sebagai sudut yang terpisah diantara dua titik yang sama pada sisi yang berlawanan pada pola yang maksimum. Salah satu *beamwidth* yang sering dipakai adalah *Half Power Beamwidth* (HPBW) contohnya adalah 3dB dari puncak pada *main lobe*.

### 2.2.3 Impedansi dan VSWR Antena

VSWR merupakan perbandingan antara jumlah tegangan datang dan tegangan pantul pada terminal antena. Antena memberikan beban impedansi dan impedansi masukan (*driving point impedance*) ketika antena tersebut dihubungkan ke sebuah terminal. *Driving point impedance* secara ideal sama dengan resistansi radiasi pada antena. Secara praktis *driving point impedansi* termasuk di dalamnya berupa *losses* akibat resistansi antena dan gabungan impedansi kompleks seperti kabel dan konektor pada antena. *Driving point impedansi* antena sangat baik untuk dibuat sesuai (*matching*) antara rangkaian (transceiver) dan antena sehingga dapat memancarkan daya dengan maksimum. Daya pancaran maksimum terjadi jika impedansi antara rangkaian (transceiver) dan antena sudah sesuai (*matching*), hal ini sangat dibutuhkan dalam penerimaan sinyal maupun memancarkan sinyal.

Ketika impedansi rangkaian (*transceiver*) dan antena tidak sesuai maka efisiensi antena akan berkurang karena bagian sinyal ada yang dipantulkan kembali ke sumber.

Akar dua pada perbandingan daya pantul dan daya datang disebut koefesien pantul (*reflection coefficient*) antenna yang dirumuskan

$$|\rho| = \sqrt{\frac{P_r}{P_i}} \dots\dots\dots (2.11)$$

Dimana  $P_r$  adalah daya yang masuk atau datang

$P_i$  adalah daya yang terpantul

Koeffesien pantul bernilai antara nol sampai satu. Koefesien pantul juga dapat ditentukan dari impedansi rangkaian dan antenna dengan persamaan

$$\rho = \frac{Z_1 - Z_0}{Z_1 + Z_0} \dots\dots\dots (2.12)$$

Dimana  $\rho$  adalah koefesien pantul

$Z_1$  adalah impedansi antenna

$Z_0$  adalah impedansi karakteristik

Jika terdapat hubungan kabel antara antenna dan transceiver, ketidakcocokan antara antenna dan transceiver akan menimbulkan *voltage standing wave ratio* (VSWR) pada kabel. Akibat VSWR pada kabel adalah meningkat *losses* pada kabel, VSWR dapat dihitung dengan menggunakan rumus

$$VSWR = \frac{1 + |\rho|}{1 - |\rho|} \dots\dots\dots (2.13)$$

Sedangkan *return loss* atau ukuran daya yang terpantul karena ketidaksesuai impedansi antara antenna. *Return loss* dapat dirumuskan

$$Return\ loss = 20 \log \left( \frac{VSWR + 1}{VSWR - 1} \right) (dB) \dots\dots\dots (2.14)$$

**2.2.4 Bandwidth Antena**

*Bandwidth* antenna didefinisikan sebagai ”range frekuensi pada performansi antenna dengan beberapa karakteristik, sesuai dengan standar yang telah ditentukan”.

Untuk *Broadband* antenna, *bandwidth* dinyatakan sebagai perbandingan frekuensi operasi atas (*upper*) dengan frekuensi bawah (*lower*). Sedangkan untuk *Narrowband* antenna, maka *bandwidth* antenna dinyatakan sebagai persentase dari selisih frekuensi atas dan bawah terhadap frekuensi tengah dari *bandwidth*.



$$B_p = \frac{f_u - f_l}{f_c} \times 100\% \dots\dots\dots (2.15)$$

$$f_c = \frac{f_l + f_u}{2} \dots\dots\dots (2.16)$$

$$B_r = \frac{f_u}{f_l} \dots\dots\dots (2.17)$$

Dengan:

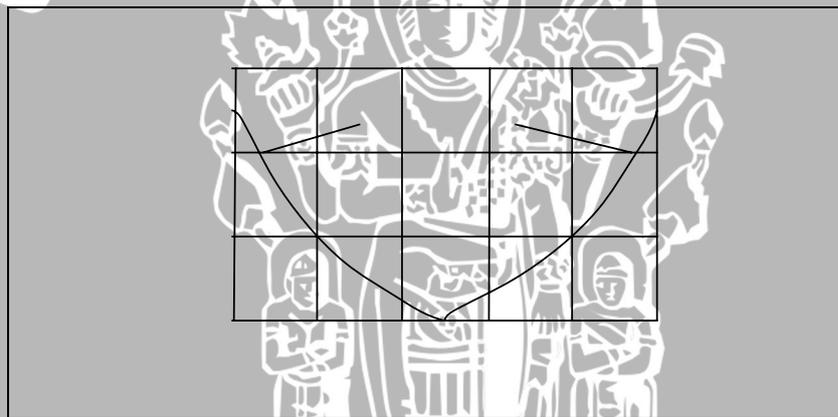
$B_p$  = *bandwidth* dalam persen (%)

$B_r$  = *bandwidth* rasio

$f_u$  = jangkauan frekuensi atas

$f_l$  = jangkauan frekuensi bawah

Pada antena, *bandwidth* adalah besar lebar pita frekuensi yang nilainya berada di bawah nilai VSWR 2.



Gambar 2.6 *Bandwidth* antena  
 Sumber : Diktat Praktikum Antena

**2.2.5 Polarisasi Antena**

Polarisasi antena pada arah tertentu didefinisikan sebagai polarisasi dari gelombang yang dipancarkan oleh antena. Ketika polarisasi suatu antena tidak ditentukan terlebih dahulu maka polarisasi ini ditentukan berdasarkan polarisasi pada *gain* tertinggi. Polarisasi dari radiasi sebuah gelombang didefinisikan sebagai sifat sebuah gelombang elektromagnetik yang ditunjukkan berdasarkan perubahan waktu pada arah tertentu, tetapi pada banyak kasus polarisasi suatu antena dapat ditentukan berdasarkan inspeksi pada antena tersebut. Sebagai contoh antena *whip* vertikal akan membangkitkan dan menerima polarisasi vertikal. Begitu juga pada antena dengan



elemen horisontal maka gelombang polarisasinya berbentuk horisontal. Polarisasi *circular* sama dengan polarisasi *linear* kecuali vektor polarisasinya berputar searah jarum jam atau berlawanan dengan jarum jam. Polarisasi *circular* adalah kasus spesial pada polarisasi *ellip*, yang mana komponen vertikal dan horisontalnya mempunyai *magnitude* yang sama. Pada umumnya *aperture antena* dapat mendukung vertical, horizontal atau *elliptical* tergantung pada *type feed* yang digunakan. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar Dua dimensi normalisasi pola medan, pola daya, dan pola daya dalam *dB*, pada gambar tersebut terdapat tanda positif (+) dan negative (-), pada *lobe* yang menunjukkan memiliki polarisasi pada amplitude diantara beberapa macam *lobe*, yang berubah secara bergantian (Gambar 2.3).

**2.2.6 Gain/Penguatan**

Pada kenyataannya suatu antena yang mempunyai radiasi pada arah tertentu, memberikan rapat daya lebih besar dibandingkan pada arah yang lain pada jarak yang sama, bagian inilah yang disebut *gain*. *Directivity* suatu antena didefinisikan sebagai perbandingan rapat daya yang diradiasikan pada jarak *d*, dalam arah dengan intensitas maksimum dibandingkan dengan rapat daya rata-rata ke segala arah dengan jarak *d*. Hal ini sama dengan perbandingan rapat daya puncak pada jarak *d*, dengan rapat daya rata-rata pada semua arah dengan jarak *d*.

$$D = \frac{\text{Rapat daya pada jarak } d \text{ pada arah daya maksimum}}{\text{rapat daya rata - rata pada jarak } d} \dots\dots\dots (2.18)$$

Karena pada antena *isotropis* mempunyai *directivity*  $D = 1$ , ketika *losses* antena dimasukkan dalam persamaan *directivity*, maka akan menjadi persamaan *gain* antena (penguatan antena)

$$G = \eta \frac{\text{Rapat daya pada jarak } d \text{ pada arah maksimum}}{\frac{P_r}{4\pi d^2}} \dots\dots\dots (2.19)$$

Yang mana

$P_r$  = adalah daya yang diterapkan pada terminal antena

$4\pi d^2$  = luas permukaan bola

$\eta$  adalah total efisiensi antena, yang mana jumlah untuk semua *losses* pada antena.



**2.2.7 Daerah Efektif Antena**

Untuk perhitungan pada *aperture antenna* dimana contohnya adalah antena *horn* atau *parabolic reflector* maka *effective area* dapat dihitung dengan persamaan

$$A_e = \eta A_p \quad m^2 \dots\dots\dots (2.20)$$

dimana  $A_p$  adalah luas fisik antena dan  $\eta$  adalah semua efesiensi antena (biasa berkisar antara 80%-90%), sedangkan untuk *gain* pada *aperture antenna* adalah

$$G = \frac{4\pi A_e}{\lambda^2} \dots\dots\dots (2.21)$$

Untuk  $G$  adalah *gain* antena

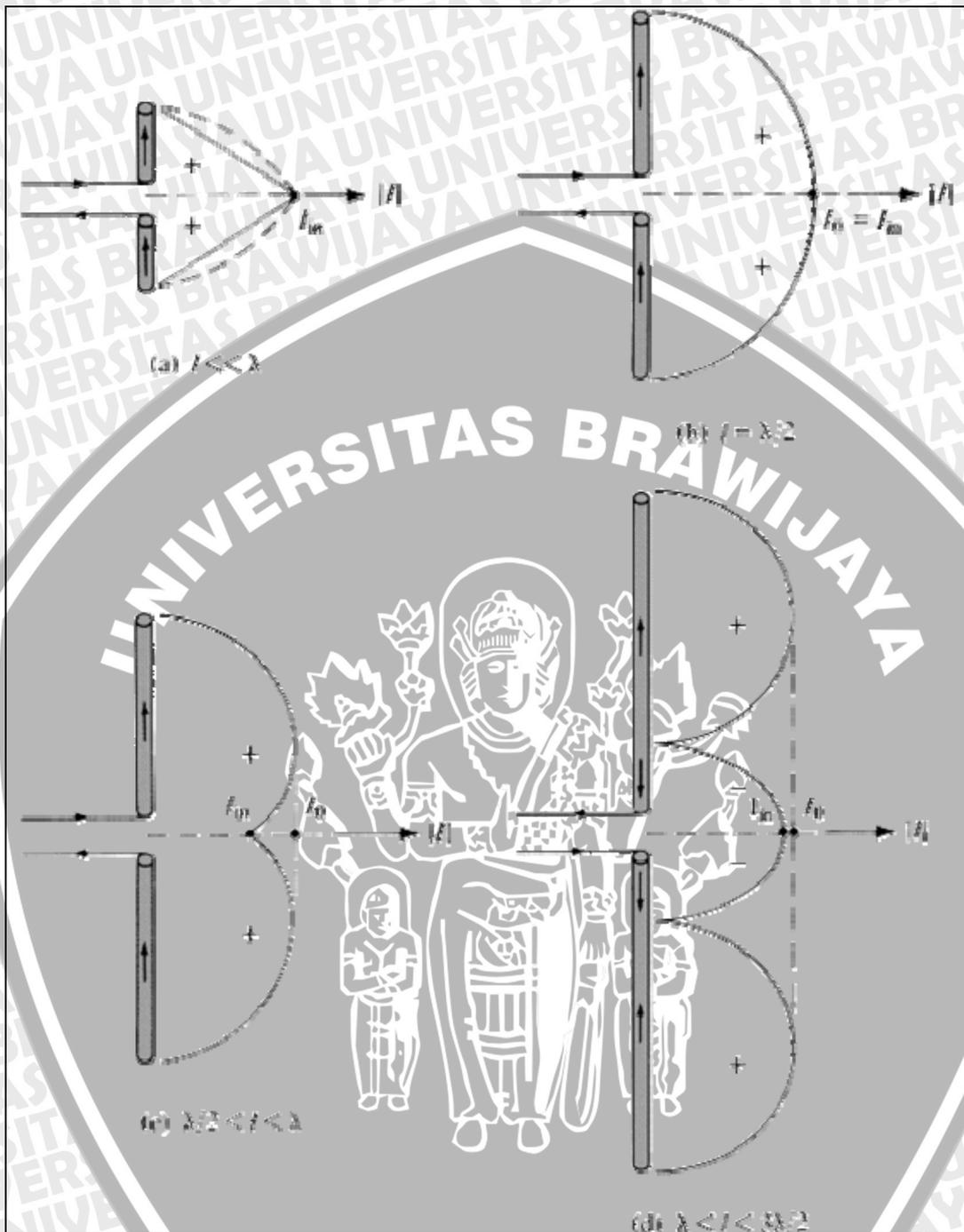
$A_e$  adalah daerah efektif antena

$\lambda$  adalah panjang gelombang ruang bebas

**2.4 Dasar-dasar Antena Dipole**

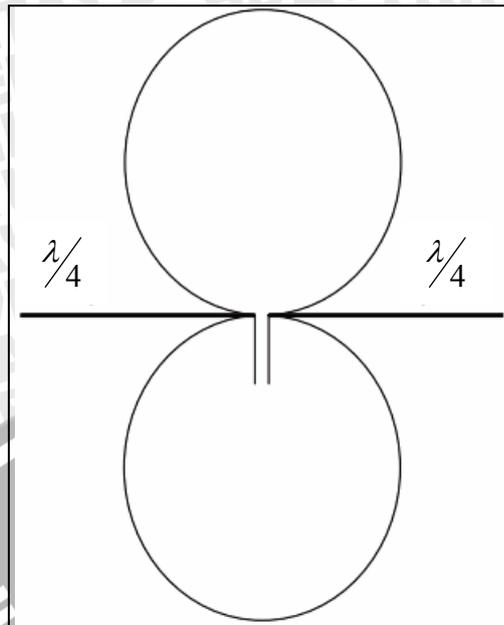
Antena *dipole* adalah antena yang pertama dibuat dan paling mudah untuk dimengerti. Dimana antena ini terdiri dari batang konduktif yang dipisah pada bagian tengahnya, dan dipicu dari jalur transmisi yang sesuai yang membawa arus yang sesuai dan berlawanan arah. Tetapi tidak semua *dipole* dipicu dan dipisah pada bagian tengahnya karena arus yang mengalir dapat dipicu dengan medan elektromagnetik atau dengan dipicu secara paralel. Panjang *dipole* ditentukan dengan sedapat mungkin arus yang mengalir pada cabang antena *dipole* yang dapat mengalirkan arus, dan ketika cabang yang dekat dengan antena peradiasi maka polarisasi linear akan langsung disalurkan pada sepanjang cabang antena tersebut, yang akan membangkitkan gelombang berdiri pada cabang antena *dipole* tersebut. Jumlah yang akan dibangkitkan tergantung pada seberapa dekat panjang antena pada frekuensi resonansi dan jarak antena. Supaya antena ini mempunyai penerimaan dan daya pancar yang baik maka sebaiknya mendekati  $\lambda/2$  dimana  $\lambda$  adalah panjang gelombang pada frekuensi operasi, dimana mempunyai dimensi yang cukup besar contohnya untuk frekuensi rendah 300MHz maka panjang gelombangnya sebesar 1 m. untuk lebih jelasnya bisa dilihat pada Gambar 2.7. di bawah





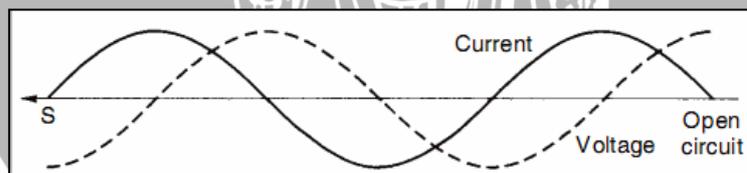
Gambar 2.7 Perbandingan panjang antenna  $l$  dan panjang gelombang  $\lambda$   
 Sumber : Balanis(2005:19)

Untuk setengah lamda antenna *dipole* dapat digambarkan dalam Gambar 2.7. di atas biasanya terdiri dua bagian, dimana tiap bagian mempunyai panjang satu per empat lamda dengan dipicu pada bagian tengahnya. Meskipun pemucuan pada bagian *off-set* dan pada bagian ujung juga dapat digunakan. Pada Gambar 2.8. juga digambarkan secara langsung pola radiasi antenna *dipole*.



Gambar 2.8 Pola radiasi antenna *dipole*  
 Sumber : Seybold(2005:67)

Selanjutnya adalah persamaan antara antenna *dipole* pada ruang bebas dan *slot* pada bidang *conductive* yang luasnya tak terbatas, dimana antenna *dipole* mengeluarkan radiasi dari gelombang berdiri arus listrik sedangkan *slot* mengeluarkan radiasi dari gelombang berdiri arus medan magnetik. *Slot* merupakan dual dari strip *dipole*, dimana tegangan memicu melintang pada *slot*, merambat sepanjang garis *slot* menuju ujung yang terhubung singkat. Tiap tipe saluran transmisi memantulkan gelombang datang pada bagian ujungnya. Gabungan dari gelombang datang dan gelombang pantul akan membangkitkan gelombang berdiri pada saluran. Arus dan tegangan berbeda fase sebesar  $90^\circ$ , seperti yang digambarkan seperti pada Gambar 2.9 di bawah:



Gambar 2.9. Gambaran gelombang berdiri  
 Sumber : Milligan(2005:219)

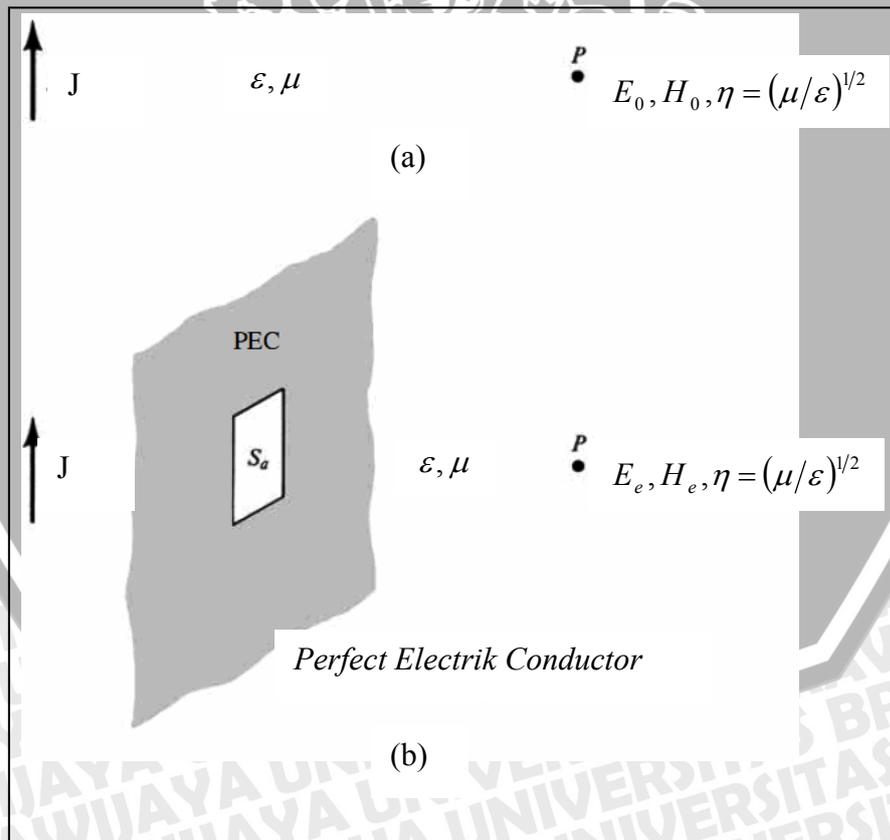
dimana arus dan tegangan bertukar posisi setelah sampai ujung hubung singkat pada *slot*. Arus yang mengalir pada *dipole* mulai menghilang pada bagian ujungnya begitu juga pada *slot* tegangan pada *slot* juga menghilang pada bagian ujung. Gelombang berdiri untuk *dipole* dengan pemacu di tengah dan *slot* dapat dirumuskan sebagai berikut :

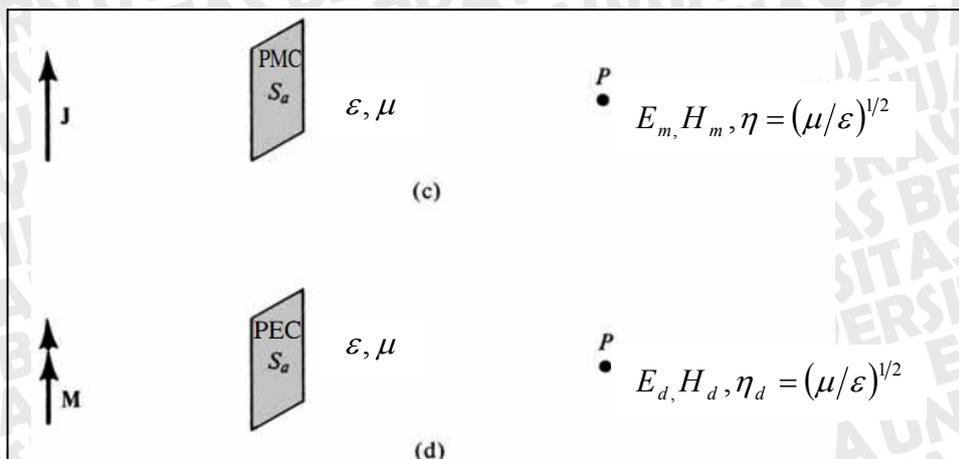
$$\begin{array}{ll}
 \text{dipole} & \text{slot} \\
 I = I_0 \sin k \left( \frac{L}{2} - z \right) & V = V_0 \sin k \left( \frac{L}{2} - z \right) \quad z \geq 0 \\
 I = I_0 \sin k \left( \frac{L}{2} - z \right) & V = V_0 \sin k \left( \frac{L}{2} - z \right) \quad z \leq 0
 \end{array} \quad \dots\dots\dots(2.22)$$

Yang mana distribusi tegangan pada *slot* sama dengan arus magnetik.

### 2.5 Prinsip-prinsip Babinet

Hubungan antara antenna yang menggunakan kawat (*dipole*) dengan *aperture antenna (slot)*, dapat dianalisis menggunakan *Babinet's principle* (prinsip *babinet*) pada sinar optik yang menyebutkan bahwa “ketika medan yang terdapat di belakang sebuah bidang atau layar dengan lubang yang ditambahkan sebagai bagian layar, maka jumlah medan seluruhnya adalah sama dengan ketika tidak ada bidang/layar tersebut. Prinsip *babinet* tidak membahas bentuk polarisasi, yang mana merupakan bagian penting pada teori antenna, tetapi menjelaskan tentang penyerapan medan pada *aperture antenna*. Seperti pada Gambar 2.9.(a), di bawah





Gambar 2.9 Sumber medan elektrik pada media luas tak terbatas dan persamaan prinsip kabinet.

Sumber : Balanis(2005:697)

Jika diasumsikan ketika sumber medan elektrik  $J$  mengeluarkan radiasi ke dalam medium tak terbatas dengan impedansi elektrik  $\eta = \left(\frac{\mu}{\epsilon}\right)^{1/2}$  dan titik  $P$  menghasilkan medan  $E_0, H_0$ . Pada medan yang sama dapat diperoleh dengan menggabungkan medan ketika sumber medan elektrik mengeluarkan radiasi dalam medium dengan impedansi intrinsic  $\eta = \left(\frac{\mu}{\epsilon}\right)^{1/2}$  dengan adanya

1. bidang luas tak terbatas, datar dan sangat tipis, konduktor elektrik sempurna, dengan lubang  $S_a$  yang mana menghasilkan pada titik  $P$ , medan  $E_e, H_e$  (Gambar 2.9.(b))
2. bidang datar dan sangat tipis, konduktor elektrik sempurna  $S_a$  yang mana menghasilkan pada titik  $P$ , medan  $E_m, H_m$  (Gambar 2.9.(c).)

yang mana

$$\begin{aligned} E_0 &= E_e + E_m \\ H_0 &= H_e + H_m \end{aligned} \quad \dots \dots \dots (2.23)$$

Medan yang dihasilkan oleh sumber elektrik seperti pada Gambar 2.9.(a). dapat juga diperoleh dengan menggabungkan medan dari :

1. Medan elektrik  $J$  mengeluarkan radiasi pada medium dengan impedansi intrinsic  $\eta = \left(\frac{\mu}{\epsilon}\right)^{1/2}$  dengan adanya bidang luas tak terbatas, datar, sangat tipis, dan merupakan konduktor elektrik sempurna  $S_a$  yang menghasilkan pada titik  $P$  medan  $E_e, H_e$ , (Gambar 2.9.(b))



2. Sumber medan magnetic  $\mathbf{M}$ , mengeluarkan radiasi pada medium dengan impedansi intrinsik,  $\eta = \left(\frac{\mu}{\epsilon}\right)^{1/2}$  dengan adanya bidang datar, tipis, sangat tipis, konduktor elektrik sempurna  $S_a$ , yang mana menghasilkan pada titik  $P$  medan  $E_d$ ,  $H_d$ , (Gambar 2.9.(d))

sehingga

$$\begin{aligned} E_0 &= E_e + H_d \\ H_0 &= H_e - E_d \end{aligned} \quad (2.24)$$

Untuk menghasilkan Gambar 2.9 (d) dari Gambar 2.9 (c),  $\mathbf{J}$  diganti dengan  $\mathbf{M}$ ,  $E_m$  dengan  $H_d$ , dan  $H_m$  dengan  $-E_d$ ,  $\epsilon$  dengan  $\mu$ , dan  $\mu$  dan  $\epsilon$ , bentuk ini merupakan *duality* yang sering digunakan pada medan elektromagnetik. Bidang elektrik dengan lubang pada Gambar 2.9 (b). dan konduktor elektrik seperti pada Gambar 2.9 (d). juga merupakan dualitas. Biasanya mengacu pada *complementary structures*, karena ketika digabungkan maka akan membentuk satu bidang solid tanpa tertumpuk (*overlap*).

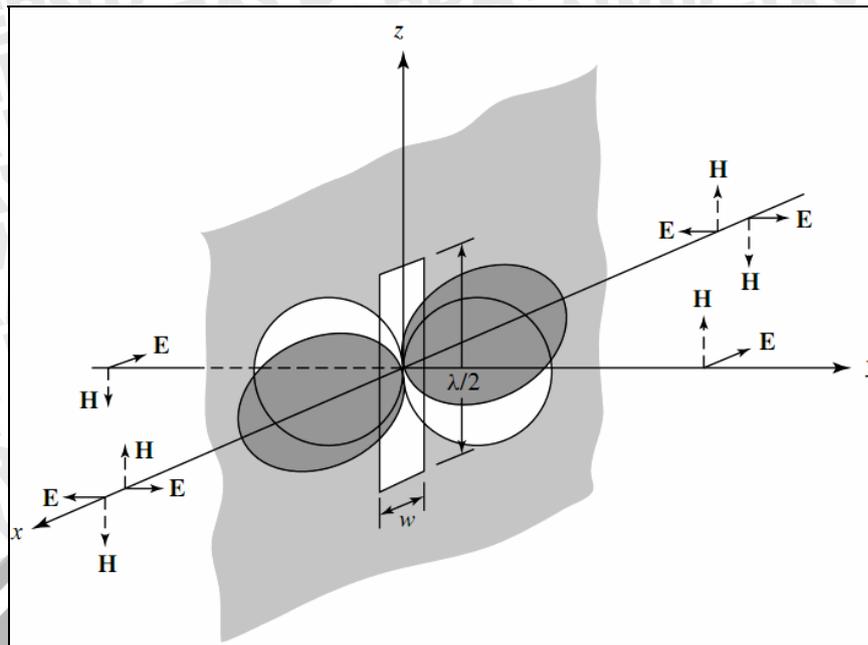
Jika mengacu pada Gambar 2.9 menunjukkan bahwa bidang dan *complementary structures*-nya pada medium mempunyai impedansi instrinsik  $\eta$  dan impedansi terminal  $Z_s$  dan  $Z_c$  berturut-turut dan impedansi terminal tersebut dihubungkan dengan

$$Z_c Z_s = \frac{\eta^2}{4} \quad (2.25)$$

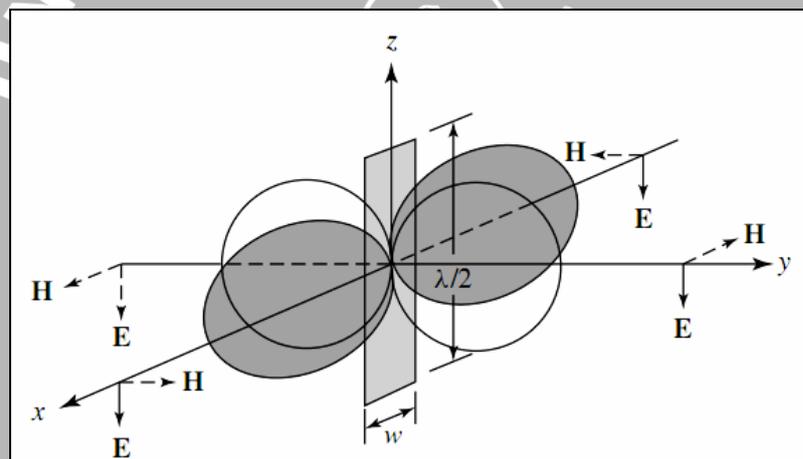
dimana  $Z_c$  adalah impedansi antena *dipole* dan,  
 $Z_s$  adalah impedansi antena *slot*,

*Slot* pada Gambar 2.9 tersebut memberikan radiasi ke kedua sisi, untuk memberikan radiasi ke satu arah digunakan dengan menempatkan kotak atau lubang di belakang *slot*, yang disebut *cavity-backed slot* yang mana sifat radiasi, impedansi dan pola radiasinya ditentukan oleh dimensi lubangnya.

Pola radiasi dari pada *slot* sama dengan antena *dipole* kecuali medan  $E$  dan  $H$  yang saling berkebalikan. Ketika vertikal *slot* dibentuk pada sebuah bidang, seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 2.10.(a), yang menunjukkan medan elektrik mempunyai polarisasi horisontal sedangkan *dipole* mempunyai polarisasi vertikal



(a). Slot  $\lambda/2$  pada sebuah bidang



(b). Dipole datar  $\lambda/2$

Gambar 2.10 Medan radiasi dari slot  $\lambda/2$  pada sebuah bidang dan dipole datar  $\lambda/2$ .  
 Sumber : Balanis(2005:701)

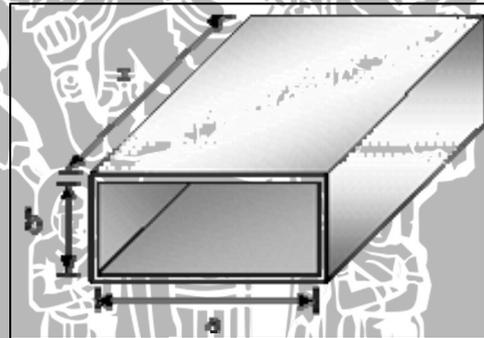
Sehingga dengan mengubah sudut dari slot akan, mengubah bentuk polarisasi. Keuntungan dari slot ini adalah dapat menggunakan berbagai bahan dasar metal pada saat pembuatannya. Untuk penggunaan yang umum biasanya lubang slot adalah kelipatan ganjil dari  $\lambda_g/4$  yang  $\lambda_g$  adalah panjang gelombang *waveguide*.

## 2.6 Waveguide Balok

Gelombang elektromagnetik dengan daya dan frekuensi yang tinggi dapat di salurkan secara efisien melalui *waveguide*. *Waveguide* adalah struktur metal dengan lubang di dalamnya, yang diisi oleh udara atau bahan dielektrik yang lain. *Attenuation*

sepanjang propagasi di sepanjang *waveguide* pada gelombang elektromagnetik lebih rendah dibandingkan dengan menggunakan kabel atau *waveguide coaxial*, karena *losses* yang ada hanya disebabkan oleh penyerapan dalam konduktifitas yang tinggi pada metal dinding *waveguide*. Penyerapan ini sangat rendah, membuat *waveguide* lebih mudah untuk transmisi *microwave* dengan daya yang tinggi.

Pada *waveguide* balok mempunyai persamaan medan yang berbeda dari persamaan biasa, karena gelombang TEM (*Transverse Electric Magnetik*) tidak dapat merambat melalui lubang pipa *waveguide* yang tidak mempunyai konduktor sumbu untuk mengalirkan arus listrik, seperti pada kabel *coaxial*. Sehingga *waveguide* hanya bisa bekerja pada satu mode yaitu mode TE (*tranverse electric*) atau mode TM (*transverse magnetic*) tetapi tidak dapat bekerja pada mode TEM (*transverse electromagnetic*). Secara umum bentuk *waveguide* balok adalah seperti Gambar 2.11. yang mana  $a > b$  yang menyebabkan mode TE lebih dominan yang mempunyai *attenuasi* yang lebih rendah. Pada *waveguide* balok mempunyai bentuk gelombang elektrik jika dalam koordinat kartesian seperti Gambar 2.11. berikut



Gambar 2.11 *Waveguide* balok dengan penampang melintang.  
 Sumber : Blattenberger(1989)

*Waveguide* balok mempunyai frekuensi *cut-off* yang dirumuskan

$$(f_c)_{mn} = \frac{1}{2\pi\sqrt{\mu\epsilon}} \sqrt{\left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 - \left(\frac{n\pi}{b}\right)^2} \text{ (Hz)} \dots\dots\dots (2.26)$$

Dimana

$m, n = 1, 2, 3, 4, \dots$

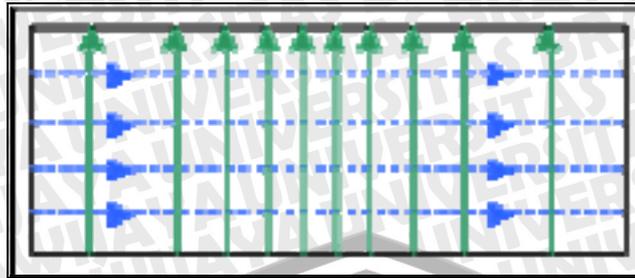
$a$  = lebar balok

$b$  = tinggi balok

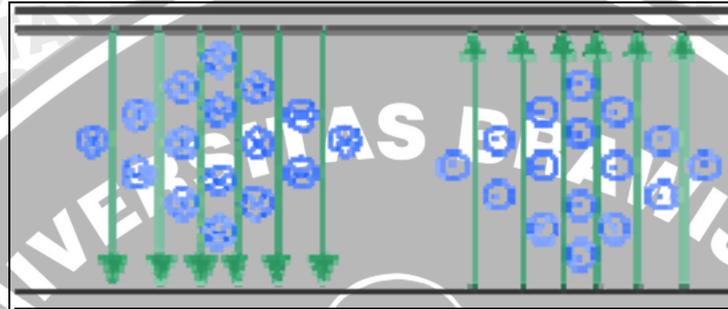
$\epsilon$  = Permittivitas *waveguide* balok

$\mu$  = Permeabilitas *waveguide* balok

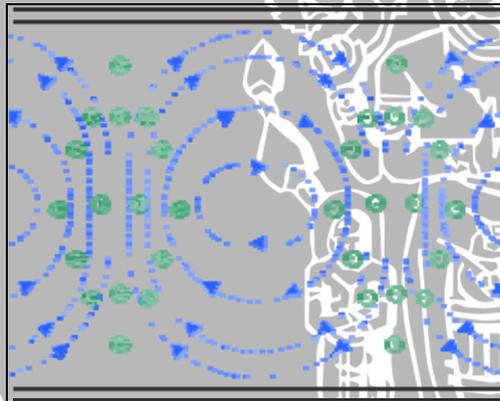
Untuk mode TE pada *waveguide* balok dapat digambarkan pada Gambar 2.12 di bawah



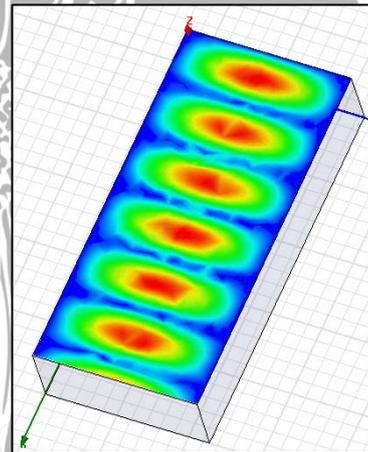
Dilihat dari ujung (TE)



Dilihat dari samping (TE)

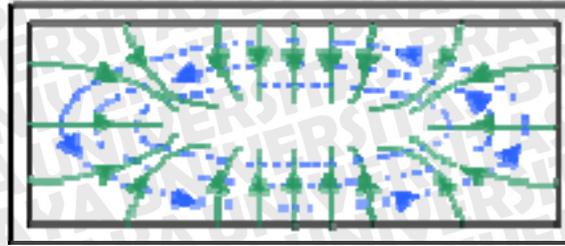


Dilihat dari atas (TE)

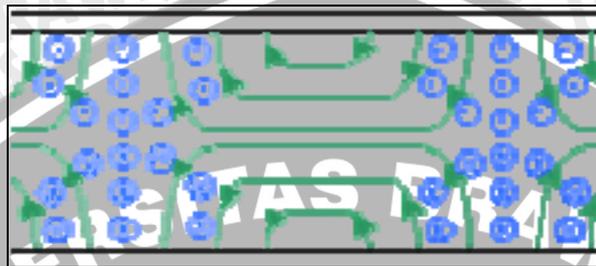


— Electric field lines  
 - - - Magnetic field lines

Untuk mode TM dapat dilihat pada gambar di bawah, tetapi mode TM ini mempunyai kemungkinan yang kecil



End View (TM<sub>11</sub>)



Side View (TM<sub>11</sub>)

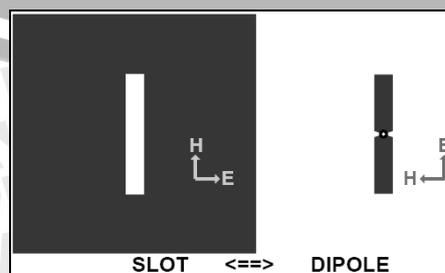
— Electric field lines  
 - - - Magnetic field lines

Gambar 2.12 Gambaran aliran Medan Elektrik dan Medan Magnetik pada *Waveguide* Balok

Sumber : Blattenberger(1989) dan Simulasi

### 2.7 Desain Antena *Waveguide* Slot Array

*Slot* antena adalah antena yang terkenal sebagai antena *omnidirectional*. Pipa silinder yang diberi *slot* adalah salah satu aplikasi untuk digunakan pada UHF (*ultrahigh frequency*) atau pada frekuensi yang lebih rendah sehingga dimensi antena menjadi lebih kecil. *Slot* pada bidang luas adalah penyempurnaan dari antena *dipole*, dimana *dipole* mempunyai pola radiasi yang sama dengan Antena *Slot* kecuali Medan elektrik dan magnetiknya terbalik seperti pada Gambar 2.13. sehingga polarisasinya berputar sebesar 90°, jadi radiasi *slot* vertikal adalah horisontal. Jadi vertikal *slot* pada dinding *waveguide* mempunyai pola yang sama dengan horisontal *dipole* yang tegak lurus pada *slot*.



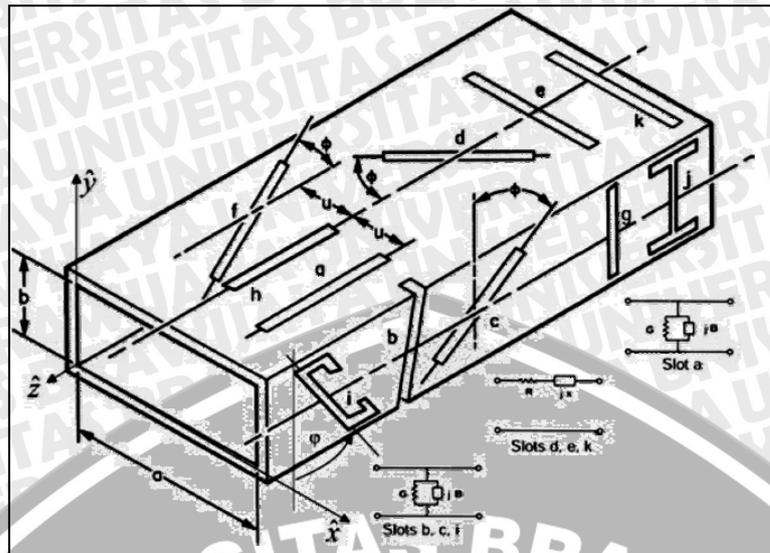
Gambar 2.13 Perbandingan antara *slot* kotak pada bidang luas dengan antena *dipole*  
 Sumber : Paul(2001:2)

*Waveguide* adalah bahan yang cocok untuk digunakan dengan penerapan *slot* pada salah satu sisinya. Meskipun besarnya *impedansi* tidak dapat ditentukan secara jelas, tetapi dengan mengatur tegangan dan arus, daya dan arus, atau daya dan tegangan, dapat didapatkan nilai impedansi yang tinggi pada *slot* setengah gelombang.

Medan elektromagnetik pada *slot* bangkit ketika *slot* dilewati oleh arus *waveguide* pada dinding *waveguide* tersebut. Ketika medan elektromagnetik tersebut bangkit pada *slot* maka akan membebani jalur transmisi pada *waveguide*. Maka diasumsikan bahwa pada dinding *waveguide* yang dilengkapi dengan *slot*, mempunyai :

1. *Slot* yang sempit. Karena pada *slot* yang lebar perlu diperhitungkan juga lubang pada dinding atau diasumsikan bahwa *slot* dieksitasi oleh arus dengan dua arah koordinat.
2. *Slot* adalah panjang resonansi dan panjangnya mendekati  $\lambda/2$ .
3. Medan listrik mengarah melintang *slot* yang sempit yang membentuk sinyal sinusoidal yang tidak tergantung pada medan eksitasi.
4. Dinding *waveguide* mempunyai konduktivitas yang tinggi dan sangat tipis. Walaupun dinding *waveguide* mempunyai ketebalan tetapi tidak terlalu mempengaruhi perhitungan eksitasi *slot*.

Bagian peradiasi pada larik *slot* pada *waveguide* adalah bagian integral dari sistem *feed*, pada *waveguide*. Perlu diketahui juga terdapat medan di dalam *waveguide* itu sendiri sehingga bisa digunakan sebagai dasar untuk menempatkan *slot*, *slot* sempit yang paralel dengan arus pada dinding *waveguide* tidak mengeluarkan radiasi, tetapi ketika *slot* dibuat pada dinding *waveguide* maka akan mengganggu aliran arus, yang memaksa arus untuk mengalir disekitar *slot*, sehingga daya akan disalurkan dari medan dalam *waveguide* melalui lubang menuju ruang bebas. Untuk mendapatkan kontrol yang bagus pada eksitasi pada larik *slot* linear, lebih baik *slot* hanya beroperasi pada model yang sama.



Gambar 2.14 Slot yang dibentuk pada dinding waveguide balok.  
 Sumber : Volakis(2007:9-3)

Untuk slot *g* pada Gambar 2.14 di atas tidak akan mengeluarkan radiasi karena slot segaris dengan arah arus pada sisi samping waveguide. Slot *h* tidak mengeluarkan radiasi karena tidak ada aliran arus. Slot *a, b, c, i,* dan *j* adalah slot shunt karena mengganggu aliran arus ( $J_x, J_y$ ) dan dapat ditunjukkan oleh dua admitansi shunt terminal. Slot *e, k* dan *d* mengganggu aliran arus  $J_z$  yang ditunjukkan dengan impedansi seri. Slot *d,* mengganggu aliran arus  $J_x$ , tetapi polaritas eksitasi berlawanan dengan salah satu sisi garis pusat waveguide, sehingga menghalangi radiasi dari komponen arus. Kedua  $J_x$  dan  $J_z$  memicu slot *f*.

Untuk waveguide yang ditunjukkan pada gambar di atas yang dibangkitkan dengan mode TE dan diakhiri oleh impedansi yang sesuai, dimana bentuk medannya dinyatakan dengan persamaan

$$\begin{aligned}
 H_x &= \frac{-\beta_z}{\omega\mu} E_0 \sin(\beta_x x) e^{-j\beta_z z} \\
 E_y &= E_0 \sin(\beta_x x) e^{-j\beta_z z} \\
 H_z &= \frac{j\beta_x}{\omega\mu} E_0 \cos(\beta_x x) e^{-j\beta_z z}
 \end{aligned}
 \tag{2.27}$$

Dimana

$$\begin{aligned}
 \beta_x &= \pi/a \\
 \beta_z &= \sqrt{k^2 - \beta_x^2} = \frac{2\pi}{\lambda_g}
 \end{aligned}
 \tag{2.28}$$

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{\omega}{c}$$

$$\lambda_g = \frac{\lambda}{\sqrt{\lambda_c^2 - \lambda^2}} \dots\dots\dots (2.29)$$

$$\lambda_c = 2a$$

Panjang gelombang *waveguide* juga bisa dicari dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

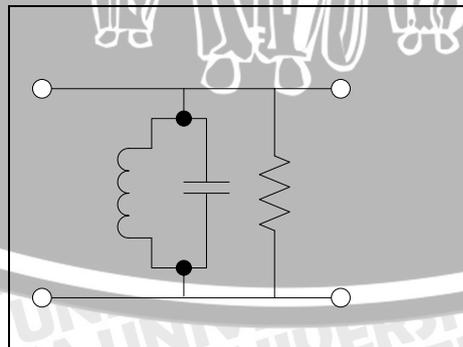
$$\lambda_g = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{\lambda_0}\right)^2 - \left(\frac{1}{\lambda_c}\right)^2}} \dots\dots\dots (2.30)$$

dimana

$\lambda_0$  : adalah panjang gelombang di ruang bebas

$\lambda_c$  : panjang gelombang *cut off*

Pada Gambar 2.14 di atas selain ditunjukkan pengaruh posisi *slot* atau penempatan *slot* terhadap pada *waveguide* terhadap radiasi yang keluar dari *waveguide*, juga ditunjukkan setara impedansi dari *slot* pada bidang luas, dimana untuk *slot* a pada Gambar 2.14 yaitu *slot* yang membujur sejajar dengan *waveguide* yang berada pada dinding *waveguide* tersebut mempunyai impedansi setara dengan rangkaian hambatan R yang di rangkai parallel atau *admittance* disebut *slot conductance* juga ditambahkan *slot susceptance* yang bisa berupa inductor *L* dan capasitor *C* yang dirangkai dan rangkaian ini disebut TE *susceptance equivalent circuit* atau rangkaian suseptansi pada mode TE karena mode inilah yang dominant bentuk *slot* tersebut yang biasa ditunjukkan pada Gambar 2.15 dibawah

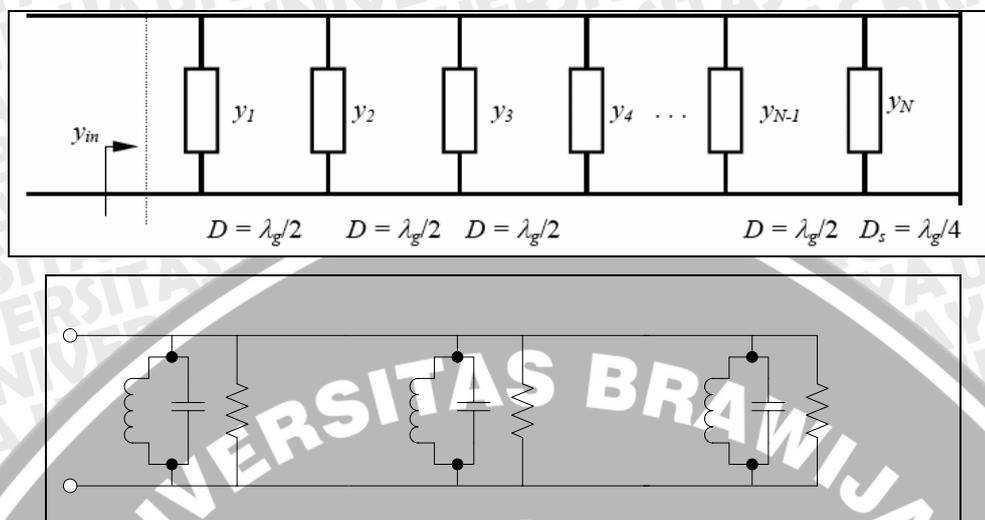


Gambar 2.15 Rangkaian Setara *Suceptance* pada TE  
 Sumber : Stanculovic(2001)

Semakin jauh *slot* dari garis pusat *waveguide* maka akan menimbulkan semakin besar *admittance* atau impedansi yang rendah pada *waveguide* lalu ketika *admittance*



dari digabungkan dengan slot lain pada dinding waveguide maka akan didapatkan waveguide atau transmission line yang sesuai atau VSWR yang rendah. Gambar 2.16. di bawah menunjukkan impedansi setara dari slot yang disusun membujur pada waveguide



Gambar 2.16 Impedansi setara longitudinal slot pada waveguide balok  
 Sumber : Stanculovic(2006:77)

Pada Gambar 2.16 di atas  $D$  adalah jarak antara pusat slot, dalam melakukan analisis terhadap impedansi slot pada bidang luas maka digunakan duality principle yaitu perbedaan panjang slot  $\lambda/2$  dengan antenna dipole pada medan elektrik dan magnetik sehingga menghasilkan persamaan yang menghubungkan antara dipole dan antenna slot

$$Z_{dipole} Z_{slot} = \frac{1}{4} \eta^2 = \frac{(120\pi)^2}{4} \dots \dots \dots \text{Slot susceptance} \dots \dots \dots (2.31) \quad \text{Slot susceptance}$$

Selanjutnya oleh Stevenson dalam bukunya “Theory of slot in Rectangular Waveguide” dengan mengasumsikan bahwa slot di potong pada bidang dengan konduktivitas yang sempurna, dinding waveguide yang sangat tipis, lebar slot yang lebih kecil daripada panjang slot, panjang slot resonansi  $\lambda_0/2$ , dan slot mengeluarkan radiasi pada bidang dengan konduktivitas sempurna serta bidang yang luas, menyatakan bahwa pada resonansi pertama reaktansi dan susceptance adalah nol sehingga konduktansi pada longitudinal shunt slot pada dinding waveguide adalah

$$g = g_1 \sin^2 \frac{\mu\pi}{a}$$

$$g_1 = 2.09 \frac{\lambda_g}{\lambda} \left( \frac{a}{b} \right) \cos^2 \left( \frac{\lambda\pi}{\lambda_g} \right) \dots \dots \dots (2.32)$$



Untuk

$\lambda_g$  = panjang gelombang untuk mode TE

$\lambda$  = panjang gelombang pada ruang bebas

selanjutnya untuk menentukan kondisi *matching* atau sesuai atau VSWR bernilai satu, maka digunakan asumsi bahwa untuk  $l=D=\lambda_g$ , dimana untuk menentukan kondisi *matching* pada resonansi *slotted waveguide* pada longitudinal *slot* digunakan persamaan sebagai berikut

$$y_{in} = \sum_{n=1}^N y_n + y_s \dots \dots \dots (2.33)$$

yang mana  $y_{in}$  adalah admitansi masukan ternormalisasi, sedangkan  $y_n$  adalah admitansi ternormalisasi pada *slot* ke-n, dan  $y_s$  adalah admitansi yang ternormalisasi pada bagian permukaan *waveguide* yang pendek. Dalam hal ini ditentukan  $D_s = \lambda/4$ , karena bersifat

kapasitif sehingga  $Z_s = \infty$  dan  $y_s = \frac{1}{Z_s} = 0$ , sehingga persamaan di atas disederhanakan menjadi

$$y_{in} = \sum_{n=1}^N y_n \dots \dots \dots (2.34)$$

Dengan persamaan tersebut dapat digunakan untuk menentukan besarnya koefesien refleksi, yaitu menambahkan syarat keadaan *matching* atau koefesien refleksi sama dengan nol dengan menambahkan syarat

$$\sum_{n=1}^N y_n = 1 \dots \dots \dots (2.35)$$

Kemudian koefesien refleksi masukan dicari dengan menggunakan rumus

$$\tau_{in} = \frac{1 - y_{in}}{1 + y_{in}} \dots \dots \dots (2.36)$$

Dan besarnya VSWR (*Voltage Standing Wave Ratio*) adalah perbandingan antara maksimum dan minimum *standing wave voltage*

$$VSWR = \frac{V_{max}}{V_{min}} = \frac{1 + \tau_{in}}{1 - \tau_{in}} \dots \dots \dots (2.37)$$

Keuntungan menggunakan *waveguide* dengan penerapan larik *slot* adalah tidak hanya mempunyai lubang peradiasi tetapi juga dapat digunakan untuk jaringan. *Waveguide* dapat menyalurkan energi menuju *waveguide* lain dengan baik. Juga lebih baik karena mempunyai *loss* yang lebih sedikit dalam pengiriman biasa digunakan



sebagai media tranport pada frekuensi X (8GHz-12.5GHz) dan frekuensi yang lebih tinggi. Untuk lebar *waveguide* sendiri dapat dibuat bervariasi asalkan tidak berada pada frekuensi *cut off*, dimana frekuensi *cut off* untuk *waveguide* adalah seperti pada persamaan 3.14.

Untuk analisisnya digunakan medan yang memantul ke bawah *waveguide* ke dalam arah medan sumbu z dari gerak gelombang yang mengalir ke bawah *waveguide*, dan arah medan sumbu x adalah gelombang yang melintang *waveguide* adalah sebuah *standing wave* yang berada diantara dua dinding *waveguide* yang berdekatan. *Standing wave* menyebabkan perbedaan fase sebesar 90° antara tegangan dan arus yang digambarkan seperti pada Gambar 2.17 di bawah.



Gambar 2.17 *Standing wave*  
 Sumber : Milligan(2007:219)

Untuk merancang *waveguide slot* parameter panjang gelombang *waveguide* yang digunakan adalah sebagai berikut :

$$\lambda_0 = c/f \dots\dots\dots (2.38)$$

$$\lambda_c = 2a \dots\dots\dots (2.39)$$

dan menggunakan persamaan 3.23 untuk menentukan *waveguide* balok

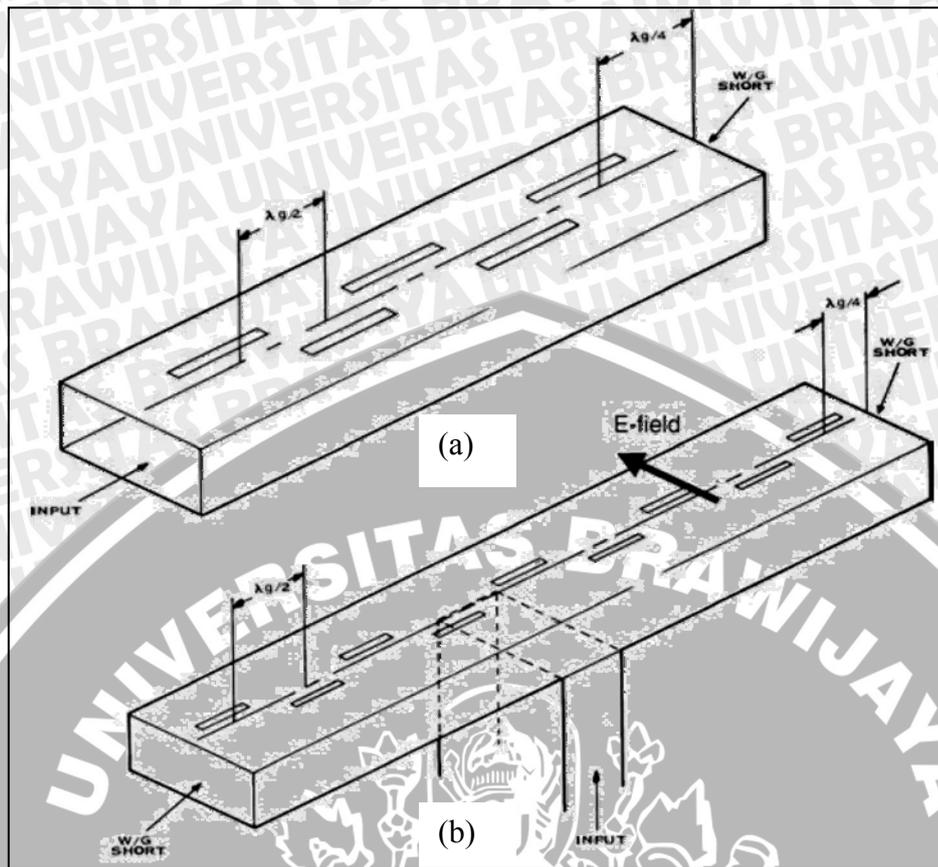
Dimana

$\lambda_0$  : adalah panjang gelombang di ruang bebas

$\lambda_c$  : panjang gelombang cut off

panjang gelombang *waveguide* diatas akan digunakan untuk menentukan posisi *slot* dan panjang *slot* pada *waveguide* seperti pada Gambar 2.18 di bawah:





Gambar 2.18 Gambar desain *waveguide slot*  
 Sumber : Volakis(2007:9-9)

*Waveguide slot* antenna mempunyai baris vertikal *slot* sepanjang vertikal *waveguide*, dengan barisan *slot* yang meningkatkan penguatan antenna dengan membuat datar pancaran gelombang. Karena *slot* yang berada sepanjang *waveguide*, maka jika dibandingkan dengan antenna *dipole* maka seperti tumpukan dari horisonatal antenna *dipole*. Dengan meningkatkan jumlah *slot* maka akan memberikan penguatan yang lebih besar, tetapi membuat pancaran antenna menjadi lebih datar dan memperkecil sudut elevasi. Karena *slot* hanya terdapat pada salah satu sisi *waveguide* maka antenna *slot* tidak akan mengeluarkan radiasi seperti *slot* pada bidang luas, biasanya larik *slot* ditempatkan pada bagian *waveguide* yang agak jauh agar pola radiasi antenna *waveguide slot* lebih seragam.

Untuk dimensi *slot* dapat di hitung dengan menggunakan perhitungan sebagai berikut

- Panjang *slot* pada *waveguide*  $\approx \lambda_0 \times 0.5$
- Lebar *slot* pada *waveguide*  $\approx \lambda_0 \times 0.5 \times 0.1$
- Panjang *waveguide*  $= \lambda_g \times 5$
- Jarak pusat antar *slot*  $= \lambda_g \times 0.5$
- Posisi *slot* adalah  $= \lambda_g / 4$  dari puncak batas atas

Posisi *port* =  $3 \lambda_g/4$  dari *slot* terakhir

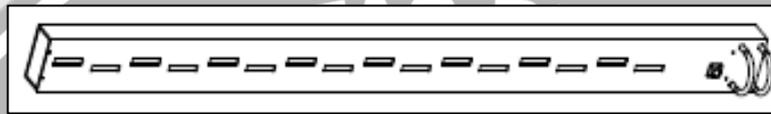
Sehingga didapatkan penguatan antena

$$Gain = 10 \log \left( \frac{N \cdot \text{slotspacing}}{\lambda_0} \right) \text{dB} \quad (2.40)$$

Dan *beamwidth* antena diperoleh dengan rumus sebagai berikut:

$$Beamwidth = 50,7 \cdot \frac{\lambda_0}{N/2 \cdot \text{slotspacing}} \quad (2.41)$$

di bawah ini ditunjukkan contoh gambar *waveguide slot* antena dengan dilengkapi dengan *feeder*



Gambar 2.19 *Waveguide slot* antena dengan jumlah *slot* 32 dengan *feeder*  
Sumber : Marsall(2002)

## 2.8 Desain Slot Miring Pada Pusat Dinding Luas *Waveguide*

Penggunaan *slot* miring atau berputar pada pusat dinding luas *waveguide* kurang umum digunakan karena *array* yang dibutuhkan besar, sudut kemiringannya juga besar untuk menciptakan pola radiasi dengan *cross-polarization* yang cukup besar. *Cross-polarization* dapat dihilangkan dengan membuat *slot* pada garis pusat dinding *waveguide* tetapi tanpa dibuat miring atau seperti Gambar 2.14 (d) pada *slot* miring ini, *slot* mengganggu arus yang berjalan sejajar dengan *waveguide*, induksi medan elektrik pada *slot* miring ini meningkat dengan meningkatkan sudut kemiringan terhadap sumbu pusat *waveguide*, dan polaritas induksi medan elektrik pada *slot* terbalik jika posisi arah *slot* juga dibalik. Hambatan *slot* miring pada sumbu tengah dinding *waveguide* ditentukan berdasarkan persamaan

$$r = \frac{0.131\lambda^3}{ab\lambda_g} \left[ I(\phi) \sin \phi + \frac{\lambda_g}{2a} J(\phi) \cos \phi \right]^2$$

$$\left. \begin{array}{l} I(\phi) \\ J(\phi) \end{array} \right\} = \frac{\cos\left(\frac{\pi\xi}{2}\right)}{1-\xi^2} \mp \frac{\cos\left(\frac{\pi\xi}{2}\right)}{1-\xi^2} \quad (2.42)$$

$$\left. \begin{array}{l} \xi \\ \zeta \end{array} \right\} = \frac{\lambda}{\lambda_g} \cos \phi \pm \frac{\lambda}{2a} \sin \phi$$

Yang mana  $\phi$  adalah sudut kemiringan *slot* yang diukur dari garis pusat *waveguide*.

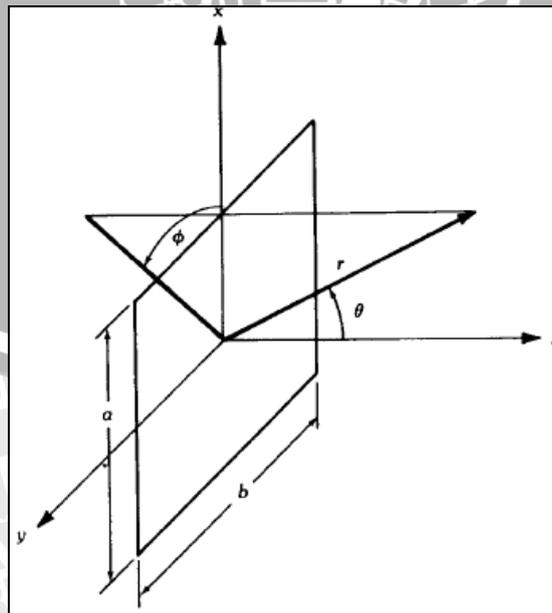
Sedangkan untuk karakteristik *slot* pada dinding samping, bagian tinggi *waveguide*, pada Gambar 2.14 c, mempunyai karakteristik

$$g = \frac{30\lambda^3 \lambda_g}{73\pi a^3 b} \left[ \frac{\sin \phi \cos\left(\frac{\pi \lambda \sin \phi}{2\lambda_g}\right)}{1 - \left(\frac{\lambda \sin \phi}{\lambda_g}\right)^2} \right]^2 \dots\dots\dots (2.43)$$

Di sini  $\phi$  adalah sudut dari *slot* yang ada.

**2.9 Radiasi Elektromagnetik Pada Slot Datar**

Dalam melakukan analisis menggunakan pada *aperture antenna* contohnya radiasi pada *slot*, *horn* dan *reflector* lebih umum digunakan analisis pada gelombang elektromagnetik yang dipancarkan oleh lubang antenna daripada dari arus pada antenna. Terdapat dua metode dasar untuk melakukan analisis ini yaitu perhitungan tangensial medan elektrik dan medan magnetik pada lubang antenna, dan metode *Hyugens-Kirchhoff* yang mendasarkan pada penyebaran radiasi gelombang elektromagnetik seperti penyebaran pada cahaya. Untuk radiasi pada *rectangular slot* menggunakan perhitungan tangential medan elektrik dan medan megnetik pada *slot*.



Gambar 2.20 Sistem koordinat pada *rectangular slot*.  
 Sumber : Lo(1993:5-11)



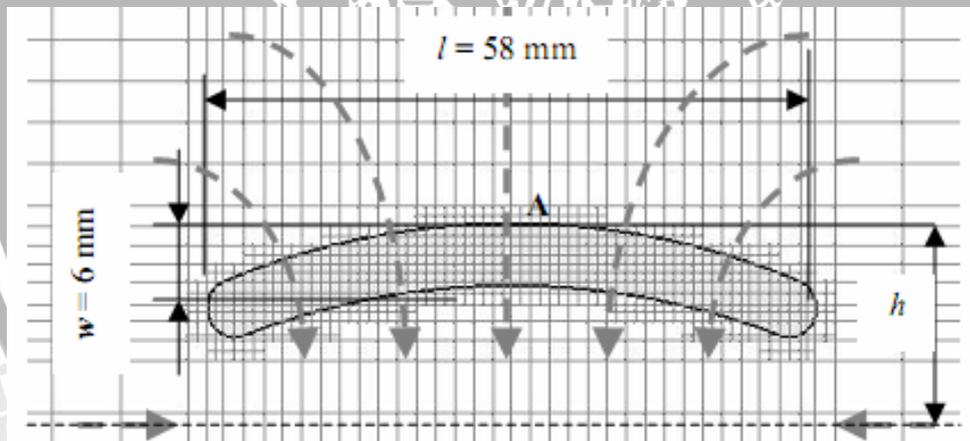
Untuk pola radiasi seperti pada Gambar 2.20 medan elektrik yang dipancarkan oleh *rectangular slot* pada *waveguide* adalah

$$E(r, \theta, \phi) = j \frac{e^{-jkr}}{\lambda r} (\hat{\theta} \cos \phi - \hat{\phi} \cos \theta \sin \phi) 2\pi ab E_0 \frac{\sin[(\pi a/\lambda) \sin \theta \sin \phi]}{(\pi a/\lambda) \sin \theta \sin \phi} \times \frac{\cos[(\pi b/\lambda) \sin \theta \sin \phi]}{\pi^2 - [(2\pi/\lambda) \sin \theta \sin \phi]^2} \dots \dots \dots (2.44)$$

Persamaan ini sudah cukup untuk lebang datar pada dinding *waveguide* bahkan untuk *slot* yang sempit.

**2.10 Menggunakan *Banana Slot***

Untuk memberikan radiasi elektromagnetik yang besar pada *slot* dari *waveguide* maka diberikan bentuk tertentu pada *slot* tersebut, yaitu dengan memastikan *slot* banyak mengganggu aliran arus dalam *waveguide*, contohnya adalah membentuk *slot* tersebut tegak lurus terhadap aliran arus dalam *waveguide*. Contohnya adalah dengan menggunakan *slot* dengan bentuk melengkung, yang di sebut *banana slot*, yang ditunjukkan seperti pada Gambar 2.21 di bawah

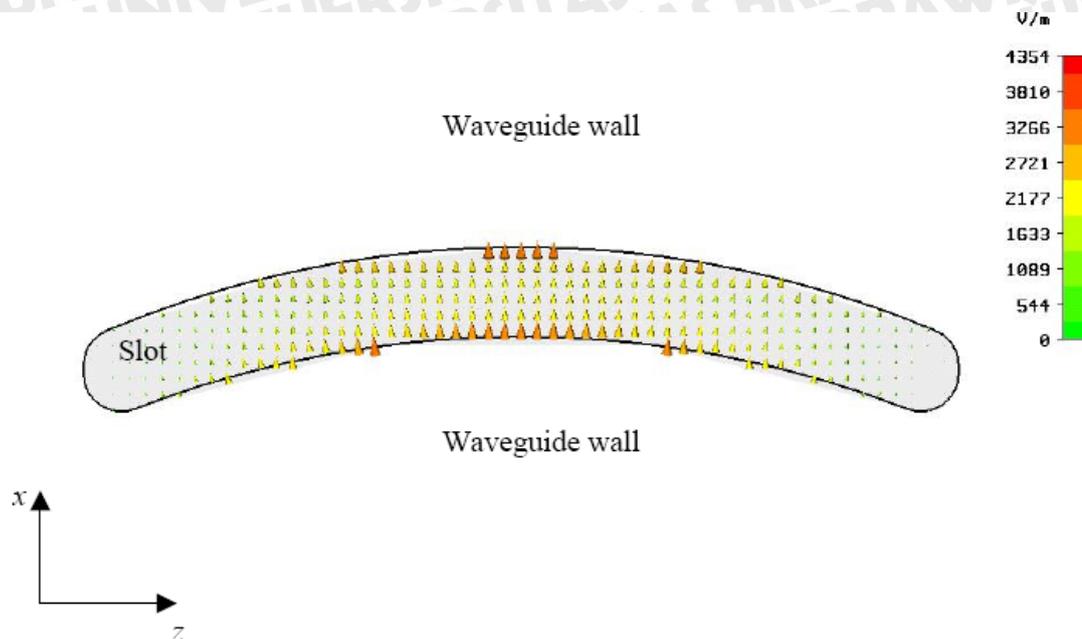


Gambar 2.21 Desain *Banana Slot*  
 Sumber : Stančulović (2006:79)

Dengan lebar *banana slot* kurang lebih 6 mm dan dengan panjang *slot* adalah 58 mm, jarak sisi luar *slot* dari garis pusat *waveguide* dilambangkan dengan huruf *h*, dan dikurangi 3 mm sebagai ketinggian lengkungan *banana slot*, dengan lebar *banana slot* sebesar 6 mm dan dengan *offset* dari garis pusat *waveguide* sebesar  $d = h - 3$ . sedangkan garis panah putus – putus tersebut menunjukkan garis arah aliran arus pada



dinding *waveguide* bagian dalam. Selanjutnya dalam hasil simulasi di bawah dapat dilihat bahwa medan elektrik tegak lurus terhadap sumbu *banana slot*.



Gambar 2.22 Medan elektrik pada pertengahan *banana slot*.  
Sumber : Stančulović (2006:79)

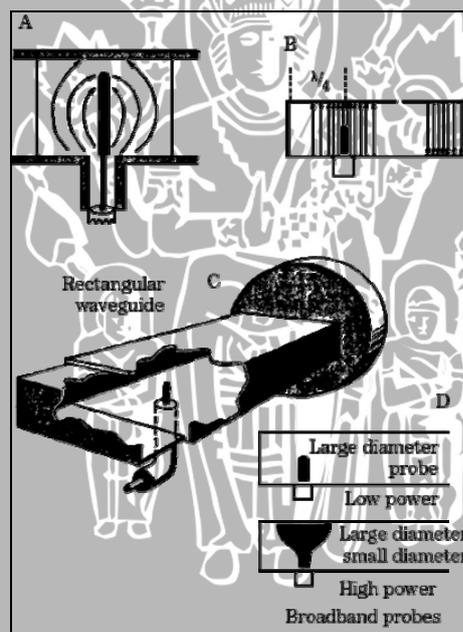
Konsentrasi medan elektrik lebih besar berada pada sekitar ujung puncak bagian dalam *banana slot*. Penyebaran medan elektrik ini menyebabkan bentuk polarisasi yang linear pada radiasi medan yang tegak lurus terhadap sumbu medan yang panjang.

### 2.11 Metode Penyambungan Waveguide

Untuk menciptakan sebuah *oscillator* di dalam *waveguide*, maka diperlukan untuk menambahkan beberapa bentuk masukan atau penyambungan (*coupling*) pada sebuah system *waveguide*. Terdapat tiga tipe dasar penyambungan (*coupling*) *waveguide* yaitu: *capacitive (probe)*, *inductive (loop)*, dan lubang bidik (*slot*).

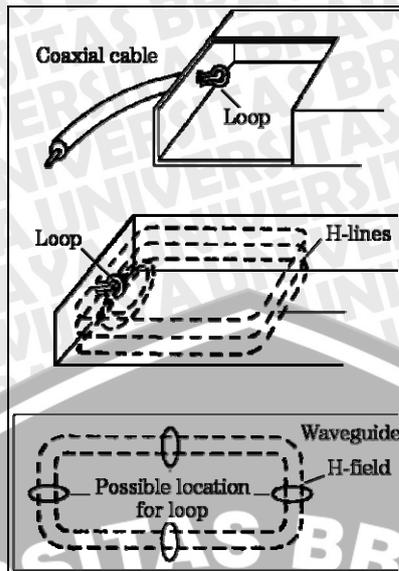
Kapasitif *coupling* ditunjukkan pada Gambar 2.19 dimana pada tipe ini menggunakan radiator vertikal yang disisipkan pada salah satu ujung *waveguide*. Biasanya *probe* sebesar satu per-empat panjang gelombang dalam frekuensi yang tetap. *Probe* dapat dianalogikan sebagai antena vertical pada frekuensi rendah. Karakteristik dari radiator ini adalah medan elektrik parallel dengan permukaan atas dan bawah *waveguide*. Susunan ini sesuai dengan mode dominan  $TE_{10}$ , dimana radiator ditempatkan pada satu per-empat panjang gelombang dari ujung *waveguide*. *Coupling* di tempatnya pada titik yang berada pada satu per-empat panjang gelombang dari ujung *waveguide*, yang akan memancarkan satu per empat panjang gelombang (pergeseran

$90^\circ$ ), yang akan memantulkan dari ujung *waveguide* dengan menggeser fasa sebesar  $180^\circ$ , kemudian memancarkan lagi satu per-empat panjang gelombang yang dengan pergeseran fasa  $90^\circ$  yang lain, pergeseran fasa totalnya adalah  $360^\circ$  sehingga gelombang yang dipantulkan sampai di radiator lagi dengan fasa yang sama, untuk memperkuat gelombang yang dipancarkan. Beberapa *waveguide* diberikan beberapa tambahan pada bagian ujungnya seperti pada Gambar 2.19.C dengan tujuan untuk dapat digunakan pada banyak frekuensi, dan dengan posisi ujungnya untuk menyesuaikan pada panjang gelombang yang berbeda. Pada Gambar 2.19.D menunjukkan tinggi dan rendahnya daya *probe broadband* yang biasanya tidak sebesar satu per empat panjang gelombang kecuali pada beberapa frekuensi khusus. Memberikan *probe broadband* dilakukan pengaturan dengan memperhatikan perbandingan antara diameter dan panjang dari *probe* tersebut. Perbandingan pada *coupling* dapat dirubah dalam beberapa cara yaitu : dengan merubah posisi dari *probe* sehingga medan elektrik dapat dirubah, atau memberikan *shielding* dapat digunakan sebagai pelindung bagian radiator.



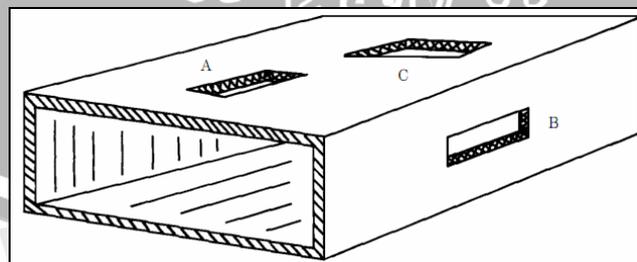
Gambar 2.23 Probe kapasitif (coupling)  
Sumber : Carr(2001:392)

*Inductive* atau *loop coupling* ditunjukkan pada Gambar 2.20 *Loop* kecil kawat atau bahan konduktor lain, yang ditempatkan pada tempat yang membuat jalur flux magnetic dapat teroptimasi. Bentuk *coupling* ini sering digunakan pada antenna penerima *microwave*, untuk membuat sambungan dari *waveguide* ke kabel coaxial.



Gambar 2.24 Loop (inductive) coupling  
 Sumber : Carr(2001:393)

*Aperture* atau *slot coupling* seperti pada Gambar 2.21 tipe *coupling* ini digunakan untuk menggabungkan dua *waveguide*, pada bagian *feed* antenna. *Slot* dapat didesain untuk digunakan dalam menyambungkan medan elektrik, magnetik dan elektromagnetik. Pada Gambar 2.21, *slot A* ditempatkan pada titik dengan medan elektrik maksimum, sehingga menyambungkan medan elektrik. Begitu juga, pada *slot B* berada pada titik dimana medan magnetik *H* mencapai maksimum, sehingga dapat menyalurkan medan magnetik *H*. Pada *slot C*, dapat menyalurkan medan elektromagnetik. *Slot* dapat digolongkan menurut, *radiating* atau *non-radiating*. A *nonradiating slot* adalah potongan atau lubang pada titik yang tidak mengganggu aliran arus pada dinding *waveguide*, sedangkan *slot radiating* mengganggu aliran arus pada dinding *waveguide*.



Gambar 2.25 Slot coupling  
 Sumber : Carr(2001:393)

## BAB III METODOLOGI

Kajian yang dilakukan dalam skripsi ini adalah mengenai perencanaan dan pembuatan antena *waveguide slot* yang beroperasi pada frekuensi 2.4 GHz untuk aplikasi WLAN. Adapun metodologi yang digunakan dalam penyelesaian skripsi ini adalah

### 3.1 Studi Literatur

Melakukan kajian pustaka yang berkaitan dengan teknologi antena *slot* terutama aplikasinya pada *waveguide* yaitu dalam hal perancangan, pembuatan dan penerapan bentuk *slot* dan *waveguide* di bidang telekomunikasi pada antena.

### 3.2 Pengumpulan Data

Data-data yang digunakan dalam penyusunan skripsi ini adalah berupa data primer dan data sekunder.

#### a. Data primer

Data primer adalah data yang didapatkan dari hasil pengukuran di Laboratorium Institut Teknologi Telkom, Bandung.

#### b. Data sekunder

Data sekunder adalah data yang diperoleh dari studi literatur (buku, jurnal-jurnal, dan internet) dan simulasi.

### 3.3 Perancangan dan Pembuatan

Perancangan antena *waveguide* dilakukan secara matematis berdasarkan pada materi dan referensi yang diperoleh dari hasil studi pustaka. Hasil rancangan kemudian disimulasikan menggunakan software perancangan untuk mengetahui parameter antena. Tahap pra-pembuatan antena ini penting untuk melihat kualifikasi dari hasil rancangan apakah sudah sesuai atau belum dengan yang direncanakan. Setelah rancangan ditentukan kemudian dilakukan fabrikasi antena yang bersangkutan.

### 3.4 Pengujian

Pengujian dilakukan melalui pengukuran terhadap beberapa parameter antenna pada frekuensi kerjanya. Pengukuran terhadap antenna yang sudah difabrikasi ini bertujuan untuk mengetahui kinerja antenna yang sebenarnya. Jangkauan frekuensi yang akan digunakan berada pada rentang 2.4 – 2.485 GHz. Pengukuran ini meliputi :

#### 3.4.1 Pengukuran *Return Loss*, Koefisien Pantul dan *VSWR*

Pengukuran ini bertujuan untuk mengetahui kesesuaian impedansi (*matching impedance*) dari antenna yang dibuat.

#### 3.4.2 Pengukuran *Gain*

Pengukuran ini bertujuan untuk mengetahui besar penguatan antenna.

#### 3.4.3 Penghitungan *Directivity*

Pengukuran ini bertujuan untuk mengetahui sifat keterarahan antenna.

#### 3.4.4 Pengukuran Pola Radiasi

Pengukuran ini bertujuan untuk mengetahui pola medan 2D dari radiasi antenna pada setiap sudut bidang *azimuth* maupun elevasinya.

#### 3.4.5 Pengukuran Polarisasi

Pengukuran ini bertujuan untuk mengetahui pola perambatan medan listrik dari antenna yang dibuat.

### 3.5 Analisis

Pada tahap ini dilakukan analisis terhadap antenna yang telah dibuat dengan cara membandingkan parameter-parameter yang diperoleh dari hasil perencanaan dengan parameter-parameter hasil pengujian. Hasil analisis ini akan digunakan sebagai bahan masukan dalam mengambil kesimpulan.

### 3.6 Pengambilan Kesimpulan dan Saran

Proses pengambilan kesimpulan dilakukan berdasarkan hasil yang diperoleh dari proses analisis. Pada bagian ini dijelaskan secara singkat tentang hasil yang telah dicapai beserta saran untuk pengembangan selanjutnya.

## BAB IV

### PERENCANAAN DAN PEMBUATAN ANTENA WAVEGUIDE SLOT

#### 4.1 Tinjauan Umum

Antena *waveguide slot* merupakan salah satu jenis antena *waveguide* dengan menggunakan *slot* sebagai media peradiatornya yang berada pada salah satu sisi pada *waveguide*, *slot* yang berada pada bidang luas itu sendiri merupakan penyempurnaan dari antena *dipole*.

#### 4.2 Perencanaan Antena *Waveguide Slot Array*

Antena *waveguide slot* merupakan antena yang menggunakan *waveguide* sebagai *feed* dan *slot* sebagai elemen peradiatornya. *Waveguide* disini berperan sebagai pemacu *slot* sebagai elemen peradiator tempat berjalannya *standing wave*. Sedangkan *slot* pada dinding *waveguide* adalah berperan sebagai elemen peradiator yang mempunyai sifat seperti antena *dipole*, tetapi berkebalikan pada posisi medan *E* dan *H* nya, sehingga mempunyai polarisasi horizontal. *Waveguide* dapat dibuat dari bahan *plate* alumunium yang dibuat menjadi balok yang mempunyai rongga di dalamnya, dan *slot* itu sendiri berupa lubang yang berada di salah satu dinding *waveguide*, yang digunakan di sini pada dinding luas *waveguide*.

Langkah-langkah sebelum pembuatan antena *waveguide slot* adalah terlebih dahulu menentukan bahan dan hal-hal yang lebih rinci mengenai dimensi dari antena *waveguide slot* itu sendiri.

Untuk frekuensi kerja 2,4 GHz, dapat diketahui nilai panjang gelombangnya dengan perhitungan :

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

$$= \frac{2,9979 \times 10^8}{2,437 \times 10^9} = 0,123 \text{ m}$$

Bahan yang biasa digunakan dalam pembuatan *waveguide* adalah alumunium, kuningan atau tembaga. Penentuan bahan *waveguide* berdasarkan konduktivitasnya sehingga dapat bekerja sebagai *reflector* dengan baik.

Sebelum menentukan dimensi *waveguide*, maka terlebih dahulu menentukan frekuensi *cut-off* dari *waveguide* tersebut, dengan menggunakan persamaan sebagai berikut

$$(f_c)_{mn} = \frac{1}{2\pi\sqrt{\mu\varepsilon}} \sqrt{\left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 - \left(\frac{n\pi}{b}\right)^2}$$

dengan

$\mu$  (*relative permeability*) alumunium = 1

$\varepsilon$  (*relative permittivity*) alumunium = 1.000021

maka jika disederhanakan

$$(f_c)_{mn} = \frac{1}{2a}$$

jika

lebar *waveguide* ( a ) = 94 mm

tinggi *waveguide* ( b ) = 81.3 mm

maka

$$(f_c)_{mn} = \frac{1}{2a} = \frac{1}{2 \cdot 94} = 0.005$$

Sehingga panjang gelombang *cut-off* adalah

$$\begin{aligned} \lambda_c &= 2a \\ &= 2 \times 94 \\ &= 188 \text{ mm} \end{aligned}$$

Karena panjang gelombang pada *waveguide* lebih panjang daripada panjang gelombang pada ruang bebas maka perlu ditentukan panjang gelombang pada *waveguide* dengan persamaan:

$$\lambda_g = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{\lambda_0}\right)^2 - \left(\frac{1}{\lambda_c}\right)^2}}$$

$$\begin{aligned} \lambda_g &= \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{123}\right)^2 - \left(\frac{1}{188}\right)^2}} \\ &= 162,7 \text{ mm} \end{aligned}$$

### 4.3 Perencanaan Peradiator Larik Slot

Pertama adalah merencanakan *rectangular slot* pada membujur sejajar dengan dinding *waveguide*, seperti terlihat pada Gambar 2.18.a. dengan admitansi *slot*

$$g = \frac{480}{73\pi} \frac{\lambda_g}{\lambda} \frac{a}{b} \cos^2 \left( \frac{\pi\lambda}{2\lambda_g} \right) \sin^2 \left( \frac{\pi d}{a} \right)$$

$$g = \frac{480}{73\pi} \frac{162.7}{123} \frac{94}{81.3} \cos^2 \left( \frac{\pi\lambda}{2\lambda_g} \right) \sin^2 \left( \frac{\pi 10}{94} \right)$$

$$g = 1,0887 \times 10^{-4}$$

dimana

d = adalah besar *offset* (mm)

dan jarak antar *slot* sebesar

$$\frac{\lambda_g}{2} = 162.7/2$$

$$= 81.35 \text{ mm}$$

Dengan jarak *slot* terakhir dari ujung *waveguide* sebesar

$$\frac{\lambda_g}{4} = 40,675 \text{ mm}$$

### 4.4 Perencanaan Antena *Waveguide Slot* dengan Simulator

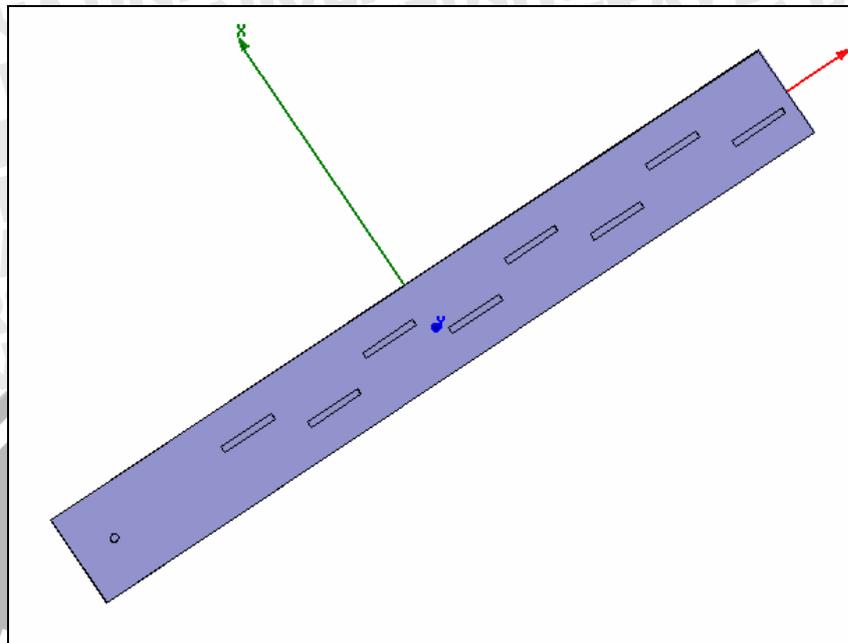
Setelah melakukan perhitungan terhadap dimensi *waveguide* dan impedansi *slot* maka selanjutnya adalah melakukan pensimulasian terhadap antenna berdasarkan hasil perhitungan dengan menggunakan simulator *software* Ansoft HFSS (High Frequency Structure Simulator) yang diharapkan akan mendapat hasil yang mendekati dengan yang diinginkan dan dapat diaplikasikan dalam pembuatan antenna *waveguide slot*.

#### 4.4.1 Perencanaan Bentuk *Slot* Pada Dinding *Waveguide*

Selanjutnya adalah mencoba menentukan bentuk *slot* yang paling sesuai dan mempunyai performansi yang paling baik yang akan di tempatkan pada dinding *waveguide*. Disini akan digunakan *rectangular slot* pada dinding *waveguide* sebagai bentuk rancangan awal yang selanjutnya akan dilakukan optimasi pada panjang *slot*, lebar *slot* dan besarnya *offset*.

#### 4.4.2 Perencanaan Simulasi *Rectangular Slot* Pada Dinding *Waveguide*

Untuk bentuk desain *rectangular slot* pada *waveguide* dapat dilihat seperti pada Gambar di bawah:

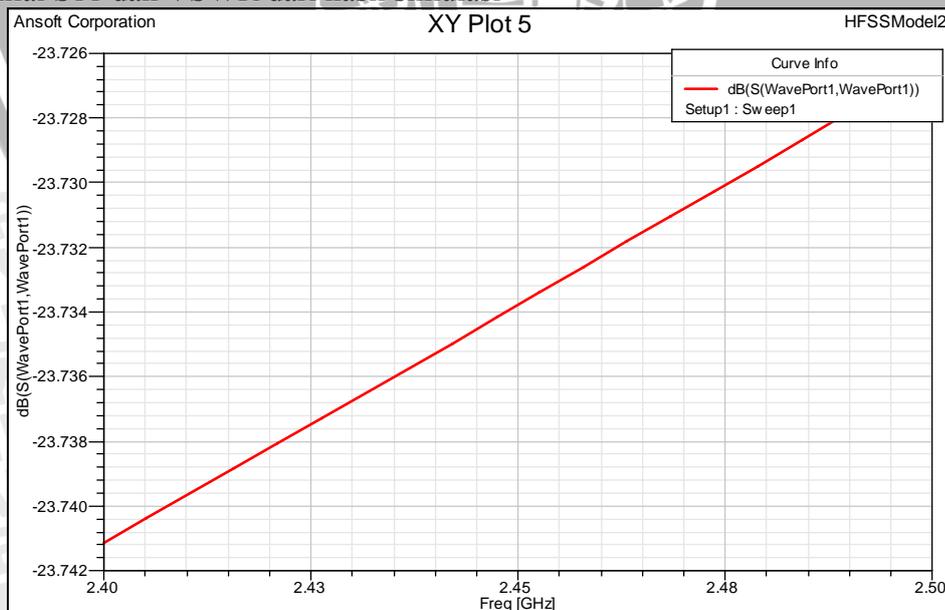


Gambar 4.1 Desain *rectangular slot* pada *waveguide*  
 Sumber : Simulasi

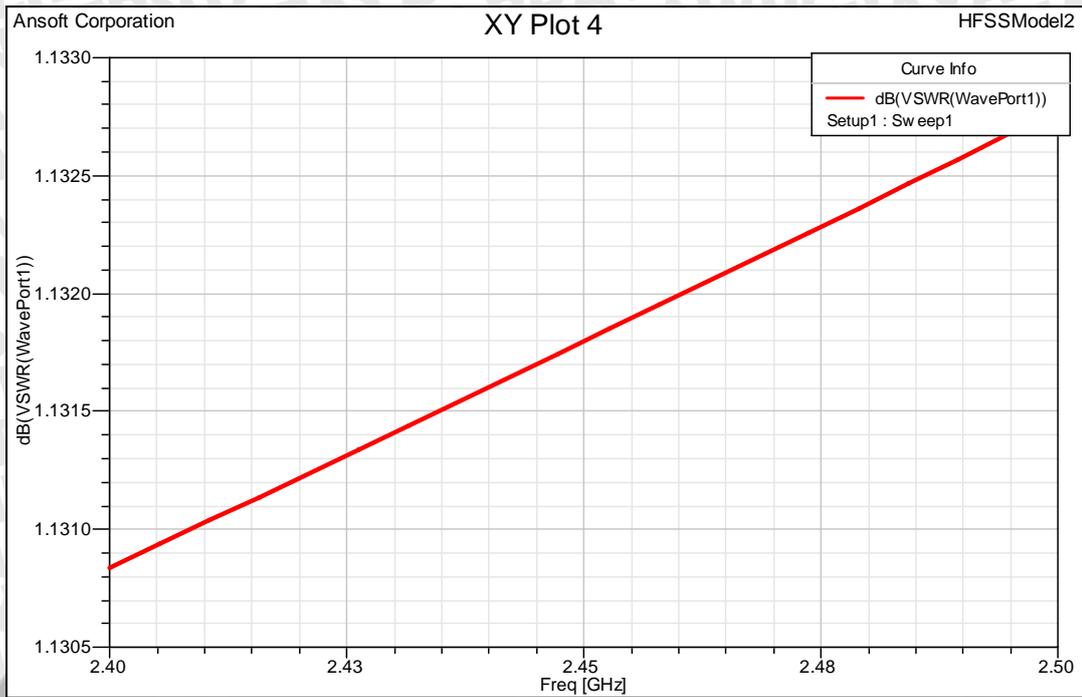
#### 4.4.3 Hasil Simulasi *Rectangular Slot* Pada *Waveguide*

Maka jika rancangan tersebut dilakukan analisa akan didapatkan beberapa parameter dan sifat-sifat antena tersebut yaitu, sebagai berikut:

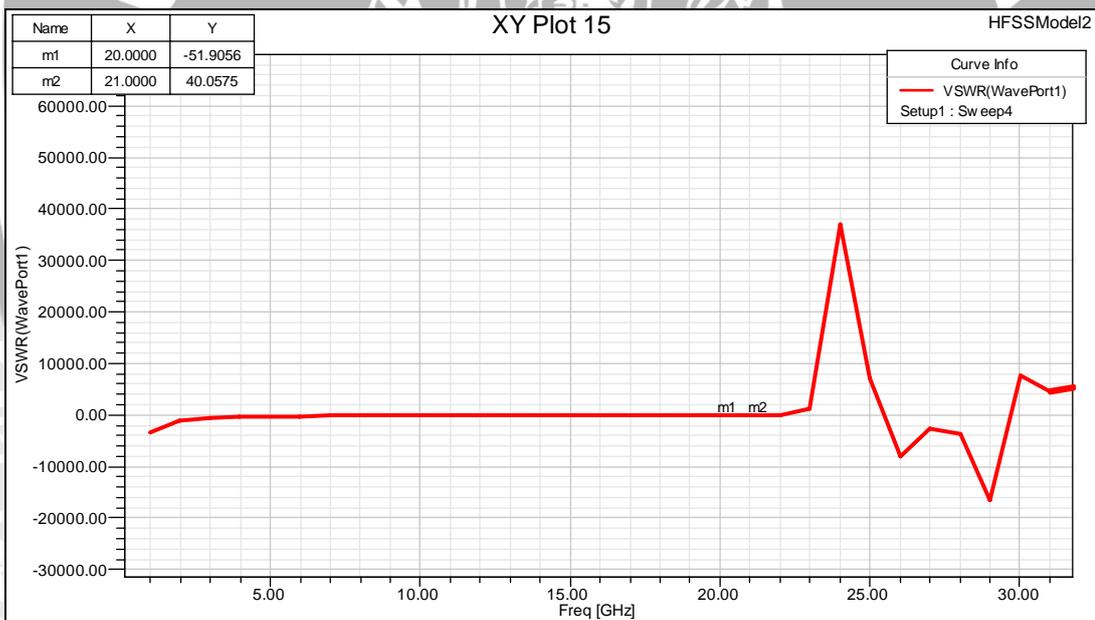
Hasil nilai S11 dan VSWR dari hasil simulasi



Gambar 4.2 *Port* S11  
 Sumber : Simulasi



Gambar 4.3 VSWR pada antenna *waveguide rectangular slot*  
 Sumber : Simulasi

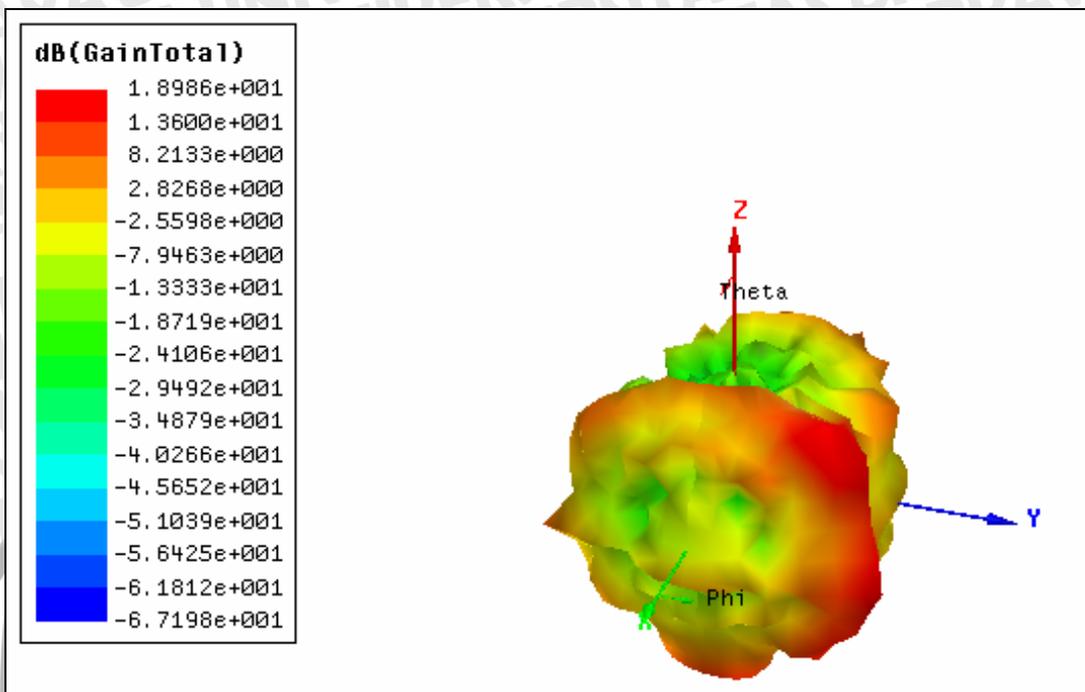


Gambar 4.4 VSWR pada antenna *waveguide* dengan *rectangular slot* 0 GHz sampai 30 GHz

Sumber : Simulasi

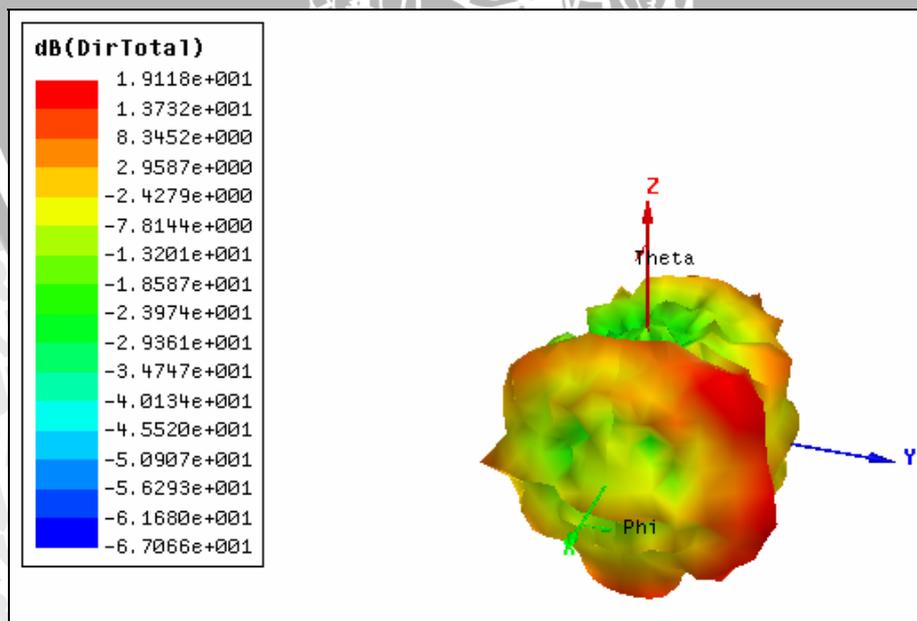
Dari gambar di atas dapat disimpulkan bahwa pada desain *rectagular slot* bahwa nilai *Port S11* mempunyai nilai kurang dari -10 pada frekuensi 2.4 GHz sampai 2.5 GHz, dan VSWR antenna pada frekuensi 2.4 GHz sampai 2.5 GHz juga mempunyai nilai kurang dari 2, sehingga dapat disimpulkan bahwa antenna tersebut dapat bekerja pada frekuensi tersebut. Selain ini juga dapat disimpulkan bahwa hasil simulasi antenna

bahwa antenna tersebut dapat berkerja pada *range* frekuensi 0 GHz sampai dengan 20 GHz.

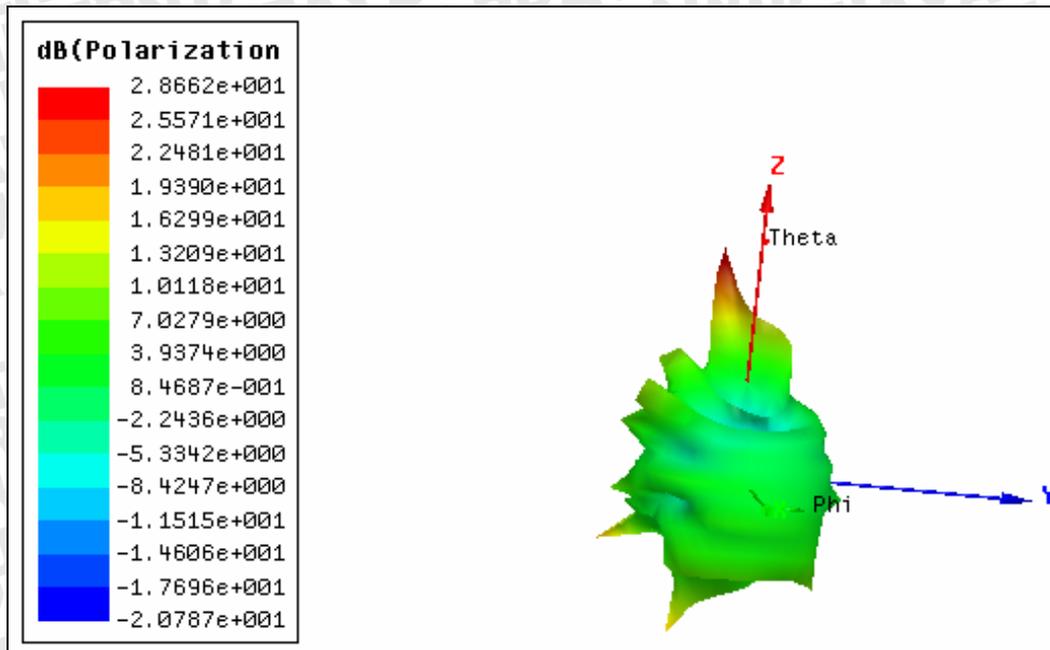


Gambar 4.5 Gain pada Antena *waveguide rectangular slot*, 3D polar plot  
 Sumber : Simulasi

Selanjutnya dari hasil simulasi juga didapatkan *gain* rancangan antenna *waveguide rectangular slot* diketahui bahwa *gain* total antenna mencapai 18,986db



Gambar 4.6 Directivity pada Antena *waveguide rectangular slot* dengan 3D polar plot  
 Sumber : Simulasi

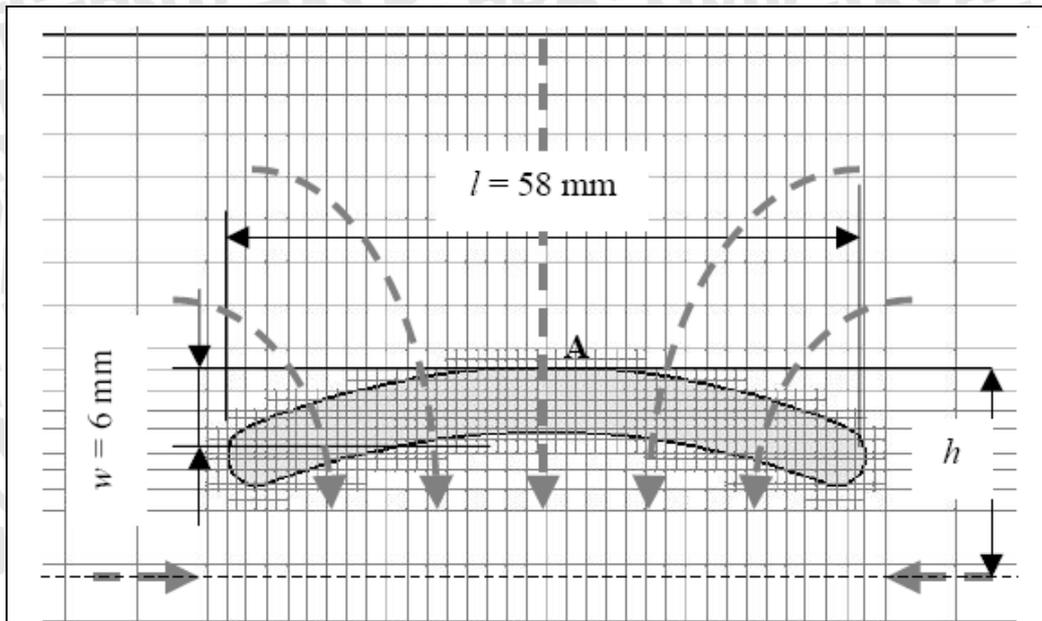


Gambar 4.7 Polarization pada Antena *waveguide rectangular slot* dengan *3D polar plot*  
Sumber : Simulasi

Pada Gambar 4.6 dan Gambar 4.7 dapat dilihat besar *directivity* antenna dan polarisasi antenna dengan puncak radiasi 19,118 dB pada *directivity* antenna dan 28,66 db pada polarisasi antenna. Gambar tersebut ditunjukkan dengan *3D polar plot* merupakan gambaran grafik lingkaran tiga dimensi dengan koordinat  $R$ ,  $\theta$  dan  $\phi$ , yang mana  $R$  adalah *radius* atau jarak dari titik pusat,  $\theta$  adalah sudut dari sumbu  $x$ , dan  $\phi$  adalah sudut dari sumbu  $z$ .

#### 4.4.4 Perencanaan Simulasi *Banana Slot Pada Waveguide*

Setelah melihat hasil simulasi pada desain pertama maka dapat disimpulkan bahwa desain di atas sudah dapat digunakan sebagai antenna pada frekuensi 2400 MHz. Tetapi untuk mendapatkan hasil radiasi elektromagnetik yang lebih baik maka dilakukan optimasi pada bentuk *slot*, yang semula berbentuk persegi panjang (*rectangular*), maka akan dirubah menjadi melengkung, seperti pisang (*banana*) dengan harapan dapat mengeluarkan radiasi gelombang elektromagnetik lebih baik. Desain *slot* adalah sebagai berikut.

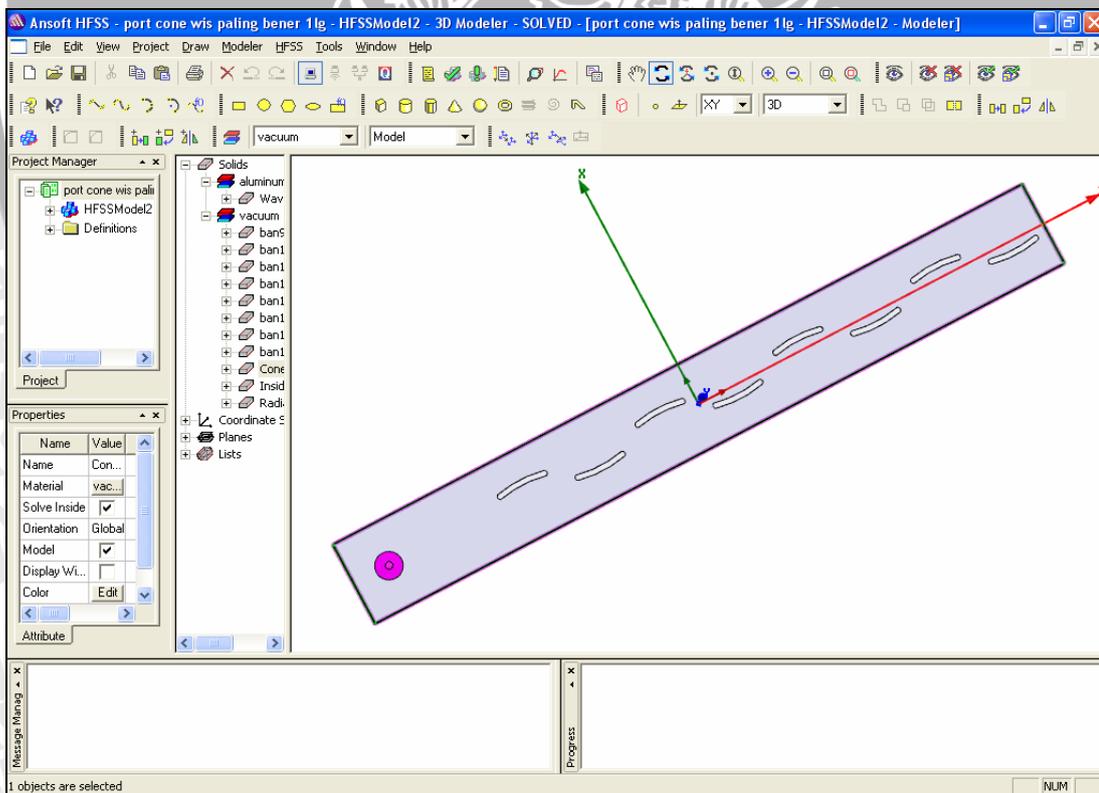


Gambar 4.8 Bentuk desain *banana slot*  
 Sumber : Stanculovic

Dengan  $h = 10 + 3 = 13$  mm, dimana

$d$  (offset) = 10 mm

sehingga desain pada program simulasi Ansoft HFSS adalah sebagai berikut:



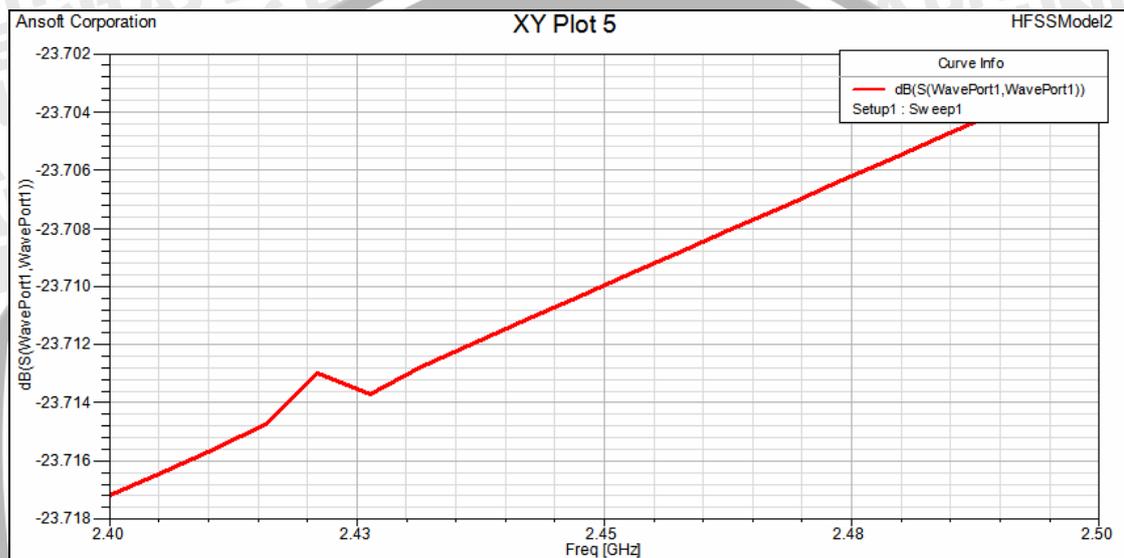
Gambar 4.9 Desain antenna *waveguide banana slot array*  
 Sumber : Simulasi

Dari Gambar 4.9 dapat dilihat desain antenna *waveguide banana slot* dengan penentuan bahan *waveguide* berupa aluminium.

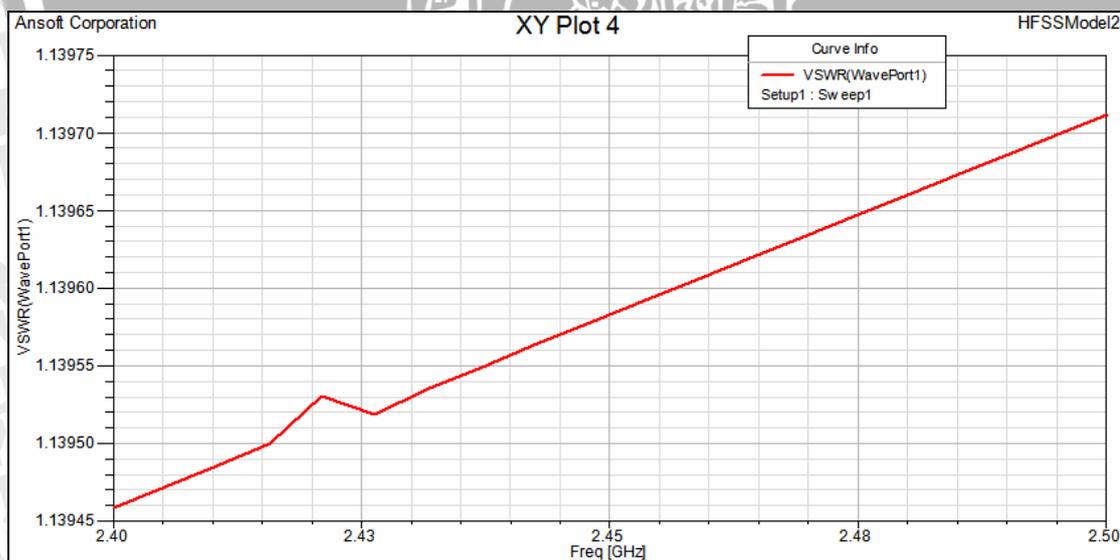
#### 4.4.5 Hasil Simulasi *Banana Slot* Pada *Waveguide*

Maka jika rancangan tersebut dilakukan analisa akan didapatkan beberapa parameter dan sifat-sifat antenna tersebut yaitu, sebagai berikut:

Hasil nilai S11 dan VSWR dari hasil simulasi

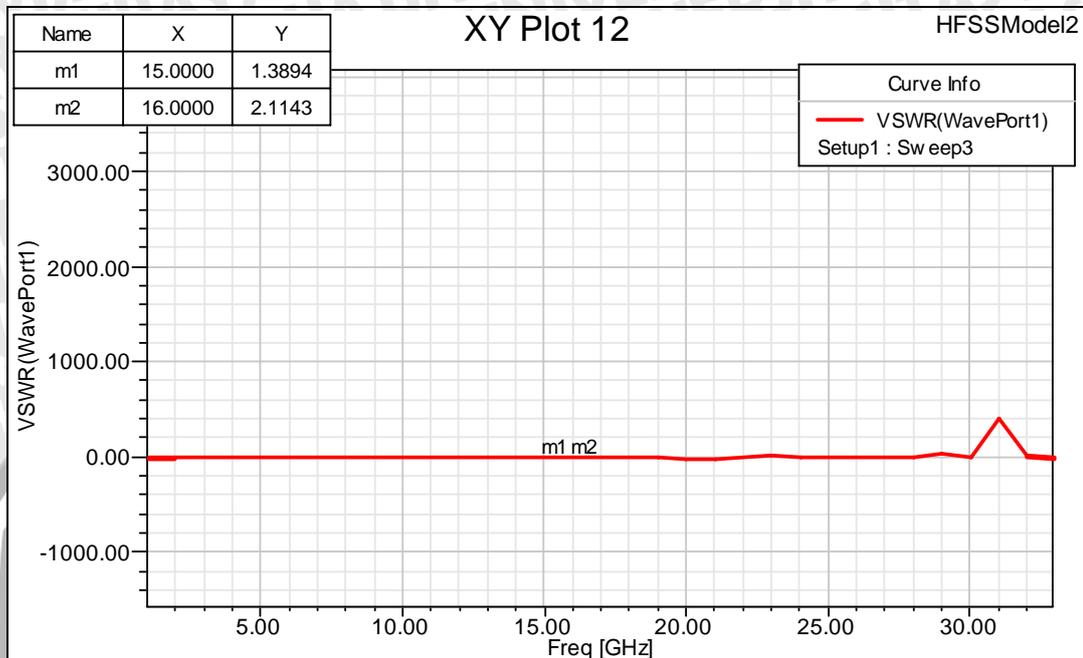


Gambar 4.10 *Port* S11  
Sumber : Simulasi



Gambar 4.11 VSWR pada antenna *waveguide* dengan *banana slot*  
Sumber : Simulasi

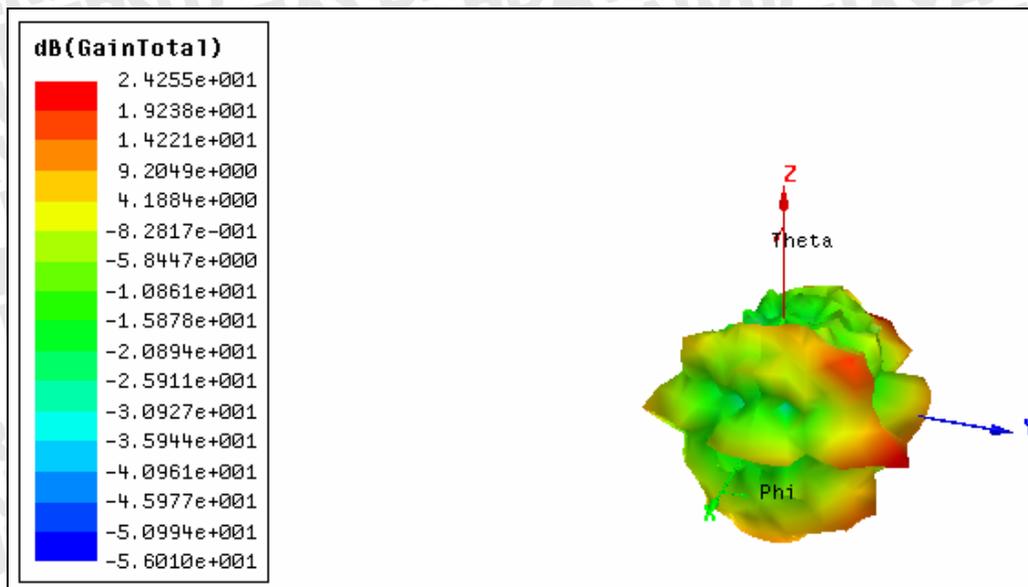
Gambar 4.10 dan Gambar 4.11 yang ada di atas merupakan hasil simulasi dengan *range* frekuensi 2.4 GHz dengan hasil simulasi S11 dan VSWR, selanjutnya adalah simulasi dengan menggunakan *range* frekuensi 0 GHz sampai dengan 100 GHz.



Gambar 4.12 VSWR pada antenna *waveguide* dengan *banana slot slot* 0 GHz sampai 30 GHz

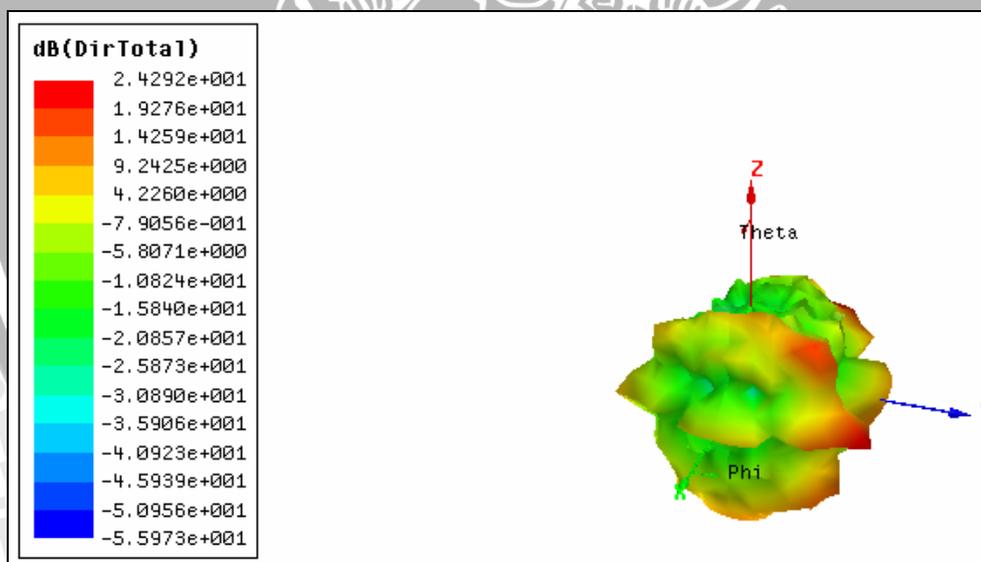
Sumber : Simulasi

Dari di atas dapat dilihat bahwa antenna juga dapat bekerja dengan baik karena mempunyai nilai  $S_{11} < -10$  dan nilai  $VSWR < 2$ . Dari Gambar 4.11 hasil simulasi tersebut maka didapatkan nilai – nilai parameter antenna yang diantaranya VSWR (*Voltage Standing Wave Ratio*) mempunyai nilai kurang dari dua pada *range* frekuensi diantara 2,4 GHz sampai dengan 2,5 GHz dari hasil ini maka antenna tersebut dapat diaplikasikan pada *range* frekuensi tersebut. Begitu juga pada Gambar 4.10 dapat diketahui bahwa nilai  $S_{11}$  bernilai kurang dari -10 sehingga kemungkinan antenna dapat bekerja. Selanjutnya jika dilakukan analisa VSWR dengan *range* frekuensi yang lebih besar misalnya dari 0 GHz sampai dengan 30 GHz maka dapat di lihat bahwa *bandwidth* antenna tersebut sebesar 15 GHz karena nilai VSWR pada *range* frekuensi tersebut kurang dari dua.



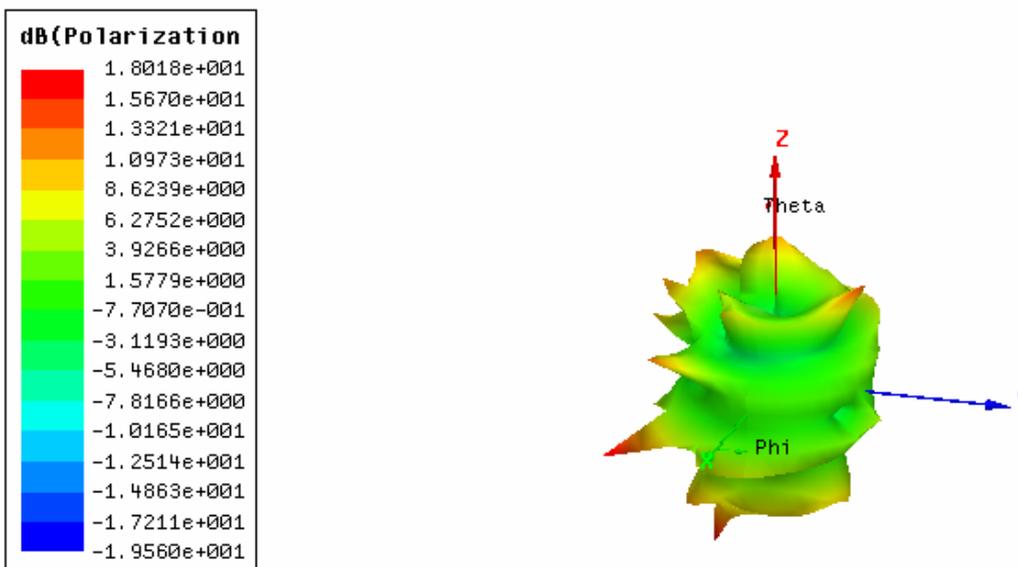
Gambar 4.13 Gain pada Antena waveguide banana slot 3D polar plot  
 Sumber : Simulasi

Selanjutnya dari hasil simulasi juga didapatkan gain rancangan antena waveguide rectangular dengan banana slot diketahui bahwa gain total antena mencapai 24,225db



Gambar 4.14 Directivity pada Antena waveguide banana slot dengan 3D polar plot  
 Sumber : Simulasi

Dari hasil simulasi di atas juga didapatkan directivity antena Waveguide Slot Array cukup besar yaitu mencapai 24,292 db

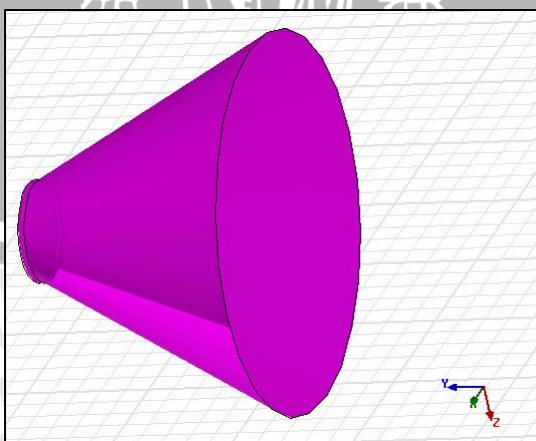


Gambar 4.15 Polarization pada Antena waveguide banana slot dengan 3D polar plot  
 Sumber : Simulasi

Dari Gambar 4.13, 4.14, dan 4.15 dapat disimpulkan bahwa *gain*, *directivity* dan polarisasi antenna meningkat, dimana dari *gain* antenna sebesar 18,986 dB meningkat menjadi 24,255 dB, *directivity* antenna dari 19,118 dB menjadi 24,292 dB dan polarisasi antenna menurun dari 28,662 dB menjadi 18,018 tetapi mempunyai polarisasi yang lebih merata.

#### 4.4.6 Perencanaan Antena Cone Sebagai Coupling Pada Antena Waveguide Slot

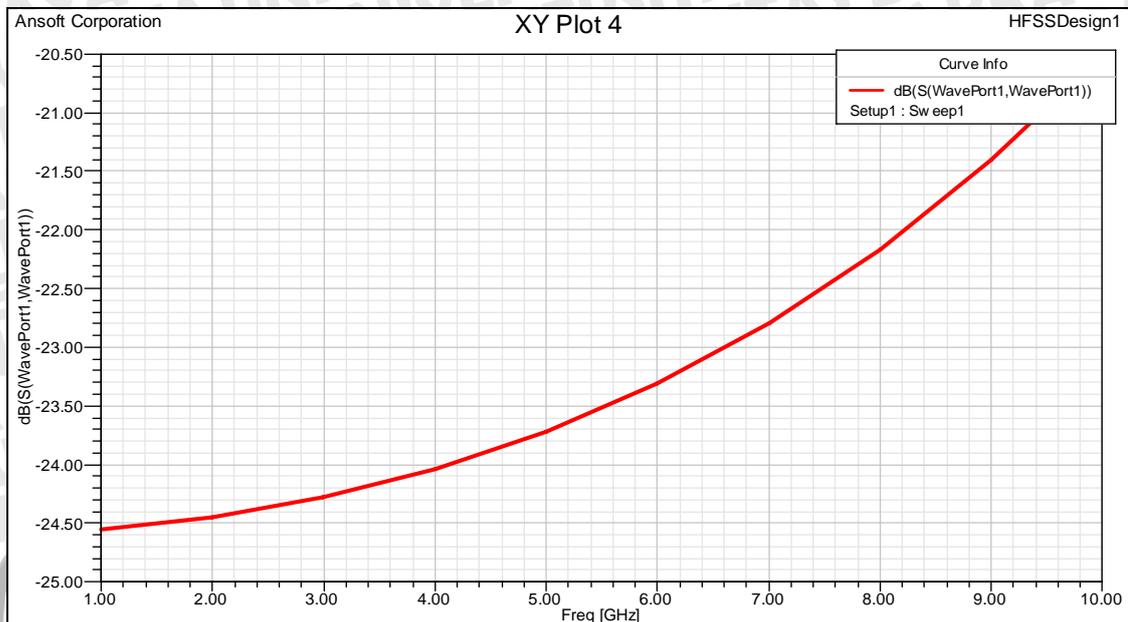
Selanjutnya adalah melakukan simulasi pada perencanaan antenna *cone* yang digunakan sebagai *couling* pada antenna *waveguide slot*, untuk desain yang dibuat dapat dilihat pada Gambar di bawah :



Gambar 4.16 Desain antenna cone  
 Sumber : Simulasi

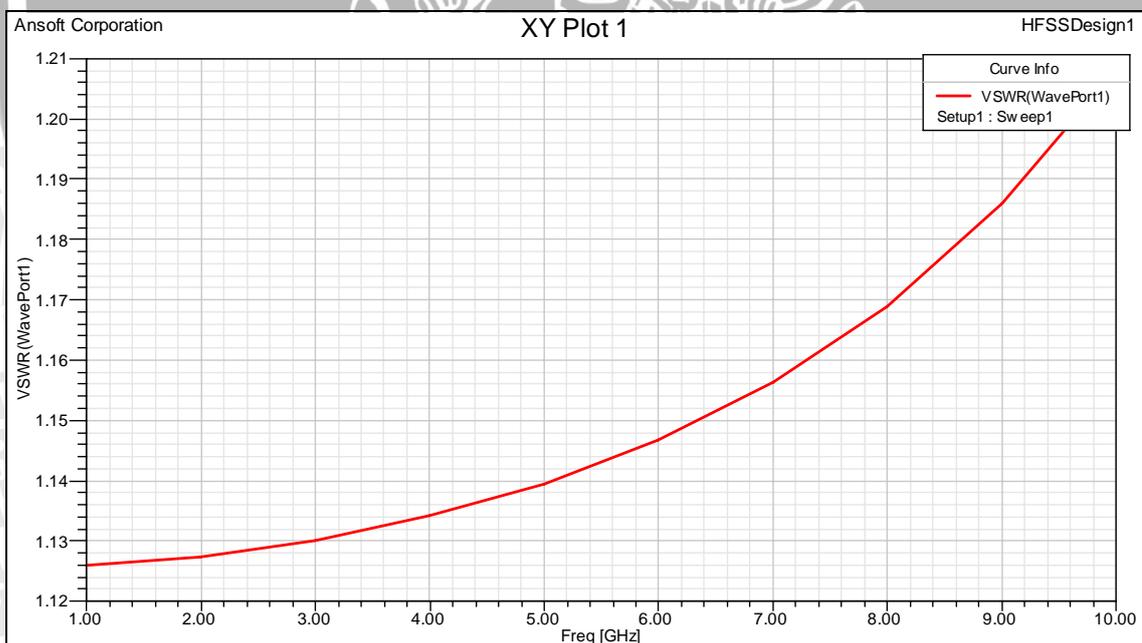
#### 4.4.7 Hasil Simulasi Antena Cone

Hasil dari desain antenna tersebut dapat dilihat pada Gambar di bawah:



Gambar 4.17 Port S11

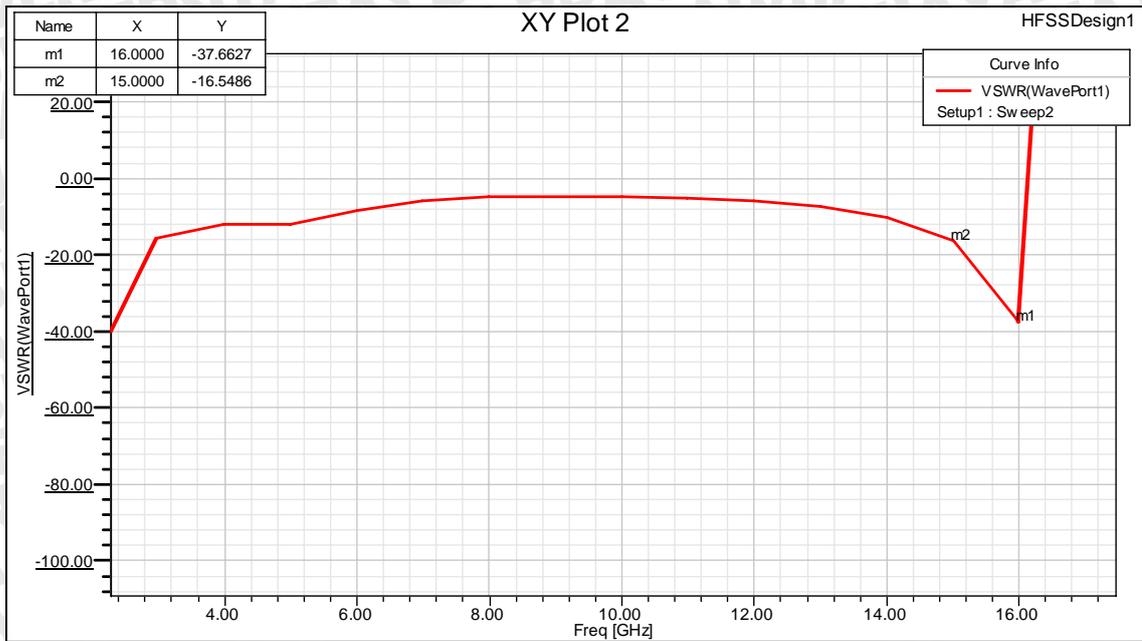
Sumber : Simulasi



Gambar 4.18 VSWR pada desain *coupling* antenna *waveguide slot*

Sumber : Simulasi

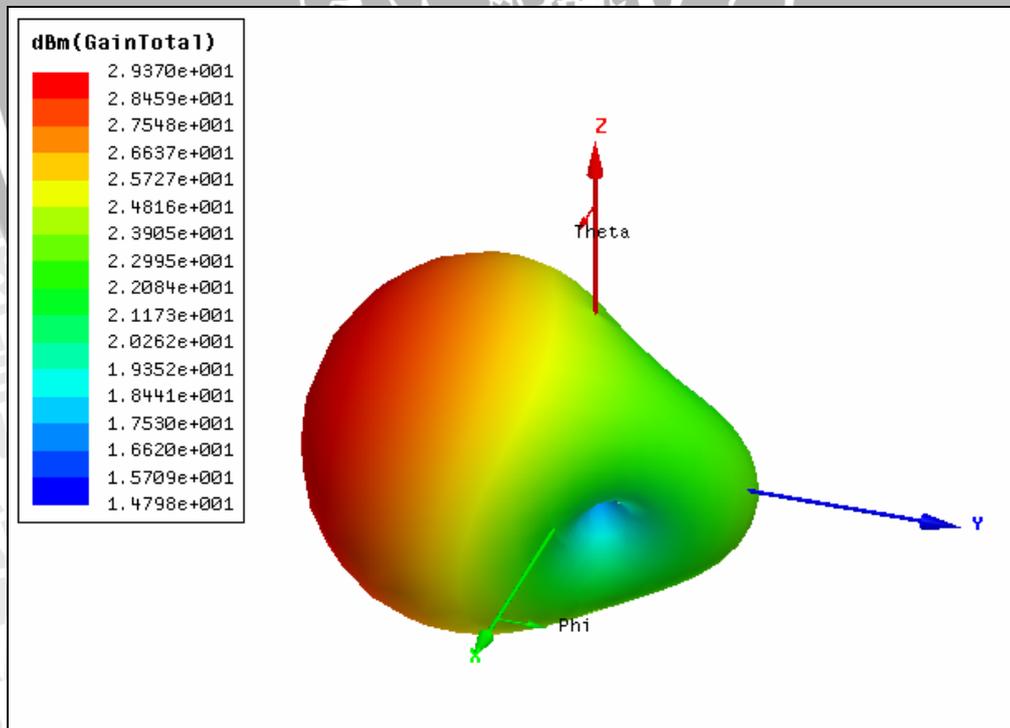
Berdasarkan Gambar 4.17 dan Gambar 4.18 dapat disimpulkan bahwa desain *coupling* antenna *cone* mampu bekerja pada frekuensi 2.4 GHz sampai dengan 2.5 GHz karena mempunyai S11 kurang dari -10 dan VSWR yang bernilai kurang dari 2.



Gambar 4.19 VSWR pada desain *coupling* antenna *waveguide slot* dengan range pengukuran yang lebih besar

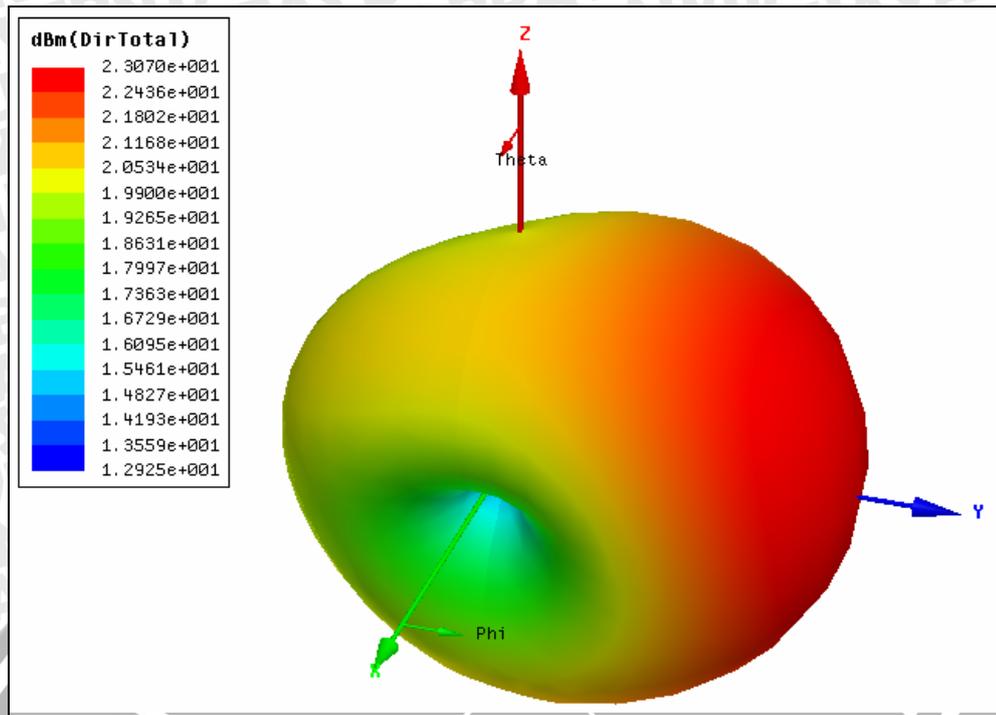
Sumber : Simulasi

Dari ketiga gambar di atas dapat disimpulkan bahwa desain antenna tersebut sudah dapat bekerja pada frekuensi 2.4 GHz dan mempunyai *bandwidth* sebesar 15 GHz. Selanjutnya adalah menentukan besarnya *gain* antenna tersebut, yang hasilnya dapat dilihat pada gambar di bawah



Gambar 4.20 *Gain* pada desain *coupling* antenna *waveguide slot*

Sumber : Simulasi



Gambar 4.21 Directivity pada desain *coupling* antenna waveguide slot.  
 Sumber : Simulasi

Dari hasil simulasi di atas dapat disimpulkan bahwa desain *coupling* antenna tersebut mempunyai *gain* sebesar 29,37 dBm dan *directivity* sebesar 23,07 dBm.

#### 4.5 Optimasi Pada Antena

Setelah mendapatkan hasil dari desain antenna maka selanjutnya akan dilakukan optimasi terhadap antenna tersebut, dengan harapan akan di dapatkan hasil yang lebih baik terhadap nilai VSWR, *bandwidth*, maupun *gain* antenna. Optimasi yang akan dilakukan disini adalah optimasi pada besarnya kelengkungan pada *banana slot* dan besarnya *offset slot* dari garis pusat *waveguide*.

Dalam melakukan optimasi pada besarnya kelengkungan pada *banana slot* yang akan dilakukan adalah melakukan perubahan besarnya kelengkungan pada *banana slot* dengan kelengkungan sebesar nol atau lurus, kelengkungan dengan ketinggian lengkungan 1,5 mm, dan kelengkungan dengan ketinggian 4,5 mm. Hasil dari program simulasi terhadap desain antenna tersebut adalah sebagai berikut:

Tabel 4.1 Optimasi Bentuk Kelengkungan *Banana Slot*

Tinggi kelengkungan <i>banana slot</i> (mm)	Frekuensi kerja / besar <i>bandwidth</i>	Besar <i>Gain</i> / Penguatan antenna (dB)	Besar <i>directivity</i> (dB)
0 atau lurus	1 – 20 / 19	23.831	24.314
1.5	1 -20 / 19	24.490	24.556
3	0-15 / 15	24.255	24.292
4.5	0 – 19 / 19	20.828	21.001

Sumber : Simulasi

Selanjutnya adalah optimasi besarnya *offset* yang memberikan *gain* atau penguatan antenna paling besar, dalam hal ini yang akan dilakukan optimasi pada besarnya *offset slot* adalah desain antenna dengan ketinggian kelengkungan sebesar 1.5 mm dikarenakan mempunyai *gain* paling besar diantara desain antenna yang lain.

Tabel 4.2 Optimasi Besarnya *Offset slot* terhadap besarnya *gain* antenna

Besar <i>offset</i> dari garis pusat <i>waveguide</i> (mm)	Frekuensi kerja / besar <i>bandwidth</i>	Besar <i>Gain</i> / Penguatan antenna (dB)	Besar <i>directivity</i> (dB)
7	1 – 20 / 19	23.708	23.920
10	1 -15 / 15	24.255	24.292
13	0-20 / 20	24.590	24.613

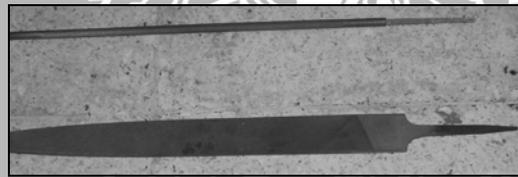
Sumber : Simulasi

Dari hasil simulasi di atas dapat disimpulkan bahwa antenna *waveguide slot* yang mempunyai *gain* paling besar adalah antenna *waveguide slot* dengan tinggi kelengkungan sama dengan 1,5 mm dan dengan *offset* sebesar 13 mm.

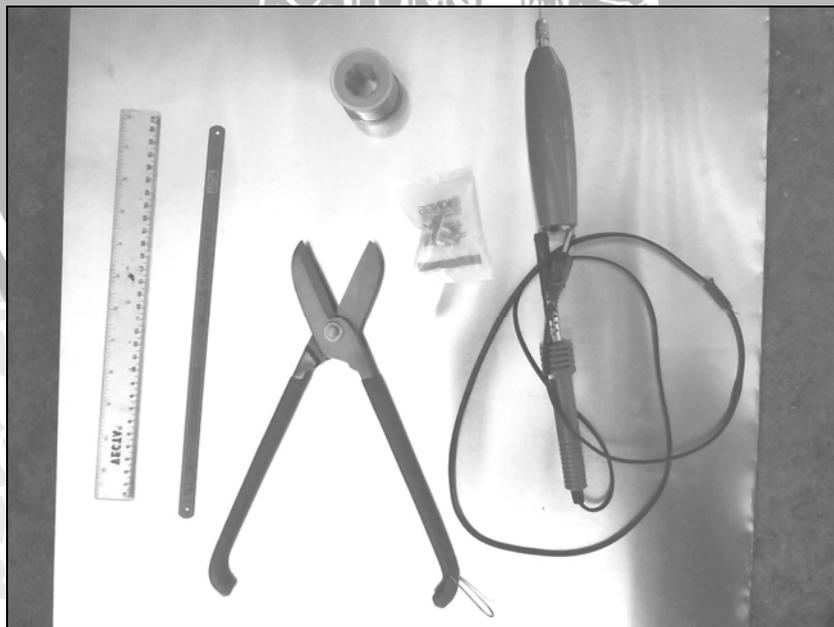
#### 4.6 Alat-Alat dan Bahan Yang Digunakan

Bahan dan alat yang digunakan dalam pembuatan antenna *waveguide slot array* ini adalah sebagai berikut :

1. Papan PCB polos
2. Kawat tembaga
3. Konektor antenna N-Female (merek KINGS)
4. Mur-Baut
5. Tang potong
6. Solder 200W
7. Bor tangan
8. Timah solder
9. Pensil
10. Penggaris
11. Pena marker
12. Kikir bolat dan kikir kotak
13. Gunting seng



(a)



(b)

Gambar 4.22 Peralatan dan bahan yang digunakan antenna *waveguide slot*.  
Sumber : Pembuatan

#### 4.7 Proses Pembuatan *Waveguide* Balok

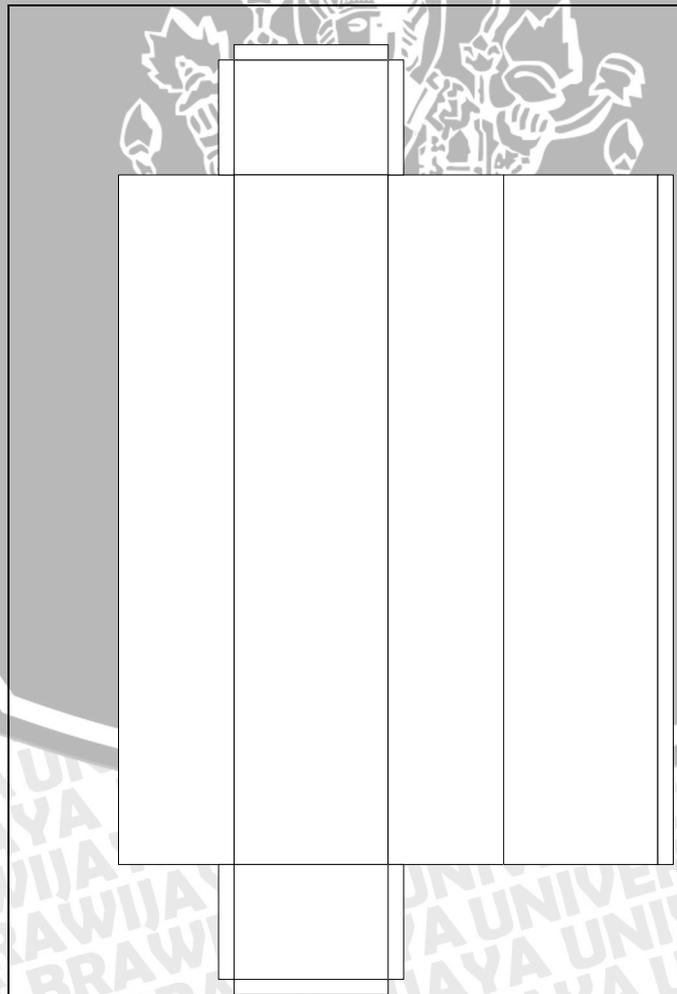
Karena antenna ini memakai *waveguide* sebagai tempat berjalan arus dan *standing wave*, maka yang pertama dibuat adalah membuat *waveguide* dengan dimensi yang telah diketahui, yaitu

$$a=94 \text{ mm}$$

$$b=83.5 \text{ mm}$$

dengan langkah-langkah pembuatan sebagai berikut:

1. Mempersiapkan *plate* alumunium
2. Kita buat garis sesuai dengan gambar desain di bawah.
3. Selanjutnya kita potong bagian luar garis desain *waveguide* menggunakan gunting seng sesuai Gambar 4.23 berikut



Gambar 4.23 Tampilan desain *waveguide*  
Sumber : Desain

1mm

94

Bagian yang dilebihkan pada salah satu tepi untuk menahan bagian sisi *waveguide*

3. Bersihkan semua permukaan alumunium dengan amplas.
4. Bengkok dengan lurus garis pada gambar desain hingga membentuk balok *waveguide*.

#### 4.8 Proses Pembuatan Larik Slot

Setelah selesai membuat *waveguide* tahap selanjutnya adalah membuat larik *slot*, yaitu dengan menggunakan desain bentuk *slot* seperti Gambar 4.8

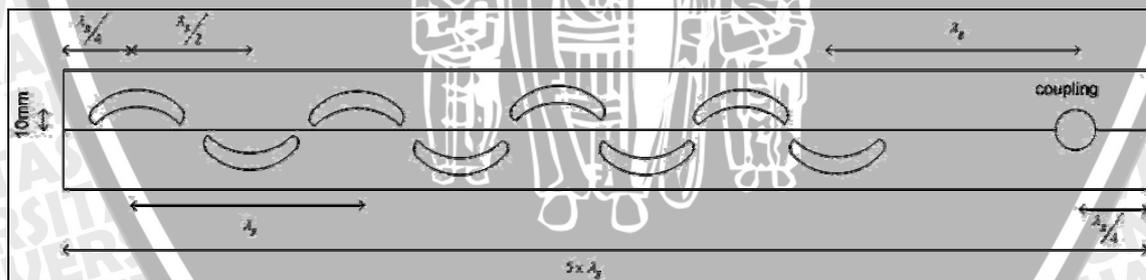
Dengan ketentuan :

Panjang *banana slot* kurang lebih 58 mm

Jarak tepi *slot* bagian luar dari garis tengah *waveguide* dilambangkan  $h$  (mm) = 16 mm

Jarak tepi *slot* bagian dalam dari garis tengah dilambangkan dengan  $d$  (mm) sebesar 10mm

Setelah mengetahui jarak *offset* ( $d$ ) sebesar 10 mm maka mulai membuat gambar *slot* dengan jarak *slot* sebesar  $\lambda g/4$  dari puncak *waveguide* lalu *slot* selanjutnya berjarak  $\lambda g/2$  dari *slot* sebelumnya dengan jarak *offset* yang sama tetapi berlawanan sisi dari garis sumbu pusat pada dinding *waveguide*, sampai membentuk larik *slot* sebanyak delapan buah *slot*, seperti Gambar 4.24 di bawah



Gambar 4.24 Desain larik *banana slot* dan *coupling*.  
Sumber : Desain

Untuk membuat lubang *slot* berbentuk seperti *banana* (pisang) tersebut digunakan bor, kikir bulat dan gergaji besi. Yang pertama dilakukan adalah membuat lubang pada *slot* dengan bor, lalu membentuk bentuk seperti *banana* (pisang) menggunakan gergaji besi dan kikir bulat, untuk menghaluskan permukaan juga diperlukan amplas, untuk menggosok bagian tepi *slot* yang kasar.

#### 4.9 Proses Pembuatan *Coupling*

Pada peralihan dari kabel koaksial menuju *waveguide* digunakan konektor tipe *N Female*. Pada proses *coupling* menggunakan probe kapasitif seperti pada dasar teori pada Bab 2, disini digunakan antenna *horn* berbentuk *cone* sebagai *coupling/feed* pada antenna *waveguide*. yang akan dibuat dengan tahap-tahap sebagai berikut:

Siapkan *plate* tembaga atau kuningan potong dengan ukuran 20mm x 40mm kemudian potong seperti pada Gambar 4.25 di bawah



20mm x 40mm shim

Gambar 4.25 Potongan lempengan kuninga/tembaga.  
Sumber : Marshall

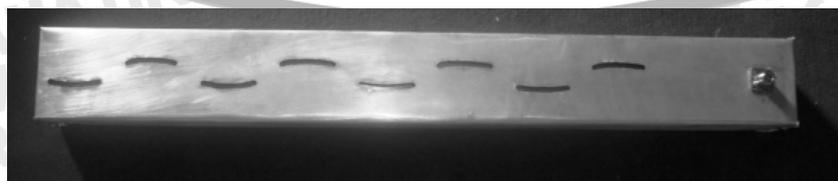
Setelah itu bentuk lempengan tersebut membentuk *cone* (kerucut) dengan tinggi 20mm dan diameter lingkaran puncak sebesar 15mm, seperti Gambar 4.26 di bawah.



Gambar 4.26 *Coupling* pada *waveguide*  
Sumber : Marshal

Pasangkan konektor pada *waveguide* seperti pada Gambar 4.27 pada posisi *coupling* menggunakan baut.

Solder semua bagian yang masih terbuka pada *waveguide* kecuali pada bagian *banana slot*. Setelah membuat bagian-bagian dari antenna *waveguide slot array* tersebut hasil pembuatan yang diperoleh dapat dilihat seperti pada Gambar 4.27 di bawah:



Gambar 4.27 Hasil Pembuatan Antena *Waveguide Slot Array*  
Sumber : Fabrikasi

## BAB V

### PENGUKURAN DAN ANALISIS HASIL PENGUKURAN ANTENA WAVEGUIDE SLOT ARRAY

#### 5.1 Pendahuluan

Untuk mengetahui unjuk kerja dan karakteristik antena *waveguide slot* yang telah dirancang dan dibuat, maka dilakukan pengukuran terhadap parameter-parameter antena tersebut pada frekuensi kerjanya. Selanjutnya, dari pengukuran parameter-parameter antena yang diperoleh akan dilakukan analisis terhadap hasil pengukuran yang diperoleh.

Tujuan dari pengukuran ini adalah untuk mendapatkan data-data karakteristik antena yang telah dibuat. Dalam hal ini pengukuran yang dilakukan meliputi :

- Pengukuran *Return loss*, Koefisien pantul dan perhitungan *VSWR*.
- Pengukuran *gain* antena.
- Pengukuran pola radiasi.
- Pengukuran polarisasi.
- Pengukuran *directivity*.

Pengukuran parameter-parameter tersebut dilakukan di Laboratorium Institut Teknologi Telkom, Bandung.

#### 5.2 Pengukuran *Return loss*, Koefisien Pantul dan Perhitungan *VSWR*

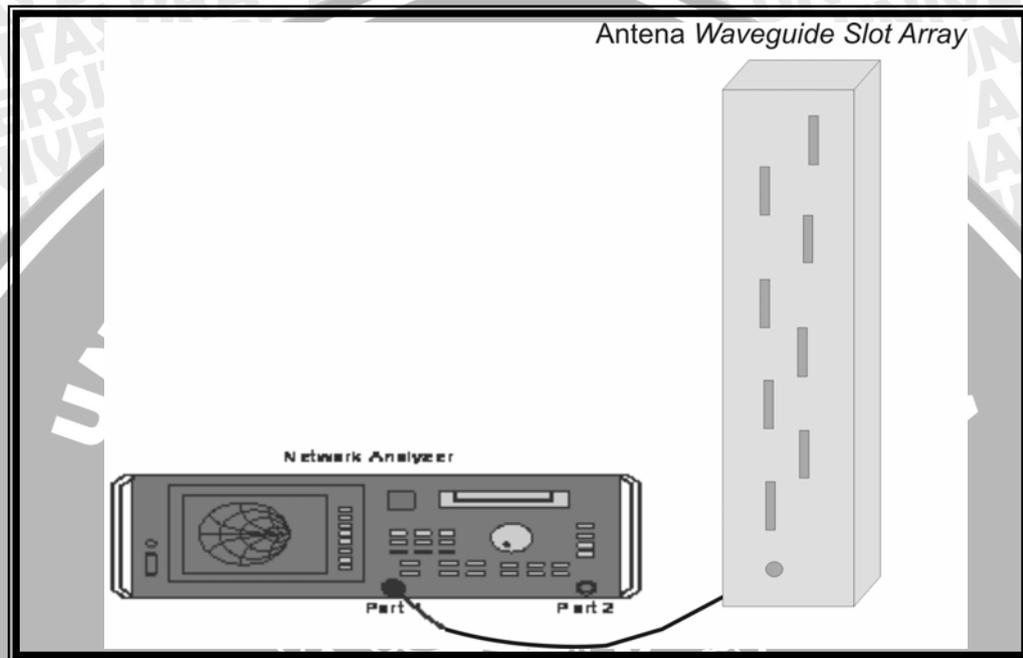
##### 5.2.1 Alat-alat yang digunakan

- Agilent *RF Network Analyzer* 8714ES 300KHz – 3GHz.
- Antena uji (Antena *Waveguide Slot Array*).
- Kabel koaksial RG-58A/U.
- Konektor tipe-N *Female* 2 buah.

##### 5.2.2 Prosedur Pengukuran

1. Menghidupkan alat ukur *RF Network Analyzer* dan tunggu  $\pm 5$  menit untuk persiapan alat ukur.

2. Menghubungkan kabel koaksial RG-58A/U dengan alat ukur *RF Network Analyzer*.
3. Kalibrasi alat ukur *RF Network Analyzer* yang telah dihubungkan kabel koaksial RG-58A/U dengan menggunakan beban *open and short*.
4. Menghubungkan ujung lain kabel koaksial RG-58A/U dengan antenna uji (*Antena Waveguide Slot Array*) sehingga terbentuk rangkaian seperti pada Gambar 5.1



Gambar 5.1 Rangkaian pengukuran *Return loss* dan *VSWR*  
Sumber : Pengujian

5. Mengatur alat ukur *RF Network Analyzer* pada frekuensi 2.35 GHz.
6. Mencatat nilai *Return loss* yang ditunjukkan oleh alat ukur *RF Network Analyzer* untuk setiap kenaikan frekuensi 25 MHz.
7. Dengan persamaan (2-12) dan (2-13) diperoleh besarnya nilai *VSWR* dan koefisien pantul untuk setiap frekuensi yang diukur.

### 5.2.3 Hasil Pengukuran

Dari hasil pengukuran impedansi dan *Return loss* dapat dihitung nilai *VSWR* dan koefisien pantul antenna. Perhitungan nilai *VSWR* dengan persamaan (2-24) dan (2-25) adalah sebagai berikut :

$$f_r = 2437 \text{ MHz}$$

$$RL = -14.61 \text{ dB}$$

$$RL = 20 \log \Gamma \text{ (dB)} \quad ; \Gamma = 0.186$$

$$VSWR = \frac{1+|\Gamma|}{1-|\Gamma|} = \frac{1+0.186}{1-0.186} = 1.457$$

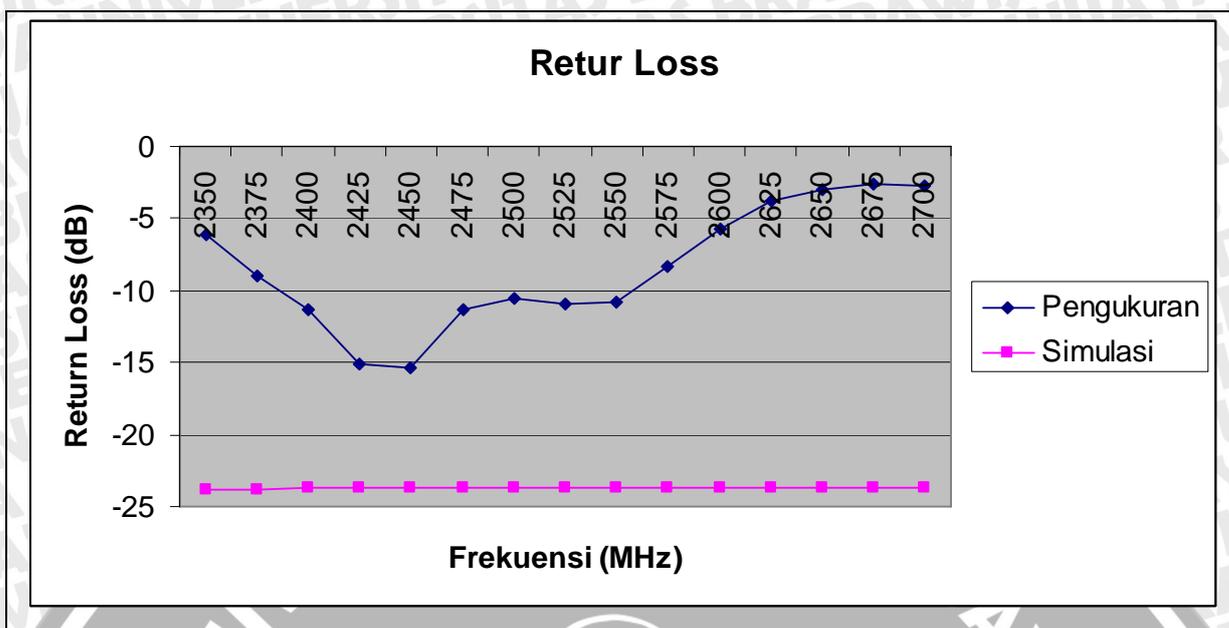
Dengan cara perhitungan yang sama, data hasil pengukuran *Return loss* Koefisien pantul dan *VSWR* pada Antena *Waveguide Slot* dapat dilihat pada Tabel 5.1.

Tabel 5.1 Hasil pengukuran *Return loss*, Koefisien pantul dan perhitungan *VSWR* Antena *Waveguide Slot Array*.

No.	Frekuensi (MHz)	<i>Return loss</i> (RL)	Koefisien Pantul	<i>VSWR</i>
1	2350	-6.174	0,4912471	2,931182
2	2375	-9.034	0,353427224	2,093233
3	2400	-11.375	0,269929282	1,739461
4	2425	-15.114	0,175509246	1,42574
5	2450	-15.365	0,170510057	1,41112
6	2475	-11.277	0,27299205	1,751002
7	2500	-10.507	0,298435168	1,85077
8	2525	-10.932	0,284053405	1,793504
9	2550	-10.775	0,289234437	1,813867
10	2575	-8.286	0,385212171	2,253155
11	2600	-5.689	0,519457475	3,161963
12	2625	-3.821	0,644095107	4,619479
13	2650	-2.934	0,713345622	5,977043
14	2675	-2.643	0,737649411	6,623387
15	2700	-2.770	0,726942399	6,324462

Sumber : Hasil Pengujian, 2009

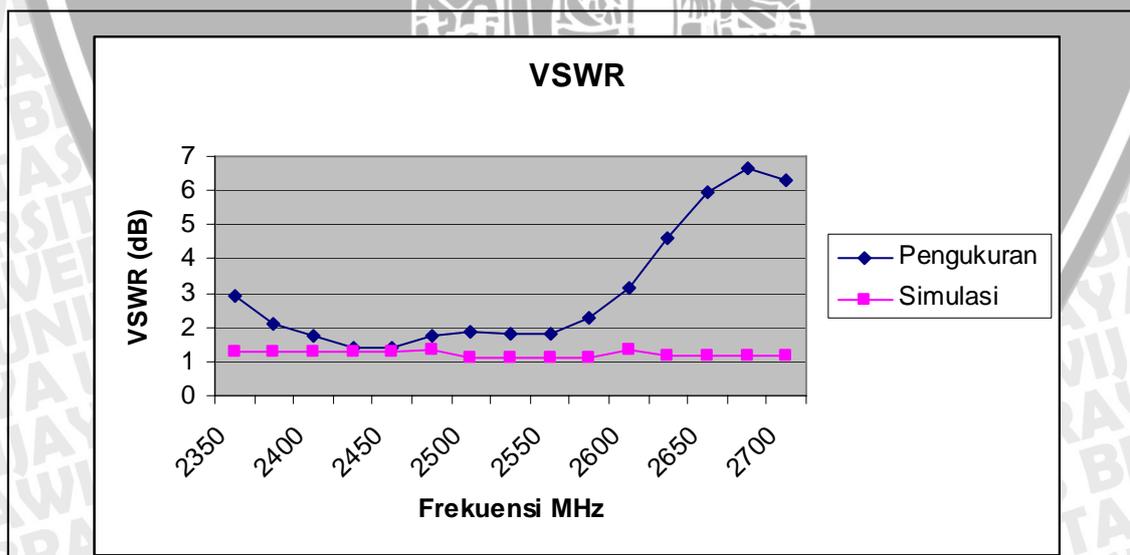
Selanjutnya dari data hasil pengukuran Impedansi antena *Waveguide Slot Array* dapat dibuat grafik fungsi *Return loss* terhadap frekuensi, seperti ditunjukkan pada Grafik 5.1.



Grafik 5.1 Nilai *Return loss* terhadap frekuensi perbandingan hasil pengukuran dan simulasi

Sumber : Hasil Pengujian

Berdasarkan data hasil perhitungan nilai *VSWR* antenna *Waveguide Slot Array* dapat dibuat grafik fungsi nilai *VSWR* terhadap frekuensi, yang ditunjukkan pada Grafik 5.2.



Grafik 5.2 Nilai *VSWR* terhadap frekuensi perbandingan hasil pengukuran dan simulasi

Sumber : Hasil Pengujian

### 5.2.4 Analisis Hasil Pengukuran

Setelah melihat hasil pengukuran yang ditunjukkan Tabel 5.1 serta Grafik 5.1 dan 5.2, pada Antena *Waveguide Slot Array* ini memiliki nilai *Return loss* dan *VSWR* yang berbeda-beda. Pada rentang frekuensi 2385 – 2565 MHz antena memiliki nilai *Return loss*  $\leq -10$  dB dan *VSWR*  $\leq 2$ . Hal ini menunjukkan bahwa antena dapat bekerja pada rentang frekuensi yang direncanakan dan telah memenuhi syarat perancangan yang telah ditetapkan sebelumnya.

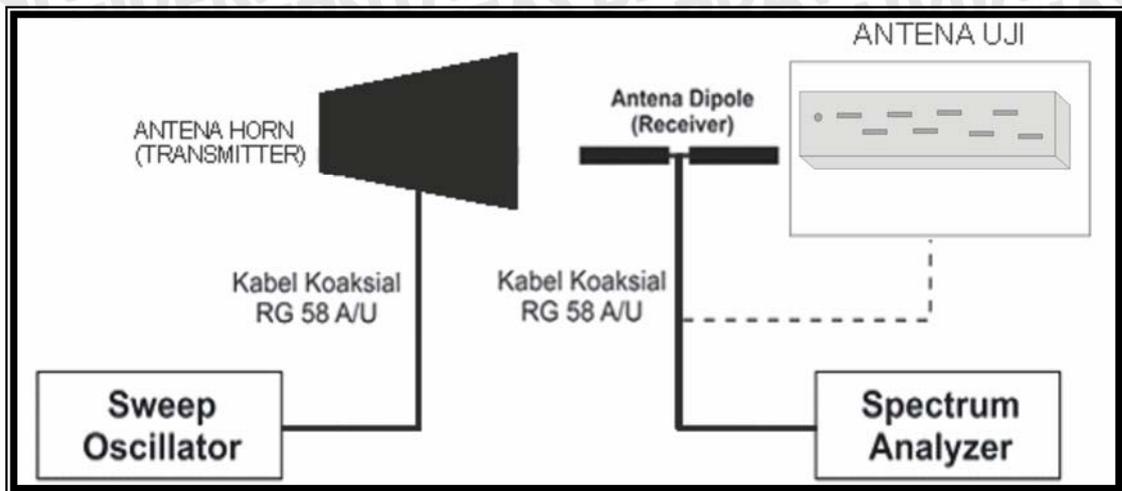
Hasil pengukuran dapat dibandingkan dengan hasil simulasi dan memperlihatkan terjadinya perbedaan nilai *Return loss* dan *VSWR* terukur dari antena. Pada simulasi, antena mampu bekerja pada rentang frekuensi 1000 MHz sampai 15000 MHz sedangkan pada hasil pengukuran ternyata antena dapat bekerja dalam rentang 2385 MHz – 2565 MHz. Selain itu hasil simulasi antena juga menunjukkan respon *Return loss* yang lebih baik jika dibandingkan dengan hasil pengukuran. Hal ini mungkin terjadi karena adanya ketidaksempurnaan dalam penyoderan dan pemasangan *port* sehingga mempengaruhi gelombang berdiri dalam *waveguide* serta pada terminal input antena.

## 5.3 Pengukuran Gain Antena

### 5.3.1 Alat-alat yang digunakan

- Hewlett Packard *RF Sweep Oscillator* 8350B 0.01KHz– 26.5GHz.
- Hewlett Packard *Spectrum Analyzer* 8563E 30Hz – 26.5GHz.
- Satu buah antena standar *dipole sleeve*  $\lambda/2$
- Satu buah Antena *horn* sebagai *transmitter*
- Antena uji (Antena *Waveguide Slot Array*)
- Kabel koaksial RG-58A/U
- Konektor tipe *N-Female*
- Dua buah tiang penyangga

### 5.3.2 Prosedur Pengukuran



Gambar 5.2 Rangkaian Pengukuran *Gain* Antena

Sumber : Pengujian

1. Merangkai peralatan seperti dalam Gambar 5.3
2. Antena standar *horn* dipasang sebagai antena pemancar dan yang kedua dipasang sebagai antena referensi pada penerima dengan jarak  $r \geq 2D^2/\lambda$  sesuai persamaan.
3. Mengatur *Sweep Oscillator* pada frekuensi 2.4 GHz dan tentukan daya keluarannya.
4. Menentukan level daya referensi dan mencatat daya terima antena *dipole*  $\lambda/2$  yang terukur pada *Spectrum Analyzer*.
5. Mengganti antena referensi *dipole sleeve*  $\lambda/2$  dengan Antena uji (Antena *Waveguide Slot Array*) hasil perancangan.
6. Mengulangi langkah 3 dan 4 untuk pengambilan data sebanyak 10x.

### 5.3.3 Hasil Pengukuran

Pada pengukuran *Gain* antena ini, akan diperoleh parameter-parameter yaitu daya antena referensi ( $P_{ref}$ ), daya antena yang diuji ( $P_{RX}$ ), dan *Gain* antena yang diuji ( $G$ ). Untuk hasil pengukuran dapat dilihat pada Tabel 5.2

Tabel 5.2 Hasil pengukuran *Gain*

No. Pengukuran	Antena	
	Antena Under Test (dBm)	Antena Referensi (dBm)
1	-43,33	-46,17
2	-43,5	-45,17
3	-43,9	-47,33
4	-43,87	-47,17
5	-43,5	-47,83
6	-43,17	-45,67
7	-43,37	-45,33
8	-43,67	-48
9	-43,97	-45,33
10	-43,13	-47,17
Rata-rata	-43,541	-46,517
<i>Gain</i>	5,126	2,15

Sumber : Hasil Pengujian, 2009

Nilai *Gain* (*G*) antena yang diuji diperoleh dari perhitungan data hasil pengukuran dengan menggunakan persamaan (2-20) di bawah ini :

$$f_r = 2400 \text{ MHz}$$

$$P_{ref} = -46.517 \text{ dBm}$$

$$P_{RX} = -43.541 \text{ dBm}$$

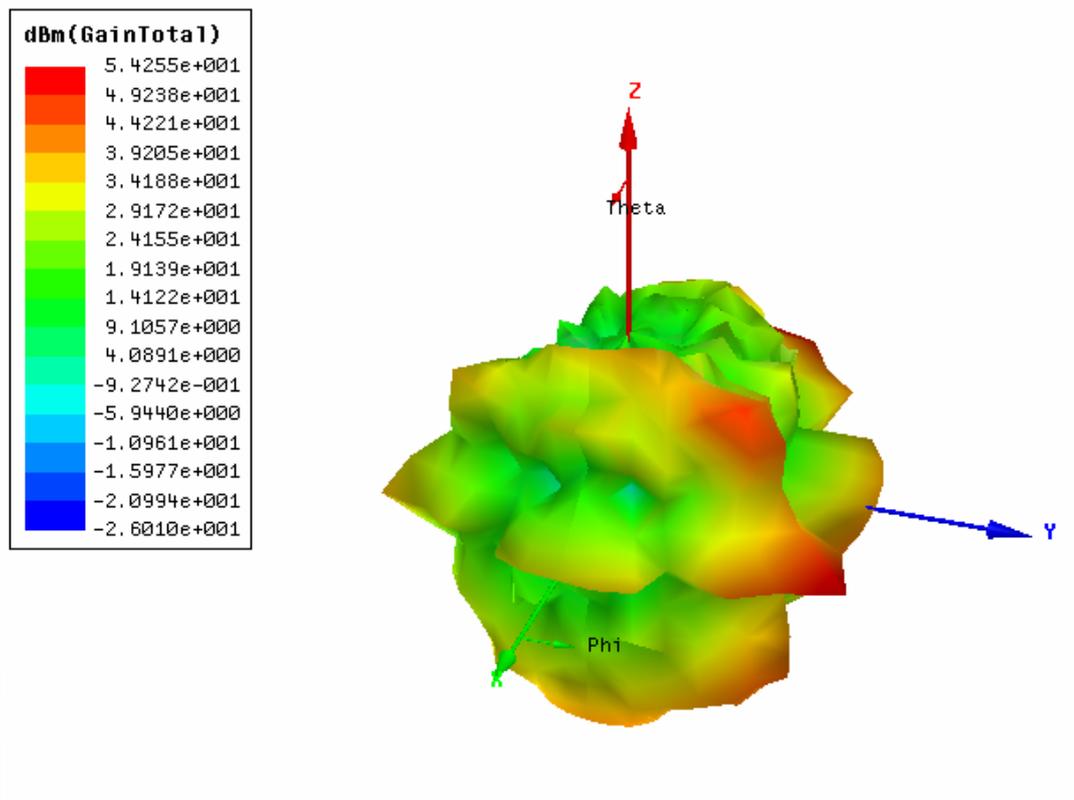
$$G_{ref} = 2.15 \text{ dBi}$$

$$G_{AUT} (dBi) = G_{ref} (dBi) + 10 \log \left( \frac{W_{RX}}{W_{ref}} \right)$$

$$G_{AUT} (dBi) = G_{ref} (dBi) + P_{RX} (dBm) - P_{ref} (dBm)$$

$$G_{AUT} (dBi) = 2.15 (dBi) - 43.541 (dBm) - (-46.517) (dBm) = 5.126 dBi$$

Sedangkan bila dibandingkan *gain* total pada hasil simulasi dalam dBm seperti dalam gambar di bawah



Gambar 5.3 Gain pada Antena *waveguide banana slot* 3D polar plot dalam dBm  
Sumber : Simulasi

#### 5.3.4 Analisis Hasil Pengukuran

Gain antenna diperoleh dengan menggunakan *Gain transfer method*, yaitu dengan menggunakan dua buah antenna penerima. Antena penerima yang digunakan berupa antenna referensi yang sudah diketahui nilai *gain*nya dan antenna uji (antenna *waveguide slot array*) yang akan dicari nilai *gain*nya. Pada pengukuran ini antenna referensi yang digunakan adalah antenna *dipole* dengan nilai *gain* standar 2.15 dBi. Berdasarkan Tabel 5.2 dapat diketahui bahwa nilai *gain* antenna *Waveguide Slot Array* pada frekuensi 2400 MHz adalah sebesar 5.384 dBi, dimana pada antenna *access point* hasil buatan pabrik biasanya mempunyai *gain* sebesar 5 dBi, tetapi mempunyai penurunan cukup jauh dari hasil simulasi yang mempunyai hasil *gain* total sebesar 54,255 dBm.

### 5.4 Pengujian Pola radiasi

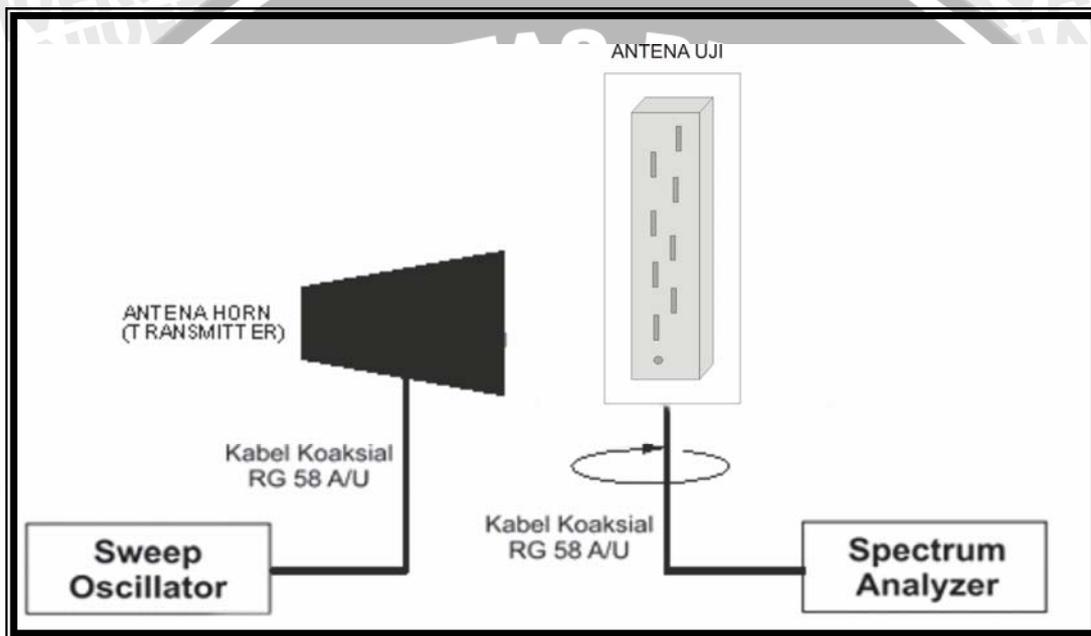
#### 5.4.1 Alat-alat yang digunakan

- Hewlett Packard *RF Sweep Oscillator* 8350B 0.01KHz – 26.5GHz.
- Hewlett Packard *Spectrum Analyzer* 8563E 30KHz – 26.5GHz.
- Antena standar *Antena horn* sebagai antenna pemancar.

- Antena uji (Antena *Waveguide Slot Array*)
- Kabel Koaksial RG-58A/U 50  $\Omega$ .
- Konektor tipe *N-Female*
- Dua buah tiang penyangga antena dengan skala sudut putar.

#### 5.4.2 Prosedur Pengukuran

1. Memasang antena *horn* sebagai antena pemancar dengan menghubungkannya ke *RF Sweep Oscillator* menggunakan kabel koaksial RG-58A/U, seperti ditunjukkan dalam Gambar 5.4



Gambar 5.4 Rangkaian Pengukuran Pola radiasi Antena  
Sumber : Pengujian

2. Memasang antena uji (Antena *Waveguide Slot Array*) sebagai antena penerima dengan menghubungkannya ke *Spectrum Analyzer* menggunakan kabel koaksial RG-58A/U, seperti ditunjukkan dalam Gambar 5.4
3. Mengatur *RF Sweep Oscillator* pada frekuensi 2400 MHz.
4. Memutar antena uji (Antena *Waveguide Slot Array*) secara horizontal, dari  $0^\circ$  sampai  $360^\circ$  dengan interval  $10^\circ$ , dan mencatat nilai daya yang ditunjukkan oleh *Spectrum Analyzer* pada tiap-tiap interval pemutaran.
5. Menghitung harga normalisasi untuk tiap sudut putarnya.
6. Memutar antena pemancar dan antena uji (Antena *Waveguide Slot Array*) pada sumbunya sejauh  $90^\circ$ , untuk mendapatkan nilai Pola radiasi Vertikal.
7. Mengulangi langkah 4 dan 5.

### 5.4.3 Hasil dan Analisis Pengukuran

Berdasarkan hasil pengukuran pola radiasi yang dilakukan, maka diperoleh nilai daya yang diradiasikan oleh antena uji (Antena *Waveguide Slot Array*). Pola radiasi yang diperoleh yaitu Pola radiasi Horizontal dan Pola radiasi Vertikal.

#### 5.4.3.1 Hasil Dan Analisis Pengukuran Pola Radiasi Horizontal (*Azimuth*) Pada Frekuensi 2400 MHz

Data hasil pengukuran Pola radiasi Horizontal pada frekuensi 2400 MHz terlihat dalam Tabel 5.3.

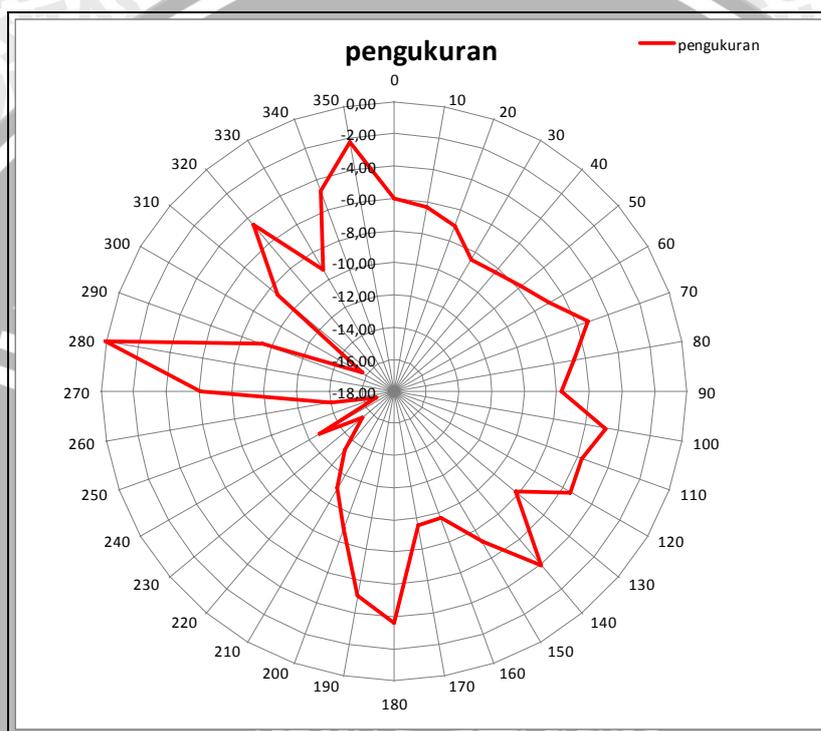
Tabel 5.3 Hasil pengukuran Pola Radiasi Horizontal (*Azimuth*) pada frekuensi 2400 MHz

Sudut	Level terima (-dBm)	Level terima (-dBm)	Level terima (dBm)	Level terima (dBm)	Rata-Rata	Normalisasi
0	47,00	49,73	-47,00	-49,73	-48,15	-6,07
10	48,33	48,67	-48,33	-48,67	-48,50	-6,41
20	49,00	49,33	-49,00	-49,33	-49,16	-7,08
30	51,17	50,30	-51,17	-50,30	-50,71	-8,63
40	50,83	50,17	-50,83	-50,17	-50,49	-8,40
50	49,83	50,17	-49,83	-50,17	-50,00	-7,91
60	49,13	49,17	-49,13	-49,17	-49,15	-7,07
70	47,33	47,50	-47,33	-47,50	-47,41	-5,33
80	48,87	49,00	-48,87	-49,00	-48,93	-6,85
90	49,53	50,17	-49,53	-50,17	-49,84	-7,75
100	46,57	47,17	-46,57	-47,17	-46,86	-4,78
110	48,17	47,63	-48,17	-47,63	-47,89	-5,81
120	48,17	47,15	-48,17	-47,15	-47,63	-5,55
130	50,00	50,83	-50,00	-50,83	-50,40	-8,31
140	46,33	45,83	-46,33	-45,83	-46,07	-3,99
150	49,50	49,17	-49,50	-49,17	-49,33	-7,25
160	51,50	52,00	-51,50	-52,00	-51,74	-9,66
170	51,33	52,00	-51,33	-52,00	-51,65	-9,57
180	45,17	46,33	-45,17	-46,33	-45,71	-3,63
190	46,67	47,83	-46,67	-47,83	-47,21	-5,13
200	51,68	50,50	-51,68	-50,50	-51,05	-8,97
210	52,80	53,67	-52,80	-53,67	-53,21	-11,13
220	55,32	55,43	-55,32	-55,43	-55,37	-13,29
230	57,00	58,17	-57,00	-58,17	-57,55	-15,46
240	54,67	55,00	-54,67	-55,00	-54,83	-12,75
250	58,67	59,17	-58,67	-59,17	-58,91	-16,83
260	55,83	56,50	-55,83	-56,50	-56,15	-14,07
270	50,00	47,00	-50,00	-47,00	-48,25	-6,16
280	42,00	42,17	-42,00	-42,17	-42,08	0,00
290	51,50	51,51	-51,50	-51,51	-51,50	-9,42
300	57,63	58,13	-57,63	-58,13	-57,87	-15,79
310	51,00	50,51	-51,00	-50,51	-50,75	-8,66

Sudut	Level terima (-dBm)	Level terima (-dBm)	Level terima (dBm)	Level terima (dBm)	Rata-Rata	Normalisasi
320	46,33	47,00	-46,33	-47,00	-46,65	-4,57
330	51,50	51,33	-51,50	-51,33	-51,41	-9,33
340	46,47	47,33	-46,47	-47,33	-46,88	-4,79
350	44,00	44,83	-44,00	-44,83	-44,40	-2,31

Sumber : Hasil Pengujian, 2009

Dengan berdasarkan Tabel 5.3 dapat digambarkan bentuk pola radiasi horisontal antenna hasil perancangan pada diagram polar, sebagaimana tampak dalam Gambar 5.4.



Gambar 5.5 Pola radiasi Horizontal Antena *Waveguide Slot Array*

Sumber : Hasil Pengujian

Dari hasil pengukuran pola radiasi horisontal antenna *waveguide slot array* dapat diketahui bahwa antenna tersebut mempunyai radiasi yang dominan sebesar  $180^\circ$  yang berarti termasuk antenna *directional*.

#### 5.4.3.2 Hasil dan Analisis Pengukuran Pola radiasi Vertikal (Elevasi) Pada Frekuensi 2400 MHz

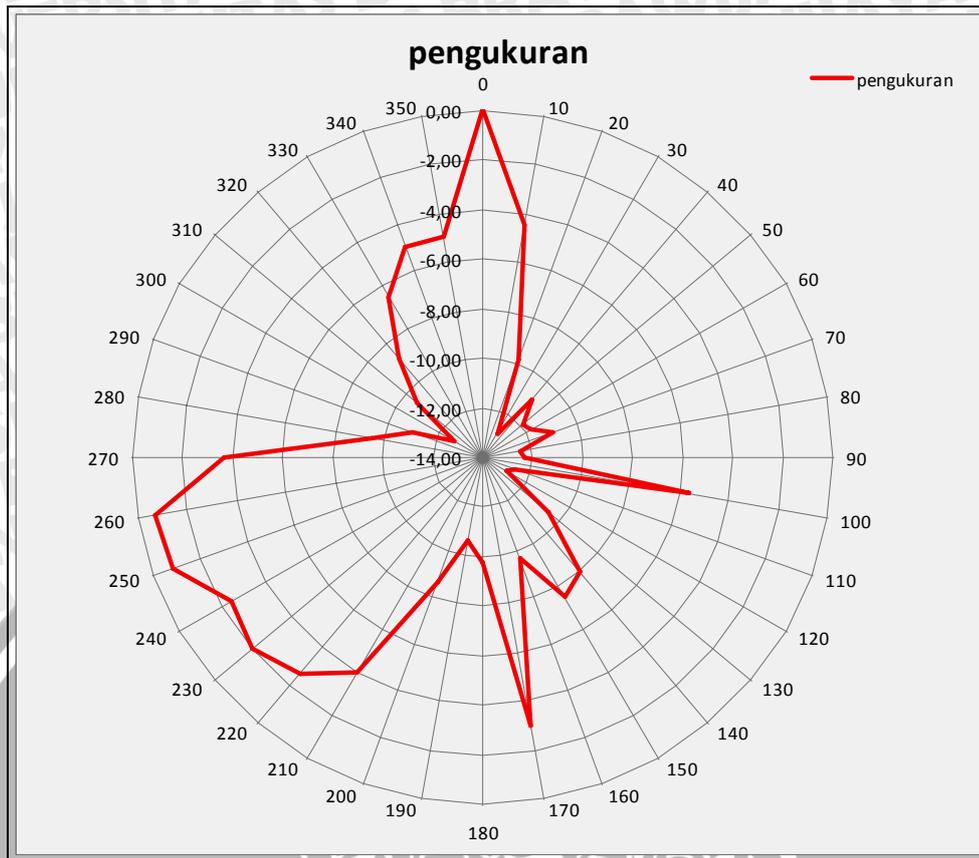
Selanjutnya untuk mengetahui data hasil pengukuran Pola radiasi Vertikal pada frekuensi 2400 MHz terlihat dalam Tabel 5.4.

Tabel 5.4 Hasil pengukuran Pola radiasi Vertikal (*Elevation*) pada frekuensi 2400 MHz.

Sudut	Level terima (-dBm)	Level terima (-dBm)	Level terima (dBm)	Level terima (dBm)	Rata-Rata	Normalisasi
0	48,67	48,85	-48,67	-48,85	-48,76	0,00
10	53,10	53,47	-53,10	-53,47	-53,28	-4,52
20	58,33	58,87	-58,33	-58,87	-58,59	-9,83
30	61,30	61,92	-61,30	-61,92	-61,60	-12,84
40	59,67	59,75	-59,67	-59,75	-59,71	-10,95
50	60,57	60,84	-60,57	-60,84	-60,70	-11,94
60	60,33	60,75	-60,33	-60,75	-60,53	-11,78
70	59,67	59,85	-59,67	-59,85	-59,76	-11,00
80	61,17	61,35	-61,17	-61,35	-61,26	-12,50
90	61,00	61,23	-61,00	-61,23	-61,11	-12,35
100	61,57	51,86	-61,57	-51,86	-54,43	-5,67
110	61,33	61,52	-61,33	-61,52	-61,42	-12,66
120	61,57	61,75	-61,57	-61,75	-61,66	-12,90
130	59,17	59,42	-59,17	-59,42	-59,29	-10,53
140	56,67	56,85	-56,67	-56,85	-56,76	-8,00
150	56,17	56,32	-56,17	-56,32	-56,24	-7,49
160	58,33	58,65	-58,33	-58,65	-58,49	-9,73
170	51,67	51,87	-51,67	-51,87	-51,77	-3,01
180	58,33	58,75	-58,33	-58,75	-58,53	-9,78
190	59,17	59,54	-59,17	-59,54	-59,35	-10,59
200	57,33	57,57	-57,33	-57,57	-57,45	-8,69
210	52,67	52,85	-52,67	-52,85	-52,76	-4,00
220	51,33	51,53	-51,33	-51,53	-51,43	-2,67
230	50,67	50,87	-50,67	-50,87	-50,77	-2,01
240	51,03	51,43	-51,03	-51,43	-51,23	-2,47
250	49,50	49,78	-49,50	-49,78	-49,64	-0,88
260	49,33	49,75	-49,33	-49,75	-49,53	-0,78
270	52,37	52,55	-52,37	-52,55	-52,46	-3,70
280	58,17	58,43	-58,17	-58,43	-58,30	-9,54
290	59,67	59,87	-59,67	-59,87	-59,77	-11,01
300	61,33	61,54	-61,33	-61,54	-61,43	-12,67
310	59,17	59,43	-59,17	-59,43	-59,30	-10,54
320	57,50	57,65	-57,50	-57,65	-57,57	-8,82
330	55,17	55,45	-55,17	-55,45	-55,31	-6,55
340	53,67	53,87	-53,67	-53,87	-53,77	-5,01
350	53,67	53,89	-53,67	-53,89	-53,78	-5,02

Sumber : Hasil Pengujian, 2009

Berdasarkan Tabel 5.4 dapat digambarkan bentuk pola radiasi antenna hasil perancangan pada diagram polar, sebagaimana tampak dalam Gambar 5.5.



Gambar 5.6 Pola radiasi Vertikal Antena *Waveguide Slot Array*  
Sumber : Hasil Pengujian

Dari *plot* pola radiasi pada Gambar 5.4 dan Gambar 5.5 dapat diketahui bahwa bentuk pola radiasi antenna hasil perancangan (Antena *Waveguide Slot Array*) adalah *unidirectional*, yaitu memiliki intensitas radiasi maksimum hanya pada satu arah tertentu saja.

Berdasarkan Gambar 5.5 diketahui bahwa untuk pola radiasi horizontal pada frekuensi 2400 MHz, antenna ini memiliki nilai  $-3\text{dB}$  *beamwidth* sebesar  $15^\circ$ . Berdasarkan Gambar 5.6 diketahui bahwa untuk pola radiasi vertikal pada frekuensi 2400 MHz, antenna ini memiliki nilai  $-3\text{dB}$  *beamwidth* sebesar  $59^\circ$ .

## 5.5 Pengukuran Polarisasi

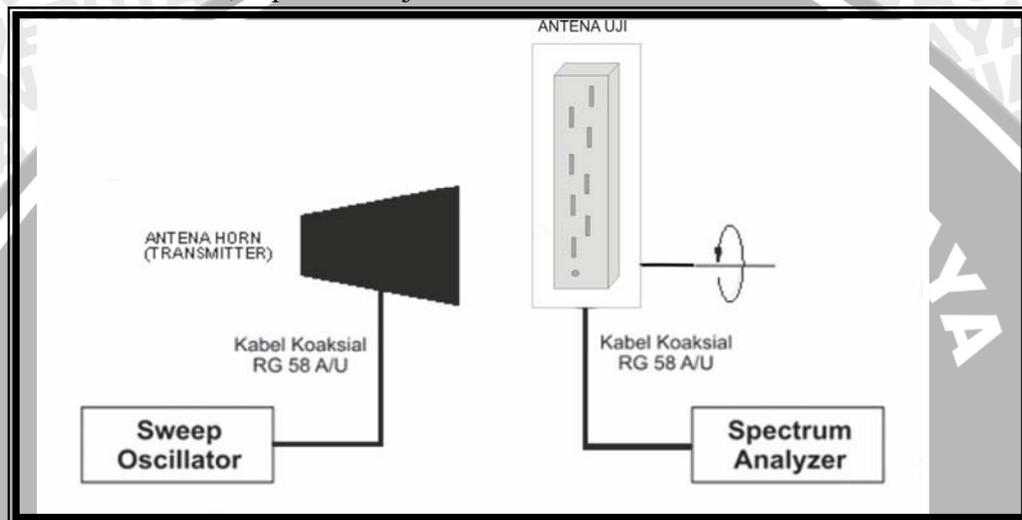
### 5.5.1 Alat-Alat Yang Digunakan

- Hewlett Packard *RF Sweep Oscillator* 8350B 0.01KHz – 26.5GHz.
- Hewlett Packard *Spectrum Analyzer* 8563E 30KHz – 26.5GHz.
- Antena *horn* sebagai antenna pemancar.
- Antena Uji (Antena *Waveguide Slot Array*).

- Kabel Koaksial RG-58A/U 50  $\Omega$ .
- Konektor tipe *N-Female*
- Dua buah tiang penyangga antenna dengan skala sudut putar.

### 5.5.2 Prosedur Pengukuran

1. Memasang antenna *horn* sebagai antenna pemancar dengan menghubungkannya ke *RF Signal Generator* menggunakan kabel koaksial RG-58A/U, seperti ditunjukkan dalam Gambar 5.7



Gambar 5.7 Rangkaian Pengukuran Polarisasi Antena  
Sumber : Pengujian

2. Memasang antenna uji (Antena *Waveguide Slot Array*) sebagai antenna penerima dengan menghubungkannya ke *Spectrum Analyzer* menggunakan kabel koaksial RG-58A/U, seperti ditunjukkan dalam Gambar 5.7
3. Memosisikan antenna pemancar sejajar dengan antenna uji, kemudian atur *RF Signal Generator* pada frekuensi 2400 MHz.
4. Memutar antenna pemancar (antenna *dipole  $\lambda/2$* ) pada sumbu horizontal antenna, dari  $0^\circ$  sampai  $360^\circ$  dengan interval  $15^\circ$ , dan catat nilai daya yang ditunjukkan oleh *Spectrum Analyzer* pada tiap-tiap interval pemutaran.
5. Menghitung harga normalisasi untuk tiap sudut putarnya.

### 5.5.3 Hasil Pengukuran

Berdasarkan hasil pengukuran polarisasi yang dilakukan, maka diperoleh nilai daya yang diterima oleh antenna uji (Antena *Waveguide Slot Array*). Antena pemancar

diputar  $15^\circ$  pada sumbu horizontal. Nilai daya yang diterima kemudian dinormalisasi, sehingga data hasil pengukuran dapat diubah ke dalam bentuk diagram polar. Data hasil pengukuran polarisasi pada frekuensi 2400 MHz terlihat dalam Tabel 5.4

Tabel 5.5. Hasil Pengukuran Polarisasi pada Frekuensi 2400 MHz

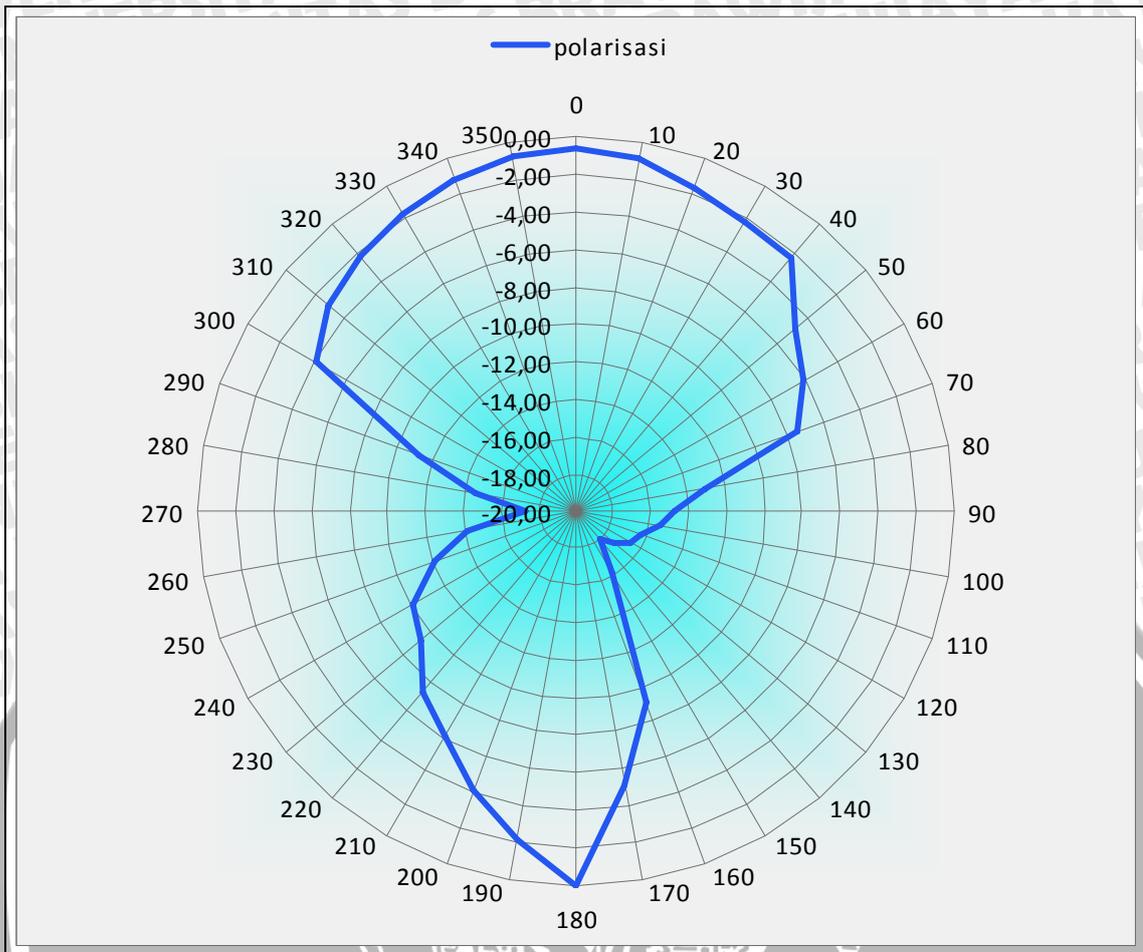
No.	Sudut ( $^\circ$ )	Daya pada <i>Spectrum Analyzer</i> (dBm)	Normalisasi (dB)
1	0	-46.17	-1.16
2	15	-45.01	0.00
3	30	-46.38	-1.37
4	45	-48.27	-3.26
5	60	-50.19	-5.18
6	75	-54.17	-9.16
7	90	-58.19	-13.18
8	105	-60.50	-15.49
9	120	-57.17	-12.16
10	135	-55.37	-10.36
11	150	-51.17	-6.16
12	165	-48.57	-3.56
13	180	-47.00	-1.99
14	195	-45.50	-0.49
15	210	-46.37	-1.36
16	225	-48.53	-3.52
17	240	-51.30	-6.29
18	255	-56.93	-11.92
19	270	-54.60	-9.59
20	285	-58.30	-13.29
21	300	-56.51	-11.50
22	315	-53.97	-8.96
23	330	-50.38	-5.37
24	345	-47.17	-2.16

Sumber : Hasil Pengujian, 2009

#### 5.5.4 Analisis Hasil Pengukuran

Berdasarkan data hasil pengukuran polarisasi dalam Tabel 5.5 dengan mengubah data nilai daya yang telah dinormalisasi ke dalam bentuk diagram polar, maka dapat diketahui bentuk polarisasi antena yang diuji (*Antena Waveguide Slot Array*) tersebut. Bentuk polarisasi antena pada frekuensi 2400 MHz dapat dilihat pada Gambar 5.8

Berdasarkan Gambar 5.8 tampak bahwa bentuk polarisasi Antena *Waveguide Slot Array* hasil pembuatan adalah mendekati linier. Oleh sebab itu, maka antena ini dapat digolongkan sebagai antena yang berpolarisasi linier.



Gambar 5.8 Bentuk Polarisasi Antena *Waveguide Slot*  
 Sumber : Hasil Pengujian

### 5.6 Perhitungan *Directivity*

Untuk mengetahui nilai *directivity* antena yang diuji, dapat digunakan data hasil pengukuran pola radiasi.

#### 5.6.1 Cara Perhitungan

*Directivity* dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (2-15) :

$$D = \frac{4\pi(\text{steradian})}{\theta_{HP} \phi_{HP}(\text{radian}^2)} \quad ; \quad 1 \text{ steradian} = 1 \text{ radian}^2 = \left(\frac{180}{\pi}\right)^2 (\text{derajat}^2)$$

sehingga,

$$D \approx \frac{4\pi \left(\frac{180}{\pi}\right)^2 (\text{derajat}^2)}{\theta_{HP}^{\circ} \phi_{HP}^{\circ} (\text{derajat}^2)} \approx \frac{41000}{\theta_{HP}^{\circ} \phi_{HP}^{\circ}}$$

dengan :

$D$  = directivity

$\theta$  = *beamwidth* pola radiasi vertikal (rad)

$\Phi$  = *beamwidth* pola radiasi horisontal (rad)

$\theta_{HP}$  = *beamwidth* pola radiasi vertikal (derajat)

$\phi_{HP}$  = *beamwidth* pola radiasi horisontal (derajat)

### 5.6.2 Hasil Perhitungan

Berdasarkan data hasil pengukuran pola radiasi, diperoleh nilai  $-3dB$  *beamwidth* pola radiasi horisontal adalah  $15^\circ$  ( $\phi_{HP} = 15^\circ$ ), dan nilai  $-3dB$  *beamwidth* pola radiasi vertikal adalah  $59^\circ$  ( $\theta_{HP} = 59^\circ$ ). Maka nilai *directivity* antenna hasil perencanaan adalah :

$$D = \frac{41000}{59^\circ \times 15^\circ}$$

$$= 46.327$$

$$D_{(dB)} = 10 \log 46.327$$

$$= 16.658 \text{ dB}$$

### 5.7 Perhitungan Bandwidth

Perhitungan *bandwidth* antenna yang diuji dilakukan dengan cara menghitung selisih antara frekuensi atas dengan frekuensi bawah antenna uji. Penentuan frekuensi atas dan frekuensi bawah antenna dilakukan dengan cara mengambil frekuensi tertinggi dan terendah antenna yang memiliki nilai  $VSWR < 2$ .

Berdasarkan data hasil perhitungan  $VSWR$ , antenna ini memiliki frekuensi terendah pada frekuensi 2378 MHz, dan frekuensi tertinggi pada frekuensi 2562 MHz.

Sehingga *bandwidth* antenna ini adalah :

$$B = f_u - f_l$$

$$B = (2562 - 2378) \text{ MHz} = 184 \text{ MHz}$$

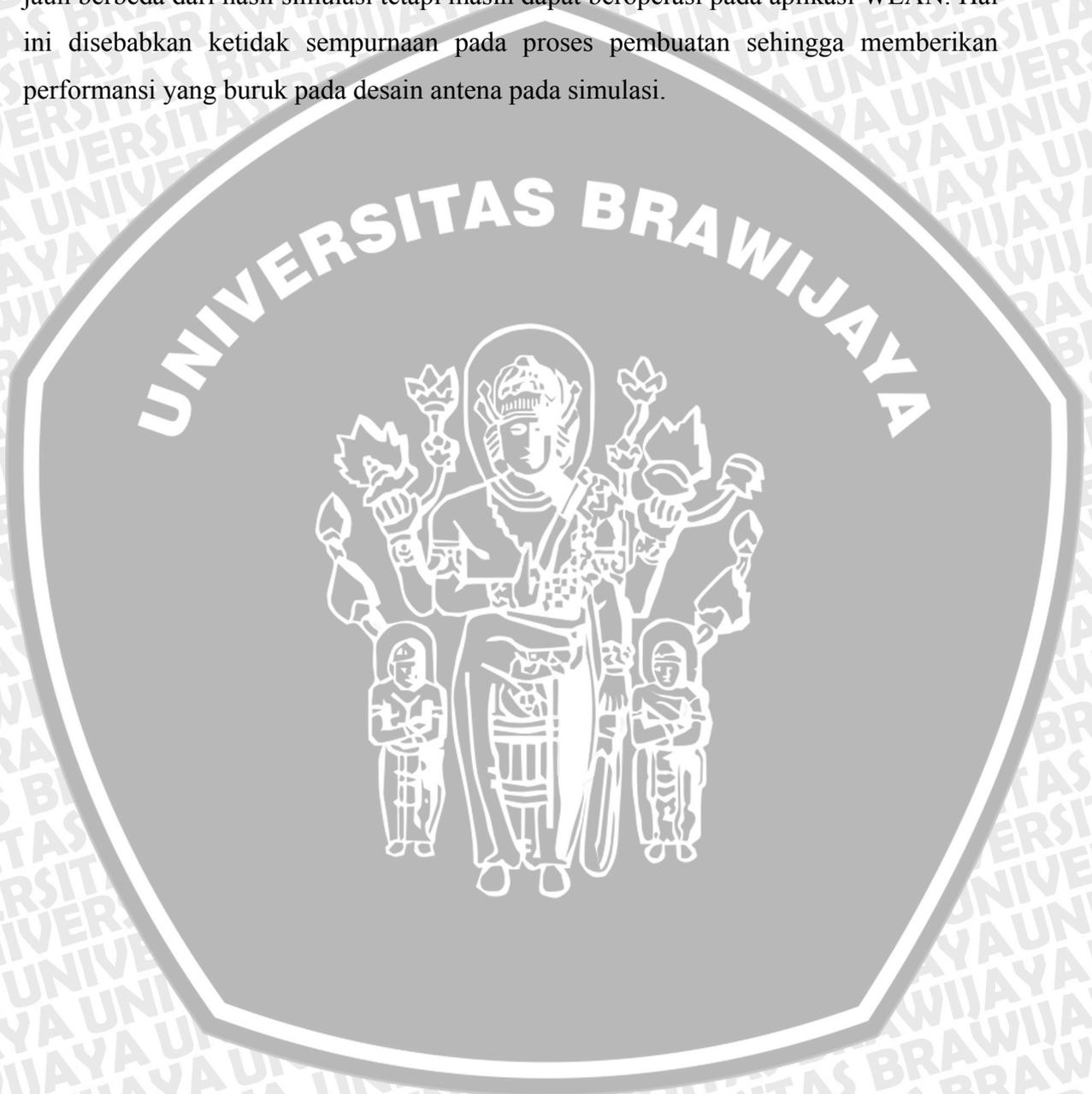
*Bandwidth* dalam persen (persamaan 2-19):

$$B_p = \frac{f_u - f_l}{f_c} \times 100\% = \frac{2562 - 2378}{2470} \times 100\% \approx 7.449\%$$

*Bandwidth* antenna hasil pengukuran ternyata jauh lebih kecil dari *bandwidth* hasil perancangan yang sebesar 15 GHz.

### 5.8 Kesimpulan Spesifikasi Antena Hasil Pengukuran

Dari hasil pengukuran tersebut maka hasil desain antena simulasi maupun pengukuran hasil fabrikasi dapat beroperasi pada aplikasi WLAN dengan spesifikasi yang jauh lebih baik pada hasil simulasi yang mempunyai keunggulan pada besarnya *gain* antena yang mempunyai *gain* sebesar 54.255 dBm tetapi dengan hasil pengukuran yang jauh berbeda dari hasil simulasi tetapi masih dapat beroperasi pada aplikasi WLAN. Hal ini disebabkan ketidak sempurnaan pada proses pembuatan sehingga memberikan performansi yang buruk pada desain antena pada simulasi.



## BAB VI PENUTUP

### 6.1 Kesimpulan

Dari hasil pengujian dan analisa yang dilakukan, diperoleh kesimpulan tentang karakteristik antenna *waveguide slot array* yang diperoleh.

Adapun karakteristik antena yang dihasilkan oleh antena *Waveguide Slot Array* hasil pembuatan adalah :

1. Pada frekuensi kerja 2,4 GHz, antena memiliki nilai *return loss* sebesar -11,375 dB. Hal ini berarti antena dapat bekerja dengan frekuensi kerja yang direncanakan sesuai dengan batas yang diizinkan yakni  $< -10\text{dB}$ , sehingga masih memenuhi standar yang ada.
2. Pada frekuensi kerja 2,4 GHz antena memiliki nilai VSWR sebesar 1,739. Hal ini berarti antena ini dapat bekerja dengan frekuensi kerja yang direncanakan sesuai dengan batas  $1 \leq \text{VSWR} < 2$ .
3. Dari hasil pengukuran yang dilakukan, diketahui besarnya nilai koefisien pantul antena *Waveguide Slot Array* hasil pembuatan berbeda-beda pada setiap perubahan frekuensinya. Untuk frekuensi kerja 2,4 GHz, antena *Waveguide Slot Array* memiliki nilai koefisien pantul sebesar 0,2699. Hal ini menunjukkan bahwa sebagian besar sinyal dari antena dapat tersalurkan.
4. Antena *Waveguide Slot Array* hasil pembuatan memiliki nilai *gain* sebesar 5.123 dBi. Hal ini tidak sesuai dengan perencanaan yaitu mempunyai *gain* mencapai 24.25dB. Hasil perhitungan *directivity* menunjukkan antena *Waveguide Slot Array* hasil pembuatan ini memiliki nilai *directivity* sebesar 16.658 dB
5. Besarnya *bandwidth* antena *Waveguide Slot Array* hasil pembuatan adalah 184 MHz yang jauh di bawah nilai simulasi yang mempunyai *bandwidth* sebesar 15 GHz, karena hasil pembuatan yang masih perlu banyak diperbaiki dengan *bandwidth* dalam persen sebesar 7.9449%. Sedangkan untuk aplikasi WLAN hanya membutuhkan *bandwidth* sebesar 83.5 MHz.

Dari seluruh karakteristik yang dihasilkan maka dapat disimpulkan bahwa antena *Waveguide Slot Array* hasil pembuatan ini dapat digunakan untuk aplikasi

*wireless* LAN. Namun jika diperhatikan masih terdapat beberapa parameter antena yang tidak sama antara hasil perencanaan dengan hasil pembuatan. Hal ini disebabkan antara lain karena adanya perbedaan kondisi antara kondisi ideal (simulasi) dan tidak ideal (pengujian lapangan).

Pada pengukuran pola radiasi, untuk bidang horizontal maupun vertikal yang digambarkan pada diagram *polar* menunjukkan bahwa bentuk pola radiasi antena *Waveguide Slot Array* hasil pembuatan adalah *unidirectional*. Sedangkan untuk pengukuran polarisasi yang digambarkan pada diagram *polar* menunjukkan bahwa antena *Waveguide Slot Array* hasil pembuatan memiliki bentuk polarisasi linier.

## 6.2 Saran

Adapun beberapa hal yang perlu diperhatikan untuk pembuatan antena *Waveguide Slot Array* ini di kemudian hari, yakni :

Yang terpenting adalah pada proses pembuatan *waveguide* sebaiknya sangat memperhatikan pada proses penyambungan sisi *waveguide* supaya kuat dan tidak mudah copot yang mengakibatkan gelombang keluar dari celah-celah tersebut karena gelombang seharusnya hanya keluar melalui *slot* yang telah dibuat, dan juga harus memperhatikan proses pembengkokan sisi *waveguide* supaya tidak mempengaruhi unjuk kerja *waveguide*.

Untuk mendapatkan hasil pengukuran yang baik hendaknya pengukuran dilakukan pada tempat yang memiliki variasi medan yang kecil.

Ketelitian dalam proses pembuatan dan pengukuran antena tersebut, sehingga ketepatan hasil pengukuran antena dapat diperoleh sesuai dengan perencanaan. Oleh sebab itu diperlukan adanya alat ukur yang lebih teliti agar dimensi yang diinginkan dapat terpenuhi dan antena yang dihasilkan dapat bekerja secara maksimal.

Setelah dilakukan optimasi pada desain antena *waveguide slot* ternyata masih ada peningkatan performansi antena yang bermanfaat bagi pengembangan antena *waveguide slot* selanjutnya.

## BAB VII

### DAFTAR PUSTAKA

Wade, Paul. 2001. *Microwave Antena Book*. [http://www.qsl.net/n1bwt/ch7\\_part1.pdf](http://www.qsl.net/n1bwt/ch7_part1.pdf). Diakses tanggal September 2008.

Volakis, John L. Dr. 2007. *Antenna Engineering Handbook Fourth Edition*. PDF. New York: McGraw-Hill Companies. ([www.digitalengineeringlibrary.com](http://www.digitalengineeringlibrary.com))

Jasik, Henri. 1961. *Antena Engineering Handbook First Edition*. New York: McGraw-Hill Book Company

Milligan, Thomas A. 2005. *Modern antenna design second edition*. PDF. New Jersey: John Wiley & Sons

Seybold, John S. Ph.D. 2005. *Introduction to RF Propagation*. Pdf. New Jersey: John Wiley & Sons

Balanis, Constantien A. 1982. *Antena Theory: Analisis and Design*. 2<sup>nd</sup> Edition. John Wiley and Son. Inc.

Balanis, Constantien A. 2005. *Antena Theory: Analisis and Design*. 3<sup>rd</sup> Edition. John Wiley and Son. Inc.

White Joseph F. 2005. *High Frequency Techniques. An Introduction to RF and Microwave Engineering*. New Jersey: John Wiley & Sons.

Stanculovic, S. 2006. *Theoretical Synthesis and Experimental Measurement of Slotted Waveguide Feeding System for 2.45 GHz Industrial Microwave Heating Installation*. Forschungszentrum Karlsruhe. Institut für Hochleistungsimpuls- und Mikrowellentechnik

Carr, Joseph J. 2001. *Practical Antenna Handbook 4<sup>th</sup> edition*. United States of America : McGraw-Hill Companies

Lo, Y.T. dan Lee, S. W. 1993. *Antenna Handbook*. United States of America: Chapman & Hall

<http://www.rfcafe.com/references/electrical/waveguide.htm> (diakses Pebruari 2009)

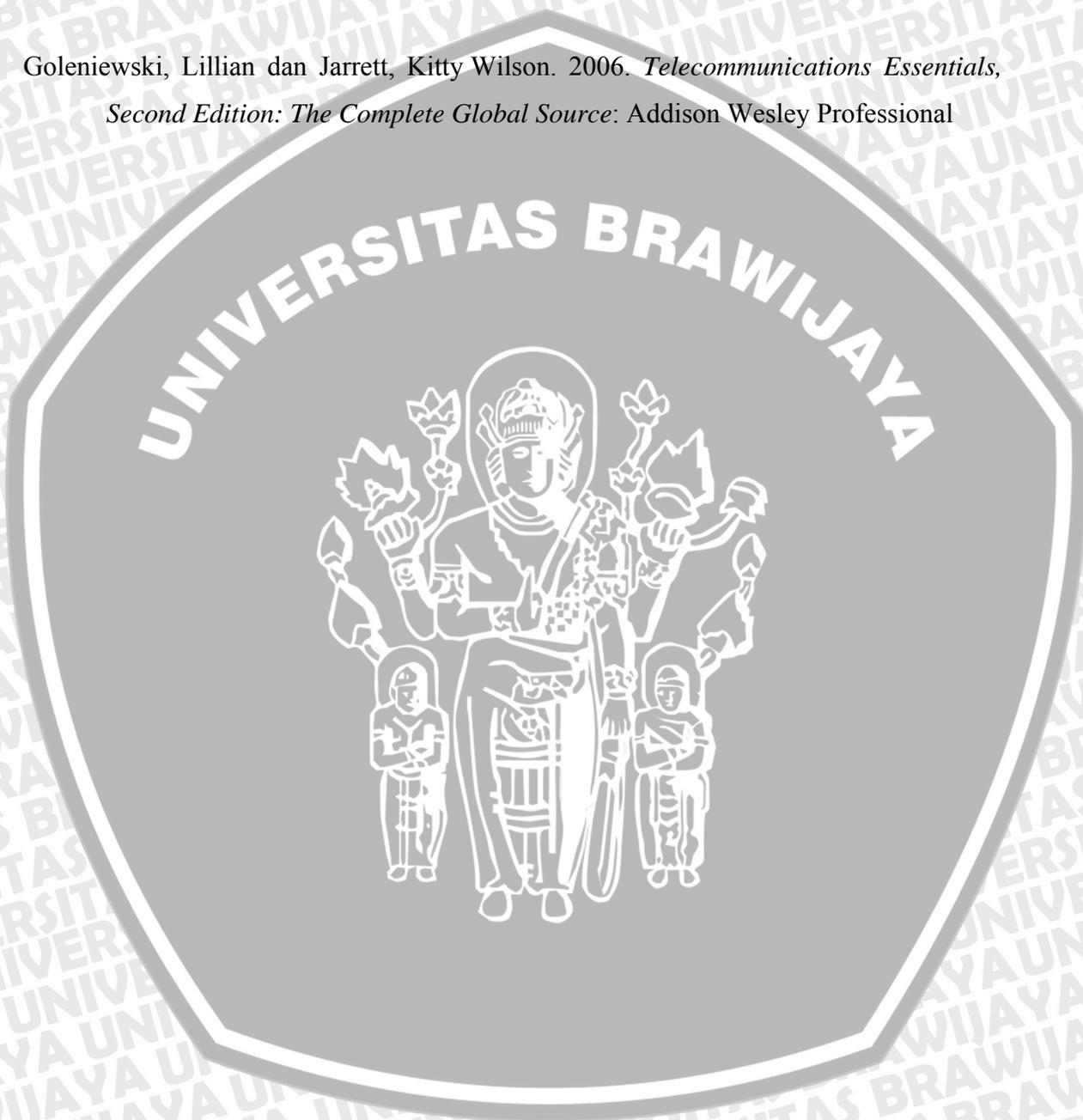
<http://www.trevormarshall.com/waveguides.htm> (diakses Pebruari 2009)

<http://www.ansoft.com/ots/utrainig.cfm> (diakses Maret 2009)

<http://www.ansoft.com/ots/utrainig.cfm> (diakses Maret 2009)

<http://gid.cimne.upc.es/> (diakses Maret 2009)

Goleniewski, Lillian dan Jarrett, Kitty Wilson. 2006. *Telecommunications Essentials, Second Edition: The Complete Global Source*: Addison Wesley Professional



## LAMPIRAN

## Lampiran 1. Langkah-Langkah Pembuatan Simulasi

1. Proses Pembuatan Simulasi Antena *Waveguide Slot Array* Array

Pembuatan simulasi Antena *Waveguide Slot Array* dengan *slot* berbentuk seperti *banana* (pisang) didasarkan pada dimensi *Waveguide* dan *slot* yang telah didesain pada Bab IV.

2. Pengenalan Program Simulasi Antena Menggunakan Ansoft HFSS (*High Frequency Structure Simulator*)

Pada program simulasi antenna Ansoft HFSS (*High Frequency Structure Simulator*) dalam melakukan perhitungan radiasi medan elektrik dan medan magnetiknya menggunakan *Finite Element Method* (FEM), karena sudah terbukti sangat berguna untuk melakukan perhitungan penyebaran atau radiasi medan elektromagnetik dari objek 3-D yang cukup kompleks, dengan bermacam – macam scala geometri pada panjang gelombang antenna. Supaya pemodelan ini dapat digunakan secara praktis, maka dibutuhkan untuk menggabungkan beberapa tahap pemodelan geometri dan pembangkitan *mesh*, penyelesaian perhitungan, dan menampilkan medan yang dianalisa. Terdapat banyak *software* komersial yang tersedia salah satunya adalah Ansoft HFSS (*High Frequency Structure Simulator*) dan HP/Agilent.

Analisa *Finite Element* melalui empat tahap:

- *Discretizing* hasil perhitungan ke dalam beberapa bagian, biasanya segi tiga pada dua-dimensi (2D) dan *tertrahedron* dalam tiga-dimensi (3-D) biasa disebut *meshing*.
- Menambahkan persamaan medan elektromagnetik di dalam dan di luar permukaan dari tiap elemen dalam hal tidak diketahuinya keterbatasan koefisien pada tiap titik, sepanjang *edge*, atau pada bagian permukaan menggunakan linier sederhana atau fungsi yang lebih tinggi.
- Mengumpulkan semua bagian ke dalam satu penyelesaian dalam persamaan matrik.
- Menyelesaikan sistem persamaan yang telah ditambahkan.

*Discretization* pada *Finite Element* dapat diterapkan dalam persamaan gelombang vektor *Helmholtz*, yang mana diperoleh secara langsung dari persamaan *Maxwell*, atau dapat juga diterapkan pada sekumpulan persamaan yang diperoleh dari vektor skalar perhitungan potensial dari medan elektromagnetik.

Permasalahan perhitungan medan elektromagnetik pada bagian dalam, seperti medan elektromagnetik dalam *Waveguide* dan lubang (*cavity*) telah berhasil diselesaikan karena perhitungan batas-batas permukaan pada *waveguide* atau *cavity*, seperti dinding *cavity*. Sedangkan untuk bagian luar, seperti penyelesaian untuk penyebaran dan radiasi dari struktur antena, lebih sulit dalam pemodelan karena perlu untuk penyelesaian perhitungan pada *Finite Element Mesh*, supaya dalam dilakukan perhitungan pada bagian luar antena, maka harus diadakan pemotongan pada beberapa batas permukaan dimana kondisi radiasi *Sommerfeld* dipaksa untuk secara tepat melakukan pendekatan radiasi medan elektromagnetik. Metode pendekatan hanya digunakan pada informasi medan local pada masing-masing titik *grid*, sedangkan metode yang tepat cukup luas mencakup *mesh boundary*.

Ansoft HFSS adalah software standar dalam pemodelan simulasi 3-D EM (*electromagnetic*) untuk RF (*Radio Frequency*), *wireless*, *packaging*, dan produk *optoelectronic*. HFSS meliputi *interface* grafik untuk menyederhanakan desain masukan, mesin *field-solving* dengan solusi *accuracy-driven adaptive*, dan *post-processor* yang bagus untuk menampilkan perambatan arus dan medan elektromagnetik. Yang juga meliputi, pembangkitan *mesh* adaptif, *tangential vector finite element*, dan *Adaptive Lanzas Pade Sweep* (ALPS).

HFSS secara otomatis melakukan perhitungan pada beberapa penyelesaian adaptif hingga konvergensi yang ditentukan sudah ditemukan. Penyelesaian perhitungan medan elektromagnetik secara tepat memprediksikan semua sifat-sifat pada frekuensi tinggi, seperti *dispersion*, *mode conversion*, dan *losses* karena bahan dan radiasi. HFSS meliputi *powerfull macros* yang mana dapat

HFSS melakukan antena parameter, seperti *gain*, *directivity*, *far-field pattern cut*, *far-field 3-D plots*, dan 3-dB *beamwidth*. Sifat polarisasi antena, meliputi komponen *spherical-field*, polarisasi medan *circular*, komponen medan *ludwig's* definisi ketiga, dan perbandingan sumbu *axial* dengan mudah dapat diperhitungkan. Hal ini juga meliputi medan *post-processor* yang dapat digunakan untuk

membangkitkan animasi untuk beberapa tipe plot medan, termasuk vektor, *contour*, atau *shaded contour*.

HFSS meliputi banyak komprehensif database bahan yang terdiri dari *permittivity*, *permeability*, *electric*, dan tangensial *magnetic-loss* untuk unsure yang sudah umum. Yang juga bisa meliputi *homogeneous*, *inhomogeneous*, *anisotropic*, *conductive*, *resistive*, dan simulasi bahan *semiconductor*. Software ini juga meliputi kemampuan pemodelan *ferrite* untuk peralatan *nonreciprocal*.

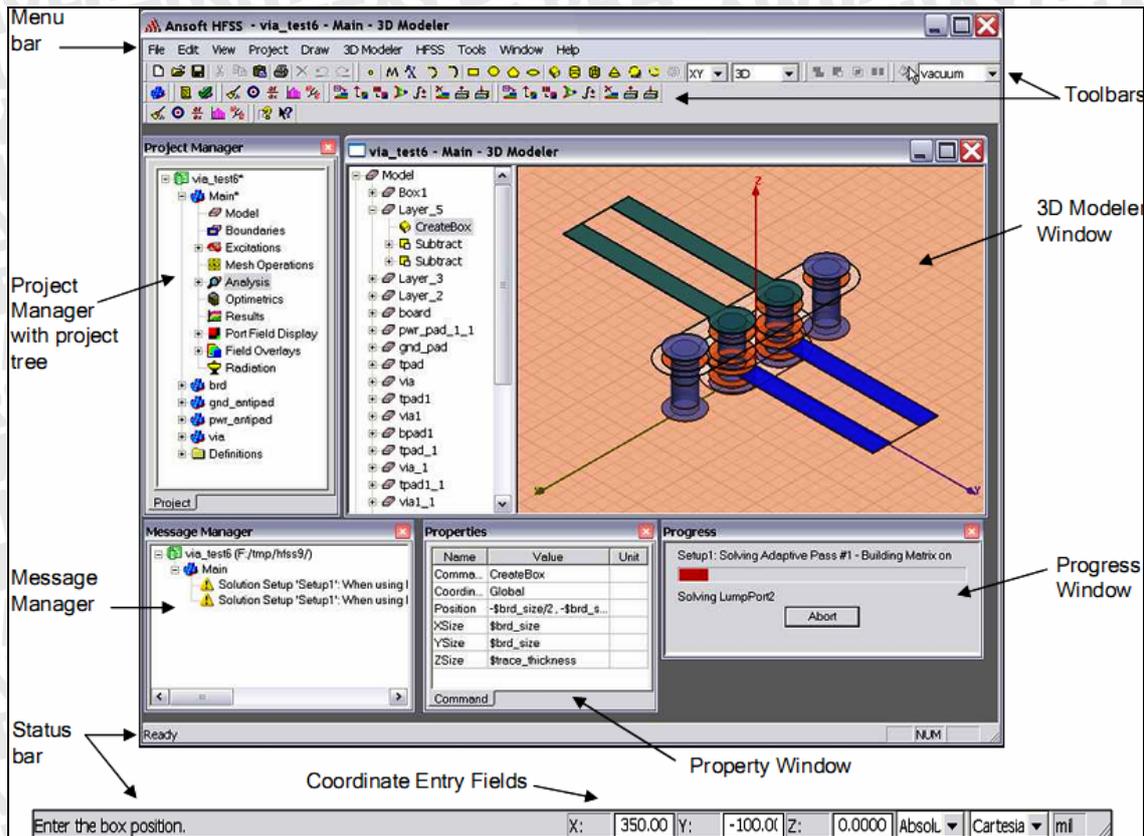
### 3. Proses pembuatan Simulasi Antena *Waveguide Slot Array* Array

Untuk memulai program Ansoft HFSS double klik *icon* Ansoft HFSS 11 yang ada di *desktop* atau meng-klik tombol *Start – All Programs, Ansoft<<HFSS 11<<HFSS 11*,

#### 3.1. Pengenalan Tool dan Windows Panel pada Ansoft HFSS

Pada Program simulasi Ansoft HFSS terdapat beberapa *optional panel*, yaitu:

- **Program Manager** : yang mana terdiri dari beberapa susunan desain daftar dari struktur dari projek antena.
- **Message Manager** : memberikan beberapa tanda kesalahan sebelum dilakukan memulai simulasi.
- **Property Windows** : menunjukkan dan tempat merubah model parameter dan atribut pada desain
- **Progress Windows** : menunjukkan jalannya dimulasi yang menghasilkan solusi dari simulasi.
- **3D Modeler Window** : yang terdiri dari model, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar di bawah



Gambar 1. Bagian – bagian tampilan windows Ansoft

Sumber : Simulasi

Setelah mengetahui bagian dari tampilan Ansoft HFSS, selanjutnya adalah memulai mendisain antenna *Waveguide Slot Array array*. Untuk membuat agar ukuran desain dalam satuan *millimeter* (mm), maka yang perlu dilakukan adalah dengan mengklik Modeler unit Yang pertama adalah memasukkan parameter-parameter pada pendisaian antenna didasarkan pada perancangan, yaitu:

Panjang gelombang *Waveguide* (lg) = 162.7 mm

Panjang *Waveguide Waveguide* (lengthwg) = 5 x panjang gelombang *Waveguide*  
 = 5 x 162.7  
 = 813.5 mm

Lebar *Waveguide* (widthwg) = 94 mm

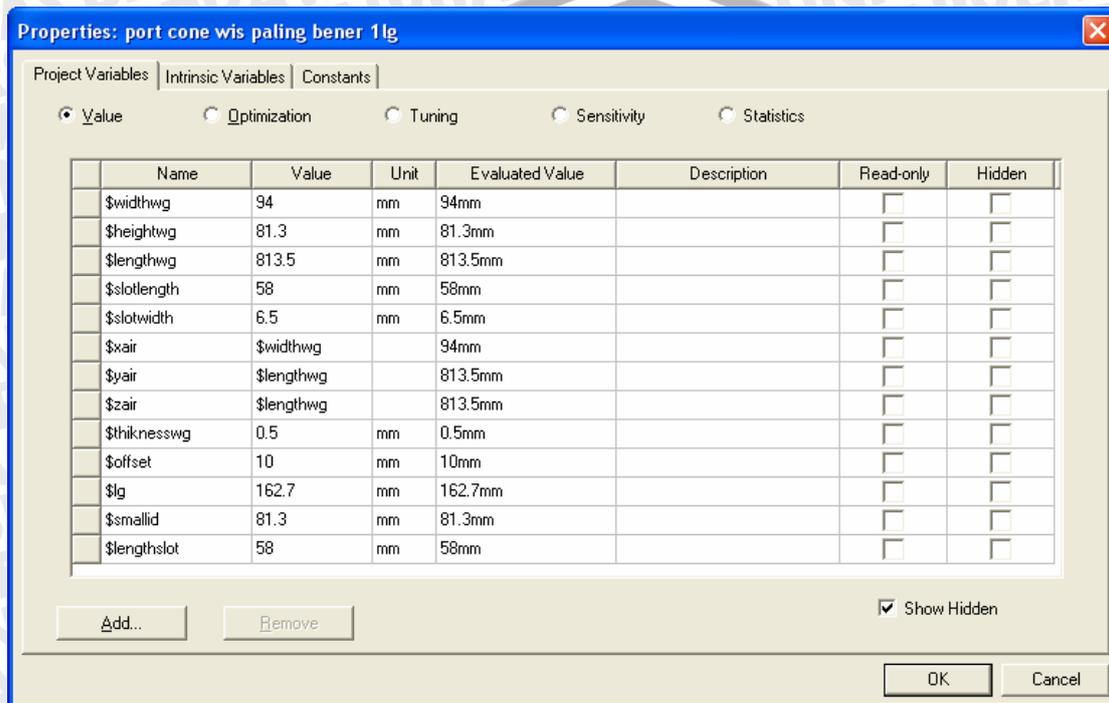
Tinggi *Waveguide* (heightwg) = 81.3 mm

Tebal *Waveguide*,

Untuk ukuran ruang udara dalam *Waveguide*, seperti panjang ruang udara dalam *Waveguide* (zair), lebar ruang udara dalam *Waveguide* (xair), tinggi ruang dalam *Waveguide* (yair), mempunyai dimensi yang sama dengan *Waveguide*.

Selanjutnya adalah memulai membuat *Waveguide*, tahap-tahap yang harus dilakukan adalah:

1. Masukkan parameter-parameter pembuatan *Waveguide* di atas, yaitu dengan mengklik **Project-Project Variable.....**, dan memulai parameter-parameter pembuatan *Waveguide*, dengan mengklik tombol *Add....*, dengan satuan yang digunakan seperti gambar di bawah

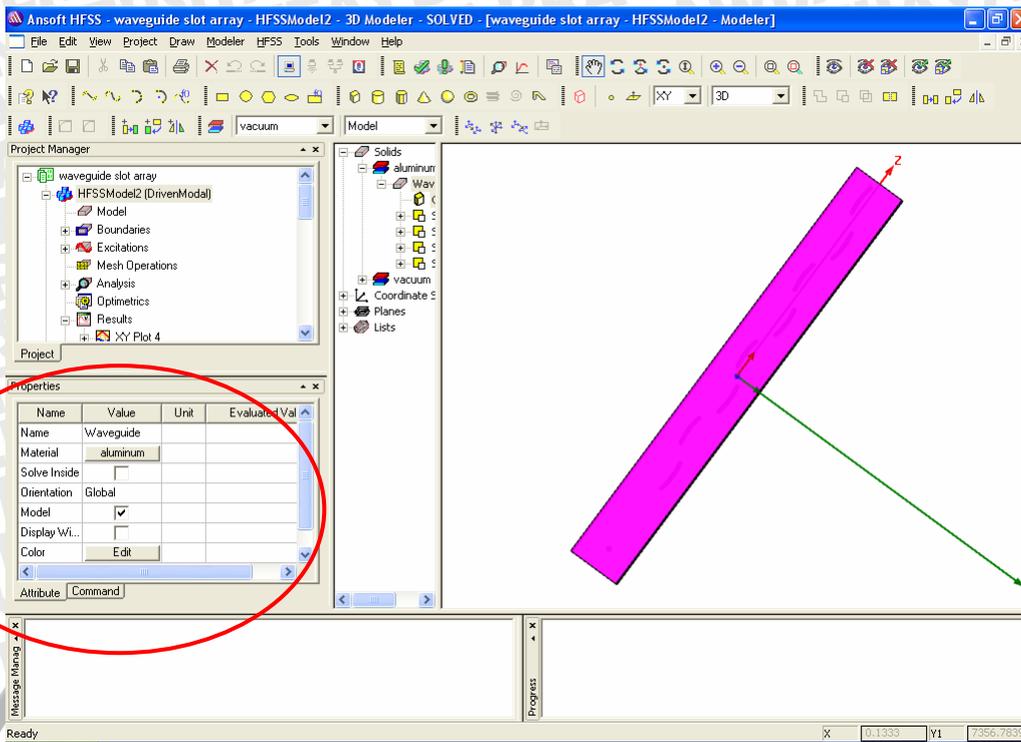


Gambar 2. *Properties* desain *waveguide*

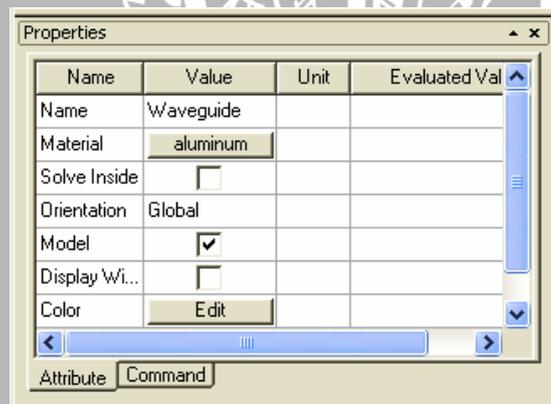
Sumber : Simulasi

Secara otomatis nama variable yang dimasukkan akan berawalan tanda \$.

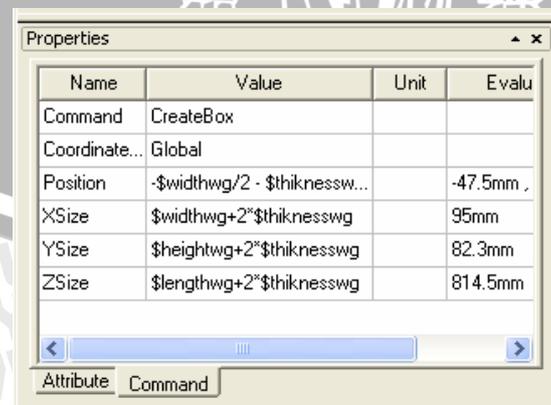
2. Membuat kotak *Waveguide* dengan mengklik tombol  pada *tollbar*, dan memulai menggambar dengan memasukkan variabel yang telah dimasukkan dengan menambahkan 2 kali ketebalan *Waveguide* pada tiap koordinat, variabel dimasukan dengan *properties windows*, pada kiri bawah. Pada *properties windows*, dimasukkan juga nama objek (*Name*), bahan (*Material*), warna (*color*) dan lain sebagainya, pada *Command Tab* pada bagian bawah dapat dimasukan posisi (*Position*), lebar (*xsize*), tinggi (*ysize*), dan panjang *Waveguide* (*zsize*) *Waveguide*.



(a)



(b)

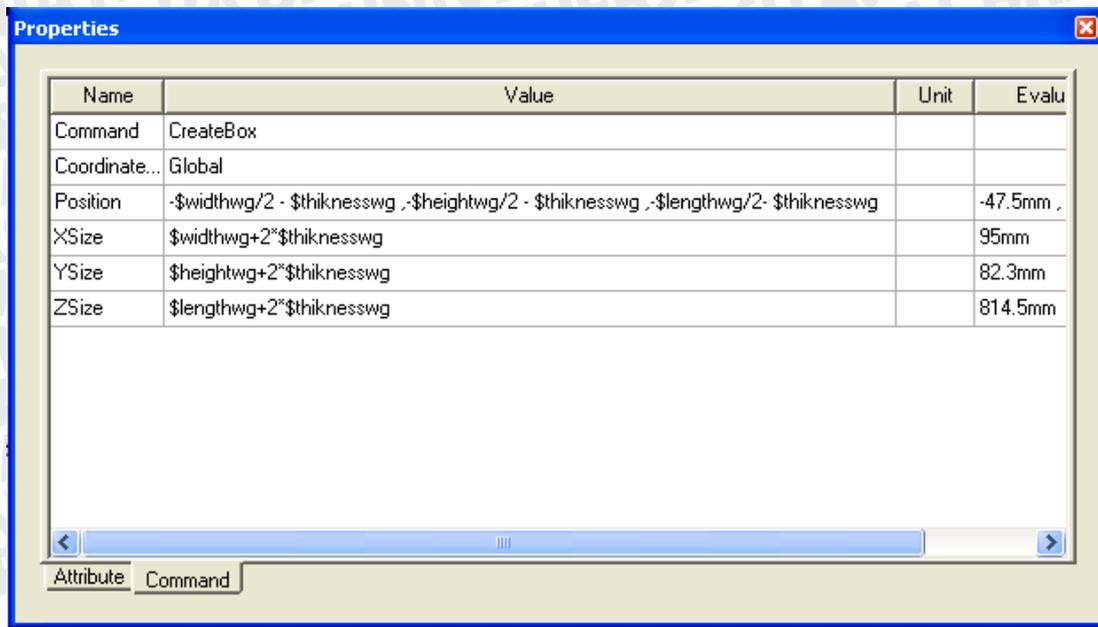


(c)

Gambar 3. Posisi dan ukuran waveguide pada Properties

Sumber : Simulasi

Sebaiknya koordinat pembuatan *Waveguide*, pada *Properties Windows*, pada *Command Tab*, seperti gambar di bawah agar lebih memudahkan dalam memasukkan elemen antenna *Waveguide* selanjutnya.

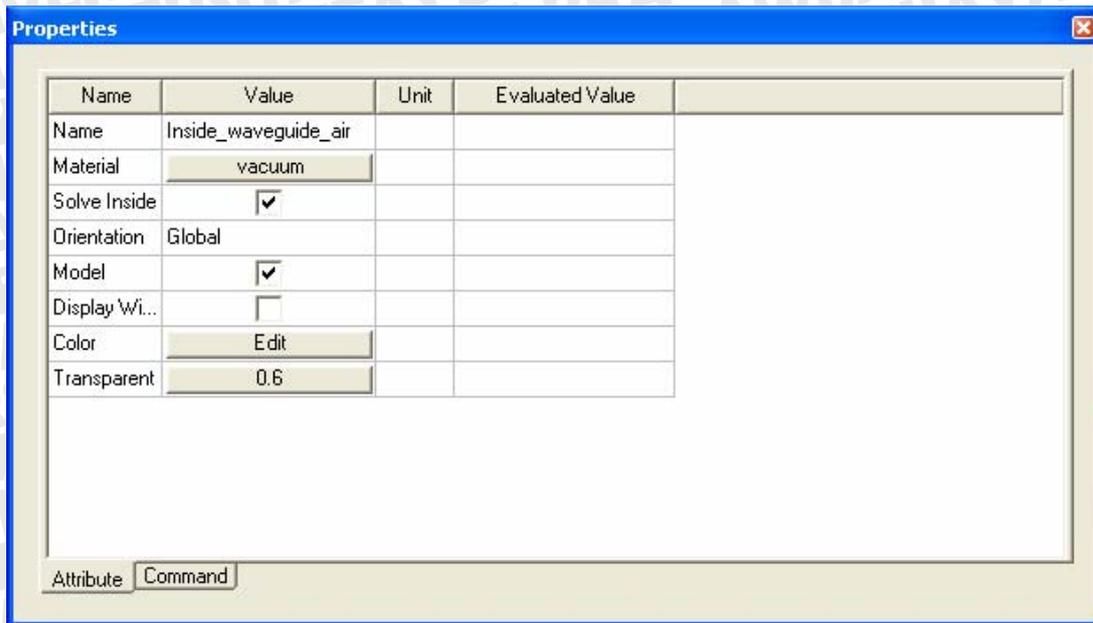


Gambar 4. Tampilan *Properties waveguide*

Sumber : Simulasi

Membuat rongga dalam *Waveguide*, rongga dalam *waveguide* mempunyai dimensi sama dengan variabel yang telah dimasukkan, yang mempunyai langkah-langkah sebagai berikut:

1. Membuat kotak rongga *Waveguide* dengan mengklik tombol  pada *tollbar*, dan memulai menggambar dengan memasukkan variabel yang telah dimasukan, varibel dimasukan dengan *properties windows*, pada kiri bawah. Pada *properties windows*, dimasukkan juga nama objek (*Name*), bahan (*Material*), warna (*color*) dan lain sebagainya, pada *Command Tab* pada bagian bawah dapat dimasukan posisi (*Position*), lebar (*xsize*), tinggi (*ysize*), dan panjang *Waveguide* (*zsize*) *Waveguide* untuk lebih jelasnya antenna dilihat pada gambar *Properties Windows* di bawah.



(a)



(b)

Gambar 5. Tampilan *Properties waveguide*

Sumber : Simulasi

Untuk membuat rongga dalam *waveguide* mengurangi *waveguide*, perlu dilakukan tahap sebagai berikut:

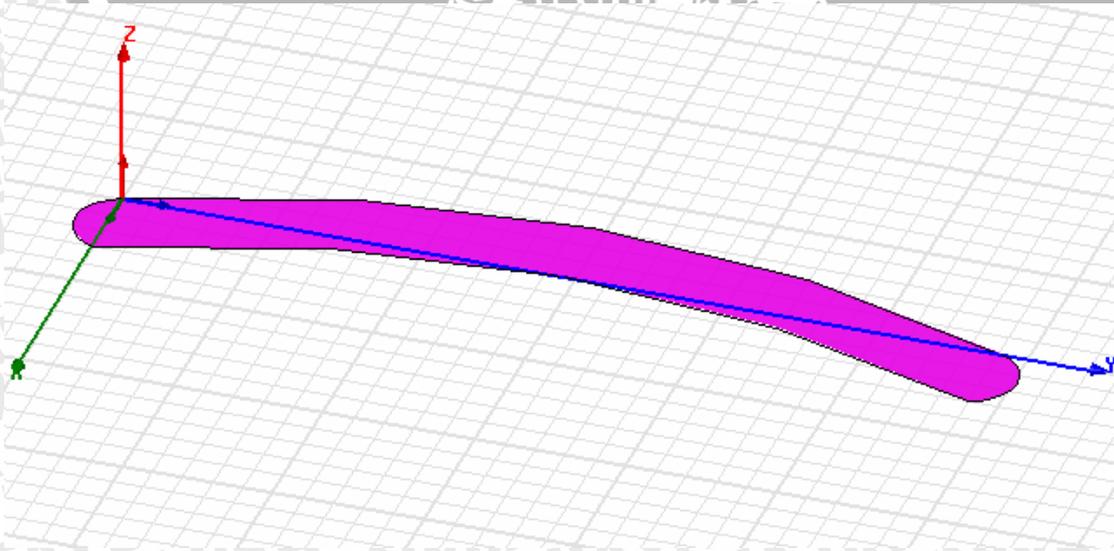
1. Klik *Ansoft 3d Modeler Windows*, pada *3D Modeler design tree*, pada bagian *waveguide* dan rongga dalam *waveguide* kemudian klik  untuk melakukan pengurangan atau *subtraction*, kemudian muncul *Subtract windows*, pada bagian *Blanks Part* bagian yang dikurangi (*waveguide*) dan pada bagian *Tool part* adalah bagian yang mengurangi rongga dalam *waveguide*,

2. Agar rongga dalam *waveguide* tetap ada dalam desain buat lagi rongga dalam *waveguide*, dengan langkah-langkah yang sama dengan langkah-langkah sebelumnya.
3. Sementara simpan desain yang telah dibuat dengan nama *waveguide slot array*,

### 1. Membuat larik *slot* pisang (*banana slot array*)

Selanjutnya adalah membuat desain *banana slot* sesuai dengan desain pada Bab IV, Gambar 4.8. dengan langkah-langkah sebagai berikut:

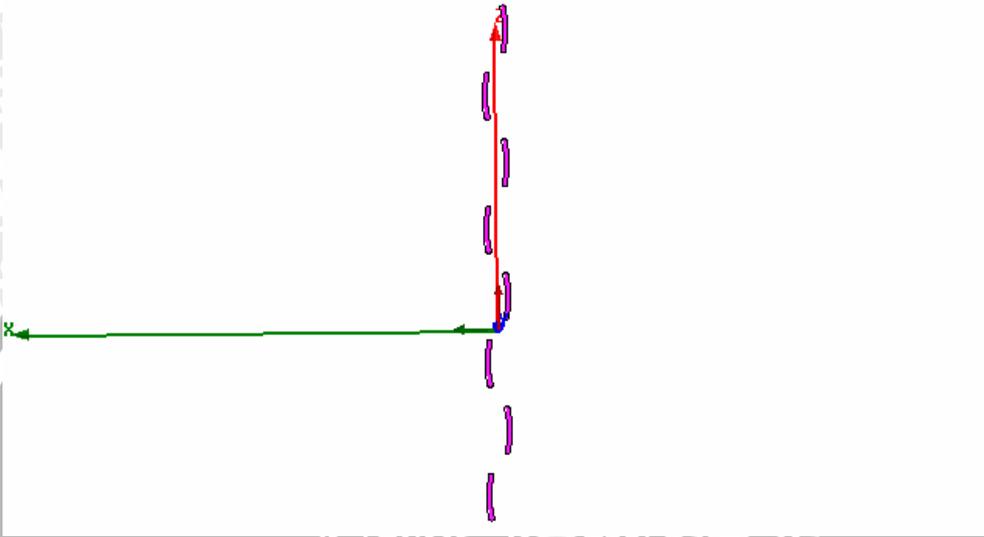
1. Membuat garis lengkung menggunakan *tool Draw 3 point arc* , yang sesuai dengan Gambar 4.7.
2. Dibuat duplikat garis yang sama yang sejajar dengan garis lengkung pertama dengan menggunakan *tools Duplicate along line* , dengan menekan tombol x, y, atau z, sesuai sumbu untuk membuat sejajar.
3. Kemudian buat garis lengkung yang menghubungkan kedua ujung dengan menggunakan *Draw 3 point arc*, kemudian pilih semua garis menggunakan *3D modeler selection Mode* , kemudian klik kanan pilih, *edit, surface, connect*, seperti Gambar 6. di bawah, jika sulit untuk membuat tepi yang melengkung juga dapat menggunakan penggabungan dari lingkaran.



Gambar 6. Tampilan *Banana slot*

Sumber : Simulasi

4. Kemudian saat masih terseleksi klik kanan pilih *edit*, *surface*, dan *thicken sheet*, pilih ketebalan sesuai dengan ketepatan alumunium yaitu 0.5 mm.
5. Kemudian untuk membuat *slot array slot* tersebut di pindah ke koordinat *slot array*, dengan koordinat *Cartesian* -10, 41.15, 366,075, untuk *slot* selanjutnya dibuat *slot* yang serupa dengan kordinat 10, 41.15, 284.725, begitu juga untuk *slot* selajutnya turun 81.35 m, seperti pada Gambar 7. di bawah



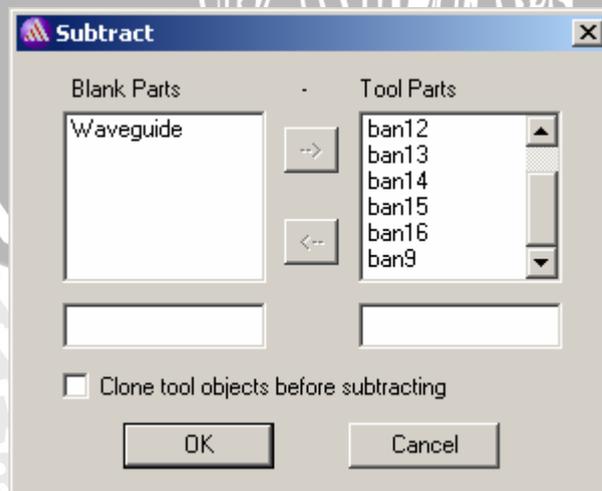
Gambar 7. *Banana slot array*

Sumber : Simulasi

6. Untuk menggabungkan *slot array* pada *waveguide*, *copy* seluruh *slot* kemudian *paste* pada *waveguide* yang telah dibuat, kemudian klik *substract*



, kemudian akan muncul tampilan seperti di bawah



Gambar 8. Tampilan *Subtract* untuk melakukan pengurangan

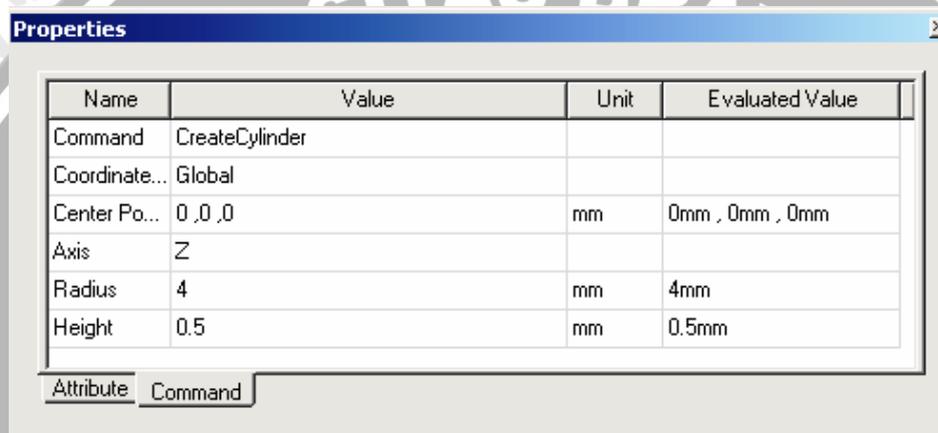
Sumber : Simulasi

Sesuaikan *Blank Parts* (bagian yang dikurangi), dan *Tool Parts* (bagian pengurang), klik OK, untuk membuat rongga *slot* pada *waveguide*, kemudian untuk mendefinisikan rongga *slot* sebagai udara *paste* sekali lagi, sebagai *vacuum*.

## 2. Membuat Bagian *Exitasi Waveguide*

Sesuai rancangan yang ada pada Bab IV, eksitasi antenna berupa cone. Cara perancangan menggunakan simulasi Ansoft HFSS sebagai berikut:

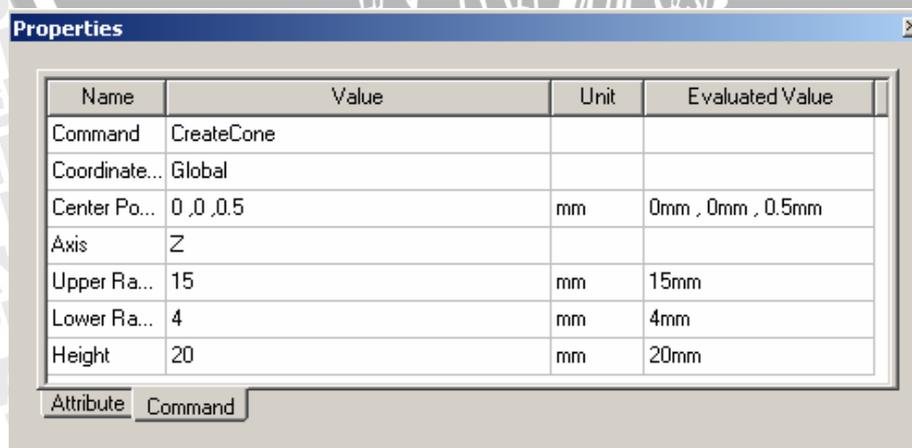
1. Membuat *cylinder* yang tersedia pada *tool* pada *Draw Cylinder* dengan *radius* 4 mm, dan *heigh* 0.5 mm, bentuk *cylinder* dapat disesuaikan pada *windows properties*



Gambar 9. Tampilan *Properties* silinder

Sumber : Simulasi

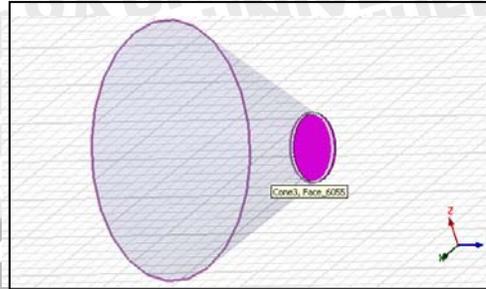
2. Membuat *cone* pada permukaan atas *cylinder* dengan *Properties* sebagai berikut



Gambar 10. Tampilan *Properties* kerucut

Sumber : Simulasi

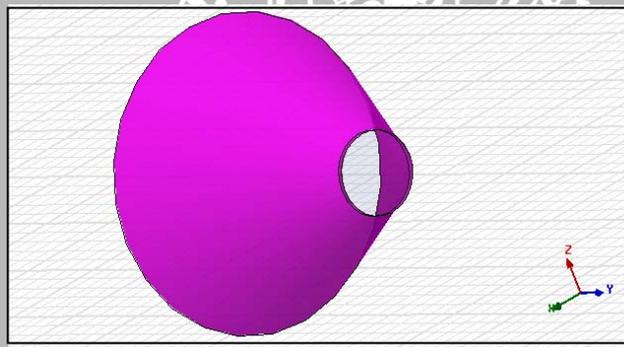
3. Kemudian kedua objek tersebut digabungkan dengan klik kanan *edit*, *Boolean*, *unite*.
4. Kemudian ditempatkan pada koordinat 0, 41.12, 366.075 mm.
5. Kemudian pilih permukaan bawah dengan menekan tombol f dan 



Gambar 11. Tampilan permukaan eksitasi *waveguide*

Sumber: Simulasi

kemudian klik kanan *Assign Excitation* – *Wave port*. Kemudian pilih permukaan



Gambar 12. Tampilan permukaan *boundary*

Sumber: Simulasi

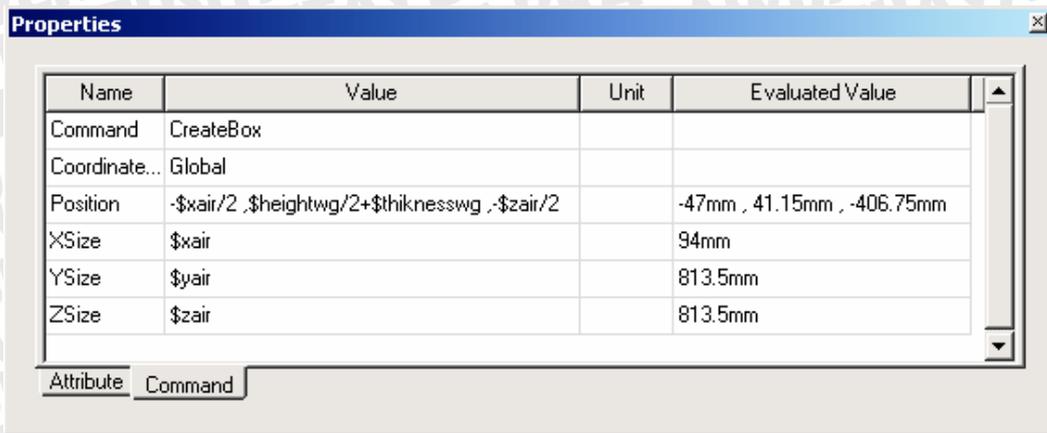
dengan cara yang sama dengan nomor 5.

6. Kemudian *Assign Boundary* – *Perfet E...* dan klik OK.

### 3. Membuat Radiasi

Untuk menentukan radiasi antenna perlu ditentukan bagian radiasi antenna, untuk menentukan daerah tersebut menggunakan cara sebagai berikut:

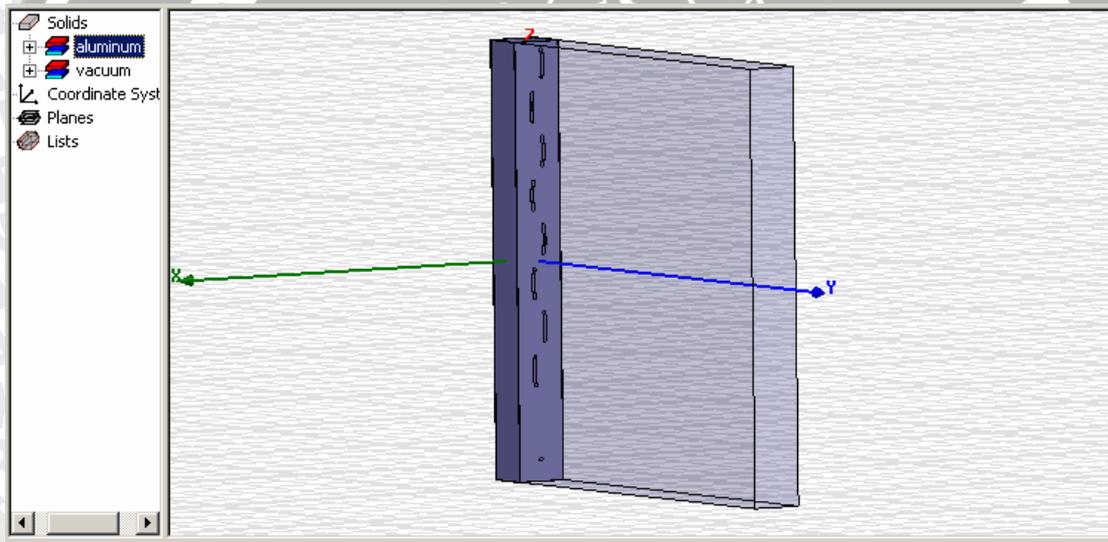
4. Membuat *draw box* dengan windows *Properties* disesuaikan seperti berikut



Gambar 13. Tampilan bagian radiasi

Sumber : Simulasi

5. Kemudian pilih *box* tersebut dan selanjutnya klik kanan pilih *Assign Boundary – Radiation* dan *OK*.

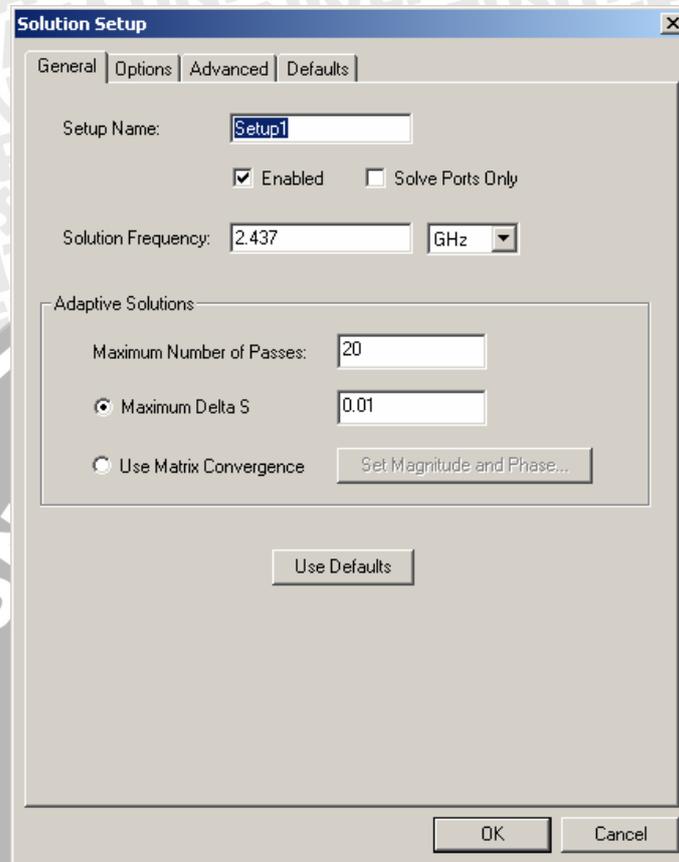


Gambar 14. Tampilan lengkap desain waveguide.

Sumber : Simulasi

## 6. Menjalankan Simulasi

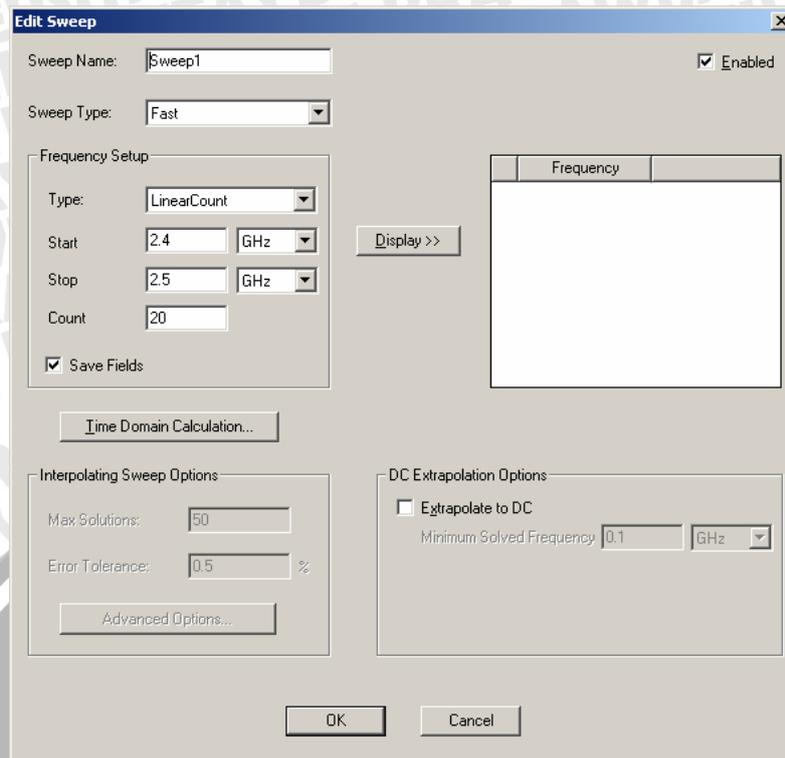
Sebelum menjalankan simulasi ditambah dulu *Solution Setup* , pada *tool bars*, kemudian ditentukan frekuensi seperti Gambar di bawah, dan klik *OK*.



Gambar 14. tampilan *windows solution setup*.

Sumber : Simulasi

Setelah menentukan *Solution Setup* maka perlu menentukan *Add Frequency Sweep* , untuk menentukan jarak frekuensi yang akan disimulasikan yang akan muncul *windows*, dan disesuaikan dengan seperti Gambar 15. di bawah



Gambar 15. Tampilan *windows Sweep*

Sumber : Simulasi

Untuk menampilkan hasil simulasi menggunakan perintah *HFSS – Redult* dan pilih hasil simulasi yang diinginkan *VSWR* ataupun *gain* antenna, yang hasilnya seperti pada Bab IV.

## Lampiran 2. Dokumentasi Pengukuran



Gambar 16. Antena *waveguide slot* dengan *banana array*

Sumber : Fabrikasi



Gambar 17. Antena *Waveguide Slot* yang terhubung dengan *Agilent RF Network Analyzer 8714ES 300KHz – 3GHz*

Sumber : Pengukuran

