

**PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ANTENA MIKROSTRIP  
RECTANGULAR DUAL FREKUENSI UNTUK KOMUNIKASI  
WLAN DAN WI-MAX**

**SKRIPSI**

*Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik,*

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**



Disusun oleh :

**FAJAR RAHMADHY**

**NIM. 0510630041**

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

**2009**

**PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ANTENA MIKROSTRIP  
RECTANGULAR DUAL FREKUENSI UNTUK KOMUNIKASI  
WLAN DAN WI-MAX**

**SKRIPSI**

*Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik*



Disusun oleh :

**FAJAR RAHMADHY**

**NIM. 0510630041**

**DOSEN PEMBIMBING:**

**Ir. H. Erfan Achmad Dahlan**

**NIP. 19530714 198203 1 003**

**Rudy Yuwono, ST., M.Sc.**

**NIP. 19710615 199802 1 003**

**PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ANTENA MIKROSTRIP  
RECTANGULAR DUAL FREKUENSI UNTUK KOMUNIKASI  
WLAN DAN WI-MAX**

Disusun oleh:

**FAJAR RAHMADHY**

**NIM. 0510630041**

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada  
Tanggal 30 Desember 2009

**DOSEN PENGUJI**

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

**NIP. 19720630 200003 1 002**

**Rusmi Ambarwati ST., MT**

**NIP. 19720204 200003 2 002**

**M. Fauzan Edy Purnomo, ST., MT**

**NIP. 19710609 200012 1 001**

Mengetahui,  
Ketua Jurusan Teknik Elektro

**Rudy Yuwono, ST., M.Sc.**

**NIP. 19710615 199802 1 003**

## 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 Mikrostrip Rectangular Dual Frekuensi Untuk Komunikasi WLAN dan Wi-MAX”**. 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 Ir. Erfan Achmad Dahlan dan Bapak Rudy Yuwono, ST., M.Sc 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 yang telah menyetujui ide pembuatan skripsi kali ini.
4. Bapak Ali Mustofa ST., MT selaku Ketua Kelompok Dosen dan Keahlian Teknik Telekomunikasi yang telah membantu dalam menyelesaikan proses seminar hasil dan ujian yang dilakukan penulis.
5. Bapak Dwi Fadila K., ST, MT selaku Kepala Laboratorium Transmisi dan Gelombang Mikro yang telah memberikan saran selama pengerjaan sekaligus atas penghargaan yang telah diberikan beliau selama penulis menjadi asisten di Laboratorium tersebut.
6. 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.
7. Kedua orang tuaku yang telah membesarkanku, terima kasih atas doa, kasih sayang, perhatian serta dorongan yang telah engkau berikan padaku, serta adik-adikku Rysa dan Firman yang terus memberikan motivasi yang tidak kenal bosan.
8. Buat Farizza tersayang terima kasih telah ada disampingku menemani terus dan sabar menunggu serta motivasi dan semangat yang tiada henti kamu terus berikan padaku.

9. Sahabatku yang telah menemani mulai dari aku masuk kuliah hingga sekarang menemaniku Jeffry Wijaya dan tak lupa teman-teman yang terus setia sampai akhir Aski, Arnez, Rendra, Afrian, Faris, Alfian, Royan, Sandy, Yedha, Ucup, Panji, Arif, Doni, Fajar, Nino, Fido, Rosa, Christian, Dirga, Sabda, Aji dan Yudis. Terima kasih atas dukungan, semangat, kebersamaan, bantuan ilmu, doa serta perhatiannya.
10. Untuk seluruh temanku angkatan 2005 semoga tetep kompak dan cepat lulus semua, *Solidarity Without Frontier*
11. Kakak-kakak tingkat yang telah membantu memberikan saran-saran dari awal hingga akhir pengerjaan skripsi ini, Mas Yoga, Fendi, Sulton, Gigih, Lutfi. Terima kasih atas dukungan, semangat, kebersamaan, bantuan ilmu, doa serta perhatiannya.
12. Teman-teman IT Telkom Bandung, April, Sandy, Kohan. Terima kasih atas bantuan dan untuk Aditya terima kasih sudah memberi tempat berteduh selama saya di Bandung.
13. Seluruh rekan mahasiswa Jurusan Teknik Elektro terima kasih atas dukungannya.
14. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan 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, Desember 2009

Penulis

DAFTAR ISI

<b>PENGANTAR</b> .....	i
<b>DAFTAR ISI</b> .....	iii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	viii
<b>DAFTAR GRAFIK</b> .....	xi
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xii
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xiii
<b>ABSTRAKSI</b> .....	xiv
<b>BAB I. PENDAHULUAN</b>	
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	2
1.3. Ruang Lingkup .....	3
1.4. Tujuan .....	3
1.5. Sistematika Penulisan.....	3
<b>BAB II. DASAR TEORI</b>	
2.1. Gambaran Umum.....	5
2.1.1 <i>Wireless Local Area Network (WLAN)</i> .....	5
2.1.1.1 Konfigurasi <i>Wireless LAN</i> .....	5
2.1.1.2 Standar IEEE 802.11 .....	7
2.2 <i>Worldwide Interoperability for Microwave Access (Wi-Max)</i> .....	9
2.2.1 Topologi Jaringan Wi-Max .....	11
2.2.2 Topologi Pengembangan .....	12
2.2.3 Alokasi Frekuensi Wi-Max .....	13
2.3 Konsep Dasar Antena .....	13
2.4 Parameter Dasar Antena .....	14
2.4.1. Pola radiasi.....	15
2.4.1.1. Pola <i>Isotropic, Directional, dan Omnidirectional</i> .....	15
2.4.1.2. <i>Lobe</i> Pola Radiasi.....	15
2.4.1.3 Daerah Medan Radiasi.....	17
2.4.1.4 Intensitas Radiasi.....	18
2.4.2. <i>Directivity</i> (Keterarahan).....	19



2.4.3.	<i>Gain</i> (Penguatan).....	20
2.4.4.	Efisiensi Antena.....	22
2.4.5.	<i>Return Loss</i> .....	23
2.4.6	<i>VSWR</i> .....	23
2.4.7.	<i>Bandwidth</i> .....	24
2.4.8.	Polarisasi.....	25
2.4.8.1.	Polarisasi Linier.....	25
2.4.8.2.	Polarisasi Lingkaran.....	26
2.4.8.3.	Polarisasi Elips.....	27
2.4.9.	Impedansi Input.....	27
2.5.	Antena Mikrostrip.....	29
2.5.1	Antena <i>Array</i> .....	31
2.5.1.1	<i>Array</i> Dua Elemen.....	32
2.5.2.	Teknik Pencatuan Antena Mikrostrip.....	37
2.5.2.1.	<i>Microstrip Line Feed</i> .....	37
2.5.2.2.	<i>Coaxial Feed</i> .....	38
2.5.2.3.	<i>Aperture Coupling</i> .....	38
2.5.2.4.	<i>Proximity Coupling</i> .....	39
2.5.2.5	Metode Analisis Antena Mikrostrip.....	40
2.5.2.6.	Dimensi Antena Mikrostrip.....	40
2.5.2.7.	Impedansi Antena Mikrostrip.....	44
2.5.2.8.	Dimensi Saluran Transmisi.....	45
2.5.2.9.	Jarak Antar Elemen.....	45
2.5.3.	Rugi – rugi Pada Antena Mikrostrip.....	46
2.5.3.1.	Rugi – rugi Dielektrik.....	46
2.5.3.2.	Rugi – rugi Konduksi.....	46
2.5.3.3.	Rugi – rugi Radiasi.....	48
2.6.	<i>Microstrip discontinuities</i> .....	48

### **BAB III. METODOLOGI**

3.1.	Studi Literatur .....	49
3.2.	Pengumpulan Data .....	49
3.3.	Perancangan.....	50
3.3.1.	Perencanaan Dimensi Elemen Peradiasi.....	50

3.3.2. Impedansi Masukan.....	50
3.3.3. Dimensi saluran transmisi.....	51
3.3.4. Jarak antar elemen.....	51
3.4 Simulasi .....	51
3.5 Pembuatan.....	52
3.6. Pengujian .....	52
3.6.1. Pengukuran <i>Return Loss</i> , Koefisien Pantul dan Perhitungan VSWR...	52
3.6.3. Pengukuran <i>Gain</i> .....	53
3.6.5 Pengukuran Polarisasi .....	53
3.6.6 Pengukuran Pola Radiasi .....	54
3.7. Analisa.....	54
3.8. Pengambilan Kesimpulan dan Saran.....	54

**BAB IV. PERENCANAAN DAN PEMBUATAN ANTENA MIKROSTRIP RECTANGULAR DUAL FREKUENSI**

4.1. Tinjauan Umum .....	55
4.2. Spesifikasi Substrat dan Bahan Konduktor .....	55
4.3. Perencanaan Dimensi Elemen Peradiasi.....	56
4.4. Perencanaan Dimensi Saluran Transmisi.....	57
4.5. Optimasi Elemen Peradiasi Antena Mikrostrip.....	60
4.6. Perencanaan Antena Mikrostrip <i>Rectangular Array</i> .....	63
4.7 Optimasi antena <i>array</i> .....	64

**BAB V. PENGUJIAN DAN ANALISIS HASIL PENGUKURAN ANTENA MIKROSTRIP RECTANGULAR DUAL FREKUENSI**

5.1. Pendahuluan.....	71
5.2. Pengukuran <i>Return Loss</i> , Koefisien Pantul dan Perhitungan VSWR .....	71
5.2.1. Alat-alat yang digunakan .....	71
5.2.2. Prosedur Pengukuran .....	71
5.2.3. Hasil Pengukuran .....	72
5.2.3.1. Antena <i>Rectangular Single</i> WLAN.....	72
5.2.3.2. Antena <i>Rectangular Single</i> WIMAX .....	74
5.2.3.3. Antena <i>Rectangular</i> Dual Frekuensi .....	75
5.2.4. Analisa Hasil Pengukuran.....	77



5.3. Pengukuran <i>Gain</i> Antena.....	78
5.3.1. Alat-alat yang digunakan .....	78
5.3.2. Prosedur Pengukuran .....	78
5.3.3. Hasil Pengukuran .....	79
5.3.3.1. Antena <i>Rectangular Single</i> WLAN.....	79
5.3.3.2. Antena <i>Rectangular Single</i> WIMAX .....	80
5.3.3.3. Antena <i>Rectangular</i> Dual Frekuensi .....	81
5.3.4. Analisa Hasil Pengukuran.....	83
5.4. Pengujian Polarisasi.....	83
5.4.1. Alat-alat yang digunakan .....	83
5.4.2. Prosedur Pengukuran .....	83
5.4.3. Hasil Pengukuran .....	84
5.4.3.1. Antena <i>Rectangular Single</i> WLAN.....	84
5.4.3.2. Antena <i>Rectangular Single</i> WIMAX .....	85
5.4.3.3. Antena <i>Rectangular</i> Dual Frekuensi .....	86
5.4.4. Analisa Hasil Pengukuran.....	88
5.5. Pengukuran Pola Radiasi.....	91
5.5.1. Alat-alat yang digunakan.....	91
5.5.2. Prosedur Pengukuran .....	91
5.5.3. Hasil Pengukuran.....	92
5.5.3.1. Antena <i>Rectangular Single</i> WLAN.....	92
5.5.3.2. Antena <i>Rectangular Single</i> WIMAX .....	93
5.5.3.3. Antena <i>Rectangular</i> Dual Frekuensi .....	94
5.5.4. Analisa Hasil Pengukuran.....	97
5.6. Perhitungan <i>Directivity</i> .....	102
5.6.1. Cara Perhitungan.....	102
5.6.2. Hasil Perhitungan.....	102
5.6.2.1. Antena <i>Rectangular Single</i> WLAN.....	102
5.6.2.2. Antena <i>Rectangular Single</i> WIMAX .....	103
5.6.2.3. Antena <i>Rectangular</i> Dual Frekuensi .....	103
5.7. Perhitungan <i>Bandwidth</i> .....	104
5.8. Perhitungan jarak WLAN.....	104
5.9. Aplikasi Antena <i>Rectangular Dual Frekuensi</i> Pada WLAN 2,4 GHz.....	106
5.10. Aplikasi Antena <i>Rectangular Dual Frekuensi</i> Pada WI-MAX 2,5 GHz.....	111

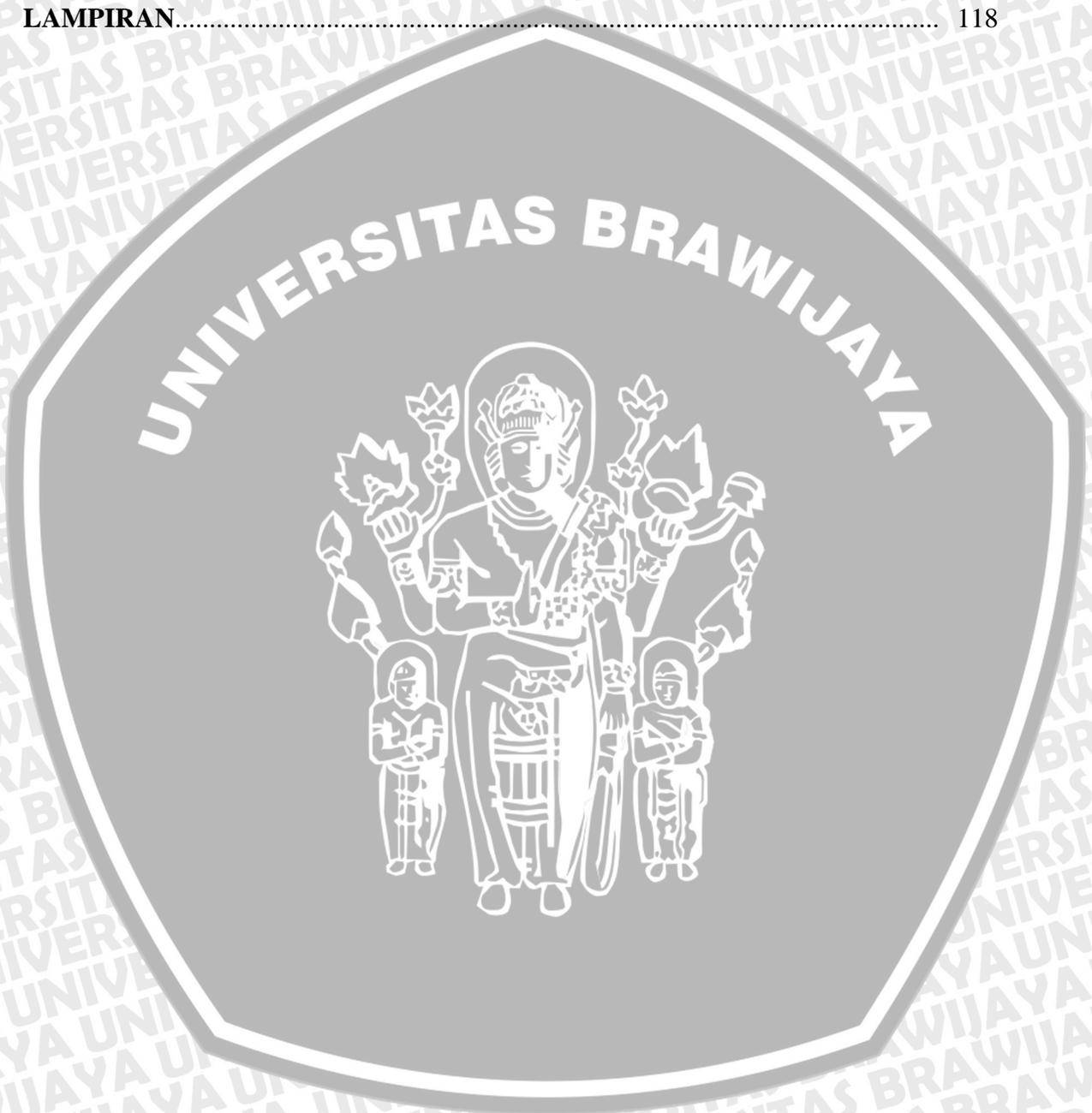
**BAB VI. PENUTUP**

6.1. Kesimpulan..... 113

6.2. Saran..... 114

**DAFTAR PUSTAKA..... 116**

**LAMPIRAN..... 118**

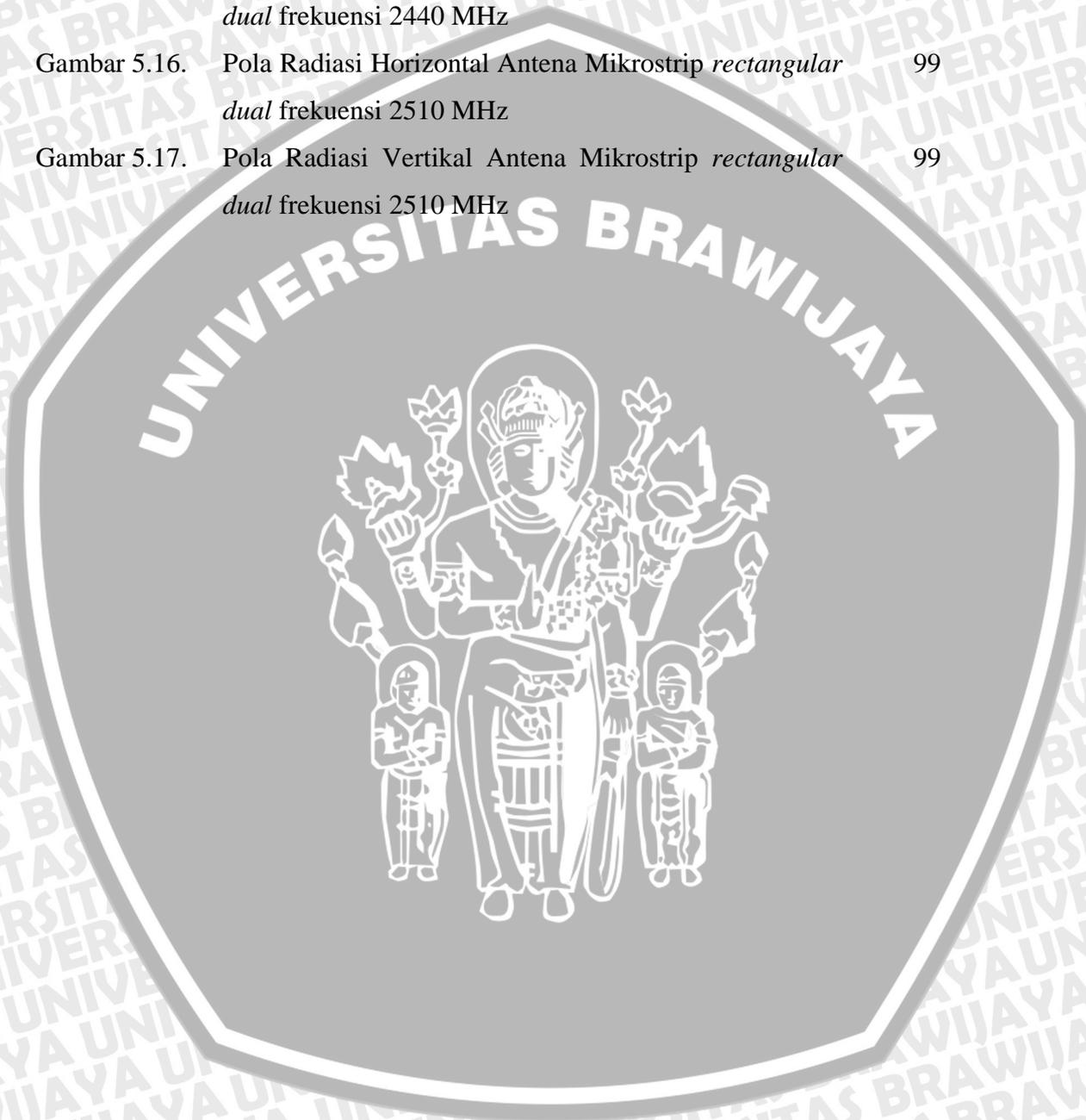


## DAFTAR GAMBAR

No	Judul	Halaman
Gambar 2.1.	Topologi jaringan <i>peer-to-peer</i>	6
Gambar 2.2.	Topologi jaringan infrastruktur	6
Gambar 2.3.	Jaringan menggunakan <i>extension point</i>	7
Gambar 2.4.	Jaringan menggunakan <i>directional antenna</i>	7
Gambar 2.5.	Topologi Mesh (ETSI TR 101 856)	12
Gambar 2.6.	Kombinasi Topologi PMP dan P2P	13
Gambar 2.7a.	Rangkaian ekuivalen saluran transmisi dengan mode memancar	14
Gambar 2.7b.	Rangkaian ekuivalen saluran transmisi dengan mode menerima.	14
Gambar 2.8.	<i>Lobe-lobe</i> Pola Radiasi	16
Gambar 2.9.	Pembagian Daerah Medan Radiasi Antena	17
Gambar 2.10.	Terminal referensi dan rugi-rugi antena	21
Gambar 2.11.	Pengukuran <i>bandwidth</i> berdasarkan <i>plot return loss</i>	24
Gambar 2.12a.	Polarisasi Linier Vertikal	26
Gambar 2.12b.	Polarisasi Linier Horizontal	26
Gambar 2.13a.	<i>Right hand circular polarization.</i>	27
Gambar 2.13b.	<i>Left hand circular polarization.</i>	27
Gambar 2.14.	Rangkaian ekuivalen antena pemancar	28
Gambar 2.15.	Struktur antena mikrostrip	30
Gambar 2.16.	Macam-macam bentuk elemen mikrostrip	30
Gambar 2.17.	Superposisi Vektor Medan Elektrik <i>Array</i> Dua Elemen	32
Gambar 2.18.	<i>Array</i> Antena Dipole Horizontal Dua Elemen	33
Gambar 2.19.	Pola Radiasi <i>Array Dipole</i> Dua Elemen Beda Fase $0^{\circ}$	34
Gambar 2.20.	Pola Radiasi <i>Array Dipole</i> Dua Elemen Beda Fase $90^{\circ}$	35
Gambar 2.21.	Pola Radiasi <i>Array Dipole</i> Dua Elemen Beda Fase $-90^{\circ}$	36
Gambar 2.22.	<i>Microstrip Line Feed Microstrip Line Feed</i>	37
Gambar 2.23.	Metode <i>Coaxial feed</i>	38
Gambar 2.24.	<i>Aperture Coupling Feed</i>	39
Gambar 2.25.	<i>Proximity Coupling Feed</i>	39
Gambar 2.26.	Antena Mikrostrip & Garis Medan Listrik	41

Gambar 2.27.	Antena Mikrostrip	42
Gambar 2.28.	Penampang antena Mikrostrip	43
Gambar 2.29.	<i>Microstrip Bend</i>	48
Gambar 2.30.	<i>T Junction</i>	48
Gambar 4.1.	Elemen Peradiasi	59
Gambar 4.2.	Hasil Optimasi Elemen Peradiasi	61
Gambar 4.3.	Antena mikrostrip <i>rectangular array</i> dual frekuensi	63
Gambar 4.4.	Antena mikrostrip <i>rectangular array</i> dual frekuensi setelah optimasi	65
Gambar 4.5.	Smith Chart	67
Gambar 4.6.	Gain <i>Pattern</i> 3D pada frekuensi 2440 MHz	68
Gambar 4.7.	Gain <i>Pattern</i> 3D pada frekuensi 2510 MHz	69
Gambar 4.8a.	Distribusi Arus Frekuensi 2440 MHz	69
Gambar 4.8b.	Distribusi Arus Frekuensi 2510 MHz	70
Gambar 5.1.	Rangkaian Pengukuran <i>Return Loss</i> dan <i>VSWR</i>	72
Gambar 5.2.	Pengukuran <i>VSWR</i>	76
Gambar 5.3.	Rangkaian Pengukuran <i>Gain</i> Antena	77
Gambar 5.4.	Rangkaian Pengukuran <i>Polarisasi</i> Antena	82
Gambar 5.5.	Bentuk <i>Polarisasi</i> Antena Mikrostrip <i>Rectangular Single</i> Elemen WLAN	87
Gambar 5.6.	Bentuk <i>Polarisasi</i> Antena Mikrostrip <i>Rectangular Single</i> Elemen WiMAX	88
Gambar 5.7.	Bentuk <i>Polarisasi</i> Antena Mikrostrip <i>Rectangular Dual</i> Frekuensi pada 2.44 GHz	88
Gambar 5.8.	Bentuk <i>Polarisasi</i> Antena Mikrostrip <i>Rectangular Dual</i> Frekuensi pada 2.51 GHz	89
Gambar 5.9.	Rangkaian Pengukuran <i>Pola Radiasi</i> Antena	90
Gambar 5.10.	<i>Pola Radiasi</i> Horizontal Antena Mikrostrip <i>rectangular single</i> elemen WLAN	96
Gambar 5.11.	<i>Pola Radiasi</i> Vertikal Antena Mikrostrip <i>rectangular single</i> elemen WLAN	96
Gambar 5.12.	<i>Pola Radiasi</i> Horizontal Antena Mikrostrip <i>rectangular single</i> elemen WiMAX	97

Gambar 5.13.	Pola Radiasi Vertikal Antena Mikrostrip <i>rectangular</i> <i>single</i> elemen WiMAX	97
Gambar 5.14.	Pola Radiasi Horizontal Antena Mikrostrip <i>rectangular</i> <i>dual</i> frekuensi 2440 MHz	98
Gambar 5.15.	Pola Radiasi Vertikal Antena Mikrostrip <i>rectangular</i> <i>dual</i> frekuensi 2440 MHz	98
Gambar 5.16.	Pola Radiasi Horizontal Antena Mikrostrip <i>rectangular</i> <i>dual</i> frekuensi 2510 MHz	99
Gambar 5.17.	Pola Radiasi Vertikal Antena Mikrostrip <i>rectangular</i> <i>dual</i> frekuensi 2510 MHz	99



## DAFTAR GRAFIK

No	Judul	Halaman
Grafik 4.1.	Hasil Simulasi $S_{11}$ Elemen Peradisi	60
Grafik 4.2.	Hasil simulasi optimasi frekuensi terhadap nilai $S_{11}$	62
Grafik 4.3.	Grafik $S_{11}$ terhadap frekuensi	66
Grafik 4.4.	Grafik $V_{SWR}$ terhadap frekuensi	66
Grafik 4.5.	Grafik gain terhadap frekuensi	68
Grafik 5.1.	Grafik fungsi $V_{SWR}$ Antena Mikrostrip <i>Rectangular Single WLAN</i> terhadap frekuensi	73
Grafik 5.2.	Grafik fungsi $V_{SWR}$ Antena Mikrostrip <i>Rectangular Single WIMAX</i> terhadap frekuensi	74
Grafik 5.3.	Grafik fungsi $V_{SWR}$ Antena Mikrostrip <i>Rectangular Dual Frekuensi</i> terhadap frekuensi	76



## DAFTAR TABEL

No	Judul	Halaman
Tabel 2.1.	Standar IEEE 802.11	8
Tabel 2.2.	<i>Computer Network Planning Standard Using WLAN</i>	9
Tabel 2.3.	Standar Protokol untuk Wi-Max	11
Tabel 5.1.	Hasil pengukuran <i>Return Loss</i> , koefisien pantul dan perhitungan <i>VSWR</i> Antena Mikrostrip <i>Rectangular WLAN</i>	73
Tabel 5.2.	Hasil pengukuran <i>Return Loss</i> , koefisien pantul dan perhitungan <i>VSWR</i> Antena Mikrostrip <i>Rectangular Single WIMAX</i>	74
Tabel 5.3.	Hasil pengukuran <i>Return Loss</i> , koefisien pantul dan perhitungan <i>VSWR</i> Antena Mikrostrip <i>Rectangular Dual Frekuensi</i>	75
Tabel 5.4.	Hasil pengukuran <i>Gain</i> Antena Mikrostrip <i>Rectangular Single WLAN</i>	78
Tabel 5.5.	Hasil pengukuran <i>Gain</i> Antena Mikrostrip <i>Rectangular Single Wi-MAX</i>	79
Tabel 5.6.	Hasil pengukuran <i>Gain</i> Antena Mikrostrip <i>Rectangular Dual Frekuensi</i>	80
Tabel 5.7.	Hasil Pengukuran Polarisasi pada Frekuensi 2440 MHz	83
Tabel 5.8.	Hasil Pengukuran Polarisasi pada Frekuensi 2510 MHz	84
Tabel 5.9.	Hasil Pengukuran Polarisasi pada Frekuensi 2440 MHz	86
Tabel 5.10.	Hasil Pengukuran Polarisasi pada Frekuensi 2510 MHz	86
Tabel 5.11.	Hasil pengukuran Pola Radiasi pada antena <i>rectangular single</i> elemen WLAN	91
Tabel 5.12.	Hasil pengukuran Pola Radiasi pada antena <i>rectangular single</i> elemen WiMAX	92
Tabel 5.13.	Hasil pengukuran Pola Radiasi pada frekuensi 2440 MHz	93
Tabel 5.14.	Hasil pengukuran Pola Radiasi pada frekuensi 2510 MHz	94

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran Dokumentasi Pengukuran..... 118



## ABSTRAK

**FAJAR RAHMADHY, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Desember 2009, Perancangan dan Pembuatan Antena Mikrostrip Rectangular Dual Frekuensi Untuk Komunikasi WLAN dan WiMAX, Dosen Pembimbing : Ir. H. Erfan Achmad Dahlan. dan Rudy Yuwono ST., M.Sc.**

Seiring dengan berkembangnya dunia telekomunikasi maka teknologi nirkabel saat ini. Produk telekomunikasi nirkabel yang saat ini sedang trend di kalangan masyarakat yaitu adalah WLAN (*Wireless Local Area Network*) dan Wi-Max (*Worldwide Interoperability for Microwave Acces*). Seiring dengan perkembangan teknologi nirkabel tersebut maka antena merupakan bagian dari yang sangat penting dalam teknologi tersebut sebagai media transmisi. Perkembangan antena pun sekarang semakin berkembang kearah yang lebih *portable* dan dapat digunakan untuk semua macam jenis teknologi telekomunikasi (multifungsi). Hal inilah yang melatarbelakngi diciptakannya antena mikrostrip yang tentunya lebih *portable* karena mempunyai ukuran yang lebih kecil sehingga tidak membutuhkan ruang yang besar dan dapat ditempatkan dimana saja. Selain itu untuk antena mikrostrip dapat dirancang multifungsi untuk dua komunikasi yang berbeda sehingga muncullah perancangan dual frekuensi yang pada peneltian kali ini dapat dioperasikan pada kawasan frekuensi kerja WLAN sebesar 2440 MHz dan Wi-MAX sebesar 2510 MHz.

Parameter yang digunakan untuk menilai kerja antena adalah VSWR, *return loss*, *bandwidth*, *gain*, *directivity*, pola radiasi dan polarisasi. Perancangan dilakukan dengan merancang antena single elemen dari masing kawasan frekuensi kerja 2440 MHz dan 2510 MHz, kemudian dua antena single elemen tersebut digabung dengan susunan array agar dapat bekerja pada dua frekuensi kerja tersebut. Untuk mendapatkan parameter yang diinginkan, dilakukan optimasi dengan mengubah dimensi antena dan posisi *probe feed*. Optimasi juga dilakukan pada saluran transmisi antena array dua elemen. Pada perancangan dan pembuatan antena digunakan substrat *epoxy fiberglass FR-4* dengan konstanta dielektrik ( $\epsilon_r$ ) = 4.5. Elemen peradiasi berbentuk *rectangular* yang disusun secara *array* sejumlah dua elemen peradiasi. Antena hasil perancangan disimulasikan dengan *software simulator IE3D<sup>TM</sup>*. Setelah memenuhi parameter yang diinginkan, dilakukan fabrikasi antena dan pengukuran terhadap parameter-parameter antena hasil fabrikasi tersebut.

Hasil pengukuran antena mikrostrip *rectangular dual* frekuensi menunjukkan dalam frekuensi kerja yang direncanakan yaitu 2440 MHz dan 2510 MHz, antena ini memiliki nilai VSWR sebesar 1.308 dan 1.685; Nilai *Return Loss* -17.51 dB dan -11.861 dB; nilai *gain* sebesar 5.03 dBi dan 3.2 dBi; nilai *directivity* sebesar 5.33 dB dan 5.9 dB dan polarisasi *ellips*. Bentuk pola radiasi mikrostrip *rectangular array* dua elemen adalah *unidirectional* dengan  $\phi_{HP} = 100^\circ$  dan  $\theta_{HP} = 120^\circ$  untuk frekuensi 2440 MHz dan  $\phi_{HP} = 150^\circ$  dan  $\theta_{HP} = 75^\circ$  untuk frekuensi 2510 MHz.

Kata kunci : Antena, Mikrostrip, *Rectangular, Dual*, WLAN, WiMAX, 2440 MHz, dan 2510 MHz

## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Saat ini teknologi informasi berkembang sangat pesat seiring dengan semakin meningkatnya kebutuhan manusia akan jasa layanan multimedia. Hal ini sangat jelas terlihat di mana kebutuhan akan komunikasi data dengan kapasitas dan kecepatan yang tinggi sangatlah penting untuk menunjang segala aktifitas. Dalam hal ini, teknologi jaringan komputer memegang peranan yang sangat penting dalam komunikasi data. Trend jaringan kini cenderung mengarah ke teknologi *wireless* LAN (WLAN) sebagai pengembangan dari *wired* LAN. Salah satu keunggulan jaringan nirkabel ini adalah praktis dan tidak rumit dalam penggunaannya karena *wireless* LAN merupakan sistem komunikasi data fleksibel yang digunakan untuk menggantikan atau memperluas jaringan *wired* LAN serta menyediakan fungsi yang lebih kompleks dengan kualitas dan bandwidth yang lebih tinggi. Teknologi inilah yang biasanya digunakan pada perusahaan-perusahaan perkantoran ataupun pada pabrik sehingga biaya yang dikeluarkan lebih murah.

Adapun perkembangan dunia telekomunikasi nirkabel juga dapat semakin luas dengan ditemukannya teknologi Wi-Max. Wi-Max (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*) yang merupakan pengembangan teknologi fixed *wireless* adalah salah satu solusi untuk teknologi komunikasi *broadband wireless access* (BWA). Dengan Wi-Max kita akan dapat memenuhi paling tidak tiga kebutuhan utama dari telekomunikasi (*any information, anytime, dan anywhere*), yakni *anytime & anywhere communication*. Dengan Wi-Max (dengan konfigurasi *point-to-point* dan *line of sight*), komunikasi akan dapat dilakukan dalam jarak dan kecepatan yang cukup fantastis. Dibanding dengan teknologi *wireless* pendahulunya (Wi-Fi), kinerja Wi-Max jauh lebih lebih baik dengan radius cakupan layanan sejauh 38 mil (sekitar 48 km), kecepatan sebesar 70 Mbps. Bahkan dengan kondisi bergerak dengan kecepatan 250 km/jam, Wi-Max masih dapat melayani proses transfer data dengan kecepatan 1 Mbps.

Baik komunikasi sistem WLAN ataupun Wi-Max mentransmisikan dan menerima data melalui udara sehingga meminimalisasi penggunaan koneksi menggunakan kabel. Salah satu perangkat bagian alat komunikasi keduanya yang sangat penting adalah antena. Kualitas sebuah antena sangat mempengaruhi kualitas informasi yang diterima. Untuk perkembangannya ada beberapa macam antena, rata-

repository.ub.ac.id

rata yang biasanya digunakan ataupun dijual mempunyai dimensi yang cukup besar sehingga antena mikrostrip dapat menjadi alternatif perangkat telekomunikasi (antena) yang memang dibuat dengan dimensi yang lebih kecil, fleksibel, praktis dan tetap berkualitas. Antena mikrostrip merupakan antena yang tersusun atas bagian lapisan tipis konduktor berbahan metal atau logam di atas sebuah substrat yang dapat merambatkan gelombang elektromagnetik sedang pada salah satu sisi lain dilapisi konduktor sebagai bidang pentanahan.

Antena mikrostrip bekerja pada alokasi frekuensi UHF (300 MHz – 3 GHz) sampai dengan X Band (5,2 GHz – 10,9 GHz) sehingga, antena mikrostrip dapat digunakan untuk antena telepon selular/*wireless* maupun komunikasi satelit. Adapun kelebihan antena mikrostrip juga adalah dapat digunakan dengan banyak sekali aplikasi telekomunikasi sesuai dengan desain yang diinginkan dengan dimensi yang relatif kecil, hal inilah yang menjadi ide dalam pembuatan skripsi kali ini dengan membuat antena yang multifungsi dengan mencoba pada 2 kawasan frekuensi aplikasi teknologi yang berbeda. Antena ini dapat digunakan oleh kedua jenis teknologi komunikasi baik itu WLAN ataupun Wi-Max. Frekuensi kerja yang direncanakan sesuai dengan frekuensi WLAN yang digunakan yaitu 2,4 Gigahertz dan Wi-Max sebesar 2,5 Gigahertz.

Saat ini antena mikrostrip dual frekuensi yang telah dikembangkan mempunyai elemen peradiasi circular dengan pengaplikasian pada GPS (*Global Positioning System*) dan GSM (*Global System for Mobile communication*). Adapun mengapa memilih *rectangular* pada skripsi kali ini ditujukan memberikan pilihan lain pada desain dan diharapkan mendapatkan hasil yang lebih baik pada frekuensi kerja yang lebih tinggi lagi.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan permasalahan yang ada, maka rumusan masalah dalam penulisan skripsi ini adalah:

1. Bagaimana menentukan model antena mikrostrip *rectangular* dual frekuensi?
2. Bagaimana merancang dimensi elemen peradiasi dan dimensi saluran transmisi antena mikrostrip *rectangular* dual frekuensi?
3. Bagaimana menguji parameter antena mikrostrip *rectangular* dual frekuensi yang meliputi VSWR, *return loss*, *gain*, bandwidth, pola radiasi dan polarisasi?

### 1.3 Ruang Lingkup

Dalam skripsi ini pembahasan difokuskan pada:

1. Antena yang dirancang adalah antena mikrostrip *Rectangular* Dual Frekuensi dengan nilai  $VSWR < 2$ , dan  $Gain > 3$  dBi.
2. Pengukuran parameter antena meliputi *Return loss*,  $VSWR$ , koefisien pantul, *gain*, pola radiasi dan polarisasi.
3. Menggunakan persamaan-persamaan umum yang digunakan dalam menentukan parameter-parameter antena yang dibuat.
4. Menggunakan pedoman IEEE, sehingga WLAN yang akan dibahas ini adalah dengan standar teknologi IEEE 802.11b dengan frekuensi 2,4 Gigahertz dan pada Wi-Max ditujukan pada pedoman IEEE 802.16e sebesar 2.5 Gigahertz.

### 1.4 Tujuan

Tujuan dalam penulisan skripsi ini adalah merencanakan dan merealisasikan antena mikrostrip *rectangular* dual frekuensi untuk komunikasi WLAN dan Wi-Max.

### 1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang digunakan dalam penyusunan laporan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

#### BAB I Pendahuluan

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

#### Bab II Tinjauan Pustaka

Memuat teori tentang parameter dasar antena dan teori dasar yang berhubungan dengan perancangan dan pembuatan antena mikrostrip.

#### BAB III Metodologi

Memuat tentang tahapan penyelesaian tugas akhir yang meliputi studi literatur, perancangan dan pembuatan, pengujian, pengambilan data, dan analisis serta pengambilan kesimpulan.

#### BAB IV Perancangan Dan Pembuatan Antena Mikrostrip *Rectangular* Dual Frekuensi

Memuat proses perancangan, simulasi dan pembuatan antena mikrostrip *Rectangular* Dual Frekuensi.

#### BAB V Pengujian dan Analisis

Memuat tentang langkah-langkah pengujian dan hasilnya serta analisis berdasarkan hasil pengujian tersebut.

## BAB VI Penutup

Memuat kesimpulan dan saran berdasarkan apa yang telah dicapai dalam penyelesaian skripsi.



## BAB II DASAR TEORI

### 2.1 Gambaran Umum

Sebagai salah satu komponen yang pasti digunakan dalam sistem komunikasi nirkabel, antena telah menjadi bagian yang sangat vital dan harus benar-benar dipertimbangkan baik dalam hal perancangan maupun perawatannya. Antena yang berfungsi sebagai perangkat pemancar & penerima, serta sebagai media peralihan antara ruang bebas (*free space*) dengan saluran transmisi, yakni dari gelombang elektromagnetik menjadi energi listrik atau sebaliknya ini harus terancang dengan baik, hal itu dilihat dari substrat yang digunakan maupun dimensi fisik antena pasca pembuatan.

Antena yang dirancang pada skripsi ini adalah untuk aplikasi WLAN (*Wireless Local Area Network*) dan Wi-Max (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*). WLAN merupakan teknologi nirkabel yang saat ini sedang banyak digunakan perkantoran, sekolah hingga tempat perbelanjaan. Sedangkan Wi-Max merupakan teknologi baru yang sedang dikembangkan di Indonesia, teknologi diharapkan nantinya dapat menjadi *trend* baru dalam dunia pertelekomunikasian Indonesia.

#### 2.1.1 *Wireless Local Area Network (WLAN)*

*Wireless LAN* merupakan sebuah sistem komunikasi data yang fleksibel dan dapat menggantikan atau bahkan memperluas fungsi jaringan LAN dengan kabel (*wired LAN*). *Wireless LAN* menghubungkan beberapa komputer (*wireless client*) dengan titik akses (*access point*) menggunakan gelombang radio sebagai media transmisinya sehingga dapat mentransmisikan dan menerima data melalui udara, melewati dinding serta plafon dan bahkan menembus dinding semen tanpa menggunakan kabel. Untuk *mobile user*, penggunaan *wireless LAN* sangatlah efisien karena komunikasi antara *server* dengan *user* dapat tetap berjalan tanpa harus kehilangan komunikasi di antara keduanya. Selain itu *wireless LAN* juga menawarkan layanan dan keuntungan yang lebih menjanjikan daripada teknologi jaringan biasa.

##### 2.1.1.1 Konfigurasi *Wireless LAN*

*Wireless LAN* dapat dibuat dengan konfigurasi sederhana maupun kompleks. Macam-macam dari topologi yang diterapkan pada wireless LAN antara lain:

### 1. Jaringan *peer-to-peer*

Dua PC (*Personal Computer*) yang dipasang *wireless adapter card* dianggap mampu untuk mengatur sebuah jaringan bebas dan dapat saling berhubungan pada jarak yang telah ditentukan. Pada topologi ini, pengguna dapat mengakses data dari pengguna lainnya tanpa melalui *server* pusat. Gambar 2.1 adalah bentuk topologi jaringan *peer-to-peer*

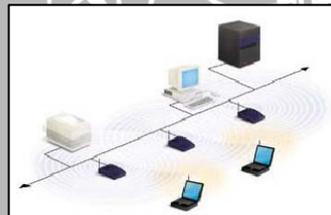


Gambar 2.1 Topologi jaringan *peer-to-peer*

Sumber: <http://www.geocities.com/setyolia>

### 2. Jaringan infrastruktur

Pada topologi ini, pemasangan beberapa *access point* dapat memperluas jangkauan dari jaringan *peer-to-peer*. Selama *access point* terhubung dengan jangkauan kabel, tiap pengguna dapat mengakses data *server* seperti pengguna lainnya. Untuk lebih jelasnya Gambar 2.2 akan menunjukkan topologi jaringan infrastruktur.

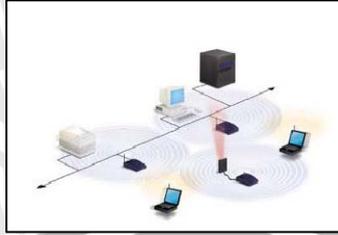


Gambar 2.2 Topologi jaringan infrastruktur

Sumber: <http://www.geocities.com/setyolia>

### 3. Jaringan menggunakan *extension point*

Untuk memperluas jangkauan jaringan *access point*, dapat digunakan *extension point* (EP). *Extension point* mempunyai fungsi yang sama dengan *access point*, tetapi EP tidak terikat dengan jaringan kabel seperti AP. Fungsi EP adalah untuk menambah jangkauan jaringan dengan me-relay sinyal dari *client* menuju AP atau EP yang lainnya. Gambar 2.3 menunjukkan bentuk jaringan *extension point*

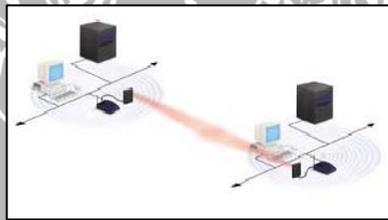


Gambar 2.3 Jaringan menggunakan *extension point*

Sumber: <http://www.geocities.com/setyolia>

#### 4. Jaringan menggunakan antena *directional*

Topologi yang terakhir dari WLAN adalah topologi menggunakan *directional antenna*. Sebagai contoh WLAN di dalam gedung A dan akan menambah ke gedung B dengan jarak 1 mil. Salah satu cara adalah dengan memasang *directional antenna* di masing-masing gedung. Gambar 2.4 menunjukkan jaringan menggunakan antena *directional*.



Gambar 2.4 Jaringan menggunakan *directional antenna*

Sumber: <http://www.geocities.com/setyolia>

#### 2.1.1.2 Standar IEEE 802.11

Standar IEEE 802.11 menghususkan pengembangan teknologi lapisan fisik dan link *wireless LAN* (Lapisan 1 dan 2 OSI). Ada 5 standar yang dipakai yaitu:

1. 802.11a, 5 GHz dengan teknologi OFDM (*Othogonal Frequency Division Multiplex*).
2. 802.11b DSSS pada lapisan fisik dengan transfer data 1 sampai 11Mbps.
3. 802.11e, pengembangan aplikasi LAN dengan *Quality of Service* (QoS), keamanan dan autentifikasi untuk aplikasi seperti suara, *streaming* media dan konferensi video.
4. 802.11f, rekomendasi praktis untuk *Multi – Vendor Access Point Interoperability* melalui *Inter – Access Point Protocol Access Distribution System Support*.

5. 802.11g, standar untuk penggunaan DSSS dengan transfer 20Mbps dan OFDM 54Mbps. Standar ini *backward – compatible* dengan 802.11b dan bisa dikembangkan sampai lebih dari 20Mbps. Untuk lebih jelasnya mengenai standar IEEE yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 2.1

	802.11	802.11a	802.11b	802.11g
Dikeluarkan	Juli 1997	September 1999	September 1999	2002
Bandwidth	83.5 MHz	300 MHz	83.5 MHz	83.5 MHz
Frekuensi	2.4 – 2.4835 GHz DSSS, FHSS	5.15-5.35 GHz OFDM 5.725-5.825 GHz OFDM	2.4-2.4835 GHz DSSS	2.4-2.4835 GHz DSSS, OFDM
Jumlah kanal yang tidak <i>overlapping</i>	3 (indoor/outdoor)	4 (indoor/outdoor)	3 (indoor/outdoor)	3 (indoor/outdoor)
Data rate	2 Mbps, 1 Mbps	54, 48, 36, 24, 18, 12, 9, 6 Mbps	11, 5.5, 2, 1 Mbps	54, 36, 33, 24, 22, 12, 11, 9, 6, 5.5, 2, 1 Mbps
Tipe modulasi	DQPSK (2 Mbps DSSS) DBPSK (1 Mbps DSSS) 4GFSK (2 Mbps FHSS) 2GFSK (1 Mbps FHSS)	BPSK (6,9 Mbps) QPSK (12, 18 Mbps) 16-QAM (24,36 Mbps) 64-QAM (48, 54 Mbps)	DQPSK/CCK (11, 5,5 Mbps) DQPSK (2 Mbps) DBPSK (1 Mbps)	OFDM/CCK (6,9,12,18,24,36,48,54) OFDM (6,9,12,18,24,36,48,54 Mbps) DQPSK/CCK (22,33,11,5.5 Mbps) DQPSK (2 Mbps) DBPSK (1 Mbps)

Tabel 2.1 Standar IEEE 802.11

Sumber : <http://www.wlana.org>

Dari kelima standar protokol yang ada, protokol 802.11a, 802.11b, 802.11g lah yang paling banyak digunakan sekarang ini. 802.11b dipandang unggul karena harganya yang relatif lebih murah dari yang lain. 802.11a memiliki kelebihan pada jangkauan spektrum frekuensi yang lebih tinggi (5-6 GHz), sedang 802.11g memiliki kompatibilitas dengan semua keluarga protokol 802.11 dan *throughputnya* lebih besar.

IEEE 802.11b menggunakan band ISM (*Industry, Science and Medical*) 2,4 GHz dan mampu mencapai kecepatan data 11 Mbps. Kecepatan data yang didukung

adalah 1, 2, 5.5, dan 11 Mbps. Dengan teknologi *spread spectrum*, memiliki jangkauan sampai 800 ft atau 50,000 ft<sup>2</sup>.

Jalur frekuensi yang tersedia pada band ISM 2,4 GHz sekitar 83,5 MHz yang terbentang antara 2,4 sampai 2,4835 GHz. FCC (*Federal Communication Commission*) membagi *band* ini menjadi 11 kanal dengan *guard band* antar kanal sebesar 5 MHz. Berikut Tabel 2.2 menjelaskan struktur jaringan komputer yang dibutuhkan untuk WLAN.

Standar Layanan	IEEE 802.11b
Range Frekuensi	2,4 – 2,4835
Modulasi	QPSK
Skema Modulasi	DSSS
Delay Time total	<150 ms
Mode Transmisi	<i>Full Duplex</i>
Data rate	5.5 Mbps, 11 Mbps
Kecepatan Transmisi	2 Mbps
Daya Pancar	500mW
Jenis Layanan	Teks & Gambar
Kanal Frekuensi	Kanal 11 (2,462 GHz)

Tabel 2.2 *Computer Network Planning Standard Using WLAN*

## 2.2 *Worldwide Interoperability for Microwave Access (Wi-Max)*

Wi-Max (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*) yang merupakan pengembangan teknologi *fixed wireless* adalah salah satu solusi untuk teknologi komunikasi *broadband wireless access*. Dengan Wi-Max kita akan dapat memenuhi paling tidak tiga kebutuhan utama dari telekomunikasi (*any information, anytime, dan anywhere*), yakni *anytime & anywhere communication*. Dengan Wi-Max (dengan konfigurasi *point-to-point* dan *line of sight*), komunikasi akan dapat dilakukan dalam jarak dan kecepatan yang cukup fantastis. Dibanding dengan teknologi wireless pendahulunya (Wi-Fi), kinerja Wi-Max jauh lebih lebih baik dengan radius cakupan layanan sejauh 38 mil (sekitar 48 km), kecepatan sebesar 70 Mbps. Bahkan dengan

kondisi bergerak dengan kecepatan 250 km/jam, Wi-Max masih dapat melayani proses transfer data dengan kecepatan 1 Mbps.

Melalui adanya Wi-Max, tren telekomunikasi akan semakin berkembang dan merata seiring dengan banyaknya kemudahan-kemudahan serta keuntungan-keuntungan yang diperoleh dengan diimplementasikannya Wi-Max. Keuntungan-keuntungan itu antara lain:

1. Akan adanya peningkatan kualitas, kuantitas konten serta jarak jangkauan layanan teknologi *Broadband Wireless Access*.
2. Dapat mendorong perkembangan industri IT (*Information Technology*) serta mendorong terwujudnya implementasi *e-government*, *e-commerce*, *tele-working*, *tele-conferencing*, *tele-education*, *tele-medicine* serta berbagai layanan hiburan.
3. Adanya pemerataan akses data (lebih cepat, mudah, dan lebih murah)
4. Dapat melayani para pengguna, baik yang berada pada posisi LOS (*Line of Sight*) maupun NLOS (*Non-Line of Sight*) dengan jarak jangkauan yang jauh lebih luas serta kecepatan transfer data yang lebih tinggi dari teknologi Wi-Fi

Pada awalnya standar IEEE 802.16 beroperasi pada frekuensi 10-66 GHz dan *line of sight* (LOS), tetapi pengembangan IEEE 802.16a yang disahkan pada bulan Maret 2004, menggunakan frekuensi yang lebih rendah yaitu sebesar 2-11 GHz, sehingga mudah diatur, dan tidak memerlukan LOS. WiMAX dapat mencakup area sekitar 50 km dan kecepatan pengiriman data sebesar 70 Mbps. WiMAX mampu menangani sampai ribuan pengguna sekaligus. Standar IEEE 802.16a kemudian direvisi menjadi IEEE 802.16b yang menekankan segala keperluan dan permasalahan dengan *Quality of Service* (QoS) lalu IEEE 802.16c yang menekankan pada *interoperability* dengan protokol-protokol lain, IEEE 802.16e menekankan pada penggunaan secara *mobile*. Standar protokol untuk aplikasi WiMAX disajikan dalam Tabel 2.3.

	IEEE 802.16	IEEE 802.16a	IEEE 802.16e
Terstandarisasi	Januari 2002	Januari 2003 (IEEE 802.16a)	2004
Spektrum	10-66 GHz	2-11 GHz	< 6 GHz
Kondisi Kanal	<i>Line of Sight</i>	<i>Non Line of Sight</i>	<i>Non Line of Sight</i>
<i>Bit Rate</i>	32 sampai 134 Mbps menggunakan frekuensi kanal 28 MHz	Mencapai 70 Mbps menggunakan frekuensi kanal 20 MHz	Mencapai 15 Mbps menggunakan frekuensi kanal 5 MHz
Modulasi	QPSK, 16 QAM dan 64 QAM	OFDM 256 sub-carrier, QPSK, 16 QAM, 64 QAM	OFDM 256 sub-carrier, QPSK, 16 QAM, 64 QAM
Mobilitas	Perangkat nirkabel tetap	Perangkat nirkabel tetap dan <i>portable</i>	<i>Nomadic Mobility</i>
Frekuensi per Kanal	20, 25 dan 28 MHz	Mulai dari 1,5 hingga 20 MHz	Mulai 1,5 dan 20 MHz
Radius per Cell	2 sampai 5 km	7 – 10 km dengan kemampuan maksimal 50 km (LOS)	2-5 Km

Tabel 2.3. Standar Protokol untuk Wi-Max

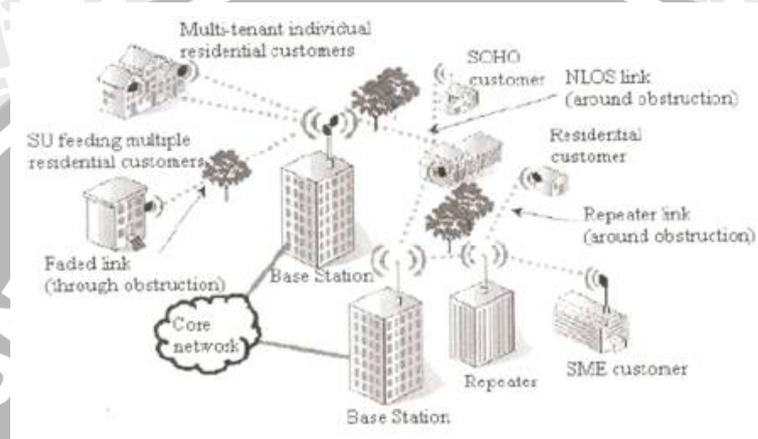
Sumber: www. <http://antzon.wordpress.com/2006/01/28/regulasi-frekuensi-isu-utama-wimax/>

### 2.2.1 Topologi Jaringan Wi-Max

Topologi Jaringan WiMAX dapat dibagi dalam 2 kategori besar yaitu *Point to Multi Point* (PMP) dan *Point to Point* (P2P) serta dapat dikembangkan menjadi jaringan berbentuk mesh. Pada topologi mesh, BS (*Base Station*) digunakan sebagai interface ke *core network* sementara untuk menjangkau pelanggan yang berbeda di luar jangkauan suatu BS, terminal pelanggan atau CPE (*Customer Premises Equipment*) dapat bertindak sebagai router atau repeater bagi terminal pelanggan lainnya. Tentunya terminal pelanggan disini akan menjadi lebih kompleks karena harus dilengkapi dengan kemampuan routing. Melalui cara ini akan diperoleh penambahan *coverage* jaringan secara signifikan. Namun dalam pengembangannya, topologi ini bersifat opsional yang berarti tidak harus diadopsi dalam sistem WiMAX.

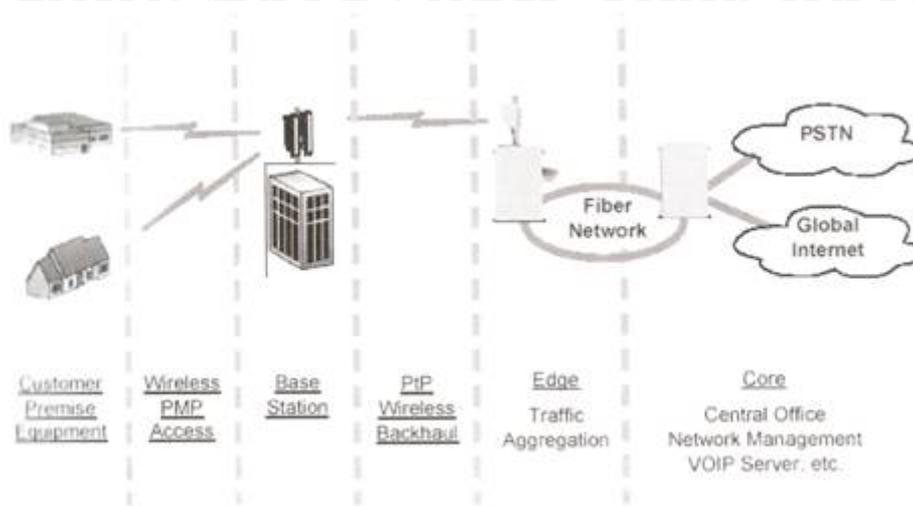
## 2.2.2 Topologi Pengembangan

Topologi Pengembangan yang dimaksud di sini, merupakan varian dari topologi dasar point to point dan point to multipoint. Dengan kedua topologi diatas WiMAX dapat dimanfaatkan untuk memenuhi berbagai topologi seperti Mesh maupun gabungan atau integrasi antara *point to point* dan *point to multi point*. Ilustrasi konfigurasi Mesh dapat dilihat pada Gambar 2.5 berikut :



Gambar 2.5. Topologi Mesh (ETSI TR 101 856)  
(Sumber: Wibisono, 2006:14)

Dalam implementasi di lapangan, topologi jaringan PMP adalah yang paling banyak diadopsi karena lebih efisien dibandingkan P2P, karena pada topologi PMP hanya dibutuhkan satu saja transmitter untuk melayani beberapa user dalam waktu yang bersamaan, sedangkan pada P2P satu user dilayani oleh satu transmitter. Gambar 2.5 memperlihatkan konfigurasi jaringan yang menggunakan kombinasi antara topologi P2P digunakan untuk ke CPE. Sementara topologi P2P digunakan untuk menghubungkan BS ke jaringan transport atau *backhaul*. Untuk lebih jelasnya mengenai kombinasi PMP dan P2P dapat dilihat pada Gambar 2.6



Gambar 2.6. Kombinasi Topologi PMP dan P2P

(Sumber: Wibisono, 2006:16)

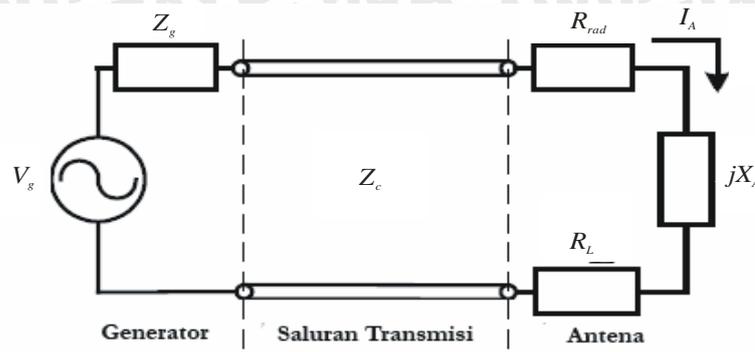
### 2.2.3 Alokasi Frekuensi Wi-Max

*Licensed frequency* yang dikembangkan untuk Wi-Max pada tahap awal berada pada 2,5 GHz (2500-2690 MHz dan 2700-2900 MHz) dan 3,5 GHz (3400-3600 MHz). Frekuensi 3,5 GHz pada banyak negara berstatus *secondary* karena bentrok dengan spektrum frekuensi untuk komunikasi satelit Extended C-Band (3400-3700 MHz). Pengembangan tahap berikutnya direncanakan pada spektrum frekuensi 2305-2320 MHz, 2345-2360 MHz, dan 3300-3400 MHz.

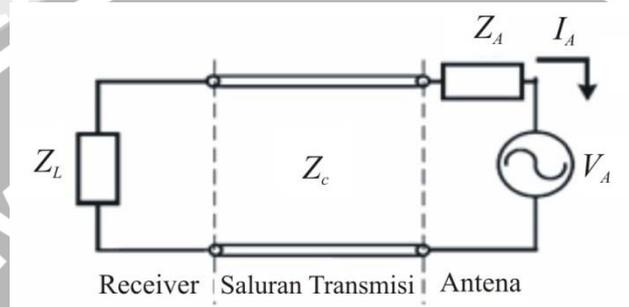
Pada bab ini akan dibahas pula beberapa teori penunjang untuk perencanaan dan pembuatan antena mikrostrip *square array*, teori dasar dan parameter dasar antena yang akan dihitung dan diukur. Parameter-parameter dasar tersebut meliputi impedansi terminal, polarisasi, pola radiasi, keterarahan, *gain*, *VSWR*, *return loss* (RL), dan *bandwidth*.

## 2.3 Konsep Dasar Antena

Antena merupakan instrumen yang penting dalam suatu sistem komunikasi radio yang berfungsi sebagai sarana untuk memancarkan/meradiasikan dan menerima radiasi gelombang elektromagnetik (*IEEE standard Definitions of Terms 145-1983*). Dengan kata lain antena adalah media peralihan antara saluran transmisi dengan ruang bebas, yang mengubah energi dari gelombang yang dipandu menjadi energi gelombang elektromagnetik atau sebaliknya. Adapun rangkaian ekivalen atau pengganti antena untuk memancar ataupun menerima dapat dilihat pada Gambar 2.7



a. Rangkaian ekivalen saluran transmisi dengan mode memancar.



b. Rangkaian ekivalen saluran transmisi dengan mode menerima.

Gambar 2.7 Rangkaian pengganti antenna

Sumber : Anonim

Keterangan :

- $V_g$  = generator sumber tegangan
- $Z_g$  = impedansi generator
- $R_{rad}$  = resistansi radiasi
- $R_L$  = resistansi rugi
- $jX_A$  = reaktansi antenna
- $Z_A$  = impedansi antenna

Dalam kondisi ideal, energi yang dihasilkan oleh sumber seharusnya ditransmisikan seluruhnya oleh antenna. Namun pada kenyataannya terdapat kerugian konduksi-dielektrik yang diakibatkan oleh rugi-rugi yang umum terjadi pada suatu saluran transmisi dan ketidaksesuaian impedansi antara saluran transmisi dengan antenna.

#### 2.4 Parameter Dasar Antena

Untuk menggambarkan performa dari suatu antenna maka diperlukan pendefinisian berbagai parameter antenna. Beberapa diantara parameter tersebut saling berhubungan dan semuanya tidak harus disebutkan untuk menggambarkan performa antenna secara keseluruhan (Balanis, 1997 :28).

Terdapat beberapa karakteristik antenna yang perlu dan penting untuk diketahui dalam pemilihan maupun perancangan sebuah antenna. Karakteristik itu antara lain: pola radiasi, intensitas radiasi, polarisasi, *directivity*, *gain*, *bandwidth*, *VSWR*, *antenna efficiency*, *input impedance*, dan *return loss*.

### 2.4.1 Pola Radiasi

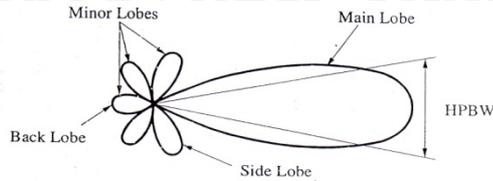
Pola radiasi antenna didefinisikan sebagai fungsi matematis atau representasi grafis dari sifat-sifat radiasi antenna sebagai fungsi dari koordinat ruang. Dalam banyak kasus, pola radiasi ditentukan dalam *far-field region* dan direpresentasikan sebagai fungsi koordinat jarak. Sifat-sifat radiasi meliputi rapat fluks daya, intensitas radiasi, kuat medan, *directivity* fasa atau polarisasi.

#### 2.4.1.1 Pola *Isotropic*, *Directional*, dan *Omnidirectional*

Berdasarkan pola radiasinya, antenna terbagi atas antenna dengan pola radiasi *Isotropic*, *Directional*, dan *Omnidirectional*. Radiator isotropis didefinisikan sebagai hipotesis antenna tanpa rugi yang mempunyai radiasi sebanding dalam semua arah. Meskipun pola seperti ini adalah pola ideal yang secara fisik tidak mungkin direalisasikan, namun seringkali dijadikan acuan untuk menyatakan sifat keterarahan suatu antenna. Antena direksional adalah antenna yang mempunyai sifat radiasi atau penerimaan gelombang EM yang lebih efektif pada suatu arah tertentu dibandingkan arah lainnya. Sedangkan antenna *omnidirectional* adalah antenna yang mempunyai pola *directional* pada suatu bidang tertentu dan pola *non-directional* pada bidang tegak lurus lainnya.

#### 2.4.1.2 *Lobe* Pola Radiasi

Pola radiasi terdiri atas bagian-bagian yang disebut *Lobes*, yang dikelompokkan ke dalam *major* dan *minor* (*side* dan *back lobe*). Adapun untuk pembagian lobe selanjutnya dapat dilihat pada Gambar 2.8



Gambar 2.8 Lobe-lobe Pola Radiasi

Sumber : Balanis, 1997 :31

- *HPBW (Half Power Beamwidth)* dapat didefinisikan sebagai sudut yang terbentuk oleh titik setengah daya dari *main lobe*
- *Main Lobe* : Bagian dari daerah radiasi yang arah radiasi antenna maksimum.
- *Minor lobe*: Bagian ini menyatakan daerah radiasi yang tidak diinginkan. Level dari *minor lobe* ini menyatakan besarnya rasio densitas daya atau *side lobe level*.
- *Back lobe* : Bagian dari *minor lobe* yang berlawanan dengan *main lobe*.
- *Side lobe* : Bagian dari *minor lobe* yang bersebelahan dengan *main lobe*.

Pola radiasi antenna dapat dihitung dengan perbandingan antara daya pada sudut nol derajat (radiasi daya maksimum) dengan daya pada sudut tertentu. Maka pola radiasi (*P*) dinyatakan (Balanis, 1982) :

$$P(dB) = 10 \cdot \log \frac{P_o}{P_T} (dB) \tag{2-1}$$

$$P(dB) = 10 \cdot \log P_o - 10 \cdot \log P_T \tag{2-2}$$

dengan :

*P* = intensitas radiasi antenna pada sudut tertentu (*dB*)

*P<sub>o</sub>* = daya yang diterima antenna pada sudut 0° (*watt*)

*P<sub>T</sub>* = daya yang diterima antenna pada sudut tertentu (*watt*)

Sebagian besar antenna dirancang untuk mengkonsentrasikan energi pada satu arah tertentu. Ukuran konsentrasi pada *main lobe* tersebut dinamakan *Beamwidth*. *Half Power Beamwidth* (*HPBW*) didefinisikan sebagai sudut antara titik-titik di mana pada titik tersebut pancaran utama dari pola daya adalah setengah daya maksimum.

Nilai *F/B* suatu antenna merupakan perbandingan daya pada arah pancar terbesar yang dikehendaki (*main lobe*) dengan daya pada arah pancar yang berlawanan dengan *main lobe* (*minor lobe*), sehingga nilai *F/B* adalah:

$$\frac{F}{B} = \frac{P_m}{P_l} \tag{2-3}$$

$$\frac{F}{B} \text{ (dB)} = P_m \text{ (dBm)} - P_l \text{ (dBm)}$$

dengan :

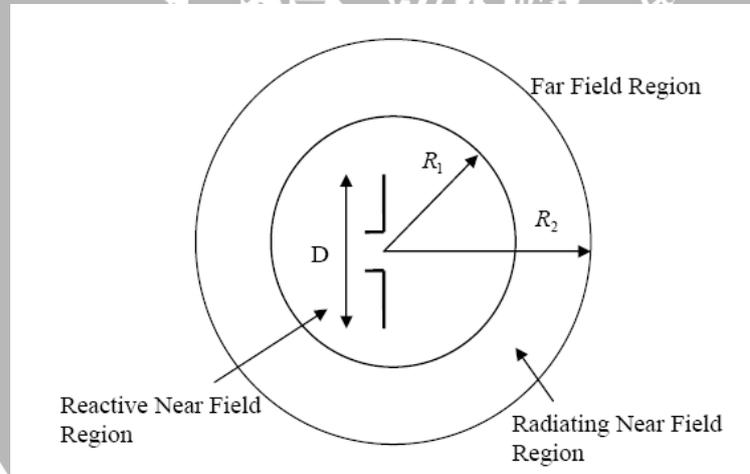
$$\frac{F}{B} = \text{Front to Back ratio (dB)}$$

$$P_m = \text{daya puncak main lobe (dBm)}$$

$$P_l = \text{daya puncak back lobe (dBm)}$$

### 2.4.1.3 Daerah Medan Radiasi

Daerah medan radiasi suatu antenna adalah daerah di mana radiasi antenna tersebut masih dapat diterima dengan baik. Daerah medan radiasi ini disebut juga jangkauan sinyal dari suatu antenna sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Pembagian Daerah Medan Radiasi Antena

Sumber : Balanis, 1997 :33

$$\text{dengan } r_1 = 0,62 \sqrt{\frac{D^2}{\lambda}}, \tag{2-4}$$

$$r_2 = \frac{2D^2}{\lambda} \tag{2-5}$$

$r_1$  dan  $r_2$  = jarak medan radiasi (m)

Daerah medan radiasi terbagi menjadi tiga, yaitu :

- *Reactive Near-Field Zone*

Pada daerah ini, medan reaktif sangat mendominasi.

Batas daerah ini:

$$r < 0,62 \sqrt{\frac{2D^3}{\lambda}} \quad (2-6)$$

dengan  $r$  = jarak medan radiasi (m)

$\lambda$  = panjang gelombang (m)

$D$  = dimensi antenna (m)

- *Radiating Near-Field (Fresnel) Zone*

Adalah daerah medan di antara *reactive near field zone* dan *far field zone*.

Pada daerah ini, medan radiasi sangat berpengaruh. Dan distribusi medan sudut (*angular field distribution*) bergantung pada jarak dari antenna.

Batas daerah ini :

$$0,62 \sqrt{\frac{D^3}{\lambda}} \leq \text{daerah Fresnel} < \frac{2D^2}{\lambda} \quad (2-7)$$

- *Far-Field (Franhouffer) Zone*

Adalah daerah medan antenna dengan distribusi medan sudut sangat tidak bergantung pada jarak dari antenna.

Batas daerah ini :

$$\frac{2D^2}{\lambda} \leq r < \infty \quad (2-8)$$

Pola medan pada daerah ini mempunyai komponen-komponen medan saling tegak lurus.

#### 2.4.1.4 Intensitas Radiasi

Intensitas Radiasi dalam arah tertentu didefinisikan sebagai daya yang diradiasikan dari suatu antenna per satuan sudut solid. Intensitas radiasi adalah parameter medan jauh dan dapat diperoleh melalui perkalian rapat radiasi dengan kuadrat jarak. Dalam bentuk persamaan matematis Intensitas radiasi dinyatakan sebagai :

$$U = r^2 W_{rad} \quad (2-9)$$

dengan

$U$  = intensitas radiasi (W/satuan sudut solid)

$W_{rad}$  = rapat radiasi ( $W/m^2$ )

Intensitas radiasi juga berhubungan dengan medan elektrik jauh (*far-zone*), yang dinyatakan dengan persamaan

$$U(\theta, \phi) \cong \frac{1}{2\eta} \left[ |E_\theta^o(\theta, \phi)|^2 + |E_\phi^o(\theta, \phi)|^2 \right] \quad (2-10)$$

dengan

$E_\theta, E_\phi$  = komponen medan elektrik jauh suatu antenna

$\eta$  = impedansi intrinsik medium

Sehingga pola daya juga merupakan pengukuran intensitas radiasi. Total daya diperoleh dengan mengintegalkan intensitas radiasi, seperti dinyatakan dalam persamaan (2-8) terhadap luasan sudut solid,  $4\pi$ . Sehingga

$$P_{rad} = \oint_{\Omega} I d\Omega = \int_0^{2\pi} \int_0^\pi I \sin \theta d\theta d\phi \quad (2-11)$$

dengan:  $d\Omega$  = elemen sudut solid =  $\sin \theta d\theta d\phi$

#### 2.4.2 Directivity (Keterarahan)

*Directivity* sebuah antenna didefinisikan sebagai perbandingan antara intensitas radiasi antenna pada suatu arah tertentu dengan intensitas radiasi rata-rata dari segala arah. Intensitas radiasi rata-rata sebanding dengan total daya yang diradiasikan oleh antenna dibagi dengan  $4\pi$ . Dengan kata lain *directivity* adalah kemampuan suatu antenna untuk mengkonsentrasikan energinya pada satu arah tertentu. Secara sederhana, keterarahan sumber *non-isotropic* sebanding dengan rasio intensitas radiasinya pada suatu arah tertentu terhadap intensitas radiasi sumber isotropis.

$$D = \frac{U}{U_0} = \frac{4\pi U}{P_{rad}} \quad (2-12)$$

Jika arah tidak ditentukan, maka arah yang dimaksud menyatakan arah dari intensitas radiasi maksimum yang dinyatakan sebagai

$$D_{max} = D_0 = \frac{U_{max}}{U_0} = 10 \log \frac{4\pi U_{max}}{P_{rad}} \quad (2-13)$$

dengan :

$D_0$  = *directivity* (dB)

$U_{max}$  = intensitas radiasi maksimum (*watt*)

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

Nilai keterarahan sebuah antenna dapat diketahui dari pola radiasi antenna tersebut, semakin sempit *main lobe* maka keterarahannya semakin baik dibanding *main lobe* yang lebih lebar. Nilai keterarahan jika dilihat dari pola radiasi sebuah antenna adalah sebagai berikut (Balanis, 1982 : 20)

$$D_0 = 10 \log \frac{4\pi \left(\frac{180}{\pi}\right)^2}{\theta_{HP} \cdot \phi_{HP}} \quad (2-14)$$

$$D_0 = 10 \log \frac{41252.96125}{\theta_{HP} \cdot \phi_{HP}} \quad (2-15)$$

dengan

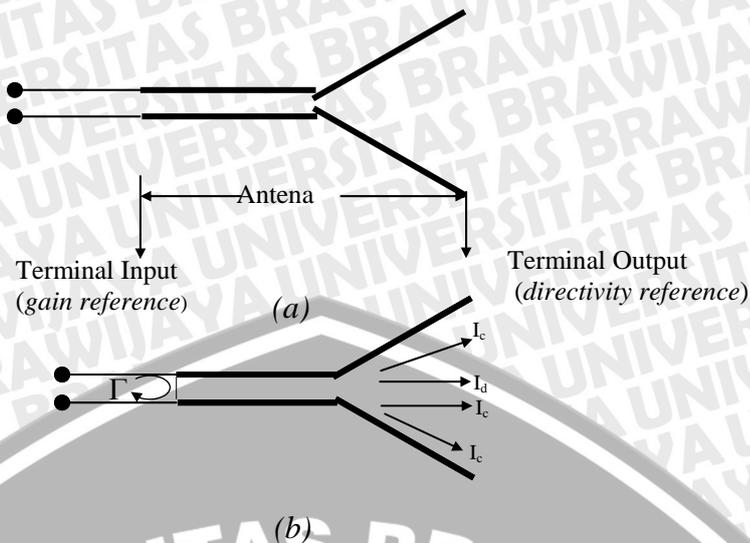
$D_{dB}$  = keterarahan (*directivity*) (dB)

$\theta_{HP}$  = lebar berkas daya pada polarisasi horisontal ( $^{\circ}$ )

$\phi_{HP}$  = lebar berkas daya pada polarisasi vertikal ( $^{\circ}$ )

### 2.4.3 Gain (Penguatan)

Salah satu pengukuran yang penting untuk menggambarkan performa suatu antenna adalah *gain* (penguatan). Meski *gain* antenna erat kaitannya dengan *directivity*, *gain* adalah pengukuran yang memperhitungkan efisiensi antenna maupun keterarahannya. *Gain* antenna dibedakan atas : *absolute gain* dan *relative gain*. Untuk membahas kedua jenis gain ad baiknya melihat Gambar 2.10 yaitu terminal referensi dan rugi-rugi antenna.



Gambar 2.10 Terminal referensi dan rugi-rugi antenna

Sumber : Balanis, 1997 : 59

*Absolute gain* suatu antenna (pada arah tertentu) didefinisikan sebagai perbandingan intensitas radiasi antenna pada arah tertentu terhadap intensitas radiasi yang akan diperoleh jika daya yang diterima antenna diradiasikan secara isotropis. Intensitas radiasi dari daya yang diradiasikan secara isotropis sebanding dengan daya yang diterima (pada terminal input) antenna dibagi dengan  $4\pi$ . Dalam bentuk persamaan, hal ini dapat dinyatakan sebagai

$$G = 4\pi \frac{\text{radiation intensity}}{\text{total input power}} = 4\pi \frac{I(\theta, \phi)}{P_{in}} \quad (2-16)$$

Dalam banyak kasus kita berhubungan dengan *relative gain* yang didefinisikan sebagai perbandingan penguatan daya pada arah tertentu terhadap penguatan daya antenna referensi dalam arah acuannya (dengan catatan bahwa kedua antenna mempunyai daya masukan yang sama). Untuk *gain* relatif, antenna referensi yang digunakan berupa antenna sumber isotropis tanpa rugi. Sehingga

$$G = \frac{4\pi I(\theta, \phi)}{P_{in} \text{ (lossless isotropic source)}} \quad (2-17)$$

Pada praktiknya pengukuran gain dilakukan dengan menggunakan metode perbandingan (*Gain-comparison Method*) atau *gain transfer mode*. Prinsip pengukuran ini adalah dengan menggunakan antenna referensi (biasanya antenna *dipole* standar) yang sudah diketahui nilai *gain*nya (Stutzman, 1981: 39). Sehingga besar *gain* terhadap sumber isotropis adalah :

$$G = G_{ref} \times \frac{P_U}{P_R} \quad (2-18)$$

$$G = 1,64 \times \frac{P_U}{P_R} \quad (2-19)$$

$$G(dB) = 10 \log 1,64 \frac{P_U}{P_R} \quad (2-20)$$

$$G = 2,15 + P_U(dBm) - P_R(dBm) \quad (2-21)$$

dengan

$G$  = gain antenna uji (dB)

$G_{ref}$  = gain antenna referensi (dB)

$P_U$  = daya yang diterima antenna uji (dBm)

$P_R$  = daya yang diterima antenna referensi (dBm)

#### 2.4.4 Efisiensi Antena

Total efisiensi antena  $e_o$  digunakan untuk menghitung rugi-rugi pada terminal input dan didalam struktur antena. Rugi-rugi tersebut dapat diakibatkan oleh

1. Pantulan gelombang elektromagnet yang disebabkan adanya ketidaksesuaian antara saluran transmisi dan antena.
2. Rugi  $I^2R$  (konduksi dan dielektrik).

Secara umum keseluruhan efisiensi dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$e_o = e_r e_c e_d \quad (2-22)$$

dengan:

$e_o$  = efisiensi total (tanpa dimensi)

$e_r$  = efisiensi refleksi (pantulan) =  $(1 - |\Gamma|^2)$  (tanpa dimensi)

$e_c$  = efisiensi konduksi (tanpa dimensi)

$e_d$  = efisiensi dielektrik (tanpa dimensi)

$\Gamma$  = koefisien refleksi pada terminal input antena

=  $\left( \frac{Z_{in} - Z_0}{Z_{in} + Z_0} \right)$ , dengan  $Z_{in}$  = impedansi input antena dan

$Z_0$  = impedansi karakteristik saluran transmisi

Biasanya  $\epsilon_c$  dan  $\epsilon_d$  sangat sulit untuk dihitung, tapi dapat ditentukan melalui percobaan. Sekalipun dengan perhitungan keduanya tidak dapat dipisahkan, dan biasanya akan lebih mudah untuk dinyatakan sebagai

$$e_0 = e_r e_{cd} = e_{cd} (1 - |\Gamma|^2) \quad (2-23)$$

dengan  $e_{cd} = e_c e_d =$  efisiensi radiasi antena, yang biasanya digunakan untuk menghubungkan *gain* dan direktivitas antena ( $e_{cd} = \frac{G}{D}$ ).

#### 2.4.5 Return Loss

*Return loss* ( $S_{11}$ ) adalah salah satu parameter yang digunakan untuk mengetahui berapa banyak daya yang hilang pada beban dan tidak kembali sebagai pantulan. Seperti halnya *VSWR*, *return loss* merupakan parameter yang menggambarkan kesesuaian impedansi (*matching*) antena. Koefisien refleksi merupakan perbandingan antara tegangan yang dipantulkan terhadap tegangan maju. Antena yang sangat bagus dapat memiliki nilai *return loss* yang lebih rendah dari  $-10$  dB sehingga 90% sinyal diserap dan hanya 10% yang dipantulkan kembali.

Koefisien refleksi dinyatakan sebagai

$$\Gamma = \frac{V_o^-}{V_o^+} \quad (2-24)$$

dengan  $V_o^-$  adalah tegangan pantul dan  $V_o^+$  adalah tegangan pancar.

*Return loss* dinyatakan sebagai bentuk logaritmik dari koefisien pantul.

$$S_{11} = -20 * \log|\Gamma| \quad (2-25)$$

Untuk *matching* sempurna antara *transmitter* dan antena, maka nilai  $\Gamma = 0$  dan  $RL = \infty$  yang berarti tidak ada daya yang dipantulkan, sebaliknya jika  $\Gamma = 1$  dan  $RL = 0$  dB maka semua daya dipantulkan.

#### 2.4.6 VSWR

*VSWR* adalah rasio amplitudo tegangan maksimum terhadap amplitudo tegangan minimum dalam pola tegangan berdiri. Fluktuasi level daya yang dikarenakan adanya ketidaksesuaian saluran transmisi dengan beban. Besarnya nilai *VSWR* bervariasi antara 1 sampai  $\infty$  (tak terhingga). Semakin tinggi *VSWR*, semakin besar pula ketidaksesuaian.

$$VSWR = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \tag{2-26}$$

**2.4.7 Bandwidth**

*Bandwidth* didefinisikan sebagai jangkauan frekuensi dimana performa antena, dengan mengacu pada beberapa karakteristik, dapat memenuhi standar yang telah ditentukan. Untuk antena *broadband*, *bandwidth* biasanya dinyatakan sebagai perbandingan frekuensi atas dengan frekuensi bawah dalam rentang frekuensi kerja. Untuk antena *narrowband*, *bandwidth* dinyatakan sebagai persentase beda frekuensi (frekuensi atas kurang frekuensi bawah) terhadap frekuensi tengah dari lebar pita.

Untuk persamaan *bandwidth* dalam persen ( $B_p$ ) atau sebagai *bandwidth* rasio ( $B_r$ ) dinyatakan sebagai (Punit, 2004 : 22) :

$$B_p = \frac{f_u - f_l}{f_c} \times 100\% \tag{2-27}$$

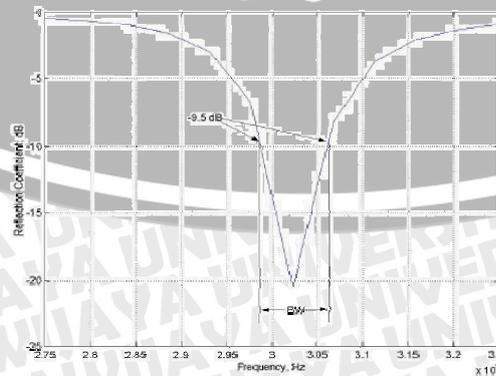
$$f_c = \frac{f_l + f_u}{2} \tag{2-28}$$

$$B_r = \frac{f_u}{f_l} \tag{2-29}$$

dengan :

- $B_p$  = *bandwidth* dalam persen (%)
- $B_r$  = *bandwidth* rasio
- $f_u$  = jangkauan frekuensi atas (Hz)
- $f_l$  = jangkauan frekuensi bawah (Hz)

Untuk lebih jelasnya mengenai gambar dari hasil pengukuran *bandwidth* dapat dilihat pada Gambar 2.11



Gambar 2.11 Pengukuran *bandwidth* berdasarkan *plot return loss*

Sumber: Punit S. Nakar, 2004 : 22



Salah satu cara untuk menentukan *bandwidth* dapat dilakukan dengan mengukur lebar rentang frekuensi dengan batasan -10 dB pada grafik *return loss*.

#### 2.4.8 Polarisasi

Suatu medan elektromagnetik terdiri atas medan listrik dan medan magnet yang saling tegak lurus satu sama lain. Energi dari medan elektromagnetik mengalir bolak-balik dari satu medan ke medan lainnya dengan cara berosilasi. Fenomena ini disebut polarisasi. Polarisasi gelombang teradiasi merupakan sifat gelombang elektromagnet yang menggambarkan vektor medan elektrik yang arahnya berubah terhadap waktu dan besaran relatif dari vektor medan elektrik tersebut.

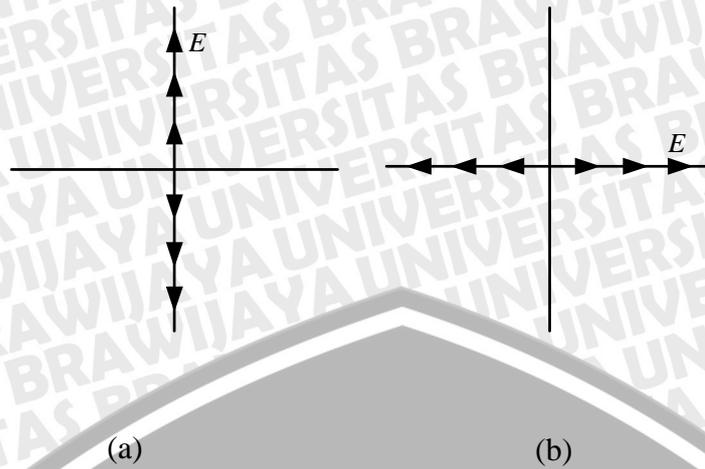
Polarisasi suatu antenna dalam arah tertentu didefinisikan sebagai polarisasi gelombang yang diradiasikan oleh antenna. Ketika arahnya tidak diberitahukan, maka polarisasi yang dianggap adalah polarisasi pada arah *gain* maksimum. Pada kenyataannya polarisasi dari energi radiasi bervariasi dengan arah dari pusat antenna, sehingga bagian pola yang berbeda mungkin mempunyai polarisasi yang berbeda. Terdapat tiga tipe polarisasi: polarisasi *linear*, *circular* dan *elliptical*. Polarisasi *linear* ditentukan oleh posisi dan arah medan elektrik terhadap *ground* atau permukaan bumi sebagai acuan. Ketika medan elektrik sejajar dengan *ground*, maka disebut polarisasi *horizontal* dan disebut polarisasi *vertikal* apabila tegak lurus dengan *ground*.

##### 2.4.8.1 Polarisasi Linier

Suatu gelombang dikatakan terpolarisasi linier apabila vektor medan elektrik (atau medan magnetik) pada suatu titik selalu diorientasikan sepanjang garis lurus yang sama pada setiap waktu sesaat. Kondisi yang memenuhi hal ini adalah apabila vektor medan (elektrik atau magnetik) memiliki :

- Hanya satu komponen, atau
- Dua komponen *orthogonal linear* yang sefasa dalam waktu atau berbeda fasa sebesar  $180^\circ$  (atau kelipatannya).

Untuk mengetahui lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 2.12 tentang polarisasi vertical dan polarisasi horizontal.



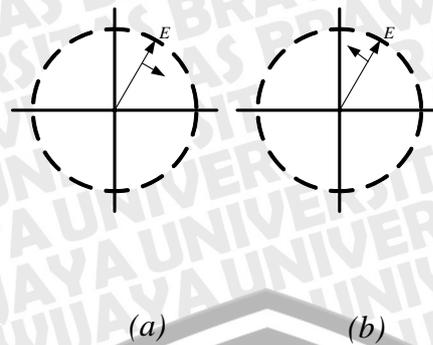
(a) Polarisasi Linier Vertikal  
 (b) Polarisasi Linear Horizontal  
 Sumber : Punit, 2004 : 21

#### 2.4.8.2 Polarisasi Lingkaran

Suatu gelombang dikatakan terpolarisasi lingkaran apabila vektor medan elektrik (atau medan magnetik) pada suatu titik membentuk suatu lingkaran sebagai fungsi waktu. Kondisi yang memenuhi hal ini adalah apabila vektor medan (elektrik atau magnetik) memiliki :

- Medan harus mempunyai dua komponen *orthogonal linear*, dan
- Kedua komponen harus mempunyai besaran yang sama, dan
- Kedua komponen harus mempunyai perbedaan fasa sebesar perkalian ganjil dari  $90^\circ$  dalam waktu.

Penentuan arah rotasi selalu ditentukan dengan merotasi komponen yang fasanya mendahului terhadap komponen yang tertinggal fasa dan mengamati rotasi medan seolah-olah gelombang tersebut terlihat bergerak menjauh dari pengamat. Jika rotasinya searah jarum jam, maka gelombang terpolarisasi sirkular sesuai kaidah tangan kanan; jika rotasinya berlawanan arah jarum jam, maka gelombang terpolarisasi sirkular menurut kaidah tangan kiri. Rotasi komponen mendahului fasa terhadap komponen tertinggal fasa harus dilakukan sepanjang pemisahan sudut diantara dua komponen yang kurang dari  $180^\circ$ . Fasa yang lebih besar atau sama dengan  $0^\circ$  dan kurang dari  $180^\circ$  akan dianggap mendahului sedangkan yang lebih besar dari atau sama dengan  $180^\circ$  dan kurang dari  $360^\circ$  akan dianggap tertinggal. Untuk mengetahui lebih jelasnya bentuk dari polarisasi *circular* dapat dilihat pada gambar 2.13



Gambar 2.13 : a) *Right hand circular polarization.*  
b) *Left hand circular polarization.*

Sumber: : Punit, 2004 : 21

### 2.4.8.3 Polarisasi Elips

Suatu gelombang dikatakan terpolarisasi elips apabila ujung vektor medan elektrik (atau medan magnetik) pada suatu titik membentuk kedudukan elips dalam ruang. Pada variasi waktu sesaat, medan vektor berubah secara kontinyu seiring waktu dengan cara yang sama untuk menggambarkan tempat kedudukan elips. Arah rotasi ditentukan dengan menggunakan aturan yang sama seperti halnya pada polarisasi sirkular. Sebagai tambahan untuk mengetahui arah rotasi, gelombang yang terpolarisasi *elliptical* juga dinyatakan dengan rasio aksial yang besarnya merupakan perbandingan sumbu *major* terhadap sumbu *minor*nya. Kondisi yang memenuhi hal ini adalah apabila vektor medan (elektrik atau magnetik) memiliki :

- Medan harus mempunyai dua komponen *orthogonal linear*, dan
- Kedua komponen dapat memiliki besaran yang sama atau berbeda.
- (1) Jika keduanya memiliki besaran yang berbeda, beda fasa-waktu diantara keduanya tidak boleh  $0^\circ$  atau perkalian  $180^\circ$  (karena akan bersifat linier).  
(2) Jika kedua komponen memiliki besaran yang sama, beda fasa-waktu diantara keduanya tidak boleh kelipatan bilangan ganjil dari  $90^\circ$  (karena akan bersifat *circular*).

### 2.4.9 Impedansi Input

Impedansi input didefinisikan sebagai impedansi yang ditunjukkan oleh antena pada terminal-terminalnya atau perbandingan antara tegangan terhadap arus pada pasangan terminalnya (Balanis, 1997: 73). Transfer daya maksimum hanya dapat terjadi jika impedansi antena tersebut *matching* dengan bebannya, dimana melibatkan

*conjugate kompleks* dari impedansi beban. Perbandingan tegangan dan arus pada terminal-terminal tanpa beban, memberikan impedansi masukan antenna sebesar

$$Z_{in} = R_{in} + jX_{in} \quad (2-30)$$

dengan :

$Z_{in}$  = impedansi antenna di terminal ( $\Omega$ )

$R_{in}$  = resistansi antenna di terminal ( $\Omega$ )

$X_{in}$  = reaktansi antenna di terminal ( $\Omega$ )

Dalam tugas akhir ini menggunakan saluran mikrostrip yang juga memiliki resistansi merupakan rugi-rugi dalam saluran mikrostrip. Resistansi rugi-rugi pada antenna mikrostrip sama dengan resistansi rugi-rugi pada antenna konvensional, yaitu terdiri dari rugi konduktor dan rugi radiasi yang dinyatakan oleh persamaan berikut :

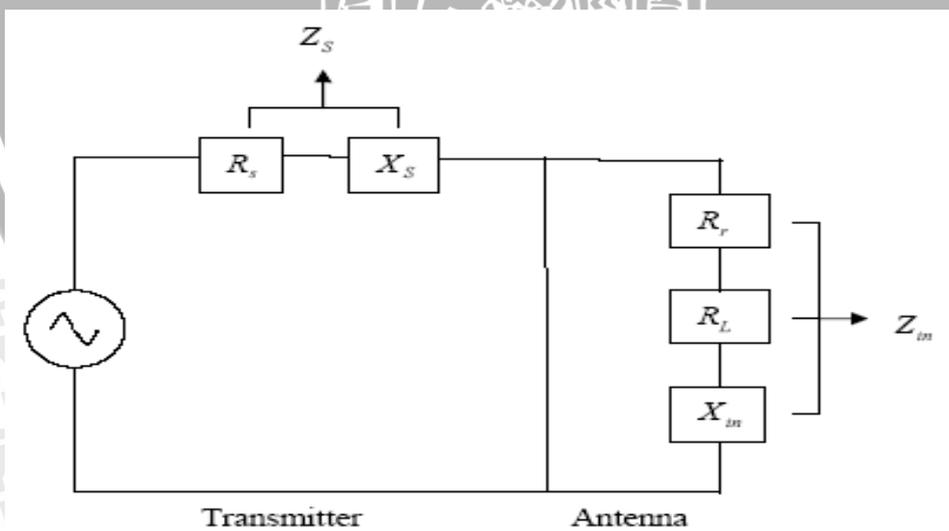
$$R_A = R_r + R_S \quad (2-31)$$

dengan :

$R_r$  = resistansi radiasi ( $\Omega$ )

$R_S$  = resistansi konduktor ( $\Omega$ )

Resistansi radiasi pada antenna penerima adalah suatu resistansi khayal akibat adanya radiasi pada antenna sehingga mengurangi daya yang disalurkan pada antenna penerima sedangkan resistansi konduktor dipengaruhi oleh konduktivitas bahan yang digunakan.



Gambar 2.14 Rangkaian ekivalen antenna pemancar

Sumber: Punit S. Nakar, 2004 : 31

Pada Gambar 2.14, impedansi dari sumber ( $Z_S$ ) terdiri dari resistansi sumber ( $R_S$ ) dan reaktansi dari sumber ( $X_S$ ). Sedangkan  $Z_{in}$  terdiri dari  $R_{in}$  dan  $X_{in}$ . Nilai  $R_{in}$  terdiri dari dua komponen resistif, resistansi radiasi ( $R_r$ ) dan resistansi rugi-rugi ( $R_L$ ). Daya yang hilang akibat resistansi rugi-rugi adalah rugi-rugi yang disebabkan karena panas antenna. Panas antenna ini disebabkan oleh rugi dielektrik dan rugi konduksi. Sedangkan  $X_{in}$  adalah reaktansi antenna yang menunjukkan daya yang disimpan di daerah medan dekat.

Daya maksimum diradiasikan dari antenna pada frekuensi dimana impedansi input mendekati nilai riil. Biasanya antenna dicatu oleh saluran transmisi seperti kabel koaksial, mikrostrip dan sebagainya. Tujuannya adalah untuk menyesuaikan impedansi antenna dengan impedansi karakteristik saluran transmisi. Jika kondisi *matching* tidak tercapai, kemungkinan terjadi pemantulan dan hal ini yang menyebabkan terjadinya gelombang berdiri (*standing waves*).

Sebagai tambahan,  $Z_{in}$  dapat diperoleh dengan menghitung data *return loss* ( $S_{11}$ ) terukur dan impedansi karakteristik ( $Z_0$ ) dengan menggunakan persamaan berikut:

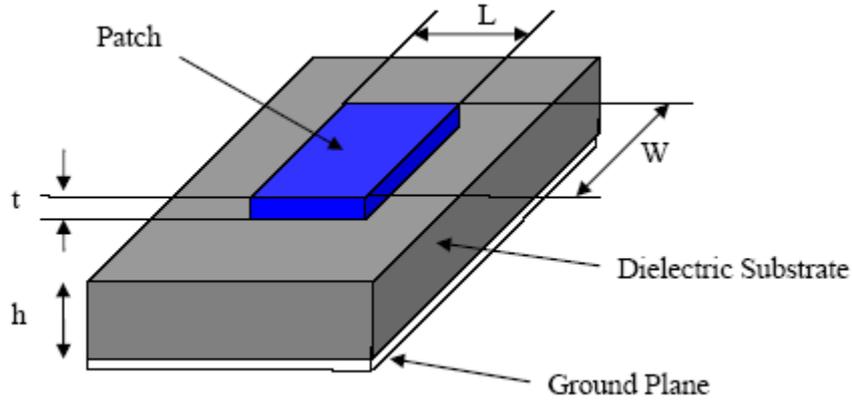
$$S_{11} = \frac{Z_{in} - Z_0}{Z_{in} + Z_0} \quad (2-32)$$

Persamaan diatas dapat dituliskan secara eksplisit untuk menghitung impedansi masukan antenna sebagaimana persamaan berikut:

$$Z_{in} = Z_0 \frac{S_{11} - 1}{S_{11} + 1} \quad (2-33)$$

## 2.5 Antena *Microstrip*

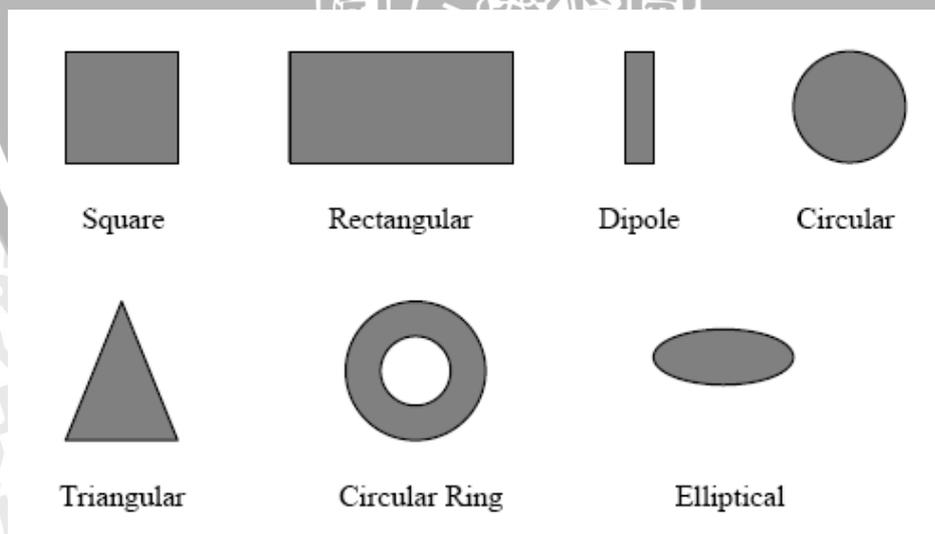
Pada dasarnya antenna *microstrip* terdiri atas lapisan peradiasi (*patch*) yang berada pada suatu lapisan (*substrate*) dielektrik yang mempunyai bidang pentanahan pada salah satu sisinya (Liao, 1987: 197). Lapisan peradiasi pada umumnya terbuat dari bahan penghantar (konduktor) dan dapat memiliki bentuk yang bermacam-macam. Lapisan peradiasi dan saluran transmisi biasanya dicetak diatas bahan dielektrik. Gambar 2.15 menunjukkan struktur antenna mikrostrip.



Gambar 2.15 Struktur antenna mikrostrip

Sumber: Punit S. Nakar, 2004 : 31

Untuk mempermudah dalam hal memprediksi dan menganalisis kinerja antenna, lapisan peradiasi umumnya berbentuk kotak, persegi, lingkaran, segitiga, elips atau bentuk umum lainnya sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 2.15. Setiap *substrat* memiliki nilai konstanta dielektrik ( $\epsilon_r$ ) yang berkisar antara  $2.2 \leq \epsilon_r \leq 12$ , misalnya *Teflon RT / Duroid* atau *alumina* atau FR - 4 dengan rugi-rugi *tangent* dari 0,0001 sampai 0,018. Gambar 2.16 akan menunjukkan macam-macam bentuk antenna mikrostrip.



Gambar 2.16 Macam-macam bentuk elemen mikrostrip

Sumber: Punit S. Nakar, 2004 : 32

Untuk performansi antena pemilihan *substrat* sangat berpengaruh, semakin tebal *substrat*, *bandwidth* juga semakin lebar tetapi dimensi akan bertambah besar begitu juga sebaliknya. Karena itu perlu diperhitungkan pencapaian antara dimensi antena dan performansinya.

Dalam menentukan bahan atau *substrat* harus diketahui batasan jangkauan frekuensi maksimum yang masih bisa dilewatkan pada substrat dengan persamaan berikut : (Johan L, 2002 : 33)

$$h \leq \frac{0.3c}{2\pi f_r \sqrt{\epsilon_r}} \quad (2-34)$$

dengan:

$h$  = ketebalan substrat (m)

$c$  = kecepatan cahaya (m/s)

$f_r$  = frekuensi kerja (Hz)

$\epsilon_r$  = konstanta dielektrik bahan

### 2.5.1 Antena Array

Desain antena dengan penguatan yang tinggi sangat diperlukan untuk komunikasi jarak jauh. Salah satu cara yang lebih praktis adalah dengan membuat antena yang terdiri dari beberapa elemen peradiasi (*array*). Dengan kata lain *array* adalah beberapa elemen antena yang disusun dan saling berhubungan untuk menghasilkan pola radiasi tertentu (Stutzman, 1981: 108).

Konfigurasi geometris antena array terdiri atas linier dan planar. Disebut *array* linier bila pusat pusat elemen *array* terletak pada sepanjang garis lurus. Sedangkan apabila pusat-pusat elemen terletak pada sebuah bidang disebut planar *array*.

Pada antena *array* selain mempunyai keuntungan, juga mempunyai kerugian. Kerugiannya yaitu adanya kopel bersama (*mutual coupling*) yang terjadi antara elemen peradiasi dengan elemen peradiasi yang lain, antara elemen peradiasi dengan saluran transmisi maupun saluran transmisi dengan saluran transmisi yang lain. Tetapi kerugian ini dapat dikurangi dengan mengatur jarak antar elemen peradiasi.

Penguatan antena *array* adalah merupakan penjumlahan dari daya yang dipancarkan dari daya yang dipancarkan dari setiap elemen radiasi pada arah tertentu, sehingga semakin banyak elemen *array* penguatan akan semakin besar.

Kerugiannya yaitu adanya kopel bersama (*mutual coupling*) yang terjadi antara elemen peradiasi dengan elemen peradiasi yang lain, antara elemen peradiasi dengan

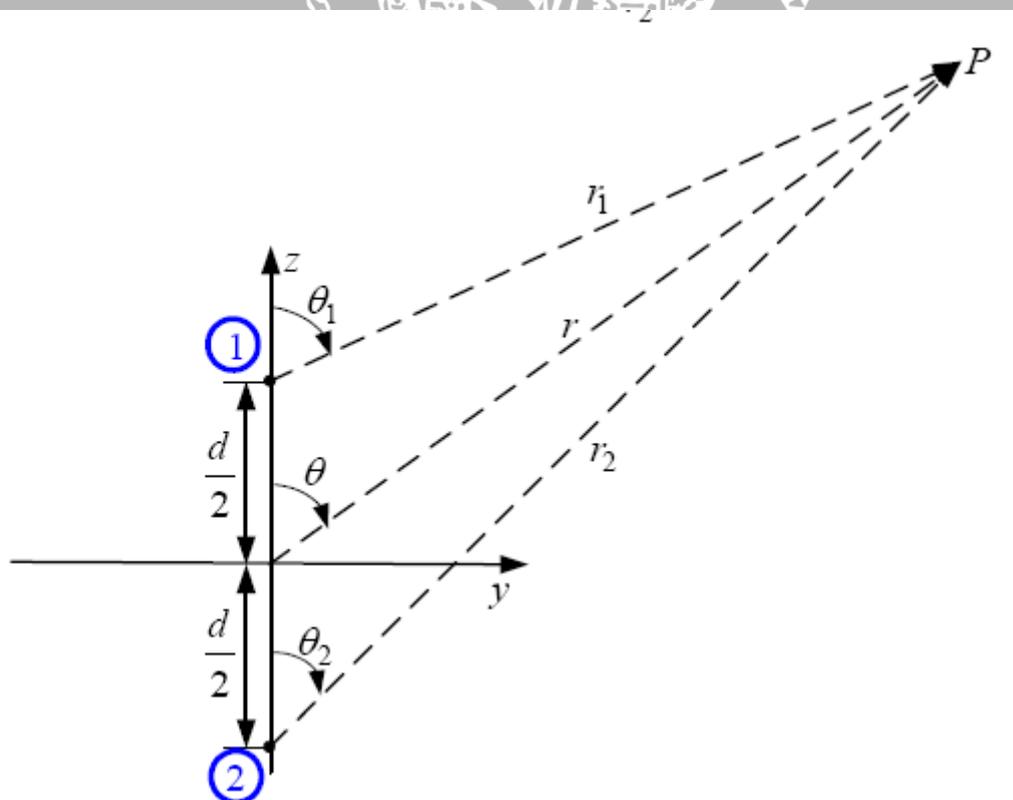
saluran transmisi maupun saluran transmisi dengan saluran transmisi yang lain. Tetapi kerugian ini dapat dikurangi dengan mengatur jarak antar elemen peradiasi.

*Array* juga akan mengubah pola radiasi antenna. Medan radiasi total dari sebuah *array* merupakan superposisi vektor dari medan yang diradiasikan setiap elemen. Untuk membuat pola radiasi menjadi lebih terarah, sebaiknya medan yang diradiasikan setiap elemen saling berinterferensi pada arah yang diinginkan. Ada 5 metode yang umum dipakai untuk mengatur total medan radiasi antenna yaitu

- Konfigurasi geometris *array* tiap elemen, misalnya *linear*, *planar*, *circular*, *spherical*, *rectangular* dan lain-lain.
- Jarak antar elemen
- Amplitudo daya yang dicatukan ke setiap elemen
- Fase daya yang dicatukan ke setiap elemen
- Pola radiasi masing-masing elemen

### 2.5.1.1 Array Dua Elemen

Medan elektrik pada medan jauh antenna *array* dua elemen dapat direpresentasikan pada Gambar 2.17 di bawah ini.



Gambar 2.17 Superposisi Vektor Medan Elektrik *Array* Dua Elemen

Sumber : [www.google.com/Antennas\\_L15\\_Linear\\_Array\\_Theory\\_Part\\_I.pdf](http://www.google.com/Antennas_L15_Linear_Array_Theory_Part_I.pdf)

Dari gambar di atas dapat dibuat persamaan

$$\begin{aligned}\vec{E}_1 &= M_1 E_{n1}(\theta_1, \phi_1) \frac{e^{-j\left(kr_1 - \frac{\beta}{2}\right)}}{r_1} \hat{\rho}_1 \\ \vec{E}_2 &= M_2 E_{n2}(\theta_2, \phi_2) \frac{e^{-j\left(kr_2 + \frac{\beta}{2}\right)}}{r_2} \hat{\rho}_2\end{aligned}\quad (2-35)$$

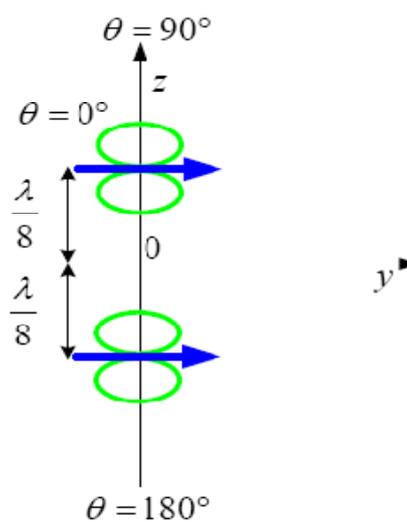
Medan total dari *array* dua elemen di atas sama dengan jumlah medan yang dihasilkan setiap elemen dengan asumsi elemen *array* bentuk dan polarisasinya identik serta dicatu oleh daya dengan amplitudo sama. Dari persamaan di atas dapat ditentukan *array factor* untuk dua elemen yaitu

$$AF_n = \cos\left(\frac{kd \cos \theta + \beta}{2}\right)\quad (2-36)$$

Selanjutnya total pola radiasi normalisasi dapat ditentukan dengan

$$f_n(\theta, \phi) = E_n(\theta, \phi) \times AF_n(\theta, \phi)\quad (2-37)$$

Contohnya dapat dilihat pada gambar 2.18, *array* dari dua buah *dipole* horizontal dengan jarak antar elemen  $d = \frac{1}{4} \lambda_d$ . Null dari pola radiasi total bila daya masukan besarnya sama namun berbeda fase 0°, 90° dan -90°



Gambar 2.18 *Array* Antena Dipole Horizontal Dua Elemen

Sumber : [www.google.com/Antennas\\_L15\\_Linear\\_Array\\_Theory\\_Part\\_I.pdf](http://www.google.com/Antennas_L15_Linear_Array_Theory_Part_I.pdf)

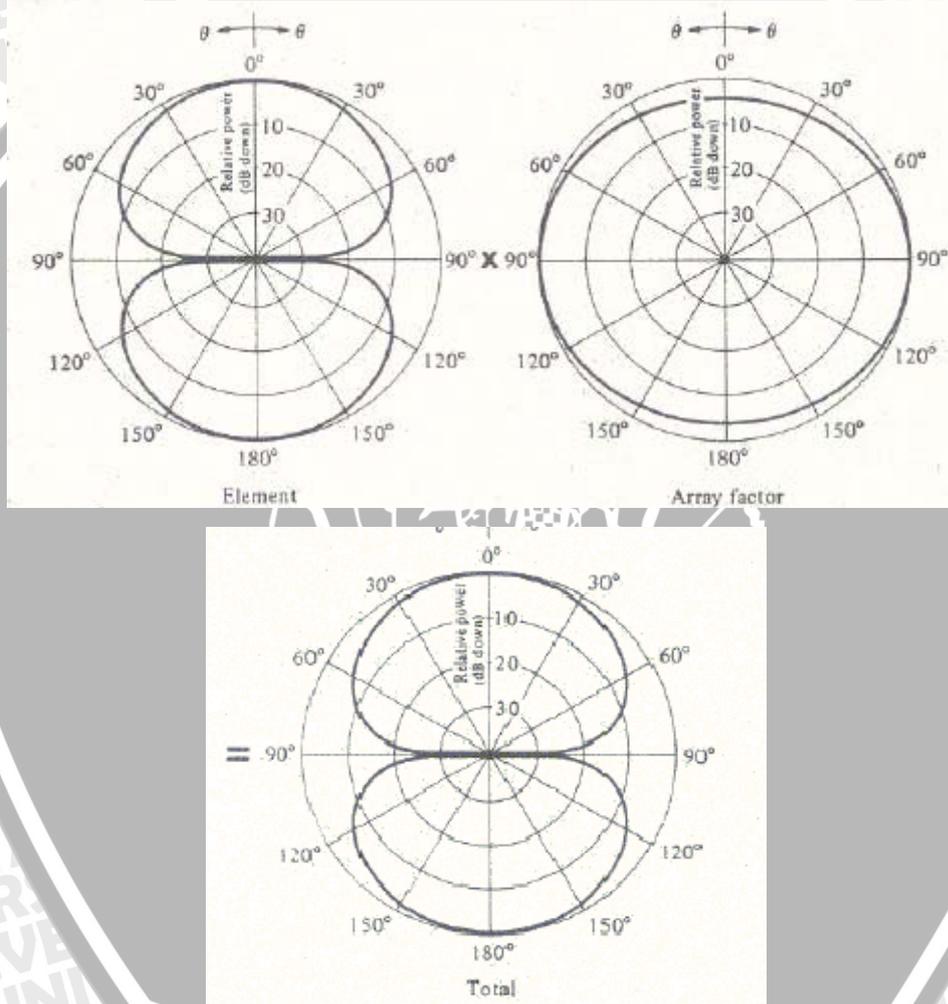
Untuk beda fase  $0^0$  persamaan akan menjadi

$$\beta = 0$$

$$AF_n = \cos\left(\frac{kd \cos \theta_n}{2}\right) = 0$$

$$\Rightarrow \cos\left(\frac{\pi}{4} \cos \theta_n\right) = 0 \Rightarrow \frac{\pi}{4} \cos \theta_n = \frac{\pi}{2} \Rightarrow \cos \theta_n = 2$$

Bentuk pola radiasi total menjadi seperti pada Gambar 2.19 untuk beda fase  $0^0$



Gambar 2.19 Pola Radiasi Array Dipole Dua Elemen Beda Fase  $0^0$

Sumber : [www.google.com/Antennas\\_L15 - Linear Array Theory - Part I.pdf](http://www.google.com/Antennas_L15-Linear%20Array%20Theory-Part%20I.pdf)

Untuk beda fase  $90^\circ$  persamaan menjadi

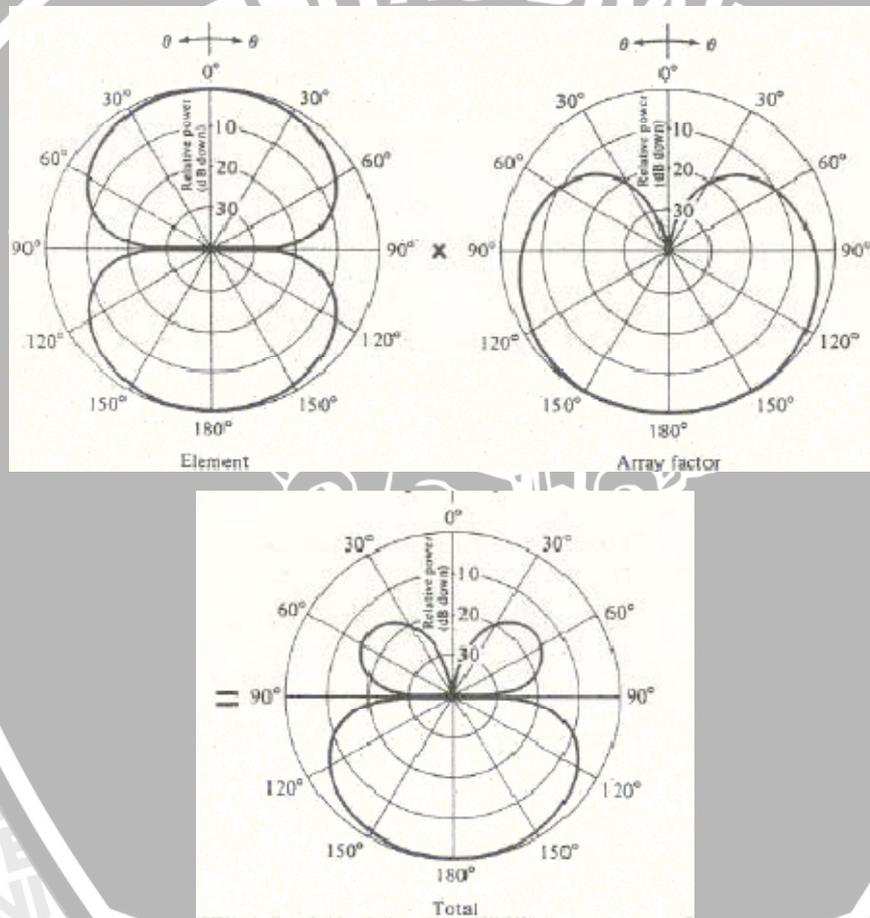
$$\beta = \frac{\pi}{2}$$

$$AF_n = \cos\left(\frac{\pi}{4}\cos\theta_n + \frac{\pi}{4}\right) = 0$$

$$\Rightarrow \frac{\pi}{4}(\cos\theta_n + 1) - \frac{\pi}{2} \Rightarrow \cos\theta_n + 1 - 2 \Rightarrow \cos\theta_n - 1 \Rightarrow \boxed{\theta_n = 0}$$

$$\frac{\pi}{4}(\cos\theta_n + 1) = -\frac{\pi}{2}$$

Terdapat null pada sudut  $90^\circ$  dan  $0^\circ$  sehingga bentuk pola radiasi totalnya menjadi seperti yang terlihat pada Gambar 2.20.



Gambar 2.20 Pola Radiasi Array Dipole Dua Elemen Beda Fase  $90^\circ$

Sumber : [www.google.com/Antennas\\_L15\\_Linear\\_Array\\_Theory\\_Part\\_I.pdf](http://www.google.com/Antennas_L15_Linear_Array_Theory_Part_I.pdf)

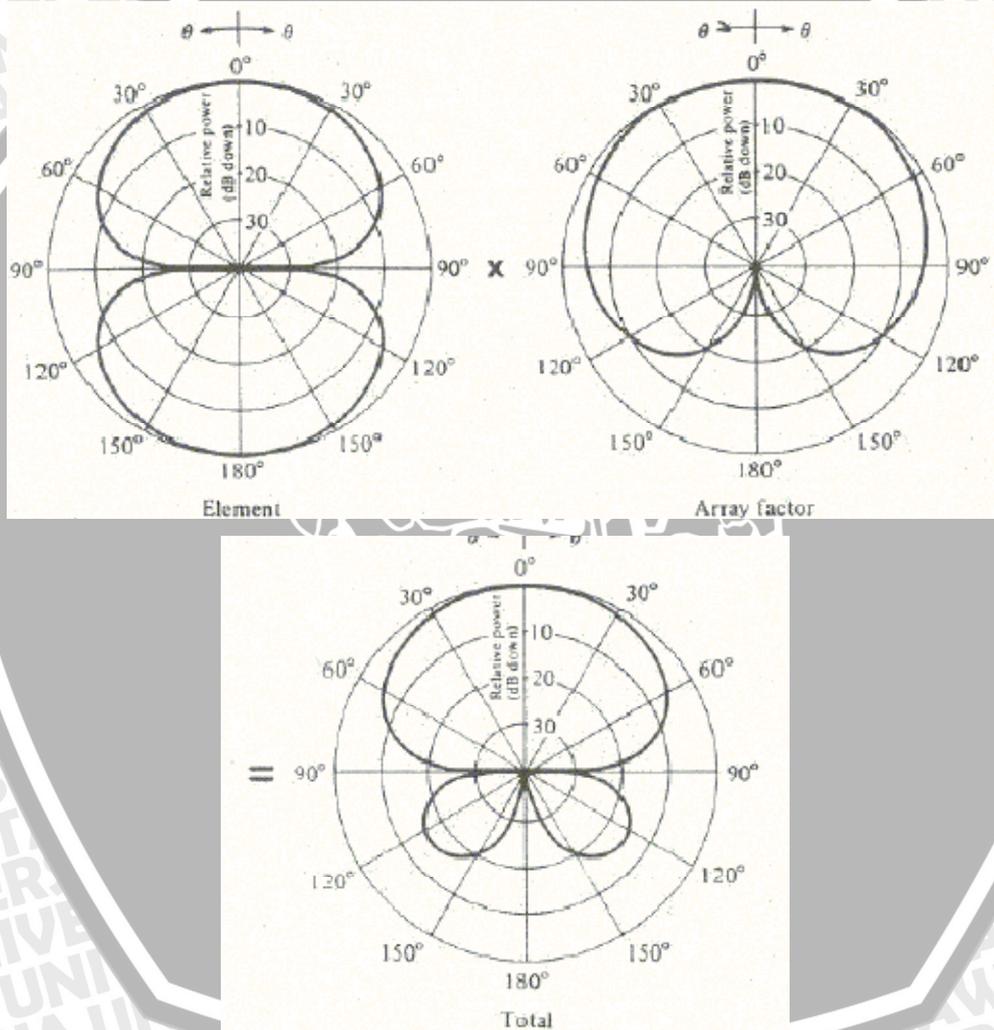
Untuk beda fase  $-90^\circ$  penyelesaiannya menjadi

$$\beta = -\frac{\pi}{2}$$

$$AF_n = \cos\left(\frac{\pi}{4}\cos\theta_n - \frac{\pi}{4}\right) = 0$$

$$\Rightarrow \frac{\pi}{4}(\cos\theta_n - 1) = \pm \frac{\pi}{2} \Rightarrow \cos\theta_n - 1 = \pm 2 \Rightarrow \boxed{\theta_2 = \pi}$$

Terdapat null pada sudut  $90^\circ$  dan  $180^\circ$  sehingga bentuk pola radiasi totalnya menjadi seperti yang terlihat pada Gambar 2.21.



Gambar 2.21 Pola Radiasi *Array Dipole* Dua Elemen Beda Fase  $-90^\circ$

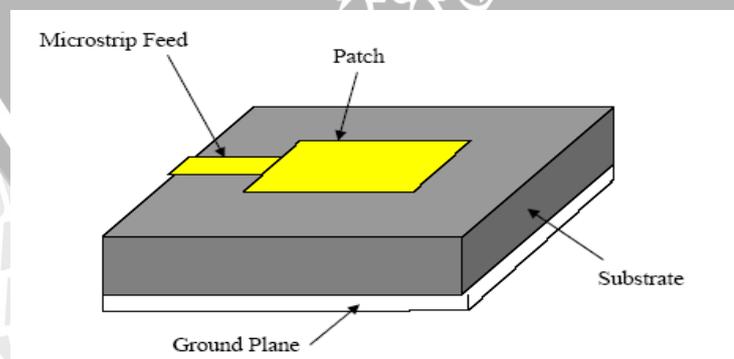
Sumber : [www.google.com/Antennas\\_L15-Linear\\_Array\\_Theory-Part\\_I.pdf](http://www.google.com/Antennas_L15-Linear_Array_Theory-Part_I.pdf)

## 2.5.2 Teknik Pencatuan Antena Mikrostrip

Teknik *feed* atau pencatuan adalah teknik yang digunakan untuk menghubungkan antena mikrostrip dengan saluran transmisi lainnya, umumnya yang dihubungkan adalah bagian *patch* antena mikrostrip. *Patch* antena mikrostrip dapat dicatu dengan berbagai macam metode. Metode-metode tersebut dapat dikelompokkan kedalam dua kategori: metode kontak langsung (*contacting method*) dan metode kontak tak langsung (*non-contacting method*). Dalam *contacting method* daya RF dicatu secara langsung ke *patch* peradiasi dengan menggunakan elemen penghubung seperti saluran mikrostrip. Sedangkan dalam skema *non-contacting method*, kopling medan electromagnet dilakukan untuk mentransfer daya antara saluran transmisi dan *patch* peradiasi. Ada 4 teknik pencatuan yang populer digunakan yaitu *microstrip line*, *coaxial feed* (keduanya menggunakan skema kontak langsung), *aperture coupling* dan *proximity coupling* (keduanya menggunakan skema kontak tak langsung).

### 2.5.2.1 Microstrip Line Feed

Pada tipe pencatuan ini, bagian konduktor dihubungkan secara langsung dengan bagian tepi *patch* mikrostrip. Lebar *strip* konduktor lebih kecil dari pada elemen peradiasi antena mikrostrip. Tipe pengaturan pencatuan semacam ini mempunyai keuntungan bahwasanya pencatuan dapat diberikan pada substrat yang sama untuk menyediakan suatu struktur planar. Tujuan memberikan potongan menjorok (*inset*) kedalam *patch* adalah untuk menyesuaikan impedansi saluran dengan *patch* tanpa memerlukan elemen penyesuai tambahan. Hal ini dapat diperoleh melalui pengaturan posisi *inset* yang benar. Dari penjelasan tersebut maka dapat lebih jelasnya dilihat pada Gambar 2.22



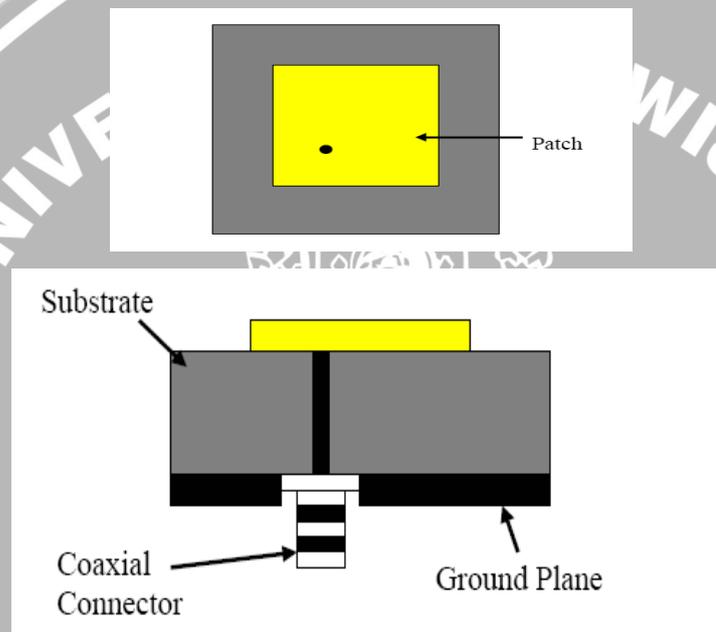
Gambar 2.22 *Microstrip Line Feed Microstrip Line Feed*

Sumber: Punit S. Nakar, 2004 : 34

Oleh karena itu metode ini menawarkan skema pencatuan yang mudah disamping kemudahan dalam proses pembuatan dan pemodelan untuk mendapatkan kesesuaian impedansi.

### 2.5.2.2 Coaxial Feed

*Coaxial feed* atau *probe feed* adalah teknik yang umum digunakan pada pencatuan antenna. Seperti terlihat pada Gambar 2.23 konduktor bagian dalam dari kabel koaksial dihubungkan dengan elemen peradiasi dan konduktor bagian luar dari kabel koaksial dihubungkan dengan bidang pentanahan (*ground plane*).



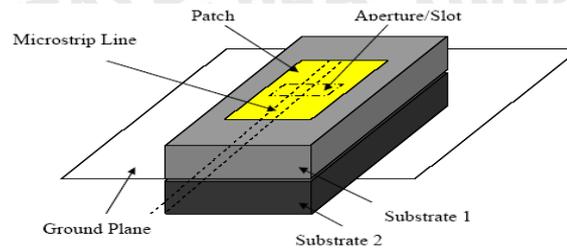
Gambar 2.23 Metode *Coaxial feed*

Sumber: Punit S. Nakar, 2004 : 35

Kelebihan dari metode pencatuan seperti ini adalah pencatuan dapat diletakkan pada setiap lokasi didalam *patch* yang diinginkan untuk mendapatkan *matching* impedansi dari antenna. Akan tetapi metode ini mempunyai kekurangan yaitu *bandwidth* yang sempit dan kesulitan dalam pemodelan.

### 2.5.2.3 Aperture Coupling

Pada tipe pencatuan ini elemen peradiasi dan bagian pencatu terpisah dengan bidang pentanahan (*ground plane*) seperti pada Gambar 2.24 kopleng antara elemen peradiasi antenna (*patch*) dan saluran pencatu (*line feed*) dibuat melalui *slot* atau *aperture*.



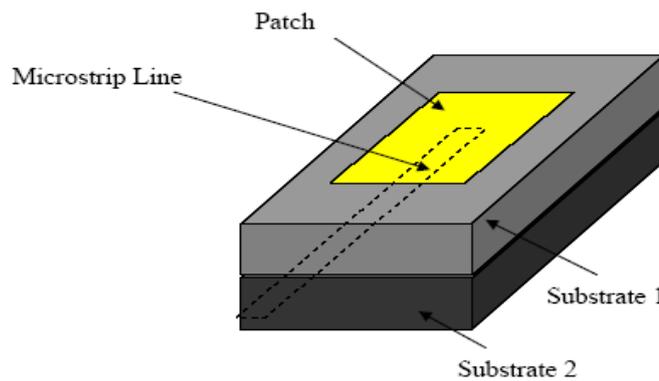
Gambar 2.24 Aperture Coupling Feed

Sumber: Punit S. Nakar, 2004 : 36

Celah kopling biasanya diposisikan ditengah pada bagian bawah *patch*, sehingga mengurangi *cross-polarization* yang disebabkan struktur yang simetris. Untuk mengoptimalkan radiasi dari *patch*, biasanya digunakan bahan dengan konstanta dielektrik yang berbeda untuk lapisan/substrat bagian atas dan bawah. Kekurangan dari metode ini terletak pada teknik pencatuan yang sulit untuk difabrikasi dikarenakan lapisan ganda (*multiple layer*) yang tentunya juga menambah ketebalan antenna.

#### 2.5.2.4 Proximity Coupling

Metode pencatuan semacam ini disebut juga skema kopling elektromagnetik. Seperti ditunjukkan pada Gambar 2.25 dua bahan dielektrik digunakan sehingga saluran pencatu berada diantara kedua substrat dan bagian elemen peradiasi berada di substrat bagian atas. Kelebihan dari metode ini adalah *bandwidth* yang lebih lebar dari pada teknik pencatuan yang lain. Untuk optimasi antenna dapat digunakan media dielektrik yang berbeda.



Gambar 2.25 Proximity Coupling Feed

Sumber: Punit S. Nakar, 2004 : 37

*Matching* dapat diperoleh dengan mengatur panjang saluran pencatu dan perbandingan lebar saluran pencatu terhadap lebar elemen peradiasi. Adapun

kekurangan yang paling mendasar dari metode ini adalah kesulitan dalam hal fabrikasinya, dikarenakan penggunaan dua lapisan dielektrik yang betul-betul memerlukan ketelitian dalam penyusunannya.

#### 2.5.2.5 Metode Analisis Antena Mikrostrip

Terdapat beberapa metode yang paling umum digunakan untuk analisis antena mikrostrip, yaitu model saluran transmisi, model *cavity*, dan metode gelombang penuh (yang meliputi persamaan integral primer/metode momen). Model saluran transmisi merupakan yang paling sederhana dan mampu memberikan pemahaman yang bagus, akan tetapi kurang akurat jika dibandingkan dengan model lainnya. Model *cavity* mampu memberikan tingkat akurasi yang lebih baik, namun bersifat lebih kompleks dan sulit. Sedangkan metode gelombang penuh adalah metode yang paling sulit untuk difahami namun mampu memberikan analisis dengan tingkat keakuratan yang sangat tinggi.

#### 2.5.2.6 Dimensi Antena Mikrostrip

Model analisis yang paling populer digunakan adalah model saluran transmisi, model *cavity*, model gelombang penuh (momen, FDTD). Model saluran transmisi adalah model paling sederhana yang memberikan gambaran fisik yang akan digunakan dengan ketelitian yang baik.

Pada model saluran transmisi antena mikrostrip sebagai perangkat yang memiliki 2 bagian yaitu lebar ( $W$ ) dan tinggi ( $h$ ) dan panjang saluran transmisi ( $L$ ). Mikrostrip merupakan saluran transmisi yang nonhomogen dan terdiri dari 2 dielektrik yaitu substrat dan udara

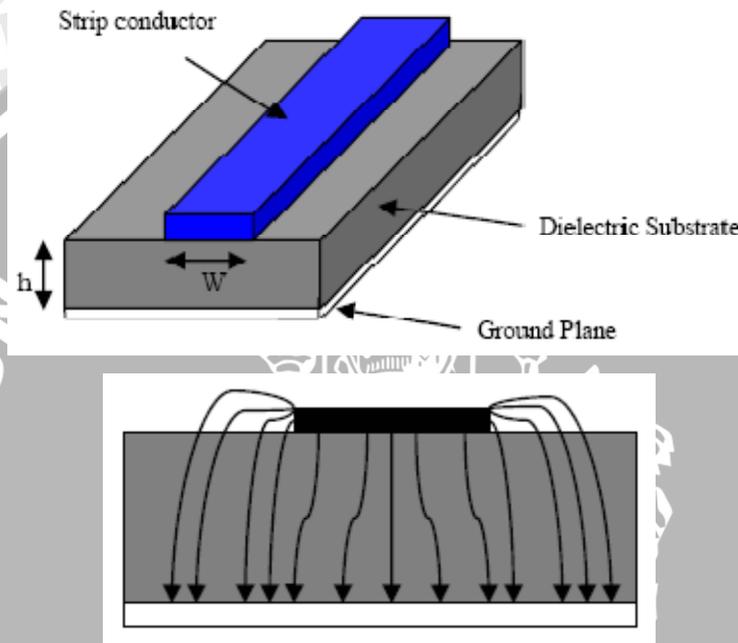
Untuk menentukan dimensi elemen peradiasi, maka terlebih dahulu harus ditentukan frekuensi acuan ( $f$ ) yang digunakan untuk mencari panjang gelombang diruang bebas ( $\lambda_0$ ).

$$\lambda_0 = \frac{c}{f} \quad (\text{m}) \quad (2-39)$$

Setelah nilai  $\lambda_0$  diperoleh, maka panjang gelombang pada saluran transmisi mikrostrip dapat dihitung dengan persamaan:

$$\lambda_d = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (\text{m}) \quad (2-40)$$

Pada model saluran transmisi antenna mikrostrip direpresentasikan oleh dua *slot* dengan lebar ( $W$ ) dan tinggi ( $h$ ), terpisah oleh saluran transmisi sepanjang ( $L$ ). Mikrostrip merupakan saluran transmisi yang *nonhomogen* dan terdiri dari 2 dielektrik yaitu substrat dan udara.



Gambar 2.26 Antena Mikrostrip & Garis Medan Listrik

Sumber: Punit S. Nakar, 2004 : 39

Sebagaimana dilihat pada Gambar 2.26, sebagian besar garis medan elektrik berpindah sisi kedalam substrat dan sebagian lainnya berada di udara (untuk  $L/h \gg 1$  dan  $\epsilon_r \gg 1$ , sebagian besar garis medan elektrik berada didalam substrat). Akibatnya, saluran transmisi ini tidak dapat mendukung mode penjalaran *TEM* (*transverse-elektromagnetik*) yang murni, sehingga kecepatan fasanya diudara akan mengalami perbedaan dengan kecepatan fasa didalam substrat. Sebaliknya mode dominan akan berupa mode *Quasi-TEM*. Oleh sebab itu dibutuhkan konstanta dielektrik relatif ( $\epsilon_{reff}$ ) untuk propagasi gelombang didalam saluran. Persamaan  $\epsilon_{reff}$  adalah sebagai berikut (Balanis,1997 : 728).

Untuk  $\frac{W}{h} \geq 1$  :

$$\epsilon_{\text{reff}} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[ 1 + 12 \frac{h}{W} \right]^{-2} \quad (2-41)$$

dengan:

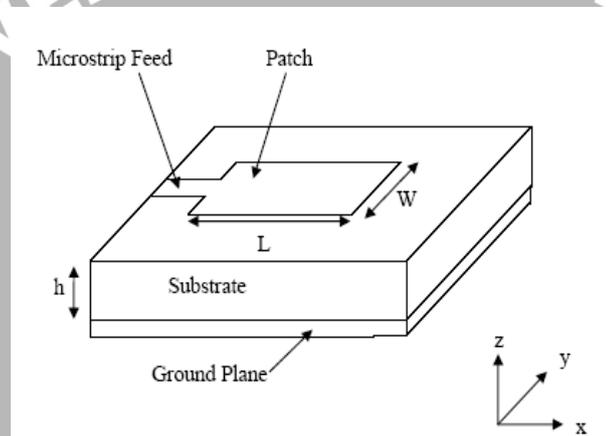
$\epsilon_{\text{reff}}$  = Konstanta dielektrik relatif

$\epsilon_r$  = Konstanta dielektrik bahan

$h$  = Ketebalan bahan (mm)

$W$  = Lebar *patch* (mm)

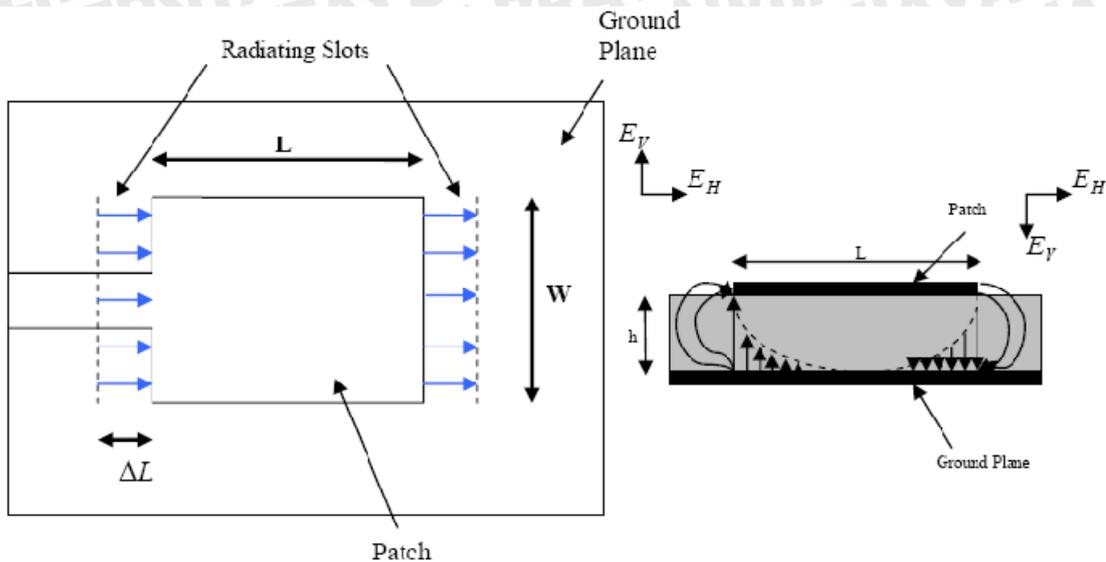
Gambar 2.27 menunjukkan antenna mikrostrip persegi dengan panjang  $L$  dan lebar  $W$  pada suatu substrat dengan ketinggian  $h$ . Untuk dapat beroperasi pada mode dasar  $TM_{10}$ , panjang *patch* harus sedikit lebih pendek dari setengah panjang gelombang didalam media dielektrik.



Gambar 2.27 Antena Mikrostrip

Sumber: Punit S. Nakar, 2004 : 40

Mode  $TM_{10}$  menunjukkan bahwa medan bervariasi setiap satu siklus setengah panjang gelombang didalam media, dan tidak ada variasi disepanjang lebar *patch*. Pada gambar dibawah, *patch* antenna mikrostrip diwakili oleh dua buah slot yang terpisah oleh saluran transmisi sepanjang  $L$  dan rangkaian terbuka pada kedua ujungnya. Disepanjang *patch*, terjadi tegangan maksimum dan arus minimum dikarenakan ujung yang terbuka. Medan pada tepi *patch* dapat dipecahkan dengan komponen normal dan *tangensial* terhadap bidang pentanahan.



Gambar 2.28 Penampang antenna Mikrostrip

Sumber: Punit S. Nakar, 2004 : 41

Dapat dilihat dari Gambar 2.28 bahwa komponen normal dari medan elektrik pada kedua tepi lebar adalah berlawanan arah dan berbeda fasa selama panjang patch  $\lambda_d/2$  sehingga saling meniadakan satu sama lain dalam arah *broadside*. Komponen *tangensial* yang sefasa menghasilkan kombinasi medan yang memberi medan radiasi maksimum pada arah normal terhadap bidang permukaan. Dengan demikian sepanjang sisi lebar dapat direpresentasikan sebagai dua slot peradiasi, yang terpisah sejauh  $\lambda_d/2$  dan mengalami radiasi pada ruang diatas bidang pentanahan. Medan tepi (*fringing*) di sepanjang lebar sisi dapat dimodelkan sebagai slot peradiasi yang secara elektrik terlihat mempunyai dimensi lebih besar dari dimensi fisiknya. Dimensi panjang dari *patch* mengalami perpanjangan pada kedua sisinya dengan jarak  $\Delta L$ , yang dirumuskan secara empirik oleh Hammerstad sebagai:

$$\Delta L = 0,412 \cdot h \cdot \frac{(\epsilon_{reff} + 0,3) \left( \frac{W}{h} + 0,264 \right)}{(\epsilon_{reff} - 0,258) \left( \frac{W}{h} + 0,8 \right)} \quad (2-42)$$

dengan :

- $L$  = panjang elemen radiasi (mm)
- $\epsilon_{reff}$  = konstanta dielektrik efektif (F/m)
- $h$  = ketebalan bahan (mm)

- $W$  = lebar elemen radiasi (mm)
- $f_r$  = frekuensi kerja pada antena (Hz)
- $c$  = kecepatan cahaya di ruang bebas ( $3 \cdot 10^8$  m/s)

dimana untuk efisiensi radiasi, lebar *patch* adalah (Bahl dan Bhartia):

$$W = \frac{c}{2 \cdot f_r} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} \quad (2-43)$$

dengan :

- $W$  = lebar elemen radiasi (mm)
- $f_r$  = frekuensi kerja pada antena (Hz)
- $\epsilon_r$  = konstanta dielektrik bahan (F/m)

Sehingga panjang *patch* peradiasi menjadi

$$L = \frac{c}{2 \cdot f_r \sqrt{\epsilon_{reff}}} - 2 \cdot \Delta L \quad (2-44)$$

panjang ( $L$ ) dari elemen peradiasi antena mikrostrip juga dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (Kraus, 1988: 749)

$$L \approx 0.49 \lambda_d = 0.49 \frac{\lambda}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (\text{Half-wave patch}) \quad (2-45)$$

- $L$  = panjang elemen peradiasi (mm)
- $\epsilon_r$  = konstanta dielektrik bahan (F/m)
- $\lambda$  = panjang gelombang pada saluran transmisi mikrostrip (mm)

### 2.5.2.7 Impedansi Antena Mikrostrip

Pada frekuensi resonansi besarnya impedansi masukan elemen peradiasi adalah (Herrera.M, 1999: 3) :

$$Z_A = 90 \frac{\epsilon_r^2}{\epsilon_r - 1} \left( \frac{L}{W} \right)^2 \Omega \quad (2-46)$$

dengan :

- $Z_A$  = impedansi masukan elemen radiasi ( $\Omega$ )
- $L$  = panjang elemen radiasi (mm)
- $W$  = lebar elemen radiasi (mm)

Besarnya impedansi masukan dapat dikurangi dengan memperlebar *patch* antena dengan batasan  $W/L \leq 2$  karena efisiensi *aperture* untuk *patch* tunggal mulai turun dengan rasio  $W/L$  lebih dari 2 (Balanis, 1997: 734). Besarnya resistansi *input* pada frekuensi resonansi dapat diubah dengan menggunakan *inset feed* pada jarak tertentu dari tepi elemen peradiasi. Nilai resistansi input untuk antena mikrostrip dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan

$$R_{in}(y = y_o) = R_{in}(y = 0) \cos^2\left(\frac{\pi}{L} y_o\right) \quad (2-47)$$

### 2.5.2.8 Dimensi Saluran Transmisi

Untuk menghitung dimensi saluran transmisi mikrostrip digunakan persamaan di bawah ini (Liao, 1987 : 140):

$$W_o = \frac{k}{Z_o} x \frac{h}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (\text{mm}) \quad (2-48)$$

dengan :

- $W_o$  = lebar saluran transmisi (mm)
- $k$  = impedansi karakteristik ruang bebas ( $120\pi \Omega$ )
- $h$  = ketebalan substrat (mm)
- $Z_o$  = impedansi karakteristik ( $\Omega$ )
- $\epsilon_r$  = konstanta dielektrik bahan (F/m)

Untuk menghitung panjang saluran transmisi dapat digunakan persamaan sebagai berikut :

$$L_o = \frac{1}{4} \lambda_d \quad (\text{mm}) \quad (2-49)$$

dengan :

- $\lambda_d$  = panjang gelombang pada saluran transmisi mikrostrip (mm)

### 2.5.2.9 Jarak antar elemen

Jarak antar elemen peradiasi ditentukan dengan persamaan berikut (Johan L, 2002 : 24) :

$$r \geq 0,6\lambda_d \quad (\text{mm}) \quad (2-50)$$

dengan :

$r$  = jarak antar elemen peradiasi (mm)

$\lambda_d$  = panjang gelombang pada saluran transmisi mikrostrip (mm)

### 2.5.3 Rugi – rugi pada Antena Mikrostrip

Substrat dan elemen pada saluran mikrostrip menyebabkan adanya rugi – rugi pada saluran tersebut. Rugi – rugi tersebut menggambarkan rugi – rugi per satuan panjang yang dinyatakan dalam faktor pelemahan ( $\alpha$ ). Tiga jenis rugi – rugi yang utama yaitu rugi – rugi dielektrik, rugi – rugi konduktor, dan rugi – rugi radiasi. Rugi – rugi tersebut dipengaruhi oleh faktor geometri, saluran geometris, sifat dielektrik dari substrat dan konduktor serta frekuensi yang digunakan (Liao, 1987: 141).

#### 2.5.3.1 Rugi – rugi Dielektrik

Rugi – rugi dielektrik disebabkan adanya sifat konduktivitas dielektrik dan dinyatakan sebagai koefisien pelemahan dielektrik ( $\alpha_d$ ). Besarnya rugi – rugi dielektrik pada saluran mikrostrip dapat dinyatakan dengan persamaan (Liao, 1987: 143) :

$$\alpha_d = 4,34 \frac{\sigma_d}{\sqrt{\epsilon_{reff}}} \left( \frac{\epsilon_{reff} - 1}{\epsilon_r - 1} \right) \sqrt{\frac{\mu_o}{\epsilon_o}} \quad (dB/cm) \quad (2-51)$$

dengan :

$\alpha_d$  = rugi – rugi dielektrik (dB/cm)

$\sigma_d$  = konduktifitas dielektrik (mho/m)

$\epsilon_{reff}$  = permitifitas dielektrik relatif efektif (F/m)

$\epsilon_r$  = permitifitas dielektrik relatif *substrat* (F/m)

$\epsilon_o$  = permitifitas ruang hampa ( $8,854 \times 10^{-12}$  F/m)

$\mu_o$  = permeabilitas ruang hampa ( $4\pi \times 10^{-7}$  H/m)

#### 2.5.3.2 Rugi – rugi Konduksi

Dalam suatu saluran mikrostrip yang memiliki rugi – rugi dielektrik yang rendah, maka sumber rugi – rugi yang utama adalah akibat tidak sempurnanya konduktor yang ada, dan besarnya rugi – rugi konduktor dapat dinyatakan dengan persamaan (Liao, 1987: 145) :

$$\alpha_c = \frac{8,686}{w \cdot Z_o} R_s \text{ (dB/cm)} \quad (2-52)$$

$$R_s = \sqrt{\frac{\pi \cdot f \cdot \mu}{\sigma_c}} \text{ (\Omega)} \quad (2-53)$$

dengan :

- $\alpha_c$  = rugi – rugi konduktor (dB/cm)
- $R_s$  = resistansi permukaan ( $\Omega$ )
- $Z_o$  = impedansi karakteristik saluran ( $\Omega$ )
- $w$  = lebar saluran mikrostrip (mm)
- $\mu$  = permeabilitas bahan (H/m)
- $\sigma_c$  = konduktifitas konduktor (mho/cm)

Dari persamaan – persamaan di atas akan didapatkan besarnya koefisien pelemahan ( $\alpha$ ) pada mikrostrip adalah merupakan penjumlahan antara rugi – rugi dielektrik ( $\alpha_d$ ) dan rugi – rugi konduktor ( $\alpha_c$ ) yang dinyatakan dengan persamaan (Resmana. H, 2001: 11) :

$$\alpha = \alpha_d + \alpha_c \text{ (dB/cm)} \quad (2-54)$$

dengan :

- $\alpha$  = koefisien pelemahan (dB/cm)
- $\alpha_d$  = rugi – rugi dielektrik (dB/cm)
- $\alpha_c$  = rugi – rugi konduktor (dB/cm)

### 2.5.3.3 Rugi – rugi Radiasi

Disamping rugi – rugi dielektrik ( $\alpha_d$ ) dan rugi – rugi konduktor ( $\alpha_c$ ), pada saluran *microstrip* terdapat juga rugi – rugi radiasi. Rugi – rugi radiasi ini sangat tergantung pada ketebalan dan konstanta dielektrik substrat. Rugi – rugi ini dinyatakan dalam bentuk rasio daya yang diradiasikan terhadap daya total yang diberikan ke saluran. Rasio daya yang diradiasikan oleh saluran *microstrip open circuit* dinyatakan oleh persamaan (Liao, 1987: 147) :

$$\frac{P_{rad}}{P_i} = \frac{240 \cdot \pi^2}{Z_o} \left( \frac{h}{\lambda_o} \right)^2 \left[ \frac{\epsilon_{reff} + 1}{\epsilon_{reff}} - \frac{\epsilon_{reff} - 1}{2\epsilon_{reff} \sqrt{\epsilon_{reff}}} \ln \left( \frac{\sqrt{\epsilon_{reff} + 1}}{\sqrt{\epsilon_{reff} - 1}} \right) \right] \quad (2-55)$$

$$\frac{P_{rad}}{P_i} = \frac{R_r}{Z_o} \quad (2-56)$$

dari substitusi persamaan di atas, akan didapatkan persamaan :

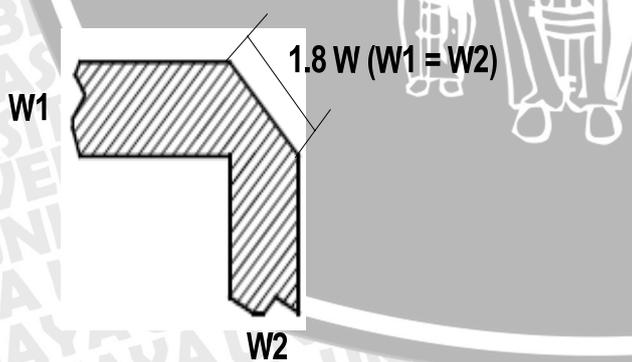
$$R_r = 240 \cdot \pi^2 \left( \frac{h}{\lambda_o} \right)^2 \left[ \frac{\epsilon_{reff} + 1}{\epsilon_{reff}} - \frac{\epsilon_{reff} - 1}{2\epsilon_{reff} \sqrt{\epsilon_{reff}}} \ln \left( \frac{\sqrt{\epsilon_{reff} + 1}}{\sqrt{\epsilon_{reff} - 1}} \right) \right] (dB/cm) \quad (2-57)$$

dengan :

- $R_r$  = rugi – rugi radiasi (dB/cm)
- $P_t$  = daya total yang diberikan saluran (dB)
- $P_{rad}$  = daya yang diradiasikan (dB)
- $\lambda_o$  = panjang gelombang di udara (m)
- $h$  = tebal substrat (mm)
- $\epsilon_{reff}$  = permitifitas dielektrik relatif efektif (F/m)

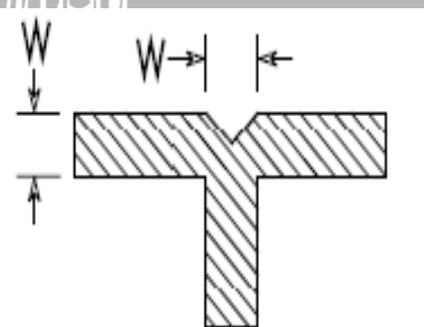
## 2.6 Microstrip discontinuities

Medan listrik pada sebuah saluran transmisi memiliki arah perambatan tertentu, ketika lebar dari saluran transmisi lebih kecil dari panjang gelombangnya maka medan listriknya akan saling menghilangkan dan tidak ada yang diradiasikan. *Discontinuities* terjadi pada daerah persimpangan (*cross section*). Terdapat dua bagian microstrip *discontinuities* yang digunakan yaitu *microstrip bend* dan *T-junction*. Gambar 2.28 menunjukkan bentuk dari *microstrip bend* sedangkan untuk bentuk *T Junction* dapat dilihat pada Gambar 2.29



Gambar 2.29 Microstrip Bend

Sumber: (Johan L, 2002 : 16)



Gambar 2.30 T Junction

Sumber: (Johan L, 2002 : 16)

## BAB III METODOLOGI

Kajian yang dilakukan dalam skripsi ini adalah mengenai perencanaan dan pembuatan antena mikrostrip *rectangular dual*-frekuensi untuk aplikasi *WLAN* dan *Wi-Max*. Adapun metodologi yang digunakan dalam penyelesaian skripsi ini adalah

### 3.1 Studi Literatur

Melakukan kajian pustaka yang berkaitan dengan teknologi antena mikrostrip terutama dalam hal perancangan, pembuatan dan penerapannya di bidang telekomunikasi. Dalam hal ini adalah penerapannya untuk komunikasi *Wireless Local Area Network* dan *Wi-Max*.

### 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. Data tersebut meliputi *Return Loss*, *VSWR*, koefisien pantul, *gain*, pola radiasi dan polarisasi.

#### b. Data sekunder

Data sekunder adalah data yang diperoleh dari studi literatur (buku, jurnal-jurnal, dan internet) dan simulasi meliputi perancangan antena, standar frekuensi kerja antena yang akan dikerjakan beserta parameter-parameter antena yang ada meliputi *Return Loss*, *VSWR*, koefisien pantul, *gain*, pola radiasi dan polarisasi dari data yang telah ada dari literatur ataupun riset yang telah ada. Data sekunder lain yang diperlukan dalam kajian ini adalah :

Spesifikasi dari dimensi substrat, yang meliputi :

1. Bahan substrat yang digunakan adalah Epoxy fiberglass – FR4.
2. Konstanta dielektrik relatif substrat Epoxy fiberglass – FR4.
3. Ketebalan lapisan dielektrik substrat Epoxy fiberglass – FR4.

Spesifikasi dari bahan pelapis substrat (konduktor), yang meliputi :

1. Konduktor yang digunakan adalah tembaga.
2. Konduktifitas tembaga.

### 3.3 Perancangan

Perancangan antena mikrostrip dilakukan secara matematis berdasarkan pada materi dan referensi yang diperoleh dari hasil studi pustaka. Ada beberapa hal yang dilakukan dalam merancang antena mikrostrip meliputi :

#### 3.3.1 Perencanaan Dimensi Elemen Peradiasi

Untuk menentukan dimensi elemen peradiasi, maka terlebih dahulu harus ditentukan frekuensi acuan ( $f$ ) yang digunakan untuk mencari panjang gelombang diruang bebas ( $\lambda_0$ ).

$$\lambda_0 = \frac{c}{f_r} \quad (\text{m})$$

Setelah nilai  $\lambda_0$  diperoleh, maka panjang gelombang pada saluran transmisi mikrostrip ( $\lambda_d$ ) dapat dihitung dengan persamaan :

$$\lambda_d = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (\text{m})$$

Untuk menentukan panjang ( $L$ ) dari elemen peradiasi antena mikrostrip adalah (Kraus, 1988 : 749)

$$L \approx 0.49\lambda_d = 0.49 \frac{\lambda}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (\text{Half-wave patch})$$

$L$  = Panjang elemen peradiasi (mm)

$\epsilon_r$  = Konstanta dielektrik bahan

$\lambda$  = panjang gelombang pada saluran transmisi mikrostrip (mm)

#### 3.3.2 Impedansi Masukan

Pada frekuensi resonansi nilai besarnya impedansi masukan elemen peradiasi adalah (Herrera.M, 1999:3) :

$$Z_A = 90 \frac{\epsilon_r^2}{\epsilon_r - 1} \left( \frac{L}{W} \right)^2 \Omega$$

Dengan :

$Z_A$  = impedansi masukan elemen peradiasi ( $\Omega$ )

$L$  = Panjang elemen peradiasi (mm)

$W$  = Lebar elemen peradiasi (mm)

Dengan memperbesar lebar patch antenna maka besarnya impedansi input dapat berkurang.

### 3.3.3 Dimensi saluran transmisi

Untuk menghitung dimensi saluran transmisi mikrostrip digunakan persamaan di bawah ini (Liao, 1987: 140):

$$W_0 = \frac{k}{Z_0} x \frac{h}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (\text{mm})$$

dengan :

$W_0$  = lebar saluran transmisi (mm)

$k$  = impedansi karakteristik ruang bebas ( $120\pi \Omega$ )

$h$  = ketebalan substrat (mm)

$Z_0$  = impedansi karakteristik ( $\Omega$ )

$\epsilon_r$  = permitivitas dielektrik bahan (F/m)

### 3.3.4 Jarak antar elemen

Jarak antar elemen peradiasi ditentukan dengan persamaan berikut (Johan L, 2002 : 24) :

$$r \geq 0,6\lambda_d \quad (\text{mm})$$

dengan :

$r$  = jarak antar elemen peradiasi (mm)

$\lambda_d$  = panjang gelombang pada saluran transmisi mikrostrip (mm)

## 3.4 Simulasi

Hasil rancangan kemudian disimulasikan menggunakan software perancangan untuk mengetahui parameter antenna. Tahap pra-pembuatan antenna ini penting untuk melihat kualifikasi dari hasil rancangan apakah sudah sesuai atau belum dengan yang direncanakan. Untuk penulisan skripsi kali ini menggunakan program simulator IE3D karena dirasa lebih mudah dan lebih sederhana oleh penulis. Adapun kelebihan lainnya dari simulator ini dapat mensimulasikan semua parameter dari antenna yang dirancang.

### 3.5 Pembuatan

Pembuatan antenna dilaksanakan setelah hasil simulasi sesuai dengan hasil yang diinginkan. Pembuatan antenna dilaksanakan pada bahan sesuai dengan standar bahan yang ada. Adapun spesifikasi substrat dan bahan konduktor meliputi

Bahan substrat yang digunakan adalah sebagai berikut :

1. Bahan Epoxy fiberglass – FR 4
2. Konstanta dielektrik ( $\epsilon_r$ ) = 4.5
3. Ketebalan dielektrik ( $h$ ) = 0.0016 m = 1.6 mm

Bahan pelapis substrat (konduktor) tembaga:

1. Ketebalan bahan konduktor ( $t$ ) = 0.0001 m
2. Konduktifitas tembaga ( $\sigma$ ) =  $5.80 \times 10^7$  mho m<sup>-1</sup>
3. Impedansi karakteristik saluran = 50  $\Omega$

### 3.6 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. Pengukuran antenna meliputi beberapa hal antara lain :

#### 3.6.1 Pengukuran Return Loss, Koefisien Pantul dan Perhitungan VSWR

Dari hasil pengukuran impedansi dan return loss dapat dihitung nilai VSWR dan koefisien pantul antenna. Untuk menghitung nilai koefisien pantul antenna dan VSWR dapat dihitung dengan persamaan:

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

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

Dengan:

RL = return loss (dB)

$\Gamma$  = koefisien pantul

VSWR = Voltage Standing Wave Ratio

Dari perhitungan VSWR nantinya dapat diketahui rentang frekuensi dari antenna sehingga bandwidth antenna dapat diketahui. Dalam pengukuran ini alat-alat yang digunakan mempunyai spesifikasi yaitu :

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

### 3.6.2 Pengukuran Gain Antena

Pada pengukuran gain antenna ini, akan diperoleh parameter-parameter yaitu daya antenna referensi ( $P_{ref}$ ), daya antenna yang diuji ( $P_{RX}$ ), dan gain antenna yang diuji ( $G$ ) kemudian dari parameter tersebut dapat dihitung gain antenna uji dengan menggunakan persamaan:

$$G = 2,15 + P_U \text{ (dBm)} - P_R \text{ (dBm)}$$

Dengan :

$$G = \text{gain antenna uji (dB)}$$

$$G_{ref} = \text{gain antenna referensi (dB)}$$

$$P_U = \text{daya yang diterima antenna uji (dBm)}$$

$$P_R = \text{daya yang diterima antenna referensi (dBm)}$$

Adapun spesifikasi alat yang digunakan dalam pengukuran gain yaitu :

- Hewlett Packard RF Sweep Oscillator 8350B 0.01KHz– 26.5GHz.
- Hewlett Packard Spectrum Analyzer 8563E 30Hz – 26.5GHz.
- Dua buah antenna standar dipole sleeve  $\lambda/2$
- Antena uji (Antena Mikrostrip Log-Periodik)
- Kabel koaksial RG-58A/U
- Konektor tipe N-Female
- Tiang penyangga

### 3.6.3 Pengukuran Polarisasi

Berdasarkan hasil pengukuran polarisasi yang dilakukan, maka diperoleh nilai daya yang diterima oleh antenna uji. Nilai daya yang diterima kemudian dinormalisasi, sehingga data hasil pengukuran dapat diubah ke dalam bentuk diagram polar agar dapat

diketahui polarisasi antenanya. Alat-alat yang digunakan dalam pengukuran polarisasi antara lain :

- Hewlett Packard RF Sweep Oscillator 8350B 0.01KHz – 26.5GHz.
- Hewlett Packard Spectrum Analyzer 8563E 30KHz – 26.5GHz.
- Antena standar dipole  $\lambda/2$  sebagai antena pemancar.
- Antena Uji (Antena Mikrostrip Log-Periodik).
- Kabel Koaksial RG-58A/U 50  $\Omega$ .
- Konektor tipe N-Female
- Dua buah tiang penyangga antena dengan skala sudut putar.

#### 3.6.4 Pengukuran Pola Radiasi

Berdasarkan hasil pengukuran pola radiasi yang dilakukan, maka diperoleh nilai daya yang diradiasikan oleh antena uji. Pola radiasi yang diperoleh yaitu Pola Radiasi Horizontal dan Pola Radiasi Vertikal. Adapun alat-alat yang digunakan dalam mengukur yaitu :

- Hewlett Packard RF Sweep Oscillator 8350B 0.01KHz – 26.5GHz.
- Hewlett Packard Spectrum Analyzer 8563E 30KHz – 26.5GHz.
- Antena standar dipole  $\lambda/2$  sebagai antena pemancar.
- Antena uji (Antena Mikrostrip Log-Periodik)
- Kabel Koaksial RG-58A/U 50  $\Omega$ .
- Konektor tipe N-Female
- Dua buah tiang penyangga antena dengan skala sudut putar

#### 3.7 Analisis

Pada tahap ini dilakukan analisis terhadap antena 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.

#### 3.8 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 MIKROSTRIP

#### RECTANGULAR DUAL FREKUENSI

#### 4.1 Tinjauan Umum

Antena mikrostrip adalah antena yang dibuat diatas bahan substrat tertentu dengan elemen peradiasi yang terletak di salah satu sisi substrat dan sisi yang lain adalah bidang konduktor yang berfungsi sebagai bidang pentanahan (*ground plane*).

Antena *array* dengan teknologi mikrostrip seperti antena *array* pada umumnya yaitu merupakan gabungan dari beberapa elemen peradiasi pada satu bidang. Termasuk diantaranya saluran transmisi sebagai pencatu setiap elemen tersebut.

Dalam bab ini akan dibahas mengenai penentuan bahan substrat, konduktor dan dimensi elemen peradiasi. Selanjutnya akan dilakukan penghitungan pola radiasi, *VSWR*, *return loss*, *directivity*, *gain*, *bandwidth*, dan polarisasi pada frekuensi kerja antena dengan menggunakan simulasi yang ada pada *software IE3D*. adapun system pencatuan yang digunakan dan perencanaan array dari menggunakan teori yang telah dijelaskan pada bab bab II

#### 4.2 Spesifikasi substrat dan bahan konduktor

Dalam perancangan antena mikrostrip perlu diketahui terlebih dahulu mengenai substrat yang akan digunakan. Bahan substrat yang digunakan adalah sebagai berikut :

Bahan Epoxy fiberglass – FR 4

Konstanta dielektrik ( $\epsilon_r$ ) = 4.5

Ketebalan lapisan dielektrik ( $h$ ) = 0,0016 m = 1,6 mm

*Loss tangent* = 0.018

Bahan pelapis substrat (konduktor) tembaga

Ketebalan bahan konduktor ( $t$ ) = 0,0001 m

Konduktifitas tembaga ( $\sigma$ ) =  $5,80 \times 10^7$  mho m<sup>-1</sup>

Frekuensi kerja ( $f_r$ ) = 2440 MHz dan 2510 MHz

Impedansi karakteristik saluran = 50  $\Omega$

Batasan frekuensi kerja yang bisa dilewatkan pada substrat ini dapat diketahui dengan menggunakan persamaan (2.34)

$$1,6 \times 10^{-3} \leq \frac{0,3(3 \times 10^8)}{2\pi f_r \sqrt{4,6}}$$

$$f_r \leq 4176,23 \text{ MHz}$$

dengan demikian substrat jenis FR-4 ini memungkinkan untuk digunakan dalam merancang antenna dengan frekuensi kerja 2400 – 2485 MHz dan 2510-2520 MHz.

### 4.3 Perencanaan Dimensi Elemen Peradiasi

Antena *rectangular dual* frekuensi yang dirancang nantinya pada dasarnya memiliki 2 elemen tunggal yang nantinya akan digabung menjadi satu dengan susunan *array*. Untuk menentukan dimensi elemen peradiasi maka terlebih dahulu harus direncanakan nilai frekuensi kerja ( $f_r$ ) yaitu 2440 MHz dan 2510 MHz dengan nilai perambatan diruang bebas ( $c$ ) sebesar  $3 \times 10^8$  m/s. Adapun untuk merancang elemen peradiasinya menggunakan persamaan (2-39)

Untuk frekuensi 2440 MHz:

$$\lambda_0 = \frac{c}{f_r} \text{ m}$$

$$\lambda_0 = \frac{3 \times 10^8}{2440 \times 10^6} = 0,123 \text{ m}$$

$$\lambda_d = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_r}} \text{ m}$$

$$\lambda_d = \frac{0,123}{\sqrt{4,5}} = 0,05798 \text{ m} = 57,98 \text{ mm}$$

Maka panjang gelombang pada saluran transmisi mikrostrip dapat dihitung

Untuk frekuensi 2510 MHz:

$$\lambda_0 = \frac{c}{f_r} \text{ m}$$

$$\lambda_0 = \frac{3 \times 10^8}{2510 \times 10^6} = 0,119 \text{ m}$$

$$\lambda_d = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_r}} \text{ m}$$

$$\lambda_d = \frac{0,1119}{\sqrt{4,5}} = 0,05634 \text{ m} = 56,34 \text{ mm}$$

Kemudian untuk mencari lebar elemen peradiasi (L) dapat menggunakan metode Kraus dengan persamaan (2-45)

$$L \approx 0.49\lambda_d = 0.49 \frac{\lambda}{\sqrt{\epsilon_r}} \text{ (m)}$$

Untuk frekuensi kerja 2440 MHz dari perhitungan sebelumnya didapatkan  $\lambda_0 = 0,123$  m; ( $\epsilon_r$ ) = 4.5, maka nilai L dapat dihitung :

$$L \approx 0.49\lambda_d = 0.49 \frac{0.123}{\sqrt{4.5}} = 0,02841 \text{ m} = 28,41 \text{ mm}$$

Sedangkan untuk frekuensi kerja 2510 MHz dengan  $\lambda_0 = 0,119$  m; ( $\epsilon_r$ ) = 4.5, maka nilai L dapat dihitung :

$$L \approx 0.49\lambda_d = 0.49 \frac{0.119}{\sqrt{4.5}} = 0,027608 \text{ m} = 27,61 \text{ mm}$$

Jadi untuk setiap elemen peradiasi dimensinya adalah  $L = W = 28,41$  mm untuk frekuensi 2440 MHz, sedangkan panjang L elemen peradiasi untuk 2510 MHz sebesar 27,61mm.

Pada perancangan dimensi antenna ini, dimensi antenna akan coba dioptimalkan dengan memangkas ukuran lebarnya sehingga lebar patch akan sama dengan ukuran panjangnya. Namun demikian hal ini akan berdampak pada kenaikan nilai impedansi input antenna baik frekuensi 2440 MHz ataupun 2510 MHz. Untuk menghitungnya dapat menggunakan persamaan (2-46)

$$Z_A = 90 \frac{\epsilon_r^2}{\epsilon_r - 1} \left( \frac{L}{W} \right)^2 \Omega$$

$$Z_A = 90 \frac{\epsilon_r^2}{\epsilon_r - 1} x l^2 \Omega$$

$$Z_A = 90 \frac{4,5^2}{4,5 - 1} \approx 520,71 \Omega .$$

#### 4.4 Perencanaan Dimensi Saluran Transmisi

Perancangan antenna untuk penyelesaian skripsi ini akan menggunakan tipe pencatutan dengan skema kontak langsung, yaitu *microstrip line feed*. Seperti diketahui pada bagian sebelumnya impedansi pada tepi *patch* peradiasi senilai dengan 520,71 Ohm. Nilai ini dapat diubah (dikurangi) dengan menggunakan *microstrip line feed* yang

menjorok ke dalam atau disebut dengan *inset feed*. Dengan menganggap bahwa impedansi antena bernilai *real*, maka impedansi input yang diinginkan (50 ohm) dapat diperoleh melalui pengaturan posisi *inset* pada jarak tertentu dari tepi elemen peradiasi. Adapun jarak *inset* dari tepi diperoleh dengan menggunakan persamaan (2-47), [Balanis 1997 : 734].

Untuk frekuensi 2440 MHz

$$R_{in}(y = y_0) = R_{in}(y = 0) \cos^2\left(\frac{\pi}{L} y_0\right)$$

$$520,71 = 50 \cos^2\left(\frac{180}{28,41} y_0\right)$$

$$y_0 = \cos^{-1} \sqrt{\left(\frac{50}{520,71}\right)} \cdot \left(\frac{28,41}{180}\right)$$

$$y_0 = 11,36 \text{ mm}$$

Sedangkan untuk frekuensi 2510 Mhz

$$y_0 = \cos^{-1} \sqrt{\left(\frac{50}{520,71}\right)} \cdot \left(\frac{27,61}{180}\right)$$

$$y_0 = 11 \text{ mm}$$

Untuk perhitungan dimensi saluran transmisi mikrostrip dapat digunakan persamaan (2-48) di bawah ini :

$$W_0 = \frac{377}{Z_0} x \frac{h}{\sqrt{\epsilon_r}} \text{ (mm)}$$

Dengan nilai  $h = 1,6 \text{ mm}$  dan  $\epsilon_r = 4,5$  maka diperoleh nilai  $W_0$  (lebar saluran transmisi) untuk tiap-tiap nilai impedansi

$$W_0 = \frac{377}{100} x \frac{1,6}{\sqrt{4,5}} \text{ (mm)}$$

$$W_0 = 2,842 \text{ mm}$$

Sedangkan panjang saluran transmisi dihitung dengan persamaan:

$$L_t = \frac{1}{4} \lambda_d \text{ (m)}$$

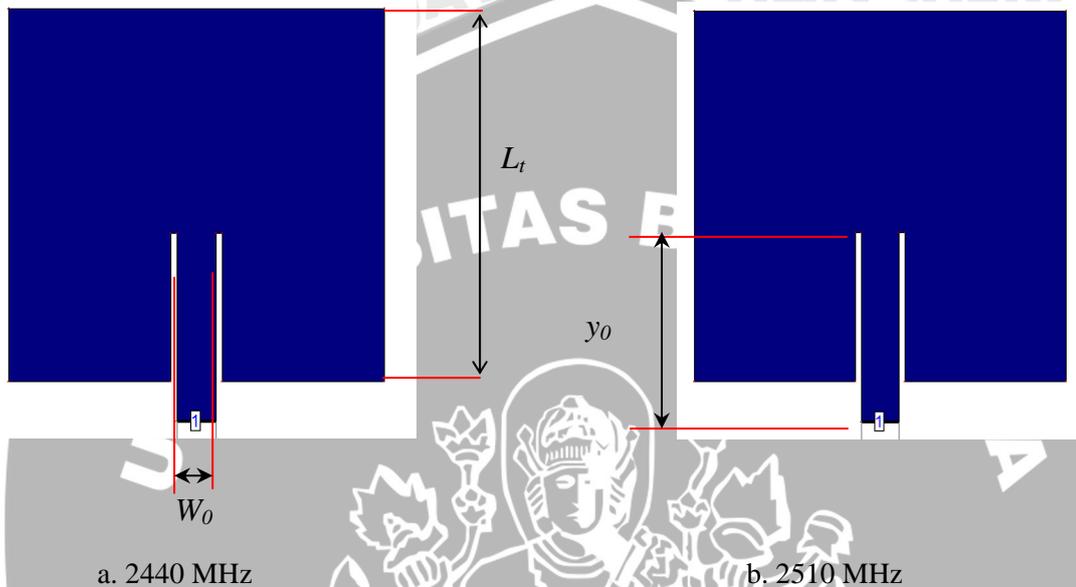
Dengan  $\lambda_d = 57,98 \text{ mm}$  untuk frekuensi 2440 MHz, maka panjang saluran transmisi adalah

$$L_t = \frac{1}{4} \cdot 57,98 = 14,5 \text{ mm}$$

Untuk frekuensi 2510 MHz diperoleh:

$$L_t = \frac{1}{4} \cdot 56,34 = 14 \text{ mm}$$

Sehingga dimensi elemen peradiasi dapat ditunjukkan pada gambar 4.1 a dan b berikut:

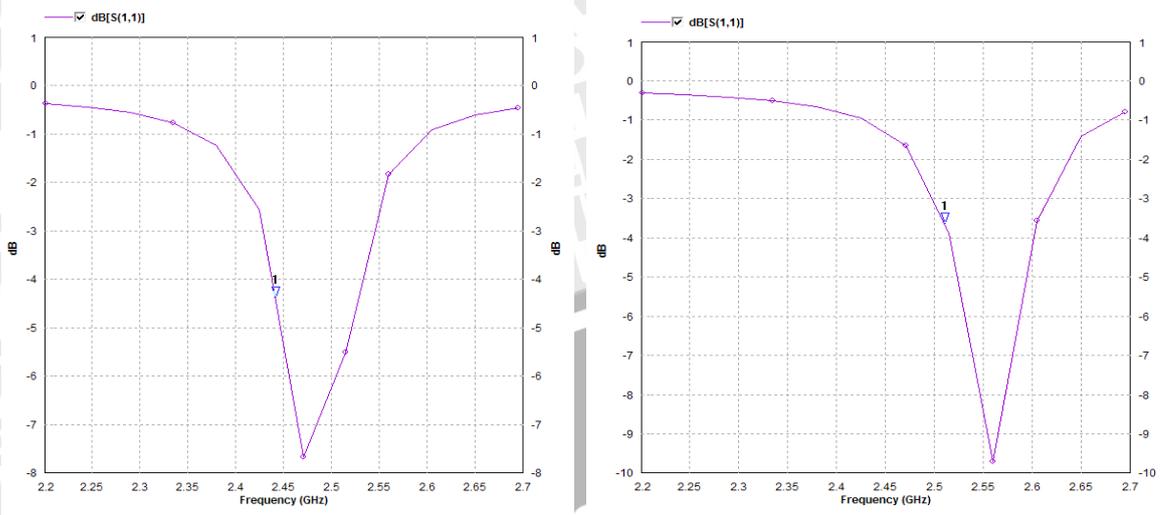


a. 2440 MHz

b. 2510 MHz

Gambar 4.1 Elemen peradiasi  
sumber : perencanaan pada IE3D

Kemudian dilakukan simulasi dengan menggunakan simulator Ie3d, dan didapatkan hasil simulasi dari nilai RL dari desain antenna *single elemen* yang direpresentasikan pada *marker S<sub>11</sub>* sesuai dengan yang ditampilkan pada Grafik 4.1.



a. 2440 MHz

b. 2510 MHz

Grafik 4.1 Hasil simulasi  $S_{11}$  elemen peradiasi

sumber : Simulasi IE3D

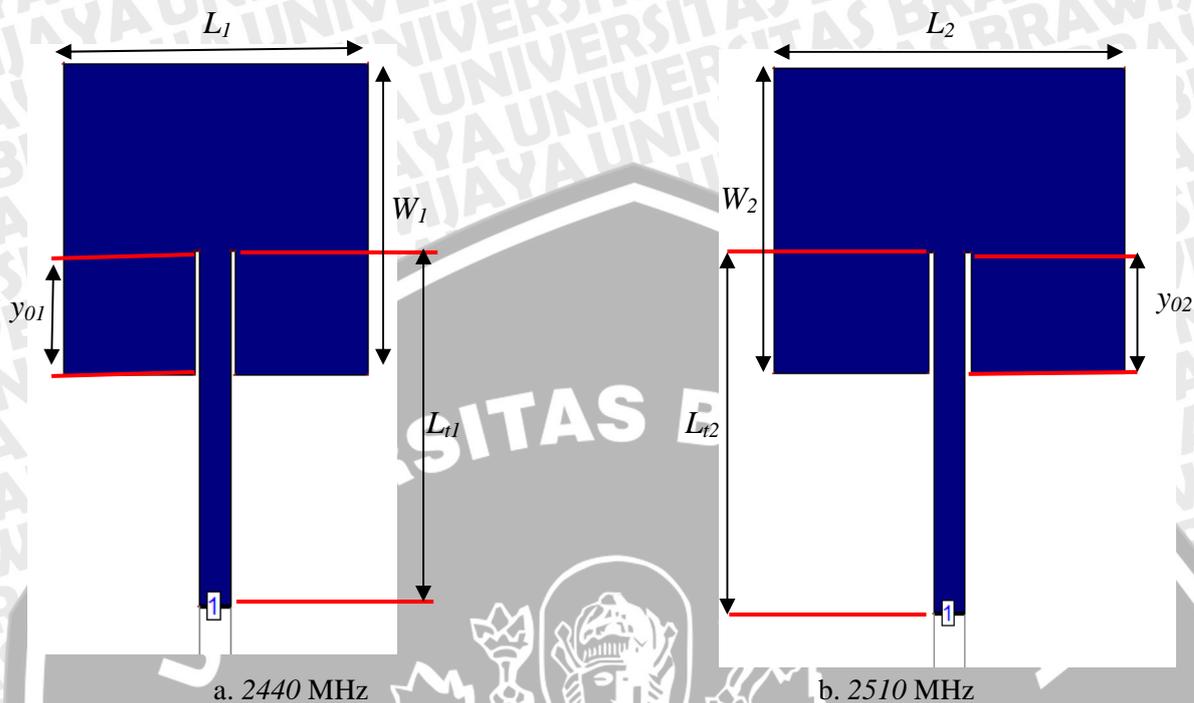
Marker  $S_{11}$  pada grafik menunjukkan nilai RL pada desain antenna. Simulasi pada grafik 4.1 menunjukkan nilai  $S_{11}$  dari elemen peradiasi. Untuk nilai  $S_{11}$  sebuah antenna bekerja dengan baik jika nilai  $S_{11} < -10$  dB.

Dari hasil simulasi dapat dilihat bahwa antenna belum bekerja optimal pada frekuensi yang diharapkan yaitu 2440 MHz dan 2510. Dari simulasi didapatkan nilai  $S_{11}$  pada frekuensi kerja antenna yang dirancang sebesar -4,38 dB dan -3,63 dB sehingga perlu dilakukan optimasi pada single elemen sebelum antenna disatukan agar sesuai dengan nilai  $S_{11}$  yang diharapkan.

#### 4.5 Optimasi elemen peradiasi antenna mikrostrip

Optimasi adalah proses perancangan pada desain antenna yang dilakukan agar antenna dapat bekerja sesuai dengan yang kita inginkan yaitu bekerja pada frekuensi 2440 MHz dan 2510 MHz secara baik.

Untuk melakukan optimasi dapat dilakukan dengan merubah dimensi elemen peradiasi hingga didapatkan hasil yang paling optimal. Dalam skripsi ini selain secara manual dengan mengubah dimensi elemen peradiasi juga menggunakan simulator Ie3d yang menyediakan perhitungan untuk optimasi elemen peradiasi antenna mikrostrip, optimasi juga dilakukan pada saluran *inset feed*. Hasil optimasi ditampilkan pada Gambar 4.2



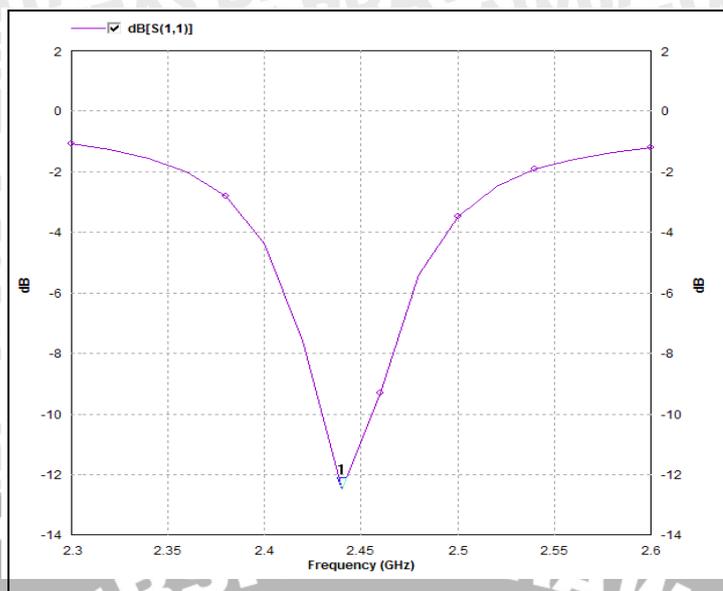
Gambar 4.2 Hasil Optimasi elemen peradiasi

Sumber : Simulasi

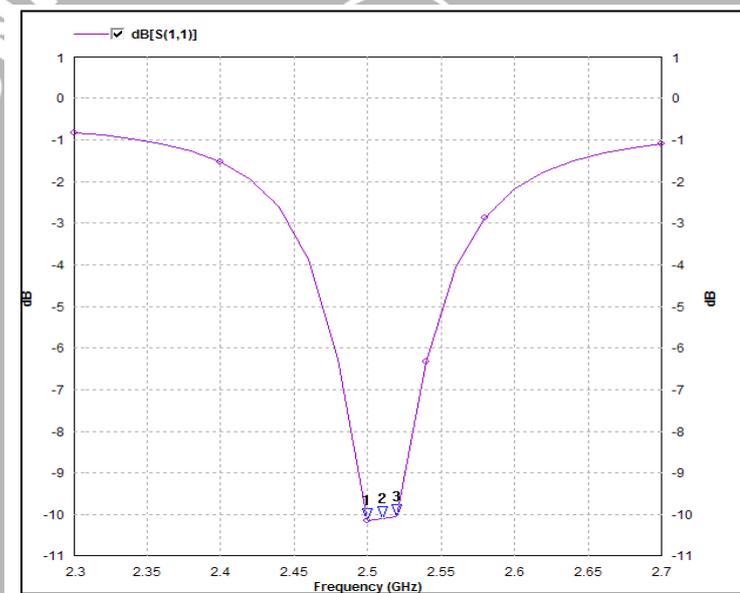
Keterangan gambar 4.2 :

$L_1 = 27 \text{ mm}$	$L_2 = 32 \text{ mm}$
$W_1 = 29,5 \text{ mm}$	$W_2 = 28 \text{ mm}$
$y_{01} = 11,5 \text{ mm}$	$y_{02} = 11 \text{ mm}$
$L_{t1} = 33 \text{ mm}$	$L_{t2} = 33 \text{ mm}$

Kemudian dilakukan simulasi dengan menggunakan simulator Ie3d, dan didapatkan hasil simulasi nilai RL untuk masing-masing desain antenna 2440 MHz dan 2510 Mhz sesuai dengan yang ditampilkan pada Grafik 4.2 a dan b.



a. Frekuensi 2440 MHz



b. Frekuensi 2510 MHz

Grafik 4.2 Hasil simulasi optimasi frekuensi terhadap nilai S<sub>11</sub>

Sumber : Simulasi IE3D

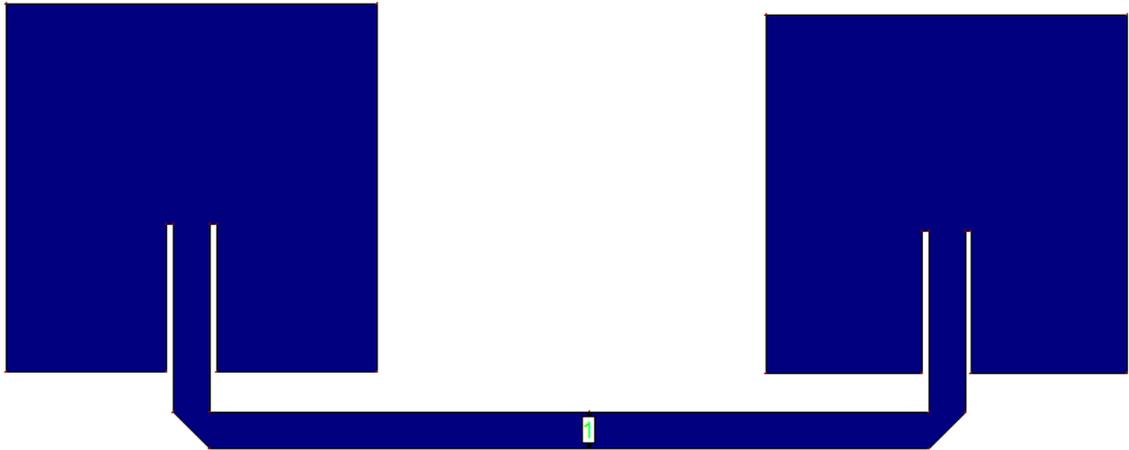
Dari hasil optimasi diatas dapat dilihat bahwa elemen peradiasi sudah bekerja paling maksimal pada frekuensi yang diinginkan yaitu 2440 MHz dan 2510 MHz, dengan nilai S<sub>11</sub> untuk frekuensi 2440 MHz sebesar -12,5 dB dan untuk frekuensi 2510 MHz sebesar -10.143 dB untuk 2500 MHz (marker 1), -10,0925 dB untuk 2510 MHz (marker 2), -10,042 dB untuk 2520 MHz (marker 3). Memang hasil nilai S<sub>11</sub> tidak

terlalu optimal untuk single elemen namun nanti diharapkan akan mendapat nilai yang optimal saat kedua antenna digabungkan.

#### 4.6 Perencanaan Antena Mikrostrip *Rectangular Array*

Antena *array* dengan menggunakan teknologi mikrostrip, seperti antena *array* pada umumnya, merupakan gabungan dari beberapa elemen peradiasi dalam satu bidang, termasuk didalamnya saluran transmisi yang bertindak sebagai saluran pengumpan (*feed point*) untuk tiap elemen tersebut.

Penggunaan saluran transmisi mikrostrip sebagai saluran pencatu memberikan kemudahan dalam perencanaan antena ini. Adapun bentuk antena yang direncanakan adalah sebagai berikut :



Gambar 4.3 Antena mikrostrip *rectangular array* dual frekuensi

Sumber : perencanaan

Untuk dimensi elemen peradiasi digunakan panjang elemen peradiasi dari perhitungan yang panjang dan lebar elemen peradiasinya sama. Adapun nilai L dari elemen peradiasi untuk frekuensi 2440 yaitu 28.41 mm, sedangkan nilai elemen peradiasi untuk frekuensi 2510 sebesar 27.61 mm.

Untuk perhitungan dimensi saluran transmisi dapat digunakan persamaan (2-48) di bawah ini :

$$W_0 = \frac{k}{Z_0} x \frac{h}{\sqrt{\epsilon_r}} \text{ (mm)}$$

Pada perencanaan antena mikrostrip ini nilai impedansi pada setiap saluran direncanakan sebesar 100  $\Omega$ , untuk mendapatkan impedansi total 50  $\Omega$ .

Dengan nilai  $h = 1.6$  mm dan  $\epsilon_r = 4.5$  maka diperoleh nilai  $W_T$  (lebar saluran transmisi) untuk tiap-tiap nilai impedansi

Nilai  $Z_1 = 100 \Omega$  :

$$W_1 = \frac{120\pi}{100} \times \frac{1.6}{\sqrt{4.5}} \text{ (mm)}$$

$$W_1 = 2,842 \text{ mm}$$

Untuk panjang belokan saluran transmisi (*microstrip bend*) adalah  $1.8 \times W_1$  dan didapatkan sebesar 1.035 mm

Nilai  $Z_2 = 100 \Omega$  :

$$W_2 = \frac{120\pi}{100} \times \frac{1.6}{\sqrt{4.5}} \text{ (mm)}$$

$$W_2 = 2,842 \text{ mm}$$

Untuk panjang saluran transmisi dihitung dengan persamaan (2-49):

$$L_t = \frac{1}{4} \lambda_d \text{ (m)}$$

Dengan  $\lambda_d = 57,98$  mm untuk frekuensi 2440 MHz, maka panjang saluran transmisi adalah

$$L_{t1} = \frac{1}{4} \cdot 57,98 = 14,5 \text{ mm}$$

Untuk frekuensi 2510 MHz diperoleh:

$$L_{t2} = \frac{1}{4} \cdot 56,34 = 14 \text{ mm}$$

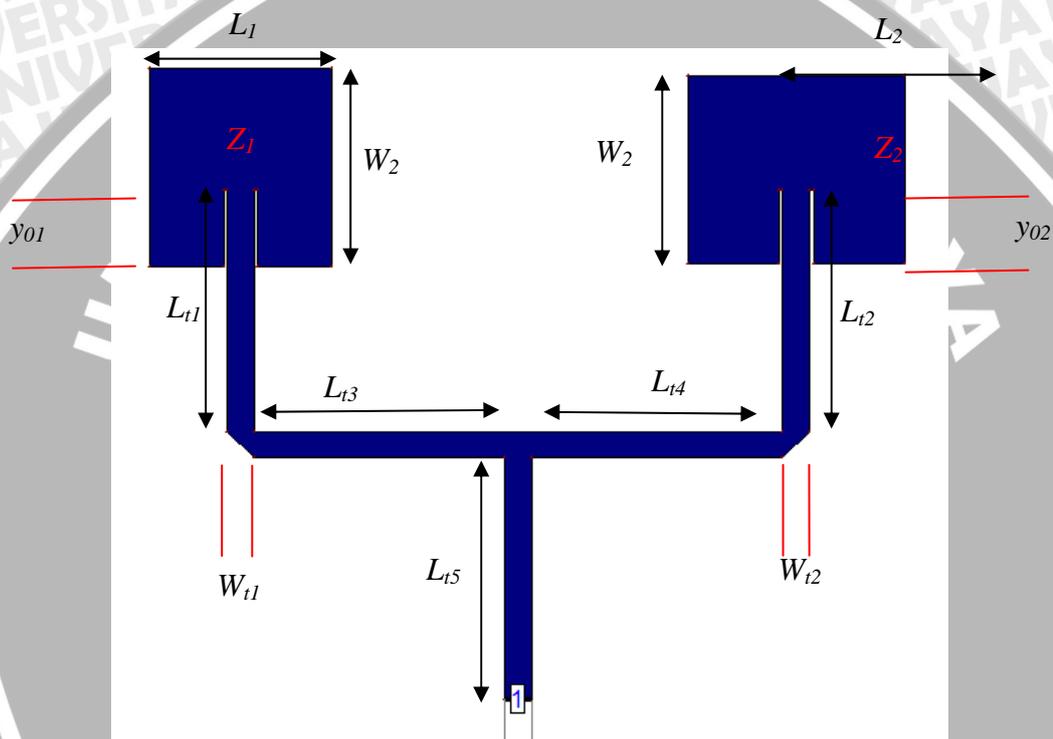
Agar diperoleh nilai distribusi arus yang maksimal, maka jarak antara elemen peradiasi dengan titik catu harus kelipatan ganjil dari  $\frac{1}{4} \lambda_d$ . Oleh karena itu panjang saluran transmisi  $L_1$  dan  $L_2$  dikalikan 2 untuk mendapatkan nilai panjang saluran transmisi total masing-masing elemen peradiasi sebesar  $\frac{3}{4} \lambda_d$ . Maka panjang  $L_1$  adalah 29 mm dan panjang  $L_2$  sebesar 28 mm.

#### 4.7 Optimasi antena array

Sama halnya dengan desain antena pada *single* elemen optimasi yang dimaksudkan pada antena array ini ialah proses perancangan pada desain untuk

didapatkan desain antenna yang dapat diaplikasikan pada WLAN dan Wi-MAX yaitu pada frekuensi kerja 2440 MHz dan 2510 MHz.

Setelah dilakukan perhitungan secara manual pada dimensi elemen peradiasi dan saluran transmisi pada perencanaan antenna *rectangular array* kemudian dilakukan optimasi agar antenna dapat bekerja sesuai dengan yang kita inginkan. Optimasi dilakukan dengan mengubah-ubah panjang elemen peradiasi, panjang saluran transmisi dan lebar saluran *inset feed*. Hasil akhir dimensi elemen peradiasi dan saluran transmisi setelah optimasi ditampilkan pada Gambar 4.4



Gambar 4.4 Antena mikrostrip *rectangular array* dual frekuensi setelah optimasi

Sumber : Simulasi

Keterangan gambar :

Elemen Peradiasi :

$$L_1 = 27 \text{ mm} \quad L_2 = 32 \text{ mm}$$

$$W_1 = 29,5 \text{ mm} \quad W_2 = 28 \text{ mm}$$

$$Z_1 = 100 \Omega \quad Z_2 = 100 \Omega$$

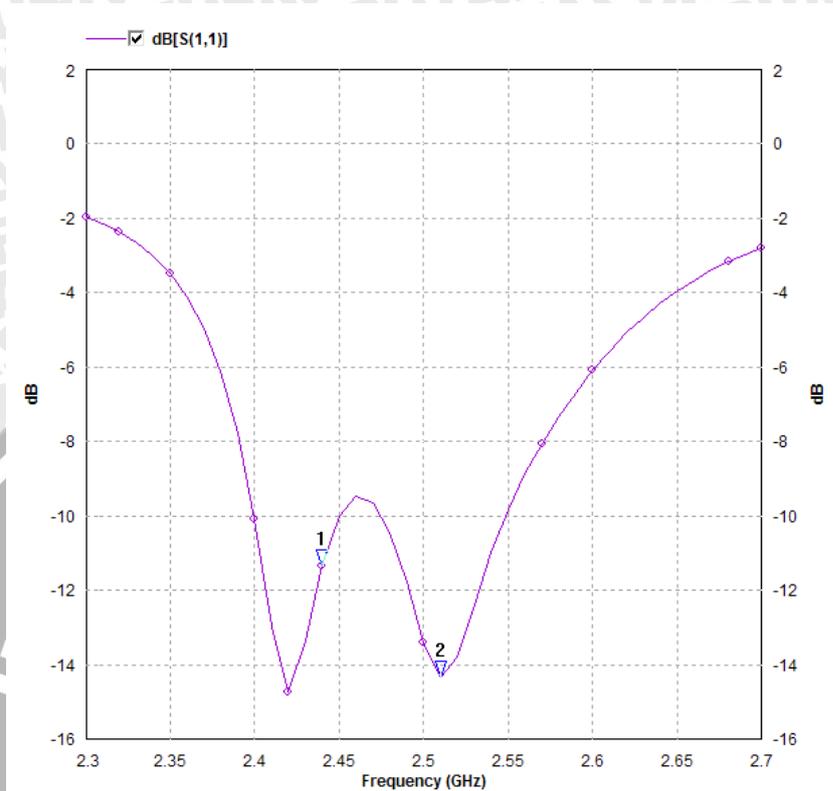
Saluran Transmisi :

$$y_{01} = 11,5 \text{ mm} \quad y_{02} = 11 \text{ mm}$$

$$W_{t1} = 4 \text{ mm} \quad W_{t2} = 4 \text{ mm}$$

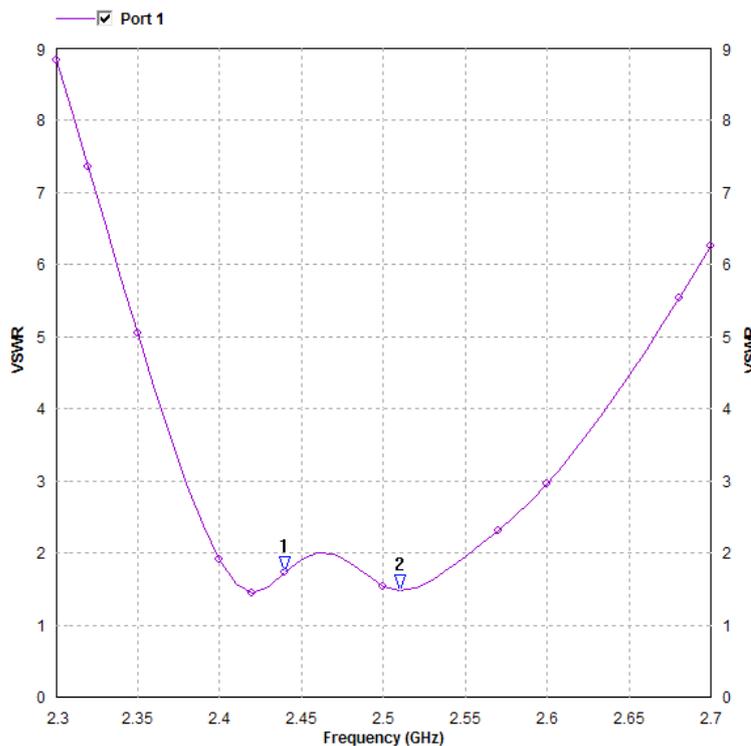
$$L_{t1} = L_{t2} = L_{t3} = L_{t4} = L_{t5} = 35 \text{ mm}$$

Hasil simulasi dari antenna mikrostrip *rectangular array* dual frekuensi setelah optimasi adalah sebagai berikut :



Grafik 4.3 Grafik  $S_{11}$  terhadap frekuensi  
Sumber : Simulasi

Dari grafik diatas, diperoleh nilai  $S_{11}$  untuk frekuensi 2440MHz (*marker 1*) sebesar -11.32 dB dan frekuensi 2510 MHz (*marker 2*) sebesar -14,31 dB.



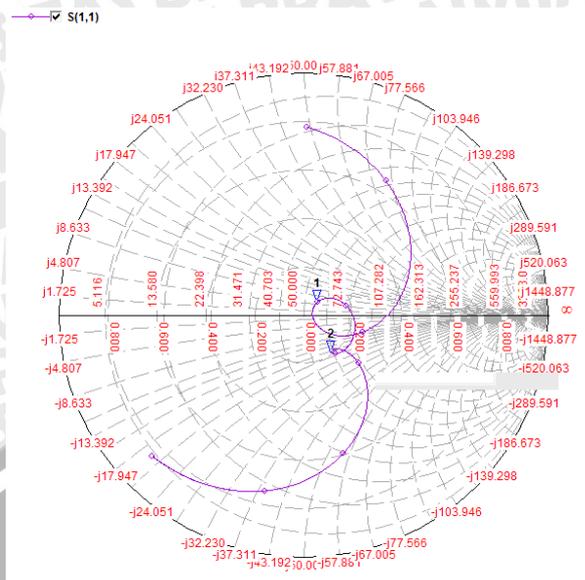
Grafik 4.4 Grafik VSWR terhadap frekuensi

Sumber : Simulasi

Dari simulasi diatas antenna sudah bekerja optimal pada frekuensi yang diinginkan yaitu  $2440\text{ MHz}$  dan  $2510\text{ MHz}$ . Dari gambar diatas dapat diketahui besarnya *bandwidth* yaitu pada rentang nilai  $VSWR \leq 2$  atau  $S_{11} \leq -9,54\text{ dB}$ . Pada frekuensi kerja  $2440\text{ MHz}$ , nilai  $VSWR < 2$  dimulai dari  $2400\text{ MHz}$  sampai  $2483,5\text{ MHz}$ , sehingga nilai *bandwidth*nya adalah  $(2400-2483,5)\text{ MHz} = 83,5\text{ MHz}$ .

Sedangkan untuk frekuensi kerja  $2510\text{ MHz}$ , nilai  $VSWR < 2$  dimulai dari  $2500\text{ MHz}$  sampai  $2520\text{ MHz}$ , sehingga nilai *bandwidth*nya adalah  $(2500-2520)\text{ MHz} = 20\text{ MHz}$ . Nilai  $VSWR$  pada frekuensi  $2440\text{ MHz}$  adalah  $1,74$  dan pada frekuensi  $2510\text{ MHz}$  adalah  $1,47$ .

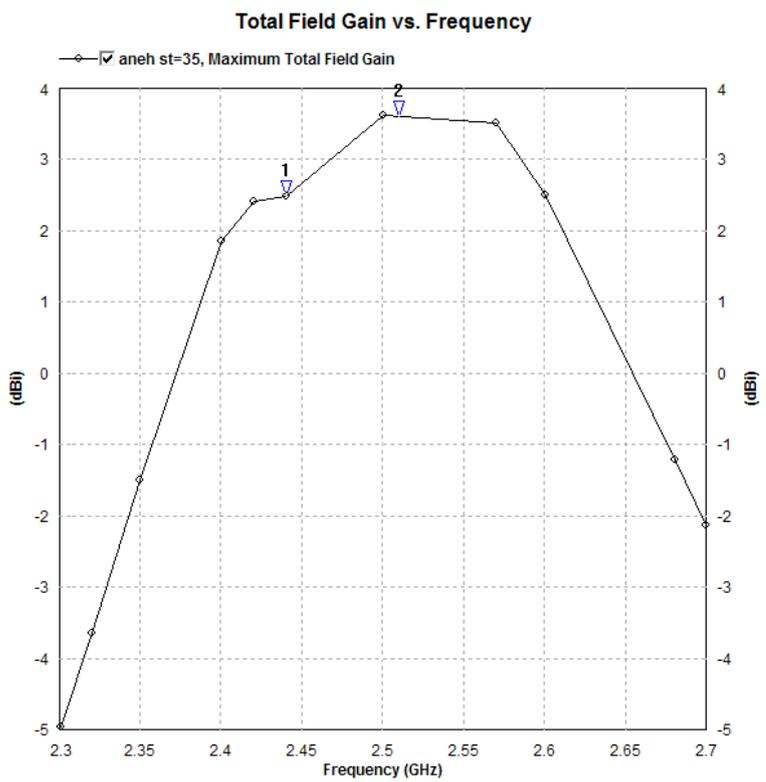
Selain itu, simulator ie3d dapat menampilkan gambar smith chart yang merepresentasikan besar dari impedansi karakteristik dari antenna array yang dibuat. Data tersebut ditampilkan pada Gambar 4.5. dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa pada sumbu realnya baik itu di *marker 1* ( $2440\text{ MHz}$ ) dan *marker 2* ( $2510\text{ MHz}$ ) bahwa impedansinya mendekati  $50\text{ ohm}$ . Hal ini sesuai dengan besar impedansi antenna yang diharapkan.



Gambar 4.5 Smith Chart

Sumber : Simulasi

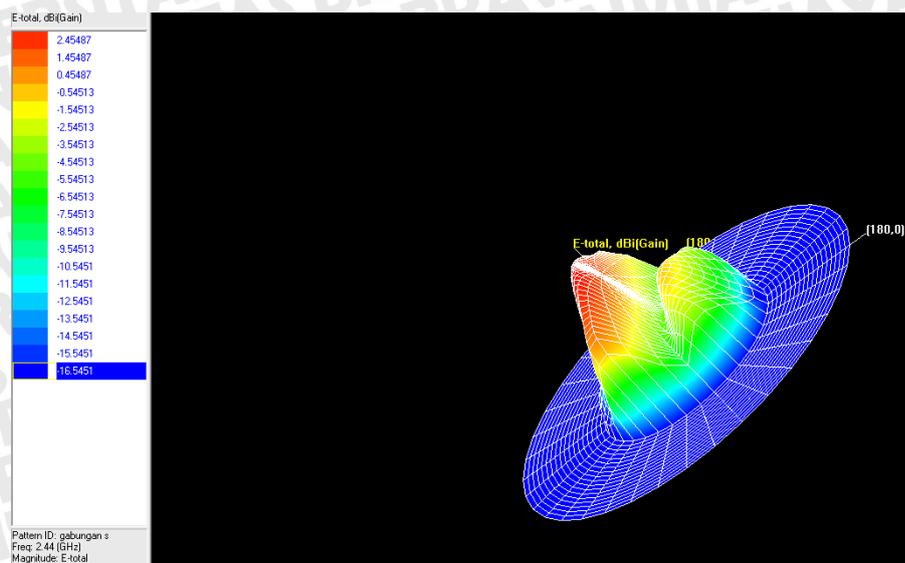
Simulator ie3d juga dapat mensimulasikan hasil gain yang dihasilkan pada antenna dual frekuensi sesuai dengan Grafik 4.5. Dari grafik terlihat antenna ini pada simulasi hanya mempunyai gain yang kecil yaitu sebesar 2.4 dBi pada *marker 1* dan 3.6 pada *marker 2*. Untuk antenna yang dirancang memang belum memenuhi standar dari yang ditetapkan sebesar  $>3$  dBi. Namun ini merupakan hasil maksimum dari simulasi yang dapat dihasilkan.



Grafik 4.5 Grafik gain terhadap frekuensi

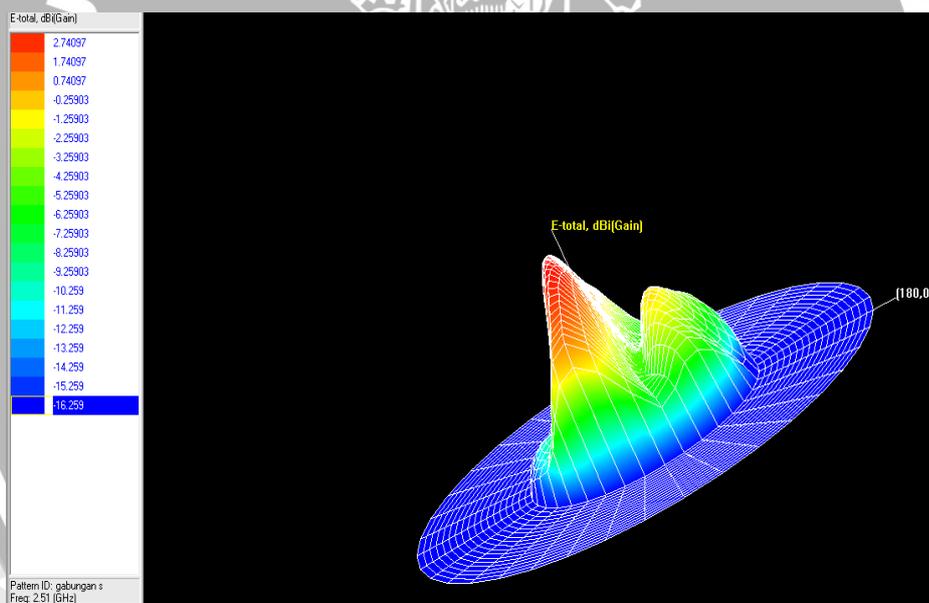
Sumber : Simulasi

Untuk mengetahui pola daya dari antenna dual frekuensi, didapatkan hasil simulasi berupa Gambar 4.6 untuk antenna yang bekerja pada frekuensi 2440 MHz dan untuk frekuensi kerja 2510 MHz didapatkan hasil simulasi sesuai dengan yang ditampilkan pada gambar 4.7. hasil simulasi berupa gambar 3 dimensi dengan warna merah hingga warna biru sebagai indikatornya. Dari gambar diketahui bahwa pada frekuensi kerja 2440 MHz didapatkan gain 2,45 dBi dan pada 2510 MHz sebesar 2,74



Gambar 4.6 Gain Pattern 3D pada frekuensi 2440 MHz

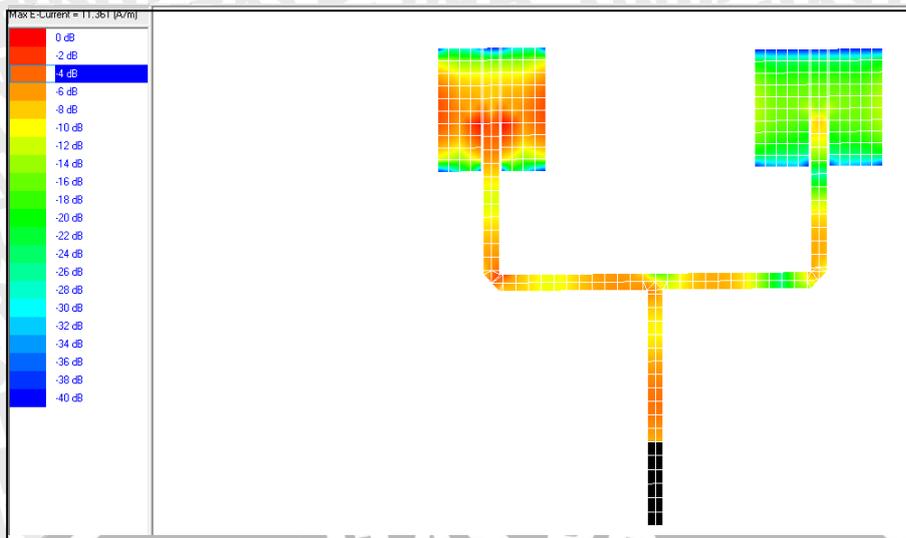
Sumber : Simulasi



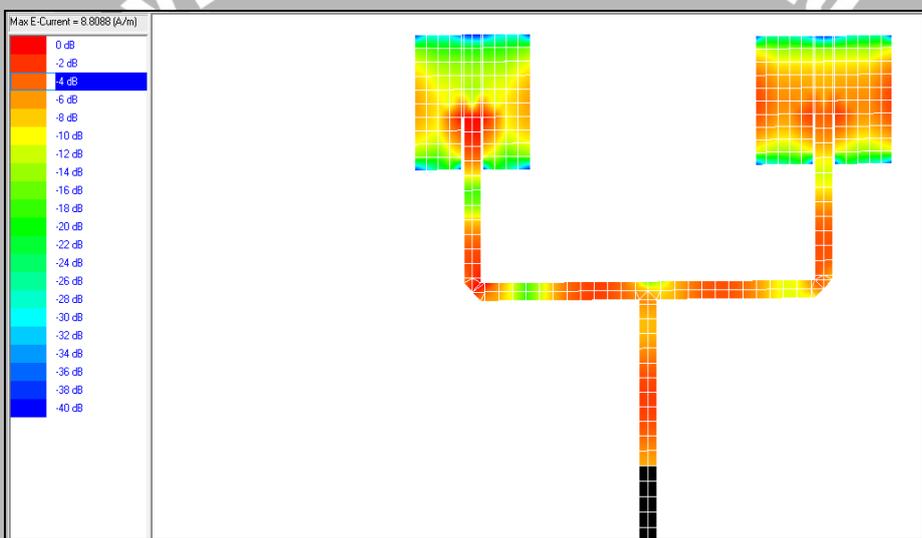
Gambar 4.7 Gain Pattern 3D pada frekuensi 2510 MHz

Sumber : Simulasi

Untuk distribusi arus pada saat antenna dicatu, hasil simulasinya dapat dilihat pada gambar 4.8 a dan b. dari gambar tersebut dapat dilihat perbedaan warna dari kuni ke biru, artinya semakin warna berubah dari degradasi ke arah biru menunjukkan antenna tersebut tidak dialiri listrik dan sebaliknya semakin berwarna kuning maka distribusi arus terkumpul pada daerah tersebut.



a. Frekuensi 2440 MHz



b. Frekuensi 2510 MHz

Gambar 4.8 Distribusi Arus

Sumber : Simulasi



## BAB V

### PENGUJIAN DAN ANALISIS HASIL PENGUKURAN ANTENA MIKROSTRIP *RECTANGULAR* DUAL FREKUENSI

#### 5.1 Pendahuluan

Untuk mengetahui karakteristik antena mikrostrip *rectangular* dual frekuensi yang telah dirancang dan dibuat, maka dilakukan pengukuran terhadap parameter-parameter antena tersebut terhadap frekuensi kerjanya. Selanjutnya, dari pengukuran parameter-parameter antena yang diperoleh akan dilakukan analisis terhadap hasil pengukuran yang diperoleh. Pengukuran terdiri atas 3 antena uji yaitu antena *rectangular single* WLAN, *rectangular single* WIMAX dan antena *rectangular* dual frekuensi untuk mengetahui karakteristik masing antena.

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 polarisasi.
- Pengukuran pola radiasi.

Pengukuran parameter-parameter tersebut dilakukan di Laboratorium *Microwave* Institut Teknologi Telkom Bandung. Selain keempat pengukuran diatas, dari data pengukuran *VSWR* didapatkan perhitungan Bandwith antena sedangkan pada data hasil pengukuran pola radiasi didapatkan perhitungan *Directivity*

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

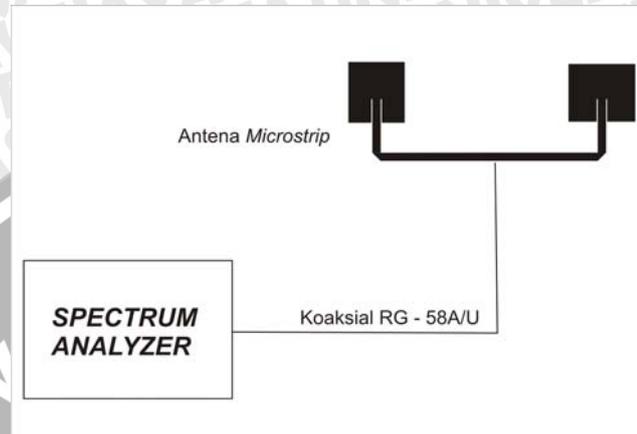
##### 5.2.1 Alat-alat yang digunakan

- *RF Network Analyzer* Agilent 8714ES 300 kHz – 3000 MHz.
- Antena uji (Antena Mikrostrip *Rectangular* Dual Frekuensi, *Rectangular Single* WLAN, *Rectangular Single* WIMAX).
- Kabel koaksial RG-58A/U.
- Konektor N *Female* 2 buah.

##### 5.2.2 Prosedur Pengukuran

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

2. Menghubungkan kabel koaksial RG-58A/U dengan alat ukur *RF Network Analyzer*.
3. Mengkalibrasi alat ukur *Spectrum Analyzer* yang telah dihubungkan kabel koaksial RG-58A/U.
4. Menghubungkan ujung lain kabel koaksial RG-58A/U dengan antenna uji (antena mikrostrip) 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 range frekuensi 1000 MHz – 3000 MHz.
6. Mencatat nilai *Return Loss* yang ditunjukkan oleh alat ukur *RF Network Analyzer* pada frekuensi 2440 MHz dan 2510 MHz.
7. Dengan persamaan 2-25 dan 2-26, diperoleh besarnya nilai *VSWR* dan koefisien pantul untuk setiap frekuensi yang diukur.
8. Setelah data hasil pengukuran rectangular single didapat maka ganti antenna uji dengan antenna *rectangular single WIMAX* dan rectangular dual frekuensi dengan cara yang sama seperti pada pengukuran antenna *rectangular single WLAN*

### 5.2.3 Hasil Pengukuran

Dari hasil pengukuran impedansi dan koefisien pantul dapat dihitung nilai *VSWR* antenna. Perhitungan nilai *VSWR* dengan persamaan 2-25 dan 2-26 adalah sebagai berikut:

#### 5.2.3.1 Antena Rectangular Single WLAN

$$f_r = 2440 \text{ MHz}$$

$$RL = -12.953 \text{ dB}$$

$$RL = 20 \log \Gamma \text{ (dB)}, \Gamma = 0.557$$

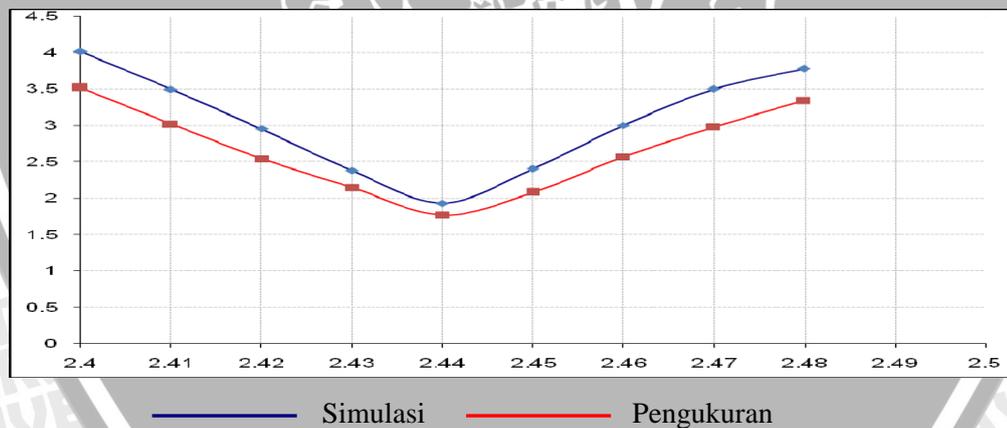
$$VSWR = \frac{1+|\Gamma|}{1-|\Gamma|} = \frac{1+0.557}{1-0.557} = 3.515$$

Dengan cara perhitungan yang sama, data hasil pengukuran *Return Loss*, koefisien pantul dan *VSWR* antenna mikrostrip *rectangular single WLAN* dapat dilihat pada tabel 5.1.

No.	Frekuensi (MHz)	Return Loss (RL)	Koefisien Pantul	VSWR
1	2400	-4.767	0.557	3.517
2	2410	-6.573	0.502	3.017
3	2420	-8.675	0.436	2.543
4	2430	-9.876	0.364	2.143
5	2440	-12.953	0.277	1.766
6	2450	-9.865	0.350	2.076
7	2460	-8.452	0.439	2.567
8	2470	-8.003	0.497	2.98
9	2480	-4.000	0.540	3.344

Tabel 5.1 Hasil pengukuran *Return Loss*, koefisien pantul dan perhitungan *VSWR* Antena Mikrostrip *Rectangular WLAN*

Selanjutnya dari data hasil pengukuran *VSWR* dapat dibuat grafik fungsi *VSWR* terhadap frekuensi, seperti ditunjukkan pada Grafik 5.1.



Grafik 5.1 Grafik fungsi *VSWR* Antena Mikrostrip *Rectangular WLAN* terhadap frekuensi

(Sumber : Hasil Pengujian)

### 5.2.3.2 Antena *Rectangular Single WIMAX*

$$f_r = 2510 \text{ MHz}$$

$$RL = -16.054 \text{ dB}$$

$$RL = 20 \log \Gamma \text{ (dB)}, \Gamma = 0.153$$

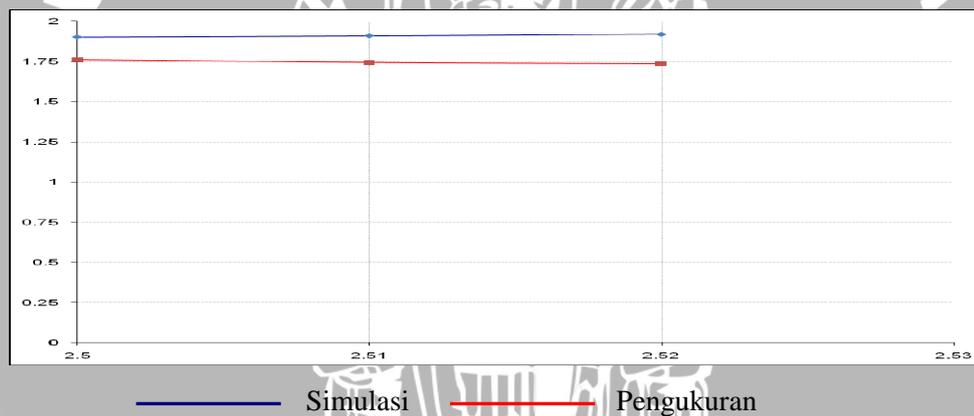
$$VSWR = \frac{1+|\Gamma|}{1-|\Gamma|} = \frac{1+0.153}{1-0.153} = 1.36$$

Dengan cara perhitungan yang sama, data hasil pengukuran *Return Loss*, koefisien pantul dan *VSWR* antena mikrostrip *rectangular single WIMAX* dapat dilihat pada tabel 5.2.

No.	Frekuensi (MHz)	Return Loss (RL)	Koefisien Pantul	VSWR
1	2500	-16.339	0.275	1.76
2	2510	-16.054	0.271	1.744
3	2520	-15.818	0.270	1.738

Tabel 5.2 Hasil pengukuran *Return Loss*, koefisien pantul dan perhitungan *VSWR* Antena Mikrostrip *Rectangular Single WIMAX*

Selanjutnya dari data hasil pengukuran *VSWR* dapat dibuat grafik fungsi *VSWR* terhadap frekuensi, seperti ditunjukkan pada Grafik 5.2.



Grafik 5.2 Grafik fungsi *VSWR* Antena Mikrostrip *Rectangular Single WIMAX* terhadap frekuensi

(Sumber : Hasil Pengujian)

### 5.2.3.3 Antena *Rectangular* Dual Frekuensi

$$f_r = 2440 \text{ MHz}$$

$$RL = -17.510 \text{ dB}$$

$$RL = 20 \log \Gamma \text{ (dB)}, \Gamma = 0.133$$

$$VSWR = \frac{1+|\Gamma|}{1-|\Gamma|} = \frac{1+0.133}{1-0.133} = 1.308$$

$$f_r = 2510 \text{ MHz}$$

$$RL = -11.861 \text{ dB}$$

$$RL = 20 \log \Gamma \text{ (dB)}, \Gamma = 0.255$$

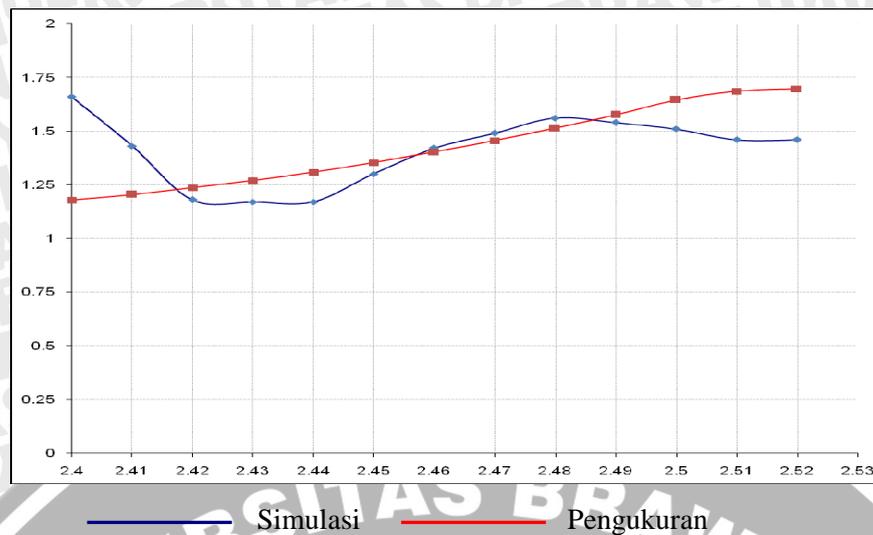
$$VSWR = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} = \frac{1 + 0.255}{1 - 0.255} = 1.685$$

Dengan cara perhitungan yang sama, data hasil pengukuran *Return Loss*, koefisien pantul dan *VSWR* antenna mikrostrip *rectangular single WLAN* dapat dilihat pada tabel 5.3.

No.	Frekuensi (MHz)	Return Loss (RL)	Koefisien Pantul	VSWR
1	2400	-21.759	0.082	1.178
2	2410	-20.671	0.093	1.205
3	2420	-19.585	0.106	1.236
4	2430	-18.500	0.119	1.27
5	2440	-17.510	0.133	1.308
6	2450	-16.527	0.150	1.353
7	2460	-15.153	0.167	1.402
8	2470	-14.665	0.185	1.455
9	2480	-13.827	0.204	1.513
10	2490	-13.016	0.224	1.576
11	2500	-12.279	0.244	1.645
12	2510	-11.861	0.255	1.685
13	2520	-11.764	0.258	1.696

Tabel 5.3 Hasil pengukuran *Return Loss*, koefisien pantul dan perhitungan *VSWR* Antena Mikrostrip *Rectangular Dual* Frekuensi

Selanjutnya dari data hasil pengukuran *VSWR* dapat dibuat grafik fungsi *VSWR* terhadap frekuensi, seperti ditunjukkan pada Grafik 5.3.



Grafik 5.3 Grafik fungsi VSWR Antena Mikrostrip *Rectangular Dual* Frekuensi terhadap frekuensi  
(Sumber : Hasil Pengujian)

#### 5.2.4 Analisis Hasil Pengukuran

Berdasarkan hasil pengukuran, terdapat perubahan nilai VSWR dan Return Loss saat antenna belum di array atau berupa single elemen dan sesudah di array dengan elemen lainnya. Pada antenna single elemen dengan frekuensi kerja 2440 MHz didapatkan nilai VSWR 1.766 dan Return Loss -12.953 dB, sedangkan pada frekuensi 2510 antenna single elemen mempunyai nilai VSWR dan Return Loss berturut-turut sebesar 1.744 dan -16.054 dB. Pada antenna mikrostrip rectangular dual frekuensi didapatkan hasil pengukuran nilai VSWR dan Return Loss yang lebih baik daripada antenna single elemen yaitu pada frekuensi 2440 MHz mempunyai nilai VSWR 1.308 dan Return Loss sebesar -17.51 dB, sedangkan pada frekuensi 2510 didapatkan hasil pengukuran nilai VSWR dan Return Loss berturut-turut sebesar 1.685 dan -11.861 dB.

Hasil pengukuran dapat dibandingkan dengan hasil simulasi. Pada simulasi, antenna bekerja maksimum pada frekuensi 2440 MHz dan 2500 MHz sedang pada hasil pengukuran antenna maksimum bekerja pada frekuensi 2.4 GHz dan 2.5 GHz. Dan merubah bentuk karakteristik nilai VSWR antenna dual frekuensi.



Gambar 5.2 Pengukuran VSWR

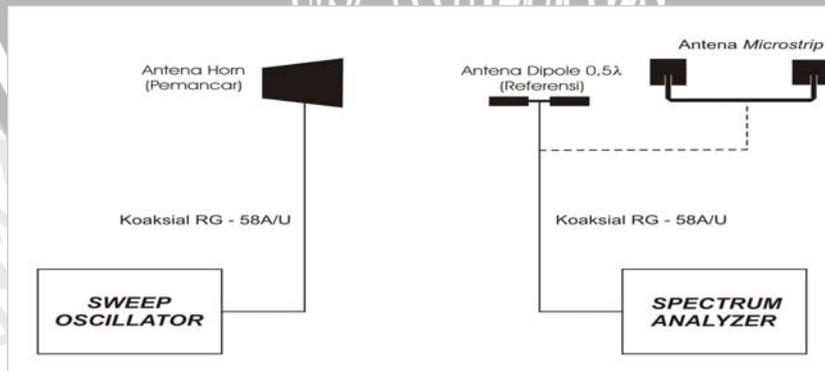
Sumber : Pengujian

### 5.3 Pengukuran Gain Antena

#### 5.3.1 Alat-alat yang digunakan

- Sweep Oscillator 8350B 1 - 26.5 GHz Hewlett Packard.
- Spectrum Analyzer 30 Hz – 26.5 GHz Hewlett Packard.
- Satu buah antena standar *dipole sleeve*  $\lambda/2$
- Satu buah antena *horn* sebagai *transmitter*.
- Antena uji (Antena Mikrostrip *Rectangular Dual Frekuensi*, *Rectangular Single WLAN*, *Rectangular Single WIMAX*).
- Kabel koaksial RG-58A/U
- Konektor tipe N *Female*
- Dua Buah Tiang penyangga

#### 5.3.2 Prosedur Pengukuran



Gambar 5.3 Rangkaian Pengukuran Gain Antena

(Sumber : Pengujian)

1. Merangkai peralatan seperti pada gambar 5.3

2. Antena *horn* dipasang sebagai antena pemancar dan antena dipole  $\lambda/2$  dipasang sebagai antena referensi pada sisi penerima.
3. *Sweep Oscillator* diatur pada frekuensi 2440 MHz dan catat daya antena *dipole*  $\lambda/2$  yang terukur pada *Spectrum Analyzer*.
4. *Sweep Oscillator* dinaikkan frekuensinya menjadi 2510 MHz dan catat daya antena *dipole*  $\lambda/2$  yang terukur pada *Spectrum Analyzer*.
5. Antena *dipole*  $\lambda/2$  pada penerima (referensi) diganti dengan antena uji (Antena Mikrostrip *Rectangular* Dual Frekuensi, *Rectangular Single* WLAN, *Rectangular Single* WIMAX) hasil perancangan.
6. Mengulangi langkah 3 dan 4 dengan masing-masing pengambilan data 10 kali kemudian mencatat daya yang diterima.
7. Setelah data hasil pengukuran *rectangular single* didapat maka ganti antena uji dengan antena *rectangular single* WIMAX dan *rectangular dual* frekuensi dengan cara yang sama seperti pada pengukuran antena *rectangular single* WLAN

### 5.3.3 Hasil Pengukuran

Pada pengukuran gain antena ini, akan diperoleh parameter-parameter yaitu daya antena referensi ( $P_R$ ), daya antena yang diuji ( $P_U$ ), dan *gain* antena yang diuji ( $G_{AUT}$ ).

#### 5.3.3.1 Antena *Rectangular Single* WLAN

Untuk hasil pengukuran gain antena *Rectangular Single* WLAN dapat dilihat pada tabel 5.4.

Frekuensi 2440 MHz

Pengukuran	Antena			
	Referensi ( <i>Dipole Sleeve</i> )		Microstrip <i>Rectangular Single</i> Elemen WLAN	
	(-dBm)	dBm	(-dBm)	dBm
1.00	36.50	-36.50	33.33	-33.33
2.00	36.33	-36.33	33.17	-33.17
3.00	37.17	-37.17	33.50	-33.50
4.00	37.00	-37.00	33.67	-33.67
5.00	35.67	-35.67	33.83	-33.83
6.00	37.50	-37.50	34.83	-34.83
7.00	37.33	-37.33	34.00	-34.00
8.00	36.67	-36.67	34.17	-34.17
9.00	37.17	-37.17	34.17	-34.17

10.00	36.50	-36.50	34.33	-34.33
Rata-rata		-36.75		-33.87
<b>Gain (dBi)</b>		2.15		<b>5.03</b>

Tabel 5.4 Hasil pengukuran *Gain* Antena Mikrostrip *Rectangular Single* WLAN

Sumber : Hasil Pengujian

Nilai *Gain* antena ( $G$ ) yang diuji diperoleh dari perhitungan data hasil pengukuran dengan menggunakan persamaan 2-21 di bawah ini :

$$f_r = 2440 \text{ MHz}$$

$$P_R = -36.75 \text{ dBm}$$

$$P_U = -33.87 \text{ dBm}$$

$$G_R = 2,15 \text{ dBi}$$

$$G_{AUT}(\text{dBi}) = G_R(\text{dBi}) + 10 \log \left( \frac{W_U}{W_R} \right)$$

$$G_{AUT}(\text{dBi}) = G_R(\text{dBi}) + P_U(\text{dBm}) - P_R(\text{dBm})$$

$$G_{AUT}(\text{dBi}) = 2.15(\text{dBi}) - 33.87(\text{dBm}) - (-36.75)(\text{dBm}) = 5.03 \text{ dBi}$$

### 5.3.3.2 Antena *Rectangular Single* WIMAX

Untuk hasil pengukuran gain antena *Rectangular Single* WLAN dapat dilihat pada tabel 5.5.

Frekuensi 2510 MHz

Pengukuran	Antena			
	Referensi ( <i>Dipole Sleeve</i> )		Microstrip <i>Rectangular Single</i> Elemen WIMAX	
	(-dBm)	dBm	(-dBm)	dBm
1.00	35.17	-35.17	36.00	-36.00
2.00	35.33	-35.33	37.00	-37.00
3.00	35.50	-35.50	36.33	-36.33
4.00	35.67	-35.67	37.17	-37.17
5.00	36.50	-36.50	36.83	-36.83
6.00	36.67	-36.67	36.33	-36.33
7.00	36.50	-36.50	36.00	-36.00
8.00	36.00	-36.00	36.50	-36.50
9.00	37.17	-37.17	36.50	-36.50
10.00	37.33	-37.33	36.17	-36.17
Rata-rata		-36.12		-36.47

<b>Gain (dBi)</b>	2.15	<b>1.81</b>
-------------------	------	-------------

Tabel 5.5 Hasil pengukuran *Gain* Antena Mikrostrip *Rectangular Single* Wi-MAX

Sumber : Hasil Pengujian

Nilai *Gain* antena (*G*) yang diuji diperoleh dari perhitungan data hasil pengukuran dengan menggunakan persamaan 2-21 di bawah ini :

$$f_r = 2510 \text{ MHz}$$

$$P_R = -36.12 \text{ dBm}$$

$$P_U = -36.47 \text{ dBm}$$

$$G_R = 2.15 \text{ dBi}$$

$$G_{AUT}(\text{dBi}) = G_R(\text{dBi}) + 10 \log \left( \frac{W_U}{W_R} \right)$$

$$G_{AUT}(\text{dBi}) = G_R(\text{dBi}) + P_U(\text{dBm}) - P_R(\text{dBm})$$

$$G_{AUT}(\text{dBi}) = 2.15(\text{dBi}) - 36.47(\text{dBm}) - (-36.12)(\text{dBm}) = 1.81 \text{ dBi}$$

### 5.3.3.3 Antena *Rectangular Dual* Frekuensi

Untuk hasil pengukuran gain antena *Rectangular Single* WLAN dapat dilihat pada tabel 5.6.

Frekuensi 2440 MHz

Pengukuran	Antena			
	Referensi ( <i>Dipole Sleeve</i> )		Microstrip <i>Rectangular Dual</i> Frekuensi	
	(-dBm)	dBm	(-dBm)	dBm
1.00	36.50	-36.50	33.17	-33.33
2.00	36.33	-36.33	33.50	-33.17
3.00	37.17	-37.17	33.83	-33.50
4.00	37.00	-37.00	33.33	-33.67
5.00	35.67	-35.67	34.00	-33.83
6.00	37.50	-37.50	33.83	-34.83
7.00	37.33	-37.33	33.50	-34.00
8.00	36.67	-36.67	33.33	-34.17
9.00	37.17	-37.17	34.00	-34.17
10.00	36.50	-36.50	33.17	-34.33
Rata-rata		-36.75		-33.87
<b>Gain (dBi)</b>		2.15		<b>5.03</b>

Frekuensi 2510 MHz

Pengukuran	Antena			
	Referensi ( <i>Dipole Sleeve</i> )		Microstrip Rectangular Dual Frekuensi	
	(-dBm)	dBm	(-dBm)	dBm
1.00	35.17	-35.17	35.17	-35.17
2.00	35.33	-35.33	35.33	-35.33
3.00	35.50	-35.50	35.00	-35.00
4.00	35.67	-35.67	34.50	-34.50
5.00	36.50	-36.50	35.00	-35.00
6.00	36.67	-36.67	34.83	-34.83
7.00	36.50	-36.50	35.00	-35.00
8.00	36.00	-36.00	35.33	-35.33
9.00	37.17	-37.17	35.50	-35.50
10.00	37.33	-37.33	35.17	-35.17
Rata-rata		-36.12		-35.07
<b>Gain (dBi)</b>		2.15		<b>3.20</b>

Tabel 5.6 Hasil pengukuran *Gain* Antena Mikrostrip Rectangular Dual Frekuensi

Sumber : Hasil Pengujian

Nilai Gain antena ( $G$ ) yang diuji diperoleh dari perhitungan data hasil pengukuran dengan menggunakan persamaan 2-21 yaitu :

$$f_r = 2440 \text{ MHz}$$

$$P_R = -36.75 \text{ dBm}$$

$$P_U = -33.87 \text{ dBm}$$

$$G_R = 2,15 \text{ dBi}$$

$$G_{AUT}(\text{dBi}) = G_R(\text{dBi}) + 10 \log \left( \frac{W_U}{W_R} \right)$$

$$G_{AUT}(\text{dBi}) = G_R(\text{dBi}) + P_U(\text{dBm}) - P_R(\text{dBm})$$

$$G_{AUT}(\text{dBi}) = 2.15(\text{dBi}) - 36.75(\text{dBm}) - (-33.87)(\text{dBm}) = 5.03 \text{ dBi}$$

$$f_r = 2510 \text{ MHz}$$

$$P_R = -36.12 \text{ dBm}$$

$$P_U = -35.07 \text{ dBm}$$

$$G_R = 2,15 \text{ dBi}$$

$$G_{AUT}(\text{dBi}) = G_R(\text{dBi}) + 10 \log \left( \frac{W_U}{W_R} \right)$$

$$G_{AUT}(dBi) = G_R(dBi) + P_U(dBm) - P_R(dBm)$$

$$G_{AUT}(dBi) = 2.15(dBi) - 36.12(dBm) - (-35.07)(dBm) = 3.2 dBi$$

### 5.3.4 Analisis Hasil Pengukuran

Pada pengukuran ini digunakan antenna referensi adalah antenna *dipole*  $\lambda/2$  dengan nilai *gain* standar 2,15 dBi.

Dari pengukuran dapat diketahui pula bahwa pada saat antenna telah di array mempunyai *gain* yang lebih besar daripada sebelum di array.

Pada frekuensi perencanaan antenna yaitu 2440 MHz antenna memiliki nilai *gain* 5.03 dBi sedangkan pada frekuensi 2510 MHz sebesar 3.2 dBi dan keduanya sesuai dengan perencanaan yaitu nilai *gain*  $> 3$  dBi.

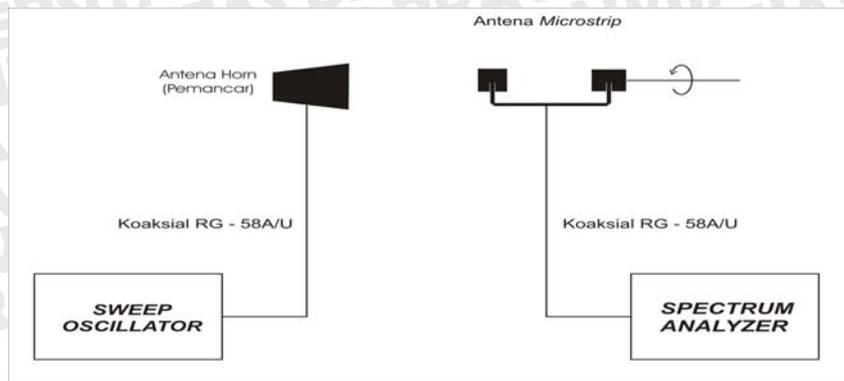
## 5.4. Pengukuran Polarisasi

### 5.4.1. Alat-alat yang digunakan

- *Sweep Oscillator* 8350B 1 - 26.5 GHz Hewlett Packard.
- *Spectrum Analyzer* 30 Hz - 26.5 GHz Hewlett Packard.
- Satu buah antenna standar *dipole sleeve*  $\lambda/2$
- Satu buah antenna horn sebagai *transmitter*.
- Antenna uji (Antenna Mikrostrip *Rectangular* Dual Frekuensi, *Rectangular Single* WLAN, *Rectangular Single* WIMAX)
- Kabel koaksial RG-58A/U
- Konektor tipe N *Female*
- Dua buah tiang penyangga dengan skala sudut putar

### 5.4.2. Prosedur Pengukuran

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



Gambar 5.4. Rangkaian Pengukuran Polarisasi Antena

Sumber : Pengujian

2. Memasang antena uji (Antena Mikrostrip *Rectangular* Dual Frekuensi, *Rectangular Single* WLAN, *Rectangular Single* WIMAX) sebagai antena penerima dengan menghubungkannya ke *Spectrum Analyzer* menggunakan kabel koaksial RG-58A/U, seperti ditunjukkan pada gambar 5.4.
3. Memposisikan antena pemancar sejajar dengan antena uji, kemudian mengatur *Sweep Oscillator* pada frekuensi 2440 MHz.
4. Memutar antena pemancar (antena *dipole sleeve λ/2*) pada sumbu horizontal antena, dari 0° sampai 360° dengan interval 10°, dan mencatat nilai daya yang ditunjukkan oleh *Spectrum Analyzer* pada tiap-tiap interval pemutaran.
5. Menghitung harga normalisasi untuk tiap sudut putarnya.
6. Mengulangi langkah 3 – 5 untuk frekuensi 2510 MHz.
7. Mengulangi langkah 2 – 5 untuk antena uji yang berbeda.

### 5.4.3. Hasil Pengukuran

Berdasarkan hasil pengukuran polarisasi yang dilakukan, maka diperoleh nilai daya yang diterima oleh antena uji yang diputar 10° pada sumbu horizontal. Nilai daya yang diterima tersebut kemudian dinormalisasi, sehingga data hasil pengukuran dapat diubah ke dalam bentuk diagram polar.

#### 5.4.3.1 Antena *Rectangular Single* WLAN

Data hasil pengukuran polarisasi antena *Rectangular Single* WLAN pada frekuensi 2440 MHz terlihat dalam Tabel 5.7.

Sudut	Level terima (dBm)	Level terima (dBm)	Rata-Rata	Normalisasi
0	-38.67	-38.50	-38.58	-2.42
10	-39.17	-39.83	-39.49	-3.33
20	-40.00	-40.33	-40.16	-4.00

30	-41.33	-41.50	-41.41	-5.25
40	-42.83	-42.33	-42.57	-6.41
45	-43.33	-43.00	-43.16	-7.00
50	-39.50	-42.59	-40.78	-4.61
60	-40.57	-43.15	-41.67	-5.51
70	-38.23	-43.37	-40.08	-3.92
80	-41.17	-45.08	-42.70	-6.54
90	-39.00	-39.33	-39.16	-3.00
100	-41.73	-42.17	-41.94	-5.78
110	-42.90	-42.37	-42.63	-6.47
120	-42.87	-39.57	-40.91	-4.75
130	-44.73	-38.37	-40.48	-4.32
135	-44.00	-44.33	-44.16	-8.00
140	-38.83	-39.33	-39.07	-2.91
150	-40.00	-38.50	-39.19	-3.02
160	-39.00	-39.17	-39.08	-2.92
170	-39.87	-37.83	-38.73	-2.57
180	-41.00	-40.33	-40.65	-4.49
190	-38.50	-37.55	-38.00	-1.84
200	-37.55	-38.50	-38.00	-1.84
210	-38.85	-39.73	-39.27	-3.11
220	-37.83	-40.57	-38.99	-2.83
225	-42.33	-42.00	-42.16	-6.00
230	-39.33	-41.56	-40.30	-4.14
240	-40.19	-43.26	-41.46	-5.30
250	-41.13	-44.30	-42.43	-6.27
260	-38.37	-44.17	-40.37	-4.20
270	-40.17	-40.33	-40.25	-4.09
280	-38.00	-38.83	-38.40	-2.23
290	-40.00	-39.33	-39.65	-3.49
300	-39.33	-38.50	-38.90	-2.73
310	-39.00	-38.83	-38.91	-2.75
315	-43.17	-43.33	-43.25	-7.09
320	-38.00	-38.50	-38.24	-2.08
330	-37.83	-38.00	-37.91	-1.75
340	-37.50	-37.33	-37.41	-1.25
350	-36.33	-36.00	-36.16	0.00

Tabel 5.7. Hasil Pengukuran Polarisasi pada Frekuensi 2440 MHz

Sumber : Hasil Pengujian

#### 5.4.3.2 Antena Rectangular Single WiMAX

Data hasil pengukuran polarisasi antena *Rectangular Single* WIMAX pada frekuensi 2510 MHz terlihat dalam Tabel 5.8.

Sudut	Level terima (dBm)	Level terima (dBm)	Rata-Rata	Normalisasi
0	-37.17	-37.33	-37.25	-1.00
10	-36.83	-37.00	-36.91	-0.66

20	-37.00	-37.17	-37.08	-0.83
30	-37.33	-37.50	-37.41	-1.16
40	-38.00	-38.50	-38.24	-1.99
45	-42.17	-42.33	-42.25	-6.00
50	-42.00	-42.33	-42.16	-5.91
60	-45.17	-45.83	-45.49	-9.24
70	-48.50	-48.33	-48.41	-12.16
80	-42.33	-42.17	-42.25	-6.00
90	-41.33	-41.17	-41.25	-5.00
100	-51.33	-51.50	-51.41	-15.16
110	-49.83	-50.00	-49.91	-13.66
120	-47.17	-47.83	-47.49	-11.24
130	-45.33	-45.50	-45.41	-9.16
135	-39.17	-38.83	-39.00	-2.75
140	-42.50	-42.17	-42.33	-6.08
150	-41.33	-40.83	-41.07	-4.82
160	-40.17	-40.00	-40.08	-3.83
170	-38.00	-37.83	-37.91	-1.66
180	-36.33	-36.17	-36.25	0.00
190	-38.00	-37.83	-37.91	-1.66
200	-38.33	-38.17	-38.25	-2.00
210	-38.83	-39.00	-38.91	-2.66
220	-39.50	-39.33	-39.41	-3.16
225	-41.17	-41.33	-41.25	-5.00
230	-42.00	-42.17	-42.08	-5.83
240	-46.50	-46.17	-46.33	-10.08
250	-48.83	-48.50	-48.66	-12.41
260	-51.33	-50.00	-50.61	-14.37
270	-44.17	-43.83	-44.00	-7.75
280	-45.17	-45.50	-45.33	-9.08
290	-47.17	-47.83	-47.49	-11.24
300	-45.00	-45.17	-45.08	-8.83
310	-44.50	-44.17	-44.33	-8.08
315	-40.17	-39.83	-40.00	-3.75
320	-46.17	-46.33	-46.25	-10.00
330	-43.33	-43.50	-43.41	-7.16
340	-41.33	-41.00	-41.16	-4.91
350	-37.83	-37.50	-37.66	-1.41

Tabel 5.8. Hasil Pengukuran Polarisasi pada Frekuensi 2510 MHz

Sumber : Hasil Pengujian

#### 5.4.3.3 Antena *Rectangular Dual* Frekuensi

Data hasil pengukuran polarisasi antena *Rectangular Dual* Frekuensi pada frekuensi 2440 MHz terlihat dalam Tabel 5.9. dan tabel 5.10 untuk frekuensi 2510 MHz

Sudut	Level terima (dBm)	Level terima (dBm)	Rata-Rata	Normalisasi
0	-36.33	-36.50	-36.41	0.00

10	-36.83	-37.00	-36.91	-0.50
20	-37.00	-37.17	-37.08	-0.67
30	-37.33	-37.50	-37.41	-1.00
40	-38.00	-38.50	-38.24	-1.83
45	-39.00	-39.17	-39.08	-2.67
50	-42.00	-42.33	-42.16	-5.75
60	-45.17	-45.83	-45.49	-9.07
70	-48.50	-48.33	-48.41	-12.00
80	-51.83	-52.00	-51.91	-15.50
90	-53.67	-53.17	-53.41	-17.00
100	-51.33	-51.50	-51.41	-15.00
110	-49.83	-50.00	-49.91	-13.50
120	-47.17	-47.83	-47.49	-11.07
130	-45.33	-45.50	-45.41	-9.00
135	-43.50	-43.33	-43.41	-7.00
140	-42.50	-42.17	-42.33	-5.92
150	-41.33	-40.83	-41.07	-4.66
160	-40.17	-40.00	-40.08	-3.67
170	-38.00	-37.83	-37.91	-1.50
180	-37.67	-37.33	-37.50	-1.08
190	-38.00	-37.83	-37.91	-1.50
200	-38.33	-38.17	-38.25	-1.84
210	-38.83	-39.00	-38.91	-2.50
220	-39.50	-39.33	-39.41	-3.00
225	-40.00	-40.17	-40.08	-3.67
230	-42.00	-42.17	-42.08	-5.67
240	-46.50	-46.17	-46.33	-9.92
250	-48.83	-48.50	-48.66	-12.25
260	-51.33	-50.00	-50.61	-14.20
270	-53.17	-53.00	-53.08	-16.67
280	-52.83	-52.50	-52.66	-16.25
290	-52.17	-52.00	-52.08	-15.67
300	-51.50	-51.33	-51.41	-15.00
310	-50.33	-50.83	-50.57	-14.16
315	-49.50	-49.83	-49.66	-13.25
320	-46.17	-46.33	-46.25	-9.84
330	-43.33	-43.50	-43.41	-7.00
340	-41.33	-41.00	-41.16	-4.75
350	-37.83	-37.50	-37.66	-1.25

Tabel 5.9. Hasil Pengukuran Polarisasi pada Frekuensi 2440 MHz

Sumber : Hasil Pengujian

Sudut	Level terima (dBm)	Level terima (dBm)	Rata-Rata	Normalisasi
0	-35.17	-35.33	-35.25	0.00
10	-36.00	-36.17	-36.08	-0.83
20	-36.83	-37.00	-36.91	-1.66
30	-37.83	-37.50	-37.66	-2.41

40	-37.00	-37.33	-37.16	-1.91
45	-38.00	-38.67	-38.32	-3.07
50	-39.50	-42.59	-40.78	-5.53
60	-40.57	-43.15	-41.67	-6.42
70	-38.23	-43.37	-40.08	-4.83
80	-41.17	-45.08	-42.70	-7.45
90	-43.17	-43.33	-43.25	-8.00
100	-41.73	-42.17	-41.94	-6.70
110	-42.90	-42.37	-42.63	-7.38
120	-42.87	-39.57	-40.91	-5.66
130	-44.73	-38.37	-40.48	-5.23
135	-39.00	-39.17	-39.08	-3.83
140	-38.83	-39.33	-39.07	-3.82
150	-40.00	-38.50	-39.19	-3.94
160	-39.00	-39.17	-39.08	-3.83
170	-39.87	-37.83	-38.73	-3.48
180	-37.17	-37.33	-37.25	-2.00
190	-38.50	-37.55	-38.00	-2.75
200	-37.55	-38.50	-38.00	-2.75
210	-38.85	-39.73	-39.27	-4.02
220	-37.83	-40.57	-38.99	-3.74
225	-39.00	-39.33	-39.16	-3.91
230	-39.33	-41.56	-40.30	-5.05
240	-40.19	-43.26	-41.46	-6.21
250	-41.13	-44.30	-42.43	-7.18
260	-38.37	-44.17	-40.37	-5.12
270	-41.00	-41.33	-41.16	-5.91
280	-38.00	-38.83	-38.40	-3.15
290	-40.00	-39.33	-39.65	-4.40
300	-39.33	-38.50	-38.90	-3.65
310	-39.00	-38.83	-38.91	-3.66
315	-38.53	-38.00	-38.26	-3.01
320	-38.00	-38.50	-38.24	-2.99
330	-37.83	-38.00	-37.91	-2.66
340	-37.50	-37.33	-37.41	-2.16
350	-36.33	-36.00	-36.16	-0.91

Tabel 5.10. Hasil Pengukuran Polarisasi pada Frekuensi 2510 MHz

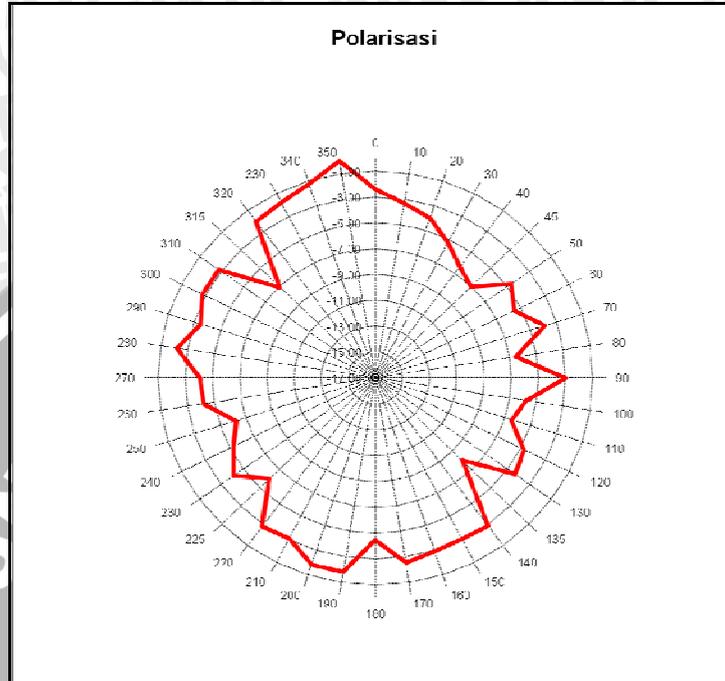
Sumber : Hasil Pengujian

#### 5.4.4. Analisis Hasil Pengukuran

Berdasarkan data hasil pengukuran polarisasi dalam Tabel 5.9 dan Tabel 5.10, dengan mengubah data nilai daya yang telah dinormalisasi ke dalam bentuk diagram polar, maka dapat diketahui bentuk polarisasi antenna yang diuji. Bentuk polarisasi antenna *rectangular single* WLAN pada frekuensi 2440 MHz dapat dilihat dalam gambar 5.5 sedangkan untuk *rectangular single* WIMAX pada frekuensi 2510 MHz dapat dilihat pada

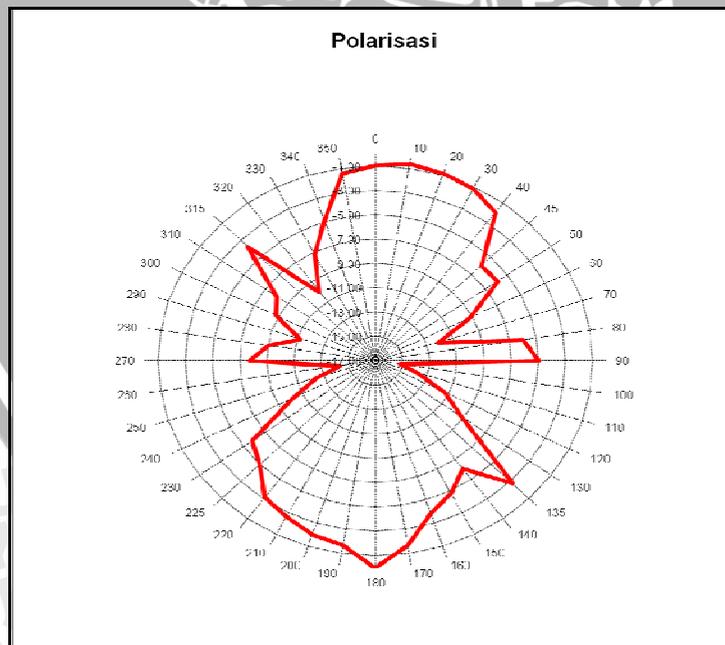
gambar 5.6. Adapun bentuk polarisasi antenna *rectangular dual* frekuensi dapat dilihat pada gambar 5.7 dan 5.8.

Dari gambar 5.7 dan 5.8 dapat diketahui bahwa polarisasi antenna *rectangular dual* frekuensi yaitu *circular ellips vertical*



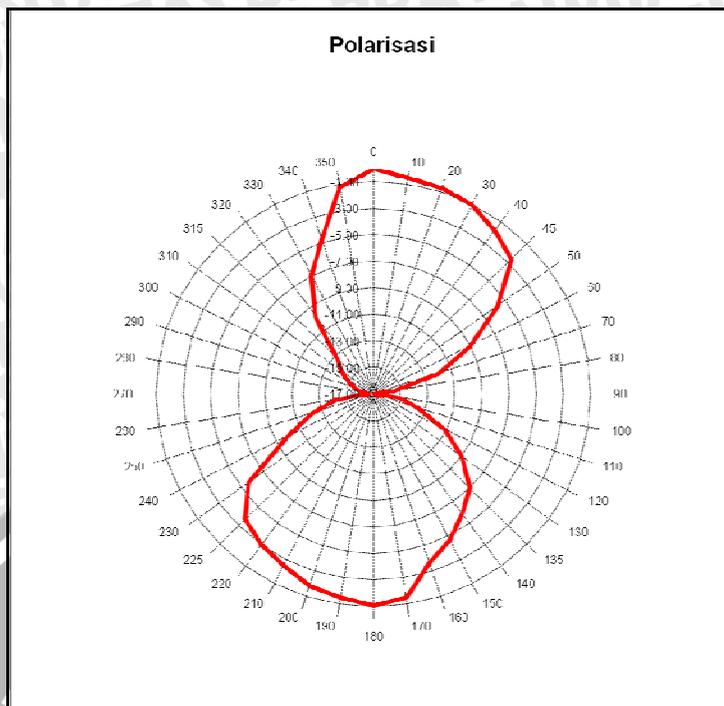
Gambar 5.5. Bentuk *Polarisasi* Antena Mikrostrip *Rectangular Single* Elemen WLAN

Sumber : Hasil Pengujian



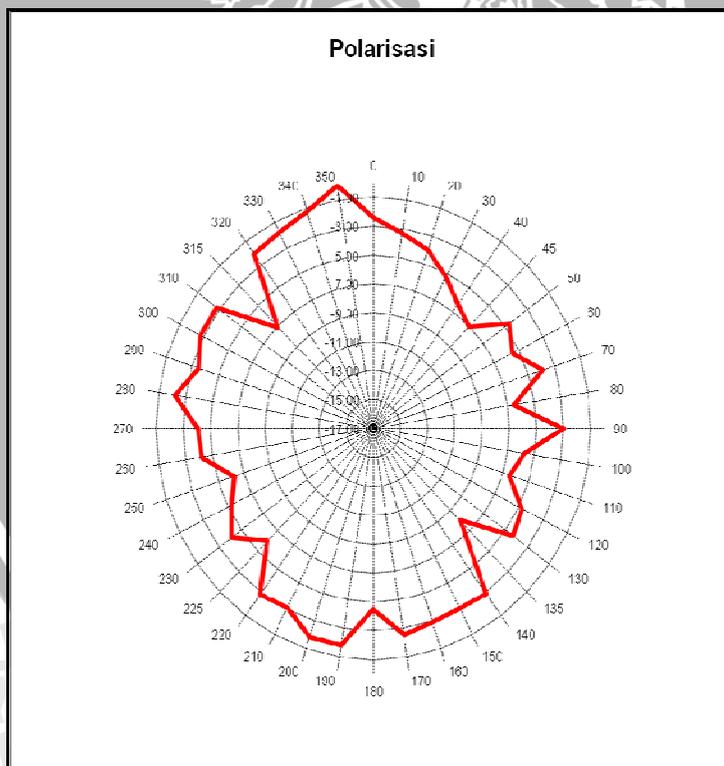
Gambar 5.6. Bentuk *Polarisasi* Antena Mikrostrip *Rectangular Single* Elemen WIMAX

Sumber : Hasil Pengujian



Gambar 5.7. Bentuk *Polarisasi* Antena Mikrostrip *Rectangular Dual* Frekuensi pada 2.44 GHz

Sumber : Hasil Pengujian



Gambar 5.8. Bentuk *Polarisasi* Antena Mikrostrip *Rectangular Dual* Frekuensi pada 2.51 GHz

Sumber : Hasil Pengujian

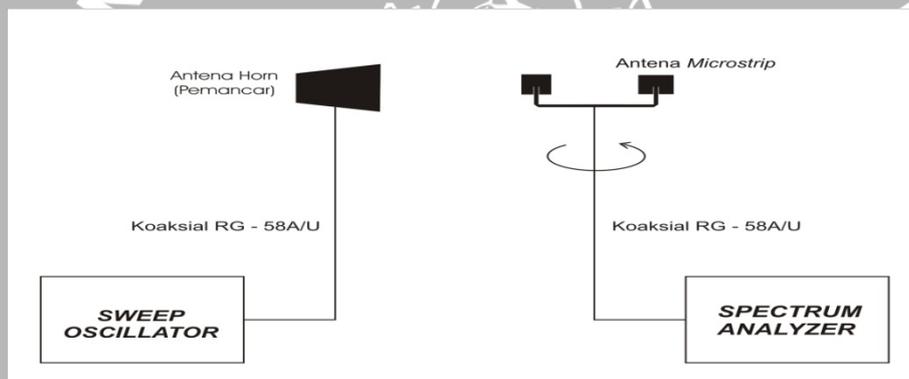
## 5.5. Pengujian Pola Radiasi

### 5.5.1. Alat-alat yang digunakan

- *Sweep Oscillator 8350B 1 - 26.5 GHz Hewlett Packard.*
- *Spectrum Analyzer 30 Hz – 26.5 GHz Hewlett Packard.*
- Satu buah antena *horn* sebagai *transmitter*.
- Antena uji (Antena Mikrostrip *Rectangular Dual Frekuensi, Rectangular Single WLAN, Rectangular Single WIMAX*).
- Konektor tipe N *Female*
- Dua buah tiang penyangga dengan skala sudut putar

### 5.5.2. Prosedur Pengukuran

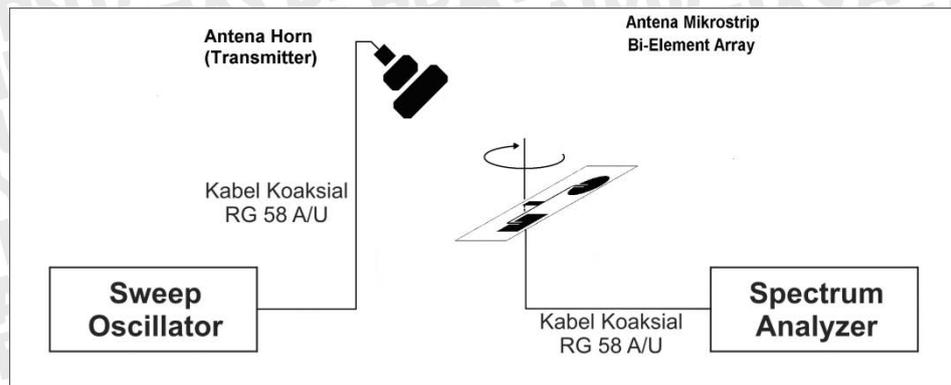
1. Memasang antena *horn* sebagai antena pemancar dengan menghubungkannya ke *Sweep Oscillator* menggunakan kabel koaksial RG-58A/U, seperti ditunjukkan pada Gambar 5.9 (a) untuk pengukuran pola radiasi vertikal.



Gambar 5.9(a). Rangkaian Pengukuran *Pola Radiasi* Antena vertikal

(Sumber : Pengujian)

2. Memasang antena uji sebagai antena penerima dengan menghubungkannya ke *Spectrum Analyzer* menggunakan kabel koaksial RG-58A/U, seperti ditunjukkan pada gambar 5.9 (a).
3. Mengatur *Sweep Oscillator* pada frekuensi 2440 MHz.
4. Memutar antena uji 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. Untuk pengukuran pola radiasi horizontal memasang antena uji sebagai antena penerima dengan menghubungkannya ke *Spectrum Analyzer* menggunakan kabel koaksial RG-58A/U, seperti ditunjukkan pada Gambar 5.9 (b)



Gambar 5.9(b). Rangkaian Pengukuran Pola Radiasi Antena horizontal  
(Sumber : Pengujian)

7. Mengulangi langkah 3 sampai 6 untuk frekuensi 2510 MHz.
8. Mengulangi langkah 3 sampai 6 untuk antena uji yang berbeda.

### 5.5.3. Hasil Pengukuran

Berdasarkan hasil pengukuran pola radiasi yang dilakukan, maka diperoleh nilai daya yang diradiasikan oleh antena uji. Pola radiasi yang diperoleh yaitu Pola Radiasi Horizontal dan Pola Radiasi Vertikal.

#### 5.5.3.1 Antena Rectangular Single WLAN

Data hasil pengukuran Pola Radiasi Horizontal dan Pola Radiasi Vertikal pada frekuensi 2440 MHz terlihat dalam Tabel 5.11.

No.	Sudut (°)	Pola Radiasi Horizontal		Pola Radiasi Vertikal	
		Daya pada Spectrum Analyzer (dBm)	Normalisasi (dB)	Daya pada Spectrum Analyzer (dBm)	Normalisasi (dB)
1	0	-34.75	-1.17	-41.75	-0.50
2	10	-35.75	-2.17	-42.58	-1.33
3	20	-36.58	-3.00	-44.33	-3.08
4	30	-37.33	-3.75	-44.71	-3.46
5	40	-38.75	-5.17	-45.08	-3.83
6	50	-39.91	-6.33	-44.58	-3.33
7	60	-41.41	-7.83	-44.66	-3.41
8	70	-41.58	-8.00	-47.58	-6.33
9	80	-38.08	-4.50	-53.08	-11.83
10	90	-35.58	-2.00	-57.51	-16.26
11	100	-34.25	-0.67	-56.25	-15.00
12	110	-34.33	-0.75	-54.08	-12.83
13	120	-35.16	-1.58	-51.13	-9.88

14	130	-36.58	-3.00	-46.75	-5.50
15	140	-35.08	-1.49	-43.08	-1.83
16	150	-37.83	-4.25	-42.08	-0.83
17	160	-37.91	-4.33	-41.75	-0.50
18	170	-37.75	-4.17	-41.58	-0.33
19	180	-37.41	-3.83	-41.25	0.00
20	190	-37.75	-4.17	-41.58	-0.33
21	200	-36.58	-3.00	-43.41	-2.16
22	210	-36.25	-2.67	-45.08	-3.83
23	220	-37.33	-3.75	-46.75	-5.50
24	230	-37.41	-3.83	-48.41	-7.16
25	240	-35.41	-1.83	-49.33	-8.08
26	250	-34.33	-0.75	-56.08	-14.83
27	260	-33.58	0.00	-56.08	-14.83
28	270	-35.40	-1.81	-56.58	-15.33
29	280	-36.41	-2.83	-46.25	-5.00
30	290	-37.75	-4.17	-45.16	-3.91
31	300	-38.25	-4.67	-44.08	-2.83
32	310	-41.57	-7.99	-46.25	-5.00
33	320	-41.25	-7.67	-47.49	-6.24
34	330	-36.50	-2.91	-52.24	-10.99
35	340	-36.41	-2.83	-49.40	-8.15
36	350	-35.66	-2.08	-45.08	-3.83
37	360	-34.75	-1.17	-41.75	-0.50

Tabel 5.11. Hasil pengukuran Pola Radiasi pada antena *rectangular single* elemen WLAN .

Sumber : Hasil Pengujian

### 5.5.3.2 Antena Rectangular Single WIMAX

Data hasil pengukuran Pola Radiasi Horizontal dan Pola Radiasi Vertikal pada frekuensi 2440 MHz terlihat dalam Tabel 5.12.

No.	Sudut (°)	Pola Radiasi Horizontal		Pola Radiasi Vertikal	
		Daya pada Spectrum Analyzer (dBm)	Normalisasi (dB)	Daya pada Spectrum Analyzer (dBm)	Normalisasi (dB)
1	0	-38.08	-0.75	-37.08	-2.51
2	10	-37.82	-0.49	-36.91	-2.34
3	20	-37.65	-0.32	-37.91	-3.34
4	30	-40.50	-3.16	-39.66	-5.09
5	40	-40.33	-3.00	-39.25	-4.68
6	50	-41.58	-4.25	-39.33	-4.76
7	60	-41.71	-4.38	-40.41	-5.84
8	70	-40.25	-2.92	-41.24	-6.67

9	80	-40.58	-3.25	-42.41	-7.84
10	90	-48.91	-11.58	-42.25	-7.68
11	100	-42.25	-4.92	-47.41	-12.84
12	110	-42.11	-4.78	-46.41	-11.84
13	120	-40.58	-3.25	-52.24	-17.67
14	130	-49.07	-11.74	-57.08	-22.51
15	140	-41.83	-4.50	-55.08	-20.51
16	150	-40.75	-3.42	-52.16	-17.59
17	160	-39.75	-2.42	-48.50	-13.93
18	170	-39.66	-2.33	-46.33	-11.76
19	180	-40.58	-3.25	-44.17	-9.60
20	190	-38.33	-1.00	-42.33	-7.76
21	200	-37.66	-0.33	-40.58	-6.01
22	210	-38.25	-0.92	-39.33	-4.76
23	220	-38.08	-0.75	-40.25	-5.68
24	230	-39.33	-2.00	-40.75	-6.18
25	240	-39.41	-2.08	-42.75	-8.18
26	250	-40.75	-3.42	-43.08	-8.51
27	260	-39.75	-2.42	-45.83	-11.26
28	270	-38.32	-0.99	-57.00	-22.43
29	280	-37.33	0.00	-45.41	-10.84
30	290	-37.58	-0.25	-44.25	-9.68
31	300	-39.25	-1.92	-42.08	-7.51
32	310	-40.49	-3.16	-41.25	-6.68
33	320	-40.25	-2.92	-39.75	-5.18
34	330	-39.08	-1.75	-38.65	-4.08
35	340	-39.49	-2.16	-38.08	-3.51
36	350	-38.50	-1.16	-38.35	-3.78
37	360	-38.08	-0.75	-37.08	--2.51

Tabel 5.12. Hasil pengukuran Pola Radiasi pada antena *rectangular single* elemen WiMAX .

Sumber : Hasil Pengujian

### 5.5.3.3 Antena Rectangular Dual Frekuensi

Data hasil pengukuran Pola Radiasi Horizontal dan Pola Radiasi Vertikal pada frekuensi 2440 MHz terlihat dalam Tabel 5.13, sedangkan hasil pengukuran pada frekuensi 2510 MHz dapat dilihat pada tabel 5.14.

No.	Sudut (°)	Pola Radiasi Horizontal		Pola Radiasi Vertikal	
		Daya pada Spectrum Analyzer (dBm)	Normalisasi (dB)	Daya pada Spectrum Analyzer (dBm)	Normalisasi (dB)
1	0	-34.58	0.00	-35.00	0.00
2	10	-35.16	-0.58	-36.75	-1.75
3	20	-38.53	-3.95	-37.75	-2.75
4	30	-42.58	-8.00	-40.00	-5.00
5	40	-48.75	-14.17	-40.58	-5.58
6	50	-42.16	-7.58	-41.08	-6.08
7	60	-37.08	-2.50	-42.25	-7.25
8	70	-38.24	-3.66	-44.91	-9.91
9	80	-37.33	-2.75	-47.16	-12.16
10	90	-37.91	-3.33	-48.58	-13.58
11	100	-37.25	-2.67	-43.75	-8.75
12	110	-37.58	-3.00	-42.58	-7.58
13	120	-40.32	-5.74	-42.58	-7.58
14	130	-50.25	-15.67	-40.15	-5.15
15	140	-44.58	-10.00	-40.56	-5.56
16	150	-41.75	-7.17	-42.58	-7.58
17	160	-42.25	-7.67	-45.75	-10.75
18	170	-42.58	-8.00	-45.75	-10.75
19	180	-40.75	-6.17	-41.41	-6.41
20	190	-40.25	-5.67	-40.32	-5.32
21	200	-41.41	-6.83	-38.25	-3.25
22	210	-43.33	-8.75	-37.25	-2.25
23	220	-41.36	-6.77	-37.08	-2.08
24	230	-40.08	-5.50	-36.41	-1.41
25	240	-41.41	-6.83	-37.75	-2.75
26	250	-49.91	-15.33	-40.71	-5.71
27	260	-46.16	-11.58	-40.58	-5.58
28	270	-39.91	-5.33	-48.16	-13.16
29	280	-37.25	-2.67	-46.08	-11.08
30	290	-36.41	-1.83	-47.58	-12.58
31	300	-37.08	-2.50	-46.16	-11.16
32	310	-39.91	-5.33	-41.25	-6.25
33	320	-41.41	-6.83	-37.58	-2.58
34	330	-39.58	-5.00	-36.91	-1.91
35	340	-36.08	-1.50	-36.91	-1.91
36	350	-35.08	-0.50	-36.08	-1.08
37	360	-34.58	0.00	-35.00	0.00

Tabel 5.13. Hasil pengukuran Pola Radiasi pada frekuensi 2440 MHz.

Sumber : Hasil Pengujian

No.	Sudut (°)	Pola Radiasi Horizontal		Pola Radiasi Vertikal	
		Daya pada Spectrum Analyzer (dBm)	Normalisasi (dB)	Daya pada Spectrum Analyzer (dBm)	Normalisasi (dB)
1	0	-35.08	0.00	-36.75	-0.25
2	10	-35.08	0.00	-37.66	-1.16
3	20	-37.33	-2.25	-39.66	-3.16
4	30	-39.32	-4.24	-40.75	-4.25
5	40	-43.40	-8.31	-44.08	-7.58
6	50	-51.69	-16.60	-49.91	-13.41
7	60	-51.57	-16.48	-46.08	-9.58
8	70	-44.08	-9.00	-43.58	-7.08
9	80	-44.91	-9.83	-40.08	-3.58
10	90	-45.25	-10.17	-39.08	-2.58
11	100	-45.91	-10.83	-38.58	-2.08
12	110	-46.66	-11.58	-37.08	-0.58
13	120	-47.66	-12.58	-40.51	-4.01
14	130	-48.08	-13.00	-37.08	-0.58
15	140	-49.66	-14.58	-37.00	-0.50
16	150	-51.07	-15.99	-36.78	-0.28
17	160	-51.71	-16.63	-37.41	-0.91
18	170	-48.66	-13.58	-38.08	-1.58
19	180	-45.47	-10.39	-38.08	-1.58
20	190	-42.50	-7.41	-38.58	-2.08
21	200	-41.50	-6.41	-37.58	-1.08
22	210	-38.27	-3.18	-39.75	-3.25
23	220	-37.49	-2.40	-41.32	-4.82
24	230	-39.50	-4.41	-51.00	-14.50
25	240	-42.50	-7.41	-42.33	-5.83
26	250	-42.75	-7.67	-38.47	-1.97
27	260	-50.91	-15.83	-38.58	-2.08
28	270	-50.16	-15.08	-38.16	-1.66
29	280	-49.25	-14.17	-42.60	-6.10
30	290	-49.41	-14.33	-47.41	-10.91
31	300	-48.66	-13.58	-47.91	-11.41
32	310	-49.25	-14.17	-50.41	-13.91
33	320	-46.25	-11.17	-38.32	-1.82
34	330	-40.50	-5.41	-37.75	-1.25
35	340	-40.25	-5.17	-37.50	-1.00
36	350	-36.25	-1.17	-36.41	0.09
37	360	-35.08	0.00	-36.75	-0.25

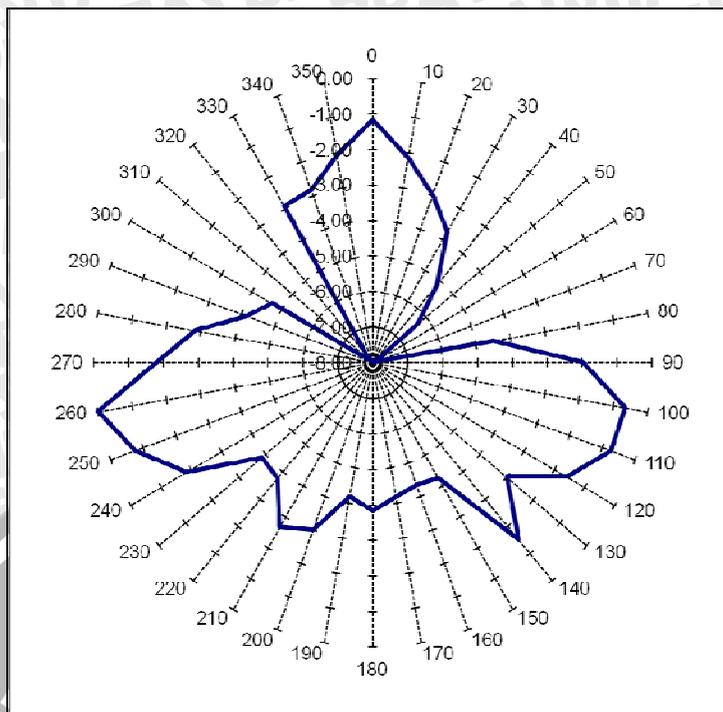
Tabel 5.14. Hasil pengukuran Pola Radiasi pada frekuensi 2510 MHz.

Sumber : Hasil Pengujian

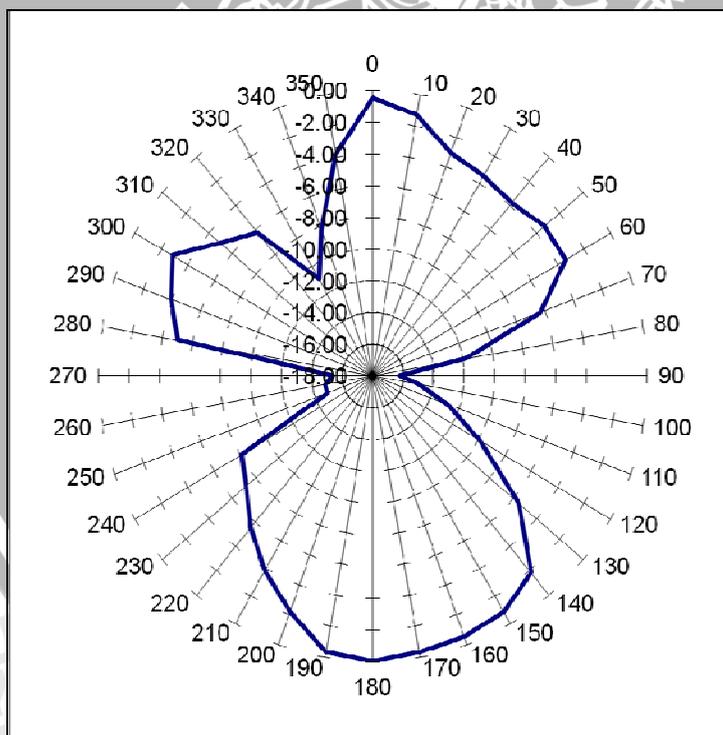
#### 5.5.4. Analisis Hasil Pengukuran

Berdasarkan data dari tabel, dapat digambarkan bentuk pola radiasi antenna hasil perancangan pada diagram polar. Dari tabel 5.11 dapat digambarkan pola radiasi dari antenna *rectangular single* elemen WLAN sebagaimana ditunjukkan gambar 5.10 dan 5.11, sedangkan gambar 5.12 dan 5.13 merupakan hasil penggambaran dari pola radiasi antenna *rectangular single* elemen WiMax sesuai data dari tabel 5.12. Untuk pola radiasi antenna *rectangular dual* frekuensi dapat dilihat pada gambar 5.14 dan 5.15 sebagai pola radiasi pada frekuensi 2440 MHz, sedangkan gambar 5.16 dan 5.17 sebagai pola radiasi pada frekuensi 2510 MHz. Semua Gambar pola radiasi antenna didapatkan dari data tabel 5.13 dan 5.14. Dari semua gambar bentuk pola radiasi dapat diketahui bahwa ada kesamaan bentuk pola radiasi dari 3 antenna hasil perancangan (*rectangular single* elemen WLAN, *rectangular single* elemen WiMax, dan *rectangular dual* frekuensi) adalah *unidirectional*, yaitu memiliki intensitas radiasi maksimum hanya pada satu arah tertentu saja.

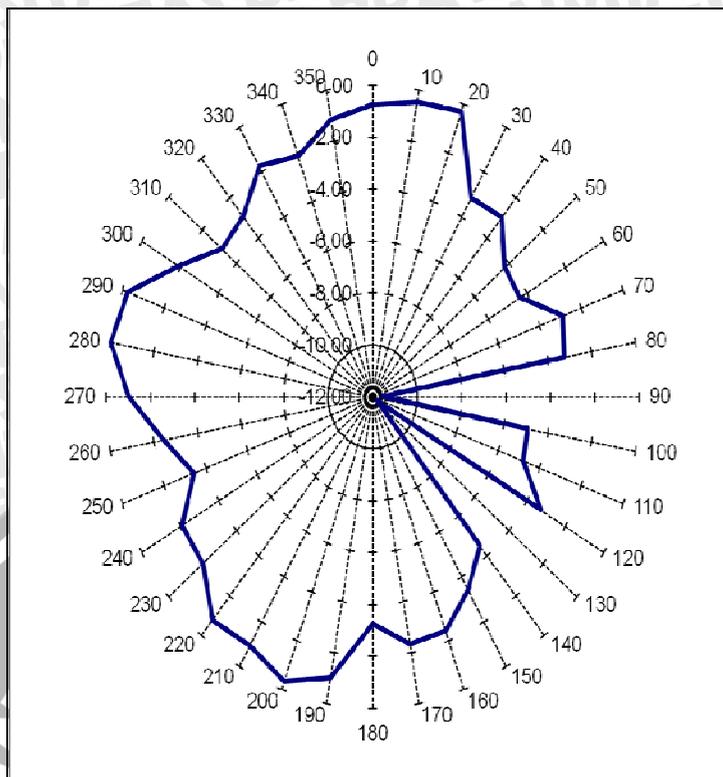
Berdasarkan gambar 5.10 dan 5.11, diperoleh nilai  $-3\text{dB beamwidth}$  pola radiasi untuk antenna *rectangular single* elemen WLAN adalah  $215^\circ$  ( $\phi_{HP} = 215^\circ$ ), dan pada posisi vertikal adalah  $100^\circ$  ( $\phi_{HP} = 100^\circ$ ). Sedangkan dari gambar 5.12 dan 5.13 untuk antenna *rectangular single* elemen WiMAX diperoleh nilai  $-3\text{ dB beamwidth}$  sebesar  $300^\circ$  ( $\phi_{HP} = 300^\circ$ ), dan pada posisi vertikal sebesar  $195^\circ$  ( $\phi_{HP} = 195^\circ$ ). Pada antenna *rectangular dual* frekuensi berdasarkan gambar 5.14, gambar 5.15, gambar 5.16 dan gambar 5.17, diperoleh nilai  $-3\text{dB beamwidth}$  pola radiasi horizontal untuk frekuensi 2440 MHz adalah  $100^\circ$  ( $\phi_{HP} = 100^\circ$ ), dan nilai  $-3\text{dB beamwidth}$  pola radiasi vertikal adalah  $120^\circ$  ( $\phi_{HP} = 120^\circ$ ). Sedangkan untuk frekuensi 2510 MHz diperoleh nilai  $-3\text{dB beamwidth}$  pola radiasi horizontal adalah  $150^\circ$  ( $\phi_{HP} = 150^\circ$ ), dan nilai  $-3\text{dB beamwidth}$  pola radiasi vertikalnya  $75^\circ$  ( $\phi_{HP} = 75^\circ$ ).



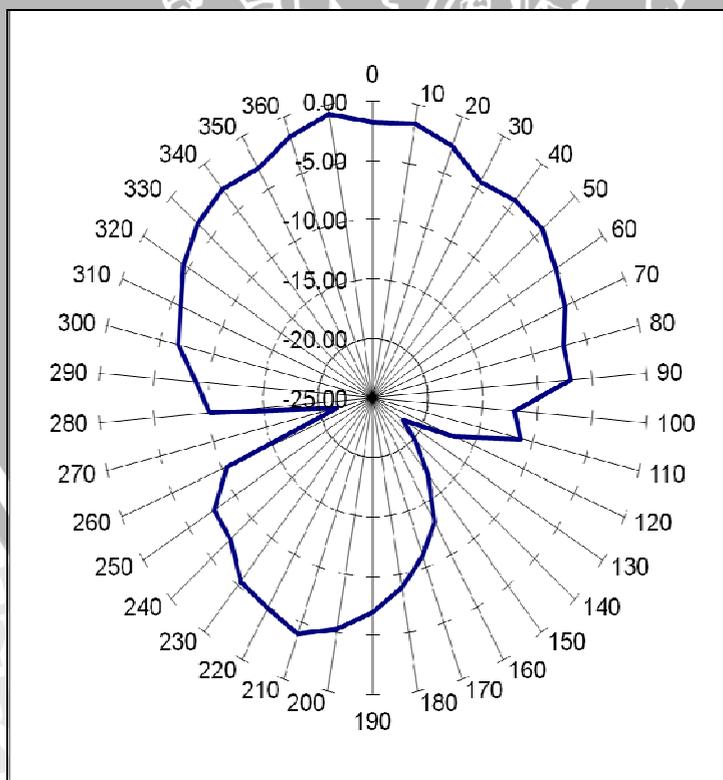
Gambar 5.10. Pola Radiasi Horizontal Antena Mikrostrip *rectangular single* elemen WLAN  
(Sumber : Hasil Pengujian)



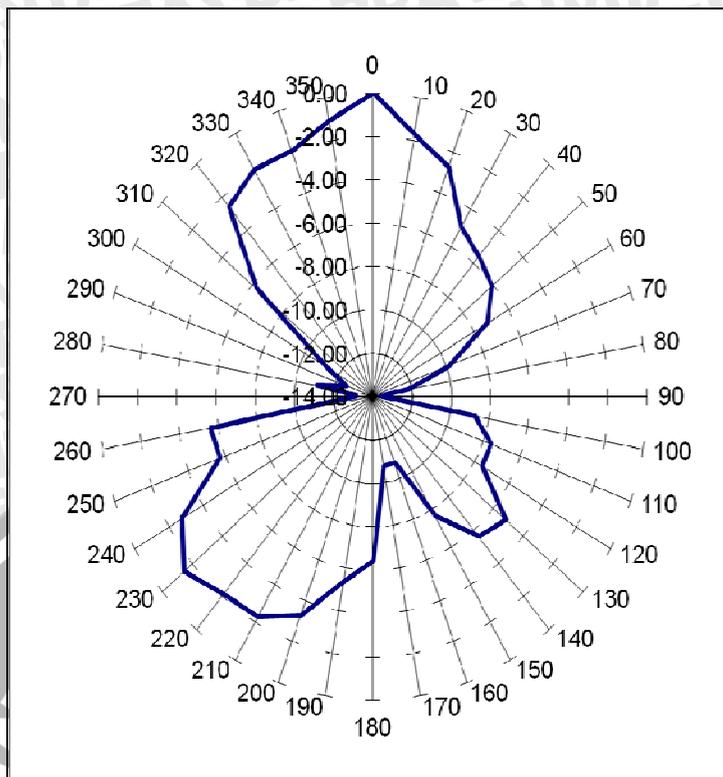
Gambar 5.11. Pola Radiasi Vertikal Antena Mikrostrip *rectangular single* elemen WLAN  
(Sumber : Hasil Pengujian)



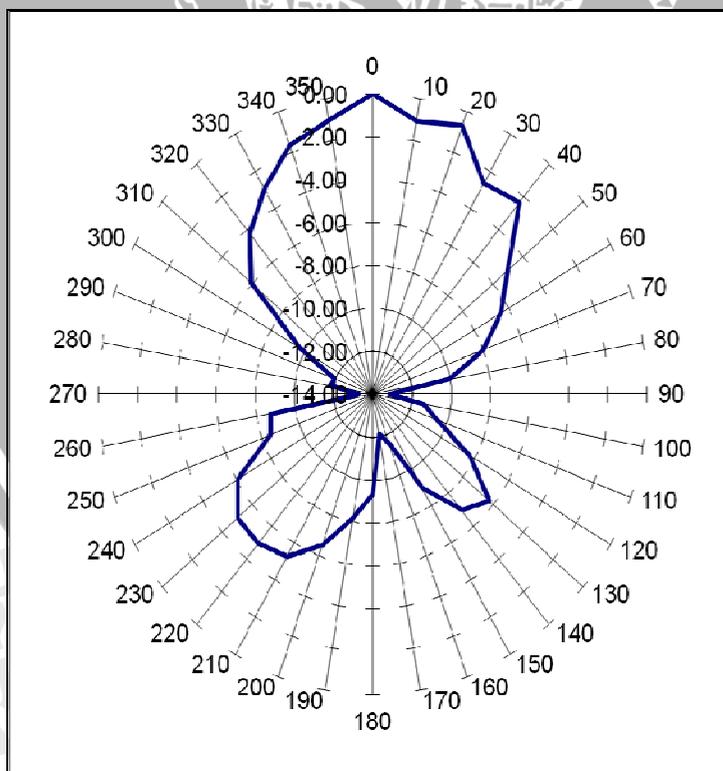
Gambar 5.12. Pola Radiasi Horizontal Antena Mikrostrip *rectangular single* elemen WiMAX  
(Sumber : Hasil Pengujian)



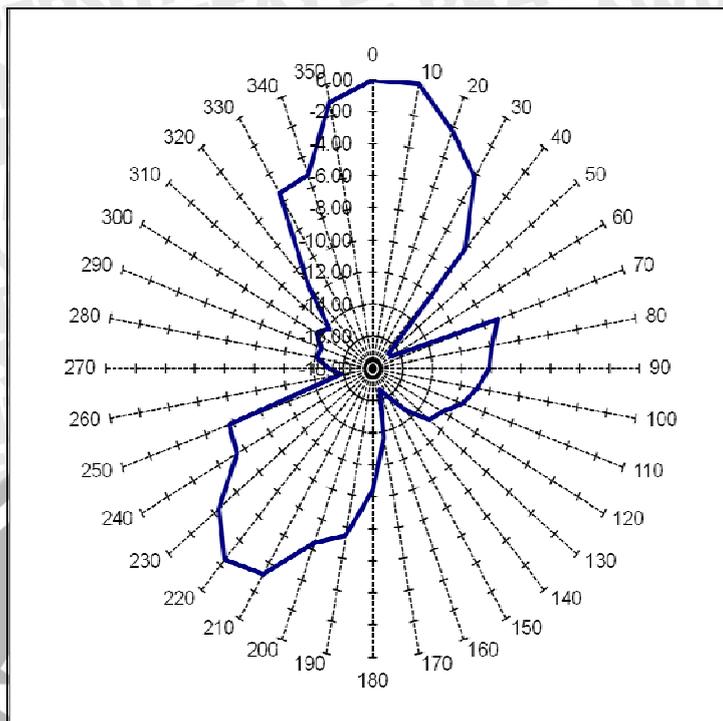
Gambar 5.13. Pola Radiasi Vertikal Antena Mikrostrip *rectangular single* elemen WiMAX  
(Sumber : Hasil Pengujian)



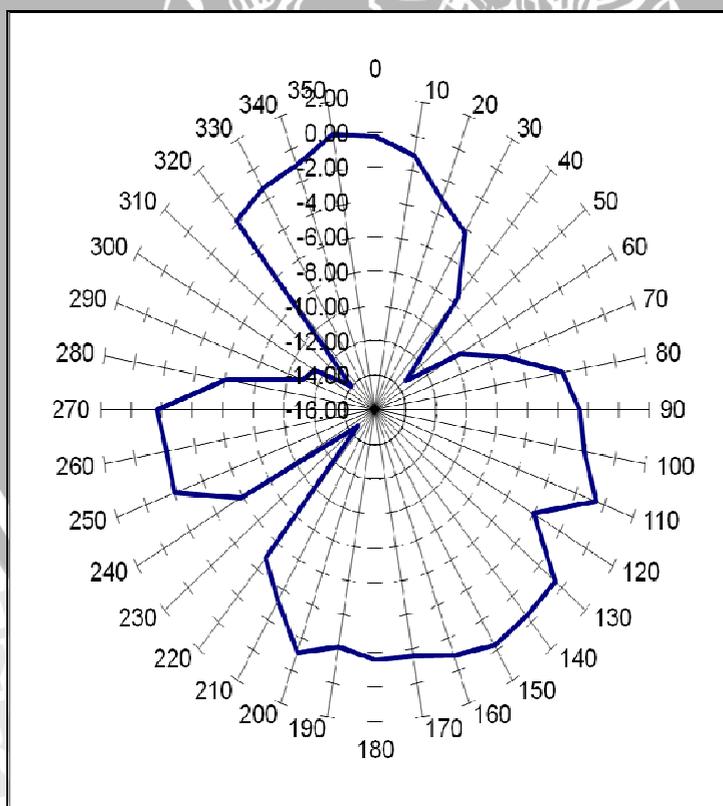
Gambar 5.14. Pola Radiasi Horizontal Antena Mikrostrip *rectangular dual* frekuensi 2440 MHz  
(Sumber : Hasil Pengujian)



Gambar 5.15. Pola Radiasi Vertikal Antena Mikrostrip *rectangular dual* frekuensi 2440 MHz  
(Sumber : Hasil Pengujian)



Gambar 5.16. Pola Radiasi Horizontal Antena Mikrostrip *rectangular dual* frekuensi 2510 MHz  
(Sumber : Hasil Pengujian)



Gambar 5.17. Pola Radiasi Vertikal Antena Mikrostrip *rectangular dual* frekuensi 2510 MHz  
(Sumber : Hasil Pengujian)

## 5.6. Perhitungan Keterarahan (*Directivity*)

Untuk mengetahui nilai keterarahan (*directivity*) antenna yang diuji, dapat digunakan data hasil pengukuran pola radiasi.

### 5.6.1. Cara Perhitungan

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

$$D = \frac{4\pi_{(\text{steradian})}}{\theta \cdot \phi_{(\text{radian}^2)}}$$

$$1 \text{ steradian} = 1 \text{ radian}^2$$

$$= \left(\frac{180}{\pi}\right)^2 (\text{derajat}^2)$$

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

#### 5.6.2.1 Antena *Rectangular Single* WLAN

$$\theta_{HP} = 100^{\circ}$$

$$\phi_{HP} = 195^{\circ}$$

Maka,

$$D = \frac{41000}{100^{\circ} \cdot 195^{\circ}}$$

$$= 2.1$$

$$D_{(dB)} = 10 \log 2.1$$

$$= 3.22 \text{ dB}$$

### 5.6.2.2 Antena Rectangular Single WiMAX

$$\theta_{HP} = 195^\circ$$

$$\phi_{HP} = 300^\circ$$

Maka,

$$D = \frac{41000}{195^\circ \cdot 300^\circ}$$

$$= 0.7$$

$$D_{(dB)} = 10 \log 0.7$$

$$= -1.54 \text{ dB}$$

### 5.6.2.3 Antena Rectangular Dual Frekuensi

Frekuensi 2440 MHz:

$$\theta_{HP} = 100^\circ$$

$$\phi_{HP} = 120^\circ$$

$$D = \frac{41000}{100^\circ \cdot 120^\circ}$$

$$= 3.41$$

$$D_{(dB)} = 10 \log 3.41$$

$$= 5.33 \text{ dB}$$

Frekuensi 2510 MHz:

$$\theta_{HP} = 150^\circ$$

$$\phi_{HP} = 70^\circ$$

$$D = \frac{41000}{150^\circ \cdot 70^\circ}$$

$$= 3.9$$

$$D_{(dB)} = 10 \log 3.9$$

$$= 5.9 \text{ dB}$$



### 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 menentukan frekuensi tertinggi dan terendah antenna dimana masih memiliki nilai  $VSWR \leq 2$ .

Pada antenna rectangular single elemen WLAN walaupun antenna dapat bekerja pada frekuensi kerja yang diinginkan, akan tetapi antenna ini tidak dapat bekerja pada kawasan frekuensi 2400-2480 MHz sesuai dengan ketentuan dari komunikasi WLAN dikarenakan nilai  $VSWR$  dan Return Loss pada frekuensi selain pada frekuensi kerja tidak dalam batas yang diijinkan yaitu  $RL < -10$  dB dan  $1 < VSWR \leq 2$ , sedangkan pada antenna mikrostrip single elemen WIMAX karakteristik ini tidak terjadi dan dapat digunakan pada kawasan frekuensi 2500-2520 MHz. Pada antenna mikrostrip dual frekuensi mempunyai karakteristik *bandwidth* yang lebar mulai dari 2238,076-2575,043 MHz sehingga dapat diaplikasikan pada komunikasi WLAN maupun WIMAX.

Berdasarkan data hasil pengukuran  $VSWR$  antenna ini memiliki frekuensi terendah pada frekuensi 2238,076 MHz, dan frekuensi tertinggi pada frekuensi 2575,043 MHz. Sehingga *bandwidth* antenna ini adalah:

$$B = f_u - f_l$$

$$B = 2575,043 \text{ MHz} - 2238,076 \text{ MHz} = 336.967 \text{ MHz}$$

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

$$B_p = \frac{f_u - f_l}{f_c} \times 100\% = \frac{2575,043 - 2238,076}{2406.559} \times 100\% = 14 \%$$

*Bandwidth* antenna hasil pengukuran masih lebih lebar dari hasil perancangan yang hanya sebesar 140 MHz.

### 5.8. Perhitungan jarak maksimal WLAN

Jarak WLAN dipengaruhi beberapa hal

1. Terbatasnya Spesifikasi alat yang digunakan:

Antara 30mW(15dBm) seperti yang digunakan TP-Link card hingga 100mW(20dBm) seperti yang digunakan Proxim. Dengan kondisi daya terbatas (15-20dBm), maka jarak jangkauan peralatan WLAN menjadi terbatas. Jarak jangkauan maksimum yang dapat dicapai adalah pada saat sinyal mencapai batas sensitifitas penerima di ujung sebelah antenna penerima (far end).

Parameter-parameter yang mempengaruhi jarak WLAN:

- a) Free space Loss (redaman ruang bebas)

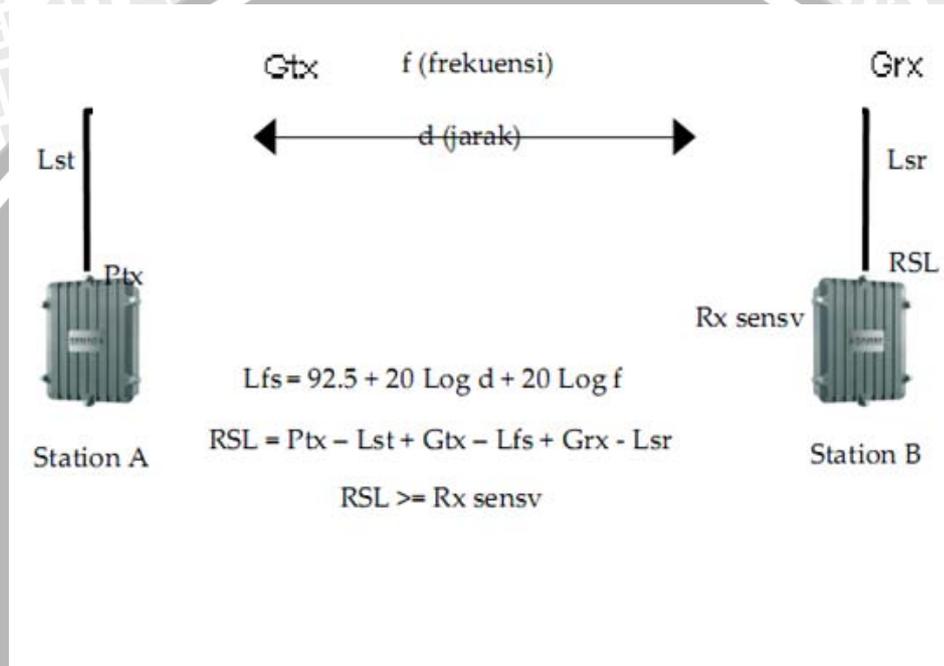
$$FSPL \text{ (dB)} = 20 \log(d) + 20 \log(f) + 92.5$$

d = jarak antara antenna (km)

f = frekuensi kerja (GHz)

- b) Link Budget

Perhitungan link radio untuk menentukan apakah RF power yang dipancarkan station A memenuhi syarat minimum level yang diperlukan setelah diterima di station B, sehingga kedua station dapat berkomunikasi .



Free Space Loss (dB)	RSL (dBm)	Jarak Antara Antena (m)
80,10422483	-61,7042283	100
86,12482475	-67,72482475	200
89,64664993	-71,24664993	300
92,14542466	-73,74542466	400
94,08362492	-75,68362492	500
95,66724984	-77,26724984	600
97,00618563	-78,60618563	700
98,16602457	-79,76602457	800
99,18907502	-80,78907502	900

100,1042248	-81,7042248	1000
100,9320785	-82,5320785	1100

c) Sensitifitas penerima (Rx Sens)

Pada skripsi ini menggunakan card TP-Link dengan Sensitivitas penerima sebagai berikut:

- TP-Link cards PCMCIA: 11Mbps => -82 dBm ; 5.5Mbps => -87 dBm; 2Mbps=> -91 dBm; 1Mbps=> -94 dBm.

Sesuai dengan standar 802.11b dengan bit rate 11 Mbps maka dapat disimpulkan bahwa antenna *rectangular dual frekuensi* memiliki jarak jangkauan maksimum ~1000meter.

### 5.9. Aplikasi Antena *Rectangular Dual Frekuensi* Pada WLAN 2,4 GHz (802.11/b)

Berdasarkan hasil uji laboratorium di Institut Teknologi Telkom Bandung , antenna *Rectangular Dual Frekuensi* cukup layak diaplikasikan sebagai antenna pada jaringan WLAN 802.11/b yang mempunyai range frekuensi 2,4-2,4835 GHz karena memiliki karakteristik sebagai berikut :

<i>Frekuensi</i>	2440 MHz
<i>Return Loss</i>	-17.51dB
VSWR	1,31
Koefisien Pantul	0,133
Impedansi	55.70 + j8.266 $\Omega$
<i>Gain</i>	5.03 dBi
Pola Radiasi	<i>Unidirectional</i>
Polarisasi	<i>Ellips vertical</i>
<i>Bandwidth</i>	336.97 MHz
<i>Directivity</i>	5.33 dB

Untuk mengaplikasikan antenna *Rectangular Dual Frekuensi* sebagai antenna WLAN 802.11/b maka dibutuhkan peralatan sebagai berikut :

1. Seperangkat Desktop Computer (PC).
2. 1 buah PCI WLANcard merk TP-LINK TL-WN610G
3. Kabel RG-58

4. 1 buah konektor N-Male
5. 1 buah konektor SMA Female



PCI WiFi card 802.11/b



Kabel RG-58



Konektor N-Male



Konektor SMA Female

Langkah-langkah instalasi antena *Rectangular Dual Frekuensi* sebagai antena WLAN 802.11b :

1. Memasang PCI WLAN card pada slot PCI computer:



2. Memasang konektor SMA pada kabel RG-58.



3. Memasang Konektor N-Male pada kabel RG-58



4. Menyambung konektor N-Male Pada antena dan konektor SMA pada PCI WLAN card 802.11b.

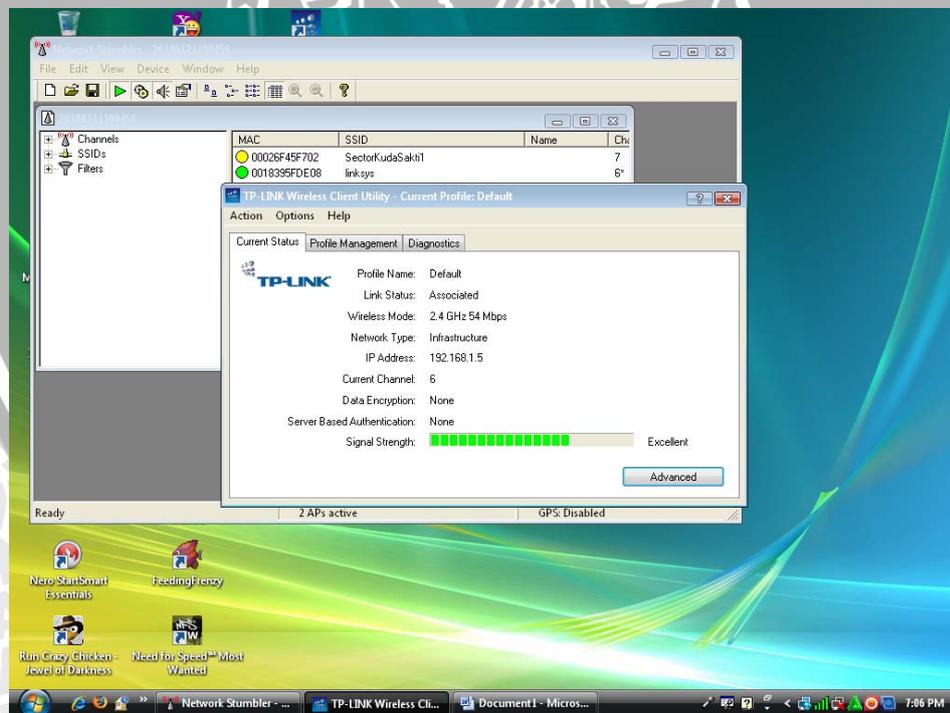


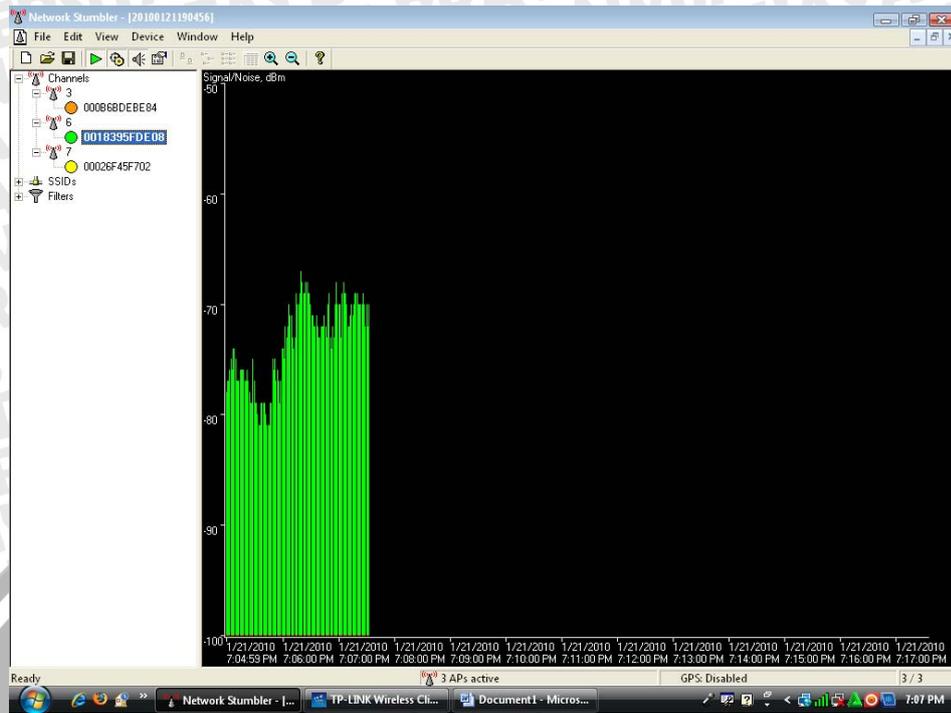
### Langkah-langkah Pengujian :

1. Antena *Rectangular Dual Frekuensi* ditempatkan di ruang terbuka.
2. Mengaktifkan WLAN card .
3. Meletakkan antena WLAN *rectangular dual frekuensi* pada jarak 10 meter dari *access point*
4. Melakukan pencarian jaringan menggunakan *software* Network Stumbler. Setelah melakukan pencarian didapatkan 3 hotspot di sekitar lokasi pengujian.

MAC	SSID	Name	Chan	Speed	Vendor	Type	Enc...	SNR	Signal+	Noise-
000B6BDEBE84			3	54 Mbps		AP		7	-92	-100
00026F45F702	SectorKudaSakti1		7	11 Mbps	Senao Intl	AP		5	-92	-100
0018395FDE08	linksys		6*	54 Mbps	(Fake)	AP		28	-67	-100

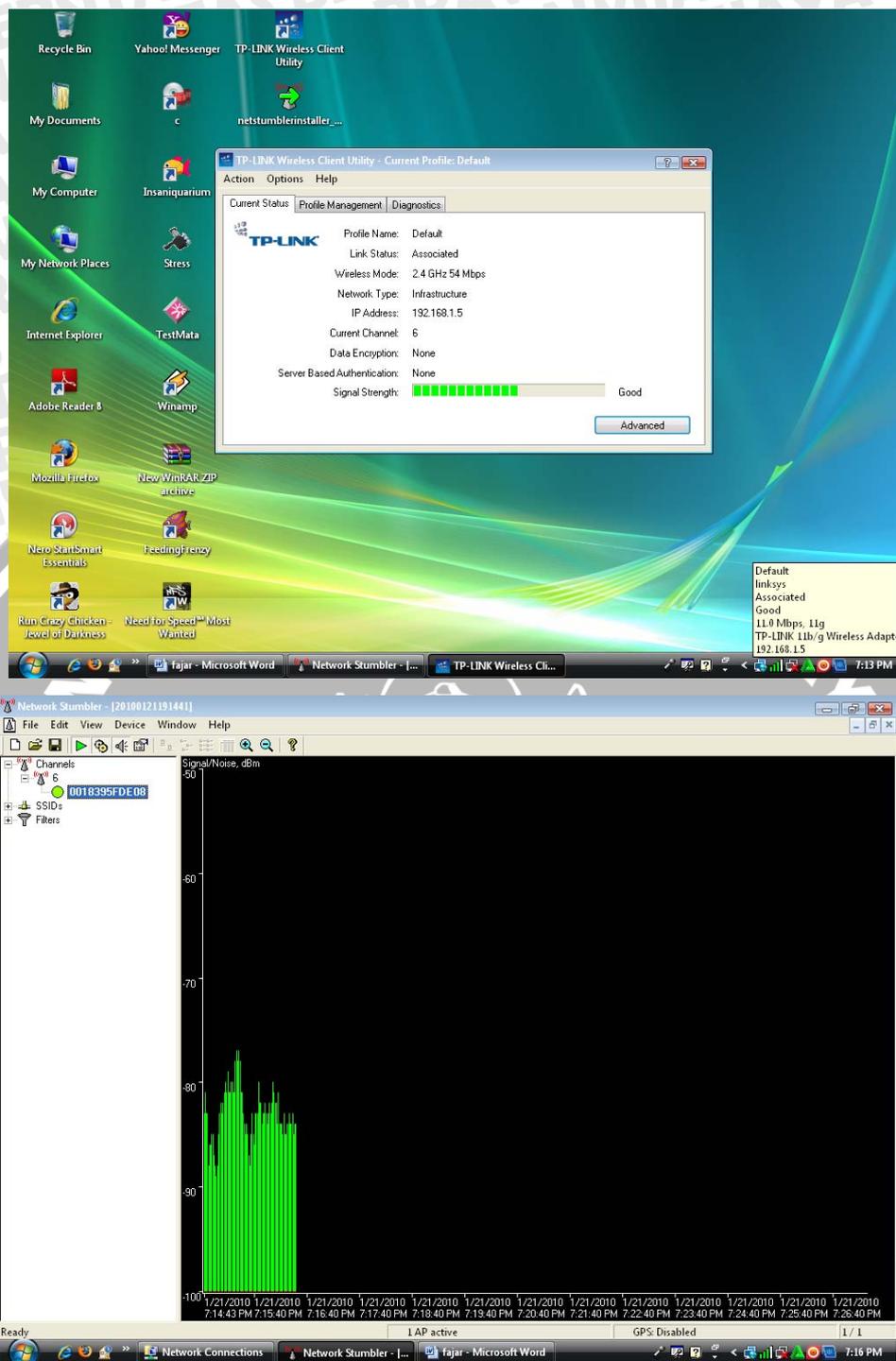
5. Setelah mendapatkan 3 titik hotspot kemudian mencari penerimaan sinyalnya dari salah satu hotspot yang bernama Linksys dan hasilnya penerimaan sinyal dari antena *rectangular dual frekuensi* dapat dikatakan baik dengan kualitas sinyal *excellent*





Gambar hasil *capture* antenna *rectangular dual frekuensi* pada jarak 10 meter

6. Meletakkan antenna WLAN *rectangular dual frekuensi* pada jarak 500 meter dari *access point*
7. Melakukan pencarian jaringan menggunakan *software* Network Stumbler. Setelah melakukan pencarian didapatkan 3 hotspot di sekitar lokasi pengujian.
8. Setelah mendapatkan 3 titik hotspot kemudian mencari penerimaan sinyalnya dari salah satu hotspot yang bernama Linksys dan hasilnya penerimaan sinyal dari antenna *rectangular dual frekuensi* dapat dikatakan baik dengan kualitas sinyal *good*



Gambar hasil capture antenna *rectangular dual frekuensi* pada jarak 500 meter

### 5.10 Aplikasi Antena *Rectangular Dual Frekuensi* Pada WI-MAX 2,5 GHz (802.16/e)

Pada dasarnya antenna *Rectangular Dual Frekuensi* dapat digunakan pada komunikasi Wi-MAX jika ditinjau dari hasil simulasi dan pengukuran di Institut Teknologi Telkom

Bandung, akan tetapi pengujian antenna *Rectangular Dual Frekuensi* untuk komunikasi Wi-MAX tidak dapat dilakukan untuk saat ini mengingat ada beberapa hal yang menjadi kendala dalam pengaplikasiannya yaitu :

1. Perbedaan dari frekuensi kerja perancangan antenna rectangular dual frekuensi dengan frekuensi kerja transmitter dari Wi-MAX yang dikembangkan pada LIPI Bandung. Adapun untuk frekuensi kerja antenna yang dirancang sebesar 2510 MHz sedangkan frekuensi transmittersnya sebesar 2350 Mhz.
2. Kesulitan dalam perizinan untuk melakukan pengujian antenna karena Wi-MAX sendiri masih berupa riset dari lembaga yang bersangkutan.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



## BAB VI PENUTUP

### 6.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan antenna, pembuatan antenna, pengujian dan pengukuran antenna, serta analisis parameter-parameter antenna, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Untuk menentukan model antenna rectangular dual frekuensi untuk komunikasi WLAN dan WiMAX ada beberapa langkah yang dapat dilakukan yaitu :
  - a. Merancang antenna *rectangular single* elemen WLAN pada frekuensi kerja 2440 MHz.
  - b. Merancang antenna *rectangular single* elemen WiMAX pada frekuensi kerja 2510 MHz.
  - c. Menggabungkan kedua antenna *single* elemen dengan hubungan parallel atau *dipole array* sehingga akan didapatkan sebuah antenna yang dapat bekerja pada dua frekuensi kerja 2440 MHz dan 2510 MHz.
  - d. Optimasi antenna dual frekuensi agar didapatkan antenna yang dapat bekerja pada  $VSWR \leq 2$ ,  $Return Loss < -10dB$ , dan  $Gain > 3 dBi$
2. Berdasarkan hasil perancangan dan pembuatan, antenna mikrostrip *rectangular array* dual frekuensi ini dibuat dengan menggunakan bahan FR-4 dengan nilai Konstanta dielektrik ( $\epsilon_r$ ) = 4.5

Dengan dimensi antenna setelah dioptimasi sebagai berikut :

Elemen Peradiasi :

$$L_1 = 27 \text{ mm} \quad L_2 = 32 \text{ mm}$$

$$W_1 = 29,5 \text{ mm} \quad W_2 = 28 \text{ mm}$$

$$Z_1 = 100 \Omega \quad Z_2 = 100 \Omega$$

Saluran Transmisi :

$$y_{01} = 11,5 \text{ mm} \quad y_{02} = 11 \text{ mm}$$

$$W_{t1} = 4 \text{ mm} \quad W_{t2} = 4 \text{ mm}$$

$$L_{t1} = L_{t2} = L_{t3} = L_{t4} = L_{t5} = 35 \text{ mm}$$

Nilai  $VSWR$  antenna mikrostrip *rectangular array* hasil pembuatan berbeda-beda tiap frekuensi. Dalam frekuensi kerja yang direncanakan yaitu 2440 MHz dan 2510 MHz, antenna ini memiliki nilai  $VSWR$  sebesar 1.308 dan 1.685. Nilai  $VSWR$  antenna

ini masih dalam batas yang diijinkan ( $1 \leq VSWR \leq 2$ ). Untuk nilai *Return Loss*, pada frekuensi 2440 Mhz adalah -17.51 dB sedangkan pada 2510 MHz sebesar -- 11.861 dB yang masih dalam batas diijinkan yaitu <-10dB.

3. Nilai *gain* antenna mikrostrip *rectangular array* dual frekuensi pada frekuensi kerja yang direncanakan yaitu 2440 MHz, hasil penguatan sebesar 5.03 dBi dan 3.2 dBi untuk frekuensi 2510 MHz.
4. Hasil pengukuran pola radiasi, untuk bidang horizontal maupun vertikal yang diplotkan pada diagram polar, menunjukkan bahwa bentuk pola radiasi mikrostrip *rectangular array* dual frekuensi hasil pembuatan adalah *unidirectional* dengan  $\phi_{HP} = 100^\circ$  dan  $\theta_{HP} = 120^\circ$  untuk frekuensi 2440 MHz dan  $\phi_{HP} = 150^\circ$  dan  $\theta_{HP} = 75^\circ$  untuk frekuensi 2510 MHz.
5. Hasil pengukuran polarisasi menunjukkan bahwa antenna mikrostrip *rectangular array* memiliki polarisasi *ellips*.
6. Hasil perhitungan *directivity* menunjukkan antenna ini memiliki nilai *directivity* sebesar 5.33 dB dan 5.9 dB.
7. Berdasarkan perhitungan *bandwidth*, antenna mikrostrip *rectangular array* dual frekuensi memiliki *bandwidth* sebesar 336.967 MHz. *Bandwidth* antenna hasil pengukuran masih lebih besar dari *bandwidth* hasil perancangan yang hanya sebesar 140 MHz.

## 6.2. Saran

1. Dalam melakukan pengukuran, untuk ketepatan dan ketelitian hasil pengukuran disarankan agar pengukuran dilakukan di tempat yang bebas dari benda-benda yang dapat mempengaruhi hasil pengukuran. Disarankan untuk melakukan pengujian dan pengukuran di dalam ruangan yang disebut *Anechoic Chamber*.
2. Diperlukan penelitian lebih lanjut untuk mengaplikasikan antenna ini pada komunikasi WiMAX khususnya dari pencatutan daya yang besar terhadap performansi antenna dan ketinggian pemasangan antenna. Khusus untuk masalah ketinggian dalam pemasangan antenna diperlukannya penelitian untuk bahan penyangga antenna yang berupa isolator, yang kuat, kokoh dan tahan terhadap guncangan dan cuaca, agar diperoleh antenna yang kuat dan kokoh.
3. Perencanaan antenna mikrostrip dapat menggunakan bahan lain dengan nilai konstanta dielektrik ( $\epsilon_r$ ) yang berbeda. Untuk elemen peradiasi, selanjutnya dapat digunakan model lain dengan bentuk *array* ataupun *single* elemen yang bekerja

dalam range frekuensi yang sama agar dapat dilakukan perbandingan performansi antena.



## DAFTAR PUSTAKA

- Balanis, Constantine A. 1982. *Antena Theory: Analysis and Design, 2nd Edition*. John Wiley and Sons, Inc.
- Kraus, John Daniel. 1988. *Antennas*. McGraw-Hill International, New York.
- Liao, S Y. 1987. *Microwave Circuit Analysis and Amplifier Design, 2nd Edition*. Souders College Publishing, New York.
- Nakar, Punit S. 2004. *Design of a Compact Microstrip Patch Antenna for use in Wireless/Cellular Devices*. The Florida State University. Thesis.
- Pratama, Ariestya Yoga. 2008. *Perencanaan dan Pembuatan Antena Mikrostrip Circular Array Dual Frekuensi Tugas Akhir*, Fakultas Teknik Univesitas Brawijaya, Malang.
- Juniardi, Shofwan. 2008. *Perencanaan dan Pembuatan Antena Mikrostrip Array 2x2 pada frekuensi 1575 MHz Tugas Akhir*, Fakultas Teknik Univesitas Brawijaya, Malang.
- Stutzman, Warren L. and G. A. Thiele. 1981. *Antenna Theory and Design*. John Willey and Son, Inc. New York.
- Wong, Kin-Lu. 2002. *Compact and Broadband Microstrip Antennas*. John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Solanki, Mukesh R. 2008. *Broadband Designs of a Triangular Microstrip Antenna with a Capacitive Feed. Journal of Microwaves, Optoelectronics and Electromagnetic Applications, Vol. 7, No.1. India*
- Jaafar, Abd. Shukur. 2005. *Sierpinski Gasket Patch and Monopole Fractal Antenna*. Tesis Fakultas Teknik Universitas Teknologi Malaysia. Malaysia.

Khairudin, Wan Ali. 2004. *Wideband Microstrip Antenna for Land Based Vehicles*.  
Tesis Fakultas Kejuruan Mekanikal Universitas Teknologi Malaysia.  
Malaysia.

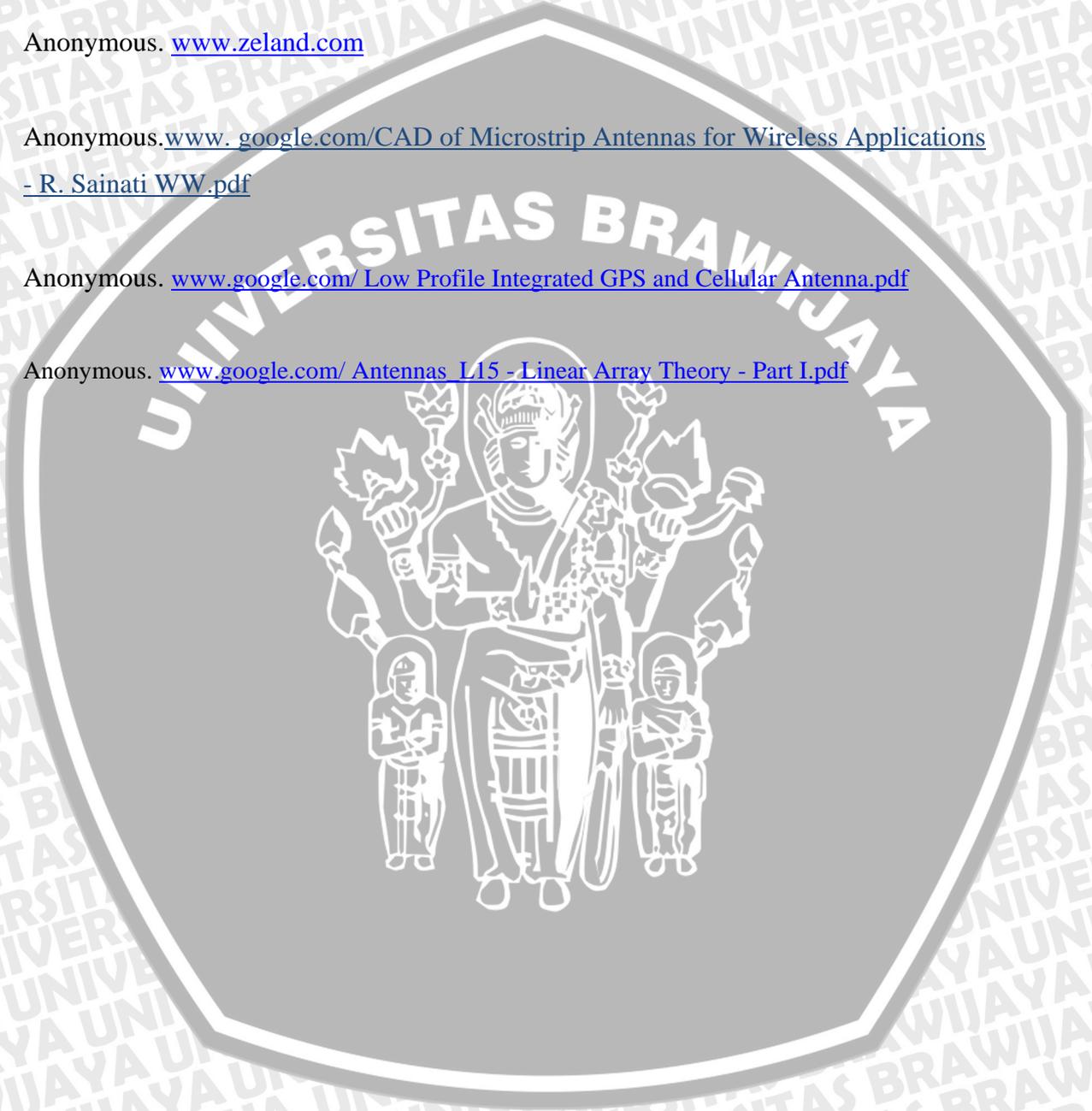
M. Z. A. Abd. Aziz, M.K. A. Rahim, A. Asyrokin. “*Broadband Microstrip Antenna Design For WLAN Application*”. Wireless Communication Center (WCC), Faculty of Electrical Engineering, Universiti Teknologi Malaysia.

Anonymous. [www.zeland.com](http://www.zeland.com)

Anonymous. [www.google.com/CAD of Microstrip Antennas for Wireless Applications - R. Sainati WW.pdf](http://www.google.com/CAD%20of%20Microstrip%20Antennas%20for%20Wireless%20Applications%20-%20R.%20Sainati%20WW.pdf)

Anonymous. [www.google.com/ Low Profile Integrated GPS and Cellular Antenna.pdf](http://www.google.com/Low%20Profile%20Integrated%20GPS%20and%20Cellular%20Antenna.pdf)

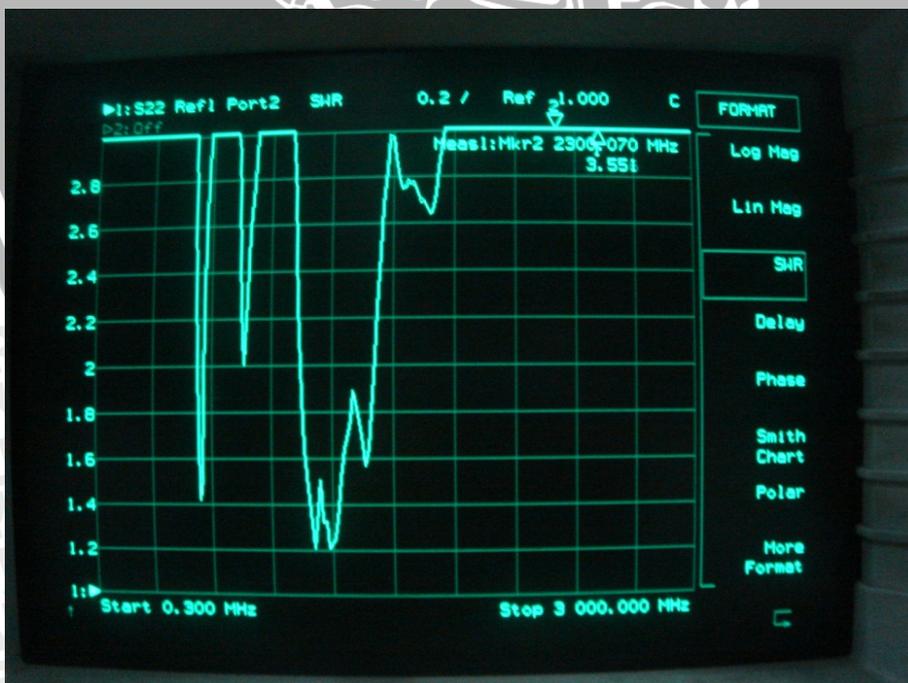
Anonymous. [www.google.com/ Antennas L15 - Linear Array Theory - Part I.pdf](http://www.google.com/Antennas%20L15%20-%20Linear%20Array%20Theory%20-%20Part%20I.pdf)



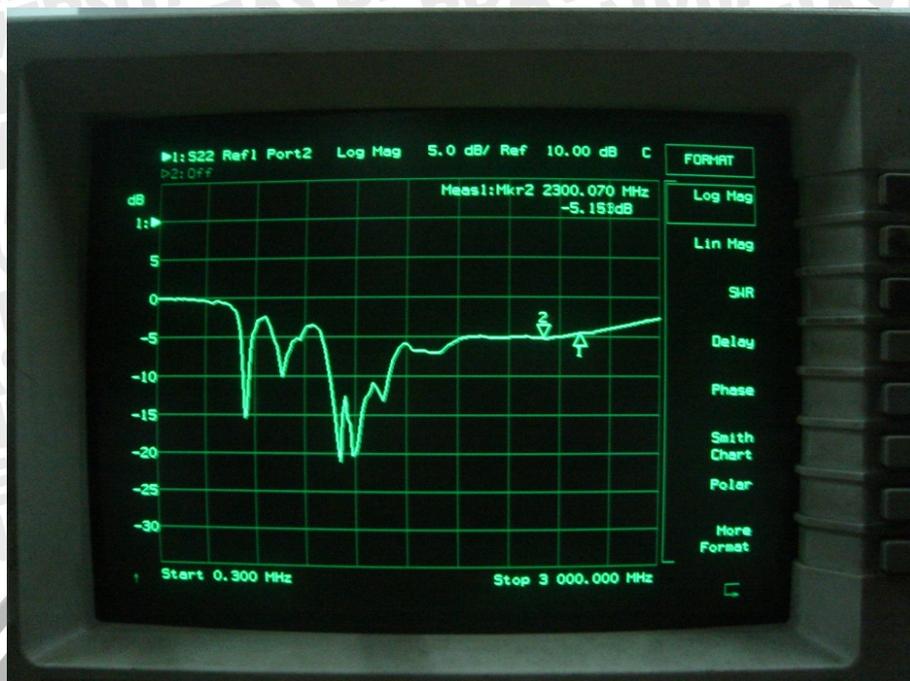
LAMPIRAN DOKUMENTASI PENGUKURAN



Antena Mikrostrip *Rectangular Single* WLAN yang terhubung dengan *Agilent RF Network Analyzer 8714ES* 300KHz – 3GHz



Hasil Pengukuran VSWR *Rectangular Single* WLAN pada Rentang 300KHz – 3GHz



Hasil Pengukuran *Return Loss Rectangular Single* WLAN pada Rentang 300KHz – 3GHz



Hasil Pengukuran Impedansi Antena *Rectangular Single* WLAN Rentang 300KHz – 3GHz

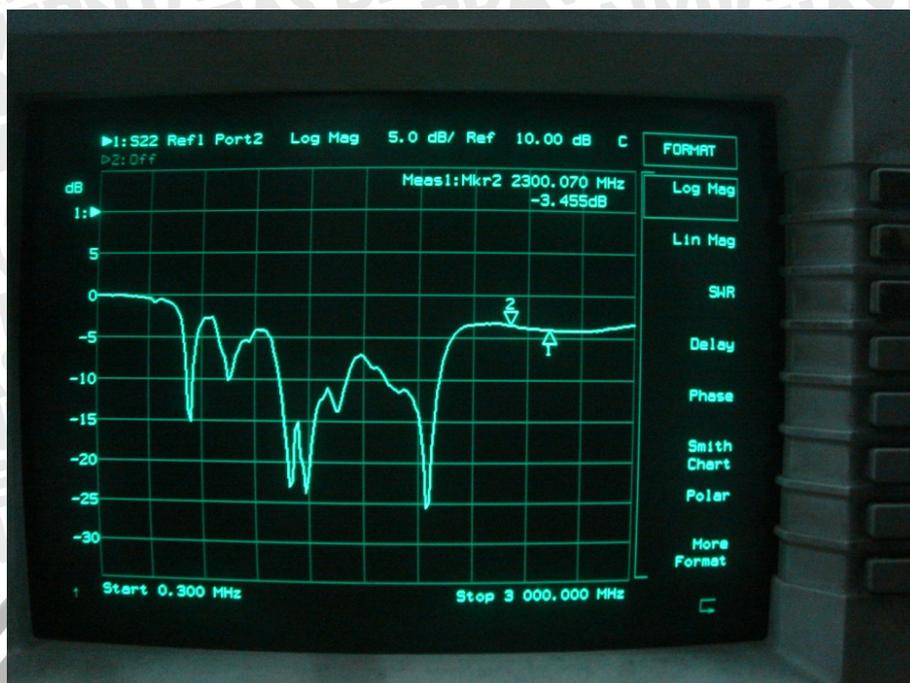


Antena Mikrostrip *Rectangular Single* Wi-MAX yang terhubung dengan *Agilent RF Network Analyzer 8714ES* 300KHz – 3GHz



Hasil Pengukuran *VSWR Rectangular Single* Wi-MAX pada Rentang 300KHz – 3GHz





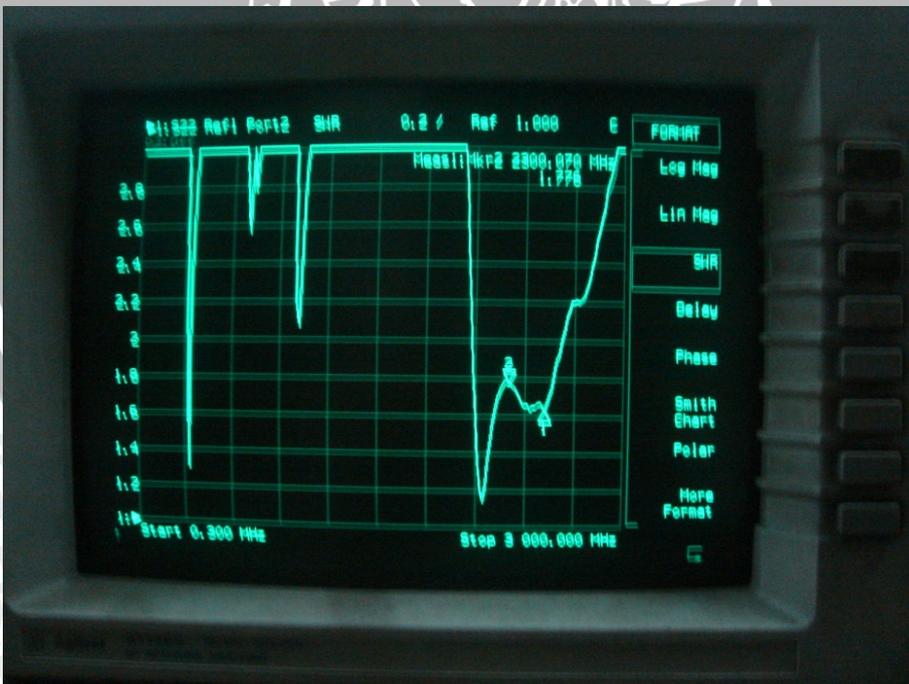
Hasil Pengukuran *Return Loss Rectangular Single Wi-MAX* Rentang 300KHz – 3GHz



Hasil Pengukuran Impedansi Antena *Rectangular Single Wi-MAX* pada Rentang 300KHz – 3GHz



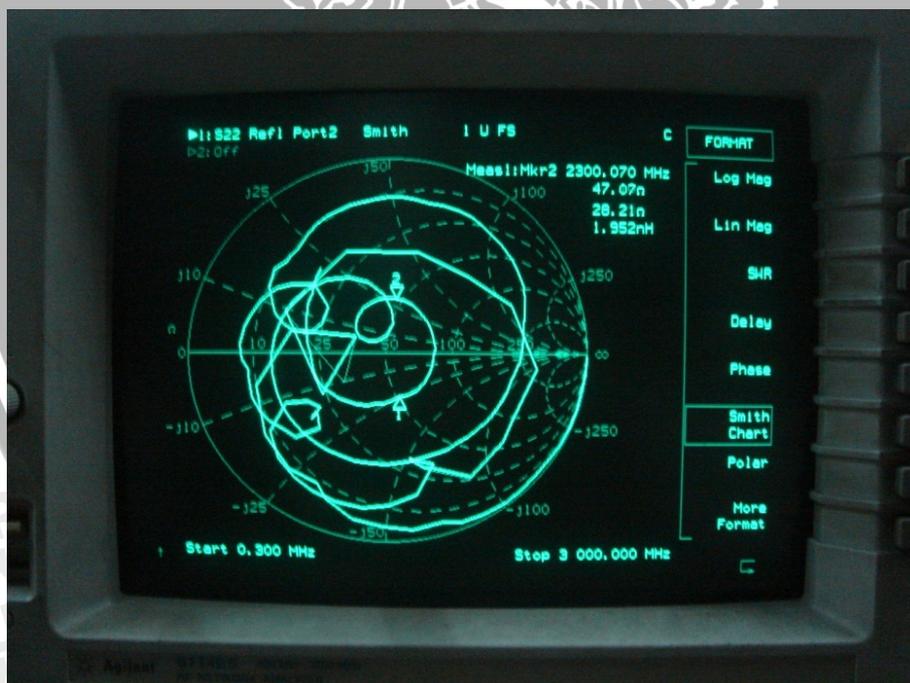
Antena Mikrostrip *Rectangular Dual* Frekuensi yang terhubung dengan *Agilent RF Network Analyzer 8714ES* 300KHz – 3GHz



Hasil Pengukuran VSWR *Rectangular Dual* Frekuensi pada Rentang 300KHz – 3GHz



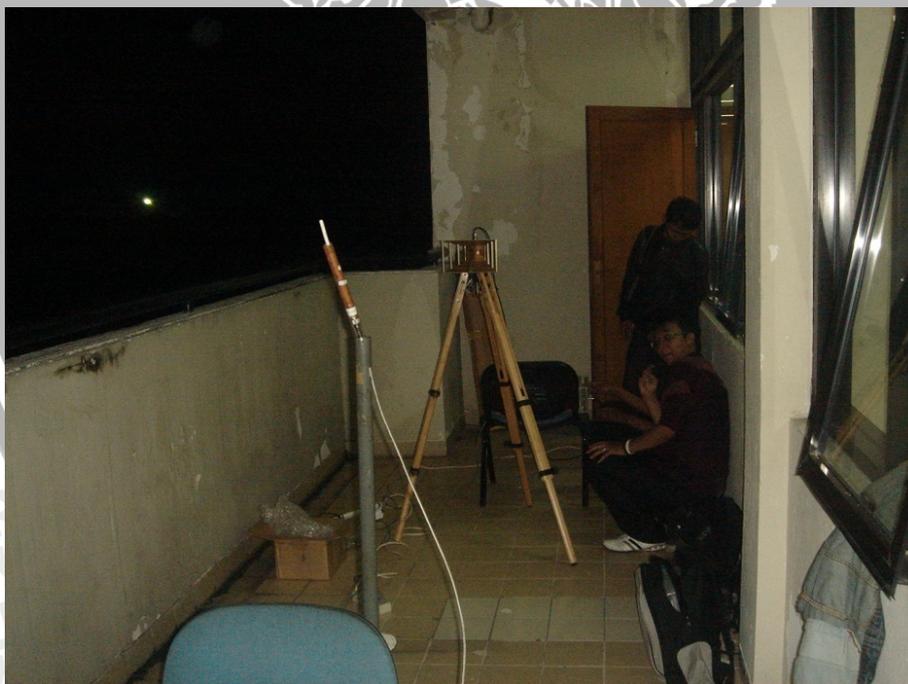
Hasil Pengukuran *Return Loss Rectangular Dual* Frekuensi pada Rentang 300KHz – 3GHz



Hasil Pengukuran Impedansi Antena *Rectangular Dual* Frekuensi pada Rentang 300KHz – 3GHz



Antena Horn yang digunakan pada sisi pemancar pada pengukuran *outdoor*



Rangkaian yang digunakan pada pengukuran *outdoor*

Antena Horn yang digunakan pada sisi pemancar dan antena dipole sleeve pada sisi penerima



*Sweep Oscillator 8350B 1 - 26.5 GHz Hewlett Packard*



*Spectrum Analyzer 8563E 30 Hz - 26.5 GHz Hewlett Packard*





Rangkaian antena mikrostrip pada sisi penerima pada pengukuran *outdoor*

