

**ANALISIS PENGARUH *FINITE GROUND PLANE* PADA
PERFORMANSI ANTENA *MICROSTRIP RECTANGULAR*
PATCH DENGAN FREKUENSI KERJA 2,4 GHz**

SKRIPSI

*Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik*



Disusun oleh :

A. RIFQI FAKHRUDDIN

NIM. 0710633056-63

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG**

2012

**ANALISIS PENGARUH *FINITE GROUND PLANE* PADA
PERFORMANSI ANTENA *MICROSTRIP RECTANGULAR*
PATCH DENGAN FREKUENSI KERJA 2,4 GHz**

SKRIPSI

*Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik*



Disusun oleh :

A. RIFQI FAKHRUDDIN

NIM. 0710633056-63

DOSEN PEMBIMBING:

Ir. ERFAN A. DAHLAN, MT.
NIP. 19530714 198203 1 003

DWI FADILA K., ST., MT.
NIP. 19720630 200003 1 002

**ANALISIS PENGARUH *FINITE GROUND PLANE* PADA
PERFORMANSI ANTENA *MICROSTRIP RECTANGULAR*
PATCH DENGAN FREKUENSI KERJA 2,4 GHz**

Disusun oleh:

A. RIFQI FAKHRUDDIN

NIM. 0710633056-63

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
Tanggal 8 Februari 2012

DOSEN PENGUJI:

M. FAUZAN EDY P., ST, MT.
NIP. 19710609 200002 1 001

Ir. ENDAH BUDI P., MT.
NIP. 19621116 198903 2 002

GAGUK ASMUNGI, ST., MT.
NIP. 19670627 199802 1 001

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Elektro

Dr. Ir. SOLEH HADI PRAMONO, MS.
NIP. 19580728 198701 1 001

PENGANTAR

Alhamdulillah, segenap puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT. Yang telah melimpahkan rahmat, hidayah, ridho, nikmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan judul “**Analisis Pengaruh *Finite Ground Plane* pada Performansi Antena *Microstrip Rectangular Patch* dengan Frekuensi Kerja 2,4 Ghz**”. Tidak lupa shalawat serta salam semoga senantiasa tercurahkan untuk Rasulullah Muhammad SAW beserta keluarga, sahabat, kerabat dan para pengikutnya sampai akhir jaman.

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

1. Bapak Dr. Ir. Sholeh Hadi Pramono, MS. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro.
2. Bapak Muhammad Aziz Muslim, ST., MT., PhD. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro.
3. Bapak Ali Mustofa ST., MT. selaku Ketua Kelompok Dosen dan Keahlian Teknik Telekomunikasi yang telah menyetujui ide pembuatan skripsi ini, serta membantu dalam menyelesaikan proses seminar hasil dan ujian yang dilakukan penulis.
4. 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.
5. Kedua orang tua saya yang telah membesarkanku, terima kasih atas doa, kasih sayang, perhatian serta dorongan yang telah engkau berikan padaku, serta saudara saya Dani yang terus memberikan motivasi yang tidak kenal bosan.
6. Sahabatku yang telah menemani mulai dari aku masuk kuliah hingga sekarang menemaniku core'nerz dan tak lupa teman-teman yang terus

setia sampai akhir “power ranger”, “9 brother”, “7 star”, dan “sawojajar fc”. Terima kasih atas dukungan, semangat, kebersamaan, bantuan ilmu, doa serta perhatiannya.

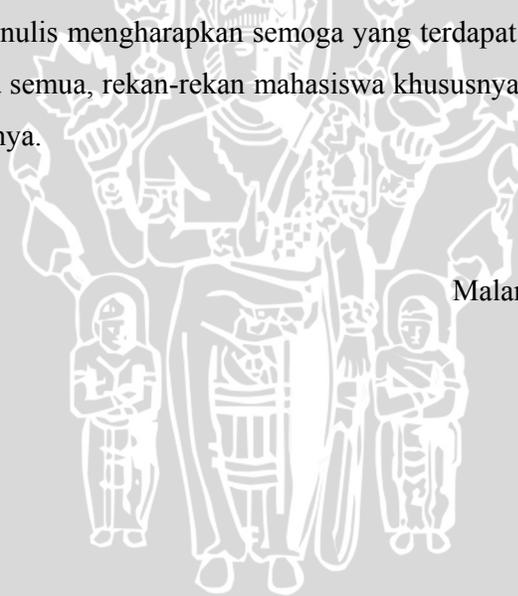
7. Untuk seluruh temanku angkatan 2007 semoga tetap kompak dan cepat lulus semua.
8. Seluruh rekan mahasiswa Jurusan Teknik Elektro terima kasih atas dukungannya.
9. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu. Terima kasih, sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan sebaik – baiknya.

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, Februari 2012

Penulis



DAFTAR ISI

PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR GRAFIK.....	x
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xv
ABSTRAKSI.....	xvi
BAB I. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Ruang Lingkup.....	3
1.4 Tujuan	4
1.5 Sistematika Penulisan	4
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Konsep Dasar Antena.....	6
2.2 Parameter Dasar Antena <i>Microstrip</i>	6
2.2.1 Impedansi Masukan	6
2.2.2 Pola Radiasi	8
2.2.3 Keterarahan (<i>Directivity</i>)	10
2.2.4 Penguatan (<i>Gain</i>)	11
2.2.5 <i>Return Loss</i> (RL)	12
2.2.6 Lebar Pita (<i>Bandwidth</i>).....	13
2.2.7 Polarisasi.....	14
2.2.7.1 Polarisasi Linier.....	15
2.2.7.2 Polarisasi Lingkaran	16
2.2.7.3 Polarisasi Elips	17
2.2.7.3 Proses Pembentukan Axial Ratio	18
2.3 Antena <i>Microstrip</i>	18
2.3.1 Saluran Transmisi <i>Microstrip</i>	18

2.3.2	Bentuk Umum Antena <i>Microstrip</i>	19
2.3.3	Batasan Frekuensi Pada Substrat	20
2.3.4	Teknik Pencatutan Antena <i>Microstrip</i>	20
2.3.4.1	<i>Microstrip Line Feed</i>	21
2.3.4.2	<i>Coaxial Feed</i>	22
2.3.4.3	<i>Aperture Coupling</i>	22
2.3.4.4	<i>Proximity Coupling</i>	23
2.3.5	Konsep Dasar <i>Ground Plane</i>	24
2.3.5.1	<i>Infinite Ground Plane</i> dan <i>Finite Ground Plane</i>	24
2.3.5.2	Teori <i>E-Plane</i> dan <i>H-Plane</i> pada Antena Mikrostrip dengan <i>Finite Ground Plane</i>	25
2.3.5.3	Pengaruh <i>Finite Ground Plane</i> terhadap Kinerja Antena Mikrostrip	29
2.3.6	Impedansi Karakteristik Saluran <i>Microstrip</i>	32
2.3.7	Permittifitas Dielektrik Relatif Efektif	33
2.3.8	Dimensi Antena	33
2.3.8.1	Dimensi Elemen Radiasi	33
2.3.8.1.1	Lebar Elemen Radiasi (W)	34
2.3.8.1.1	Panjang Elemen Radiasi (L)	34
2.3.8.2	Impedansi Masukan	35
2.3.8.3	Penyesuai Impedansi (<i>Matching Impedance</i>)	35
2.3.8.4	Dimensi Saluran Transmisi	36
2.3.8.5	Dimensi Saluran Transformer	37
2.3.9	Rugi – rugi Pada Saluran <i>Microstrip</i>	37
2.3.9.1	Rugi – Rugi Dielektrik	38
2.3.9.2	Rugi – Rugi Konduktor	38
2.3.9.3	Rugi –Rugi Radiasi	39
2.4	<i>Wireless Local Area Network (WLAN)</i>	40
2.4.1	Konfigurasi Wireless LAN	40
2.4.2	Standar IEEE 802.11	42

BAB III. METODOLOGI

3.1	Studi Literatur	45
-----	-----------------------	----

3.2	Pengumpulan Data	45
3.3	Perencanaan dan Pembuatan	45
3.4	Simulasi dan Pengukuran.....	47
3.5	Analisis.....	51
3.6	Pengambilan Kesimpulan.....	51

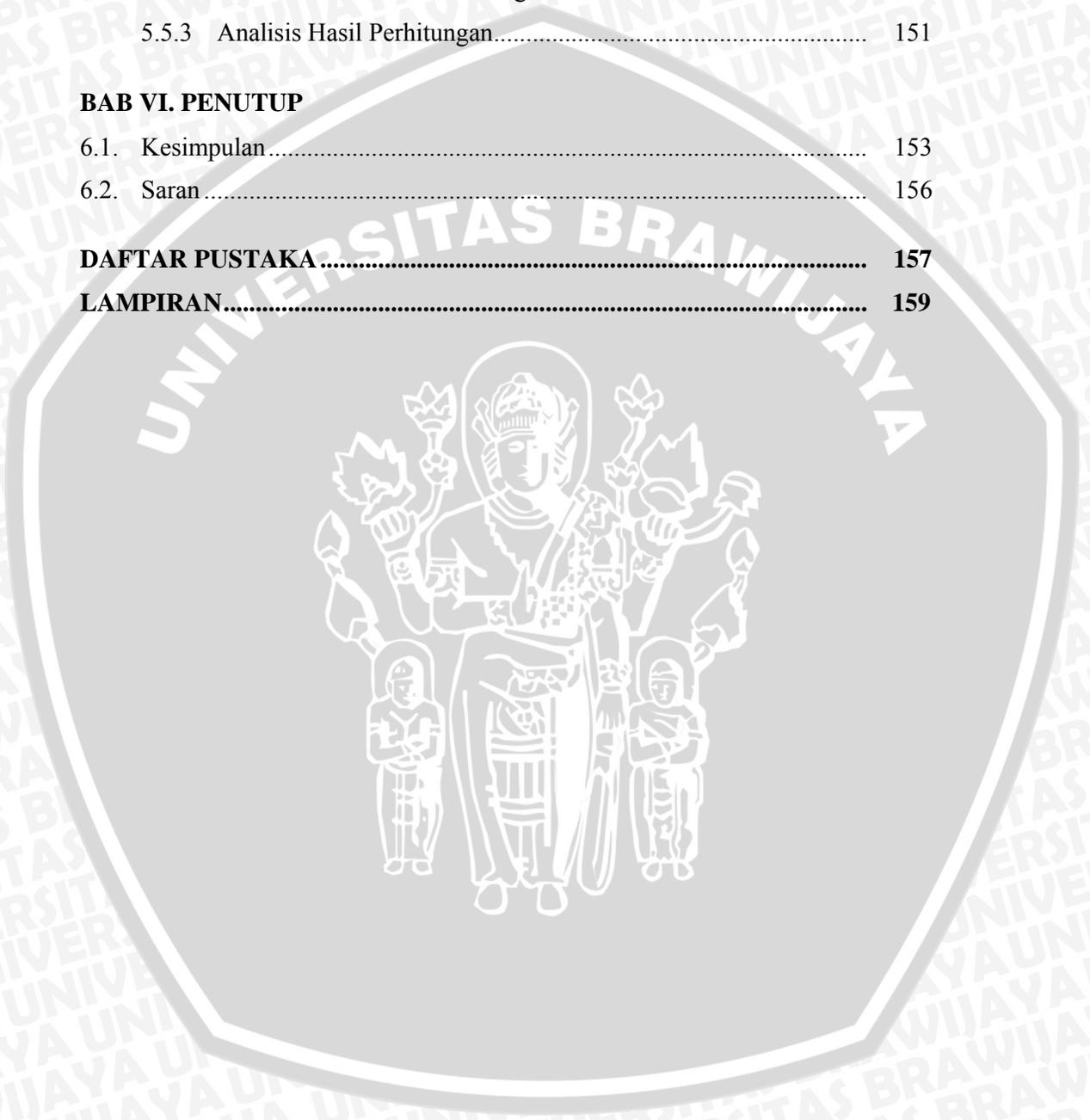
BAB IV PERENCANAAN DAN PEMBUATAN ANTENA *MICROSTRIP* RECTANGULAR PATCH DENGAN *FINITE GROUND PLANE*

4.1	Tinjauan Umum	52
4.2	Perencanaan Antena <i>Microstrip Rectangular Patch</i> dengan <i>Finite Ground Plane</i>	52
4.2.1	Spesifikasi Dimensi Substrat dan Konduktor	53
4.2.2	Perencanaan Dimensi Elemen Peradiasi.....	53
4.2.3	Perencanaan Impedansi Masukan Elemen Peradiasi dan Impedansi <i>Matching</i>	55
4.2.4	Perencanaan Dimensi Saluran Transmisi	56
4.2.5	Perencanaan Dimensi Transformer.....	56
4.2.6	Perhitungan Rugi – rugi Antena <i>Microstrip</i>	57
4.2.6.1	Perhitungan Rugi – rugi Dielektrik (α_d)	57
4.2.6.2	Perhitungan Rugi – rugi Konduktor	58
4.2.6.3	Perhitungan Rugi – rugi Peradiasi.....	58
4.2.7	Perencanaan <i>Bandwidth</i>	58
4.2.8	Perencanaan Antena <i>Microstrip</i> dengan Simulator	59
4.2.8.1	Simulasi Dengan Elemen Peradiasi.....	59
4.2.8.2	Simulasi Antena <i>Microstrip</i> dengan <i>Finite Ground Plane</i>	62
4.3	Pembuatan Antena <i>Microstrip</i> dengan <i>Finite Ground Plane</i>	75
4.3.1	Alat-Alat yang Digunakan.....	75
4.3.2	Pencetakan Pola Antena <i>Microstrip</i>	76

BAB V. ANALISIS HASIL SIMULASI DAN PENGUKURAN ANTENA *MICROSTRIP* RECTANGULAR PATCH DENGAN *FINITE GROUND PLANE*

5.1	Tinjauan Umum	78
5.2	Perhitungan <i>Bandwidth</i>	78
5.2.1	Tujuan	78
5.2.2	Hasil Perhitungan.....	78
5.2.2.1	Simulasi	79
5.2.2.2	Pengukuran	92
5.2.2.2.1	Alat-Alat yang Digunakan	92
5.2.2.2.2	Prosedur Pengukuran	93
5.2.2.2.3	Hasil Pengukuran	93
5.2.3	Analisis Hasil Perhitungan.....	96
5.3	Perhitungan <i>Gain</i> Antena.....	96
5.3.1	Tujuan	96
5.3.2	Hasil Perhitungan.....	96
5.3.2.1	Simulasi	97
5.3.2.2	Pengukuran	109
5.3.2.2.1	Alat-Alat yang Digunakan	109
5.3.2.2.2	Prosedur Pengukuran	110
5.3.2.2.3	Hasil Pengukuran	110
5.3.3	Analisis Hasil Perhitungan.....	112
5.4	Perhitungan Pola Radiasi	113
5.4.1	Tujuan	113
5.4.2	Hasil Perhitungan.....	113
5.4.2.1	Simulasi	113
5.4.2.2	Pengukuran	129
5.4.2.2.1	Alat-Alat yang Digunakan	129
5.4.2.2.2	Prosedur Pengukuran	129
5.4.2.2.3	Hasil Pengukuran	130
5.4.3	Analisis Hasil Perhitungan.....	134
5.5	Perhitungan Polarisasi.....	135
5.5.1	Tujuan	135
5.5.2	Hasil Perhitungan.....	135
5.5.2.1	Simulasi	136

5.5.2.2 Pengukuran.....	148
5.5.2.2.1 Alat-Alat yang Digunakan.....	148
5.5.2.2.2 Prosedur Pengukuran.....	149
5.5.2.2.3 Hasil Pengukuran.....	149
5.5.3 Analisis Hasil Perhitungan.....	151
BAB VI. PENUTUP	
6.1. Kesimpulan.....	153
6.2. Saran.....	156
DAFTAR PUSTAKA.....	157
LAMPIRAN.....	159



DAFTAR GAMBAR

No	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Pola Radiasi	9
Gambar 2.2	Macam – macam polarisasi	15
Gambar 2.3a	Polarisasi Linier Vertikal	16
Gambar 2.3b	Polarisasi Linear Horisontal	16
Gambar 2.3c	Polarisasi <i>Circular</i> dengan Kaidah Tangan Kanan	16
Gambar 2.3d	Polarisasi <i>Circular</i> dengan Kaidah Tangan Kiri	16
Gambar 2.3e	Polarisasi Elips Berlawanan Arah Jarum Jam	16
Gambar 2.3f.	Polarisasi Elips Searah Jarum Jam	16
Gambar 2.4	Struktur Dasar Saluran Transmisi <i>Microstrip</i>	19
Gambar 2.5	Bentuk <i>Patch</i> Antena <i>Microstrip</i>	20
Gambar 2.6	<i>Microstrip Line Feed</i>	21
Gambar 2.7	Metode <i>Coaxial feed</i>	22
Gambar 2.8	<i>Aperture Coupling Feed</i>	23
Gambar 2.9	<i>Proximity Coupling Feed</i>	23
Gambar 2.10a	Antena Mikrostrip dengan <i>Finite Ground Plane</i>	24
Gambar 2.10b	Antena Mikrostrip dengan <i>Infinite Ground Plane</i>	24
Gambar 2.11	Analisis Medan Listrik <i>E-Plane</i> pada Antena Mikrostrip dengan <i>Finite Ground Plane</i>	25
Gambar 2.12	Konfigurasi Antena Mikrostrip dengan <i>Finite Ground Plane</i>	29
Gambar 2.13	Penggunaan transformer untuk <i>matching</i> saluran transmisi	36
Gambar 2.14	Topologi jaringan <i>peer-to-peer</i>	40
Gambar 2.15	Topologi jaringan infrastruktur	41
Gambar 2.16	Jaringan menggunakan <i>extension point</i>	41
Gambar 2.17	Jaringan menggunakan <i>directional antenna</i>	42
Gambar 3.1	Diagram Alir Analisis Pengaruh <i>Finite Ground Plane</i> pada Antena <i>Microstrip Rectangular Patch 2,4 GHz</i>	44
Gambar 3.2	Diagram Alir Perhitungan Dimensi Antena <i>Microstrip</i>	46

	dengan Finite Ground Plane	
Gambar 3.3	Diagram Alir Perhitungan Dimensi <i>Finite Ground Plane</i>	47
Gambar 3.4	Diagram Alir Analisis <i>Bandwidth</i> Antena <i>Microstrip</i> pada simulasi <i>Plane</i>	48
Gambar 3.5	Diagram Alir Analisis <i>Gain</i> Antena <i>Microstrip</i> pada simulasi	49
Gambar 3.6	Diagram Alir Analisis Pola Radiasi Antena <i>Microstrip</i> pada simulasi	50
Gambar 3.7	Diagram Alir Analisis Polarisasi Antena <i>Microstrip</i> pada simulasi	51
Gambar 4.1	Antena <i>microstrip rectangular patch</i>	52
Gambar 4.2	Dimensi elemen peradiasi	59
Gambar 4.3	Hasil optimasi elemen peradiasi	61
Gambar 5.1	Rangkaian pengukuran <i>Return Loss</i>	93
Gambar 5.2	Rangkaian pengukuran <i>gain</i> antena	110
Gambar 5.3	Pola radiasi antena <i>microstrip</i> dengan <i>infinite ground plane</i>	114
Gambar 5.4	Rangkaian pengukuran pola radiasi antena	130
Gambar 5.5	Pola Radiasi bidang horisontal antena <i>microstrip</i> dengan <i>finite ground plane</i> $1 \lambda_0 \times 1 \lambda_0$	133
Gambar 5.6	Pola Radiasi bidang vertikal antena <i>microstrip</i> dengan <i>finite ground plane</i> $1 \lambda_0 \times 1 \lambda_0$	133
Gambar 5.7	Rangkaian pengukuran polarisasi antena	149
Gambar 5.8	Polarisasi antena <i>microstrip</i> dengan <i>finite ground plane</i> $1 \lambda_0 \times 1 \lambda_0$	151
Gambar 6.1	Antena <i>microstrip rectangular patch</i> dengan <i>infinite ground plane</i>	153

DAFTAR GRAFIK

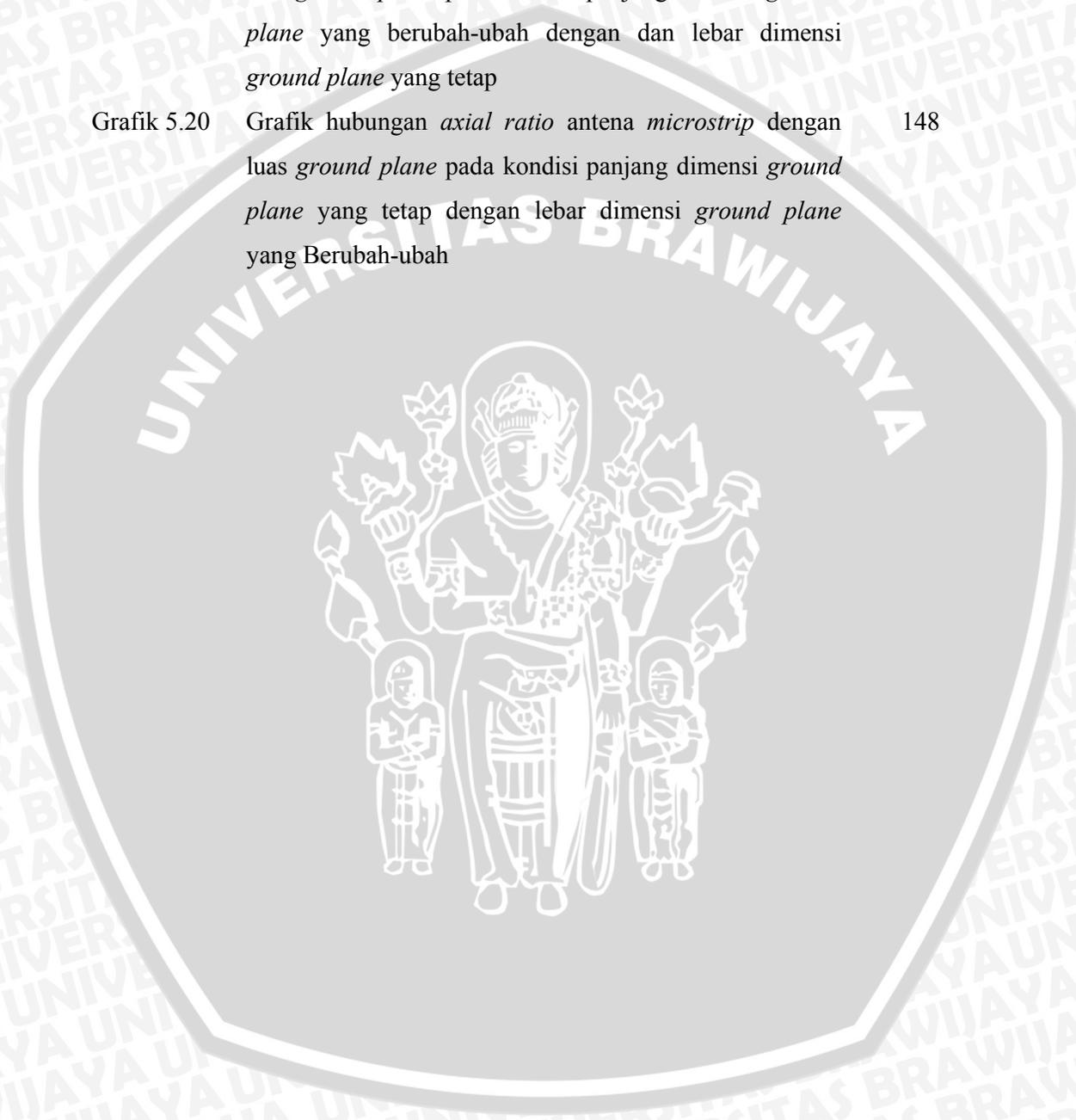
No	Judul	Halaman
Grafik 4.1	Grafik S11 elemen peradiasi	60
Grafik 4.2	Grafik S11 elemen peradiasi hasil simulasi optimasi	62
Grafik 5.1	Grafik VSWR antena <i>microstrip</i> dengan <i>infinite ground plane</i>	79
Grafik 5.2	Grafik hubungan <i>bandwidth</i> antena <i>microstrip</i> dengan luas <i>ground plane</i> pada kondisi panjang dan lebar dimensi <i>ground plane</i> yang Berubah-ubah	84
Grafik 5.3	Grafik hubungan <i>bandwidth</i> antena <i>microstrip</i> dengan luas <i>ground plane</i> pada kondisi panjang dimensi <i>ground plane</i> berubah-ubah dengan lebar dimensi <i>ground plane</i> tetap	88
Grafik 5.4	Grafik hubungan <i>bandwidth</i> antena <i>microstrip</i> dengan luas <i>ground plane</i> pada kondisi panjang dimensi <i>ground plane</i> tetap dengan lebar dimensi <i>ground plane</i> berubah-ubah	92
Grafik 5.5	Grafik fungsi <i>return loss</i> terhadap frekuensi antena <i>microstrip</i> dengan <i>finite ground plane</i> $1 \lambda_0 \times 1 \lambda_0$	95
Grafik 5.6	Grafik <i>gain</i> antena <i>microstrip</i> dengan <i>infinite ground plane</i>	97
Grafik 5.7	Grafik Hubungan <i>gain</i> antena <i>microstrip</i> dengan luas <i>ground plane</i> pada kondisi panjang dan lebar dimensi <i>ground plane</i> yang Berubah-ubah	101
Grafik 5.8	Grafik hubungan <i>gain</i> antena <i>microstrip</i> dengan luas <i>ground plane</i> pada kondisi panjang dimensi <i>ground plane</i> yang berubah-ubah dengan dan lebar dimensi <i>ground plane</i> yang tetap	105
Grafik 5.9	Grafik hubungan <i>gain</i> antena <i>microstrip</i> dengan luas <i>ground plane</i> pada kondisi panjang dimensi <i>ground plane</i> yang tetap dengan lebar dimensi <i>ground plane</i> yang	109

	Berubah-ubah	
Grafik 5.10	Grafik <i>gain</i> antena <i>microstrip</i> dengan <i>finite ground plane</i> $1 \lambda_0 \times 1 \lambda_0$	112
Grafik 5.11	Grafik hubungan <i>beamwidth</i> antena <i>microstrip</i> dengan luas <i>ground plane</i> pada kondisi panjang dan lebar dimensi <i>ground plane</i> yang berubah-ubah pada pola radiasi horisontal dan vertikal	118
Grafik 5.12	Grafik hubungan <i>front to back ratio</i> (F/B) antena <i>microstrip</i> dengan luas <i>ground plane</i> pada kondisi panjang dan lebar dimensi <i>ground plane</i> yang berubah-ubah pada pola radiasi horisontal dan vertikal	119
Grafik 5.13	Grafik hubungan <i>beamwidth</i> antena <i>microstrip</i> dengan luas <i>ground plane</i> pada kondisi panjang dimensi <i>ground plane</i> yang berubah-ubah dan lebar dimensi <i>ground plane</i> yang tetap pada pola radiasi horisontal dan vertikal	123
Grafik 5.14	Grafik hubungan <i>front to back ratio</i> (F/B) antena <i>microstrip</i> dengan luas <i>ground plane</i> pada kondisi panjang dimensi <i>ground plane</i> yang berubah-ubah dan lebar dimensi <i>ground plane</i> yang tetap pada pola radiasi horisontal dan vertikal	124
Grafik 5.15	Grafik hubungan <i>beamwidth</i> antena <i>microstrip</i> dengan luas <i>ground plane</i> pada kondisi panjang dimensi <i>ground plane</i> yang tetap dan lebar dimensi <i>ground plane</i> yang berubah-ubah pada pola radiasi horisontal	128
Grafik 5.16	Grafik hubungan <i>front to back ratio</i> (F/B) antena <i>microstrip</i> dengan luas <i>ground plane</i> pada kondisi panjang dimensi <i>ground plane</i> yang tetap dan lebar dimensi <i>ground plane</i> yang berubah-ubah pada pola radiasi horisontal	129
Grafik 5.17	Axial ratio antena <i>microstrip</i> dengan <i>infinite ground plane</i>	136
Grafik 5.18	Grafik Hubungan <i>axial ratio</i> antena <i>microstrip</i> dengan	140

luas *ground plane* pada kondisi panjang dan lebar dimensi *ground plane* yang Berubah-ubah

Grafik 5.19 Grafik hubungan *axial ratio* antena *microstrip* dengan luas *ground plane* pada kondisi panjang dimensi *ground plane* yang berubah-ubah dengan dan lebar dimensi *ground plane* yang tetap 144

Grafik 5.20 Grafik hubungan *axial ratio* antena *microstrip* dengan luas *ground plane* pada kondisi panjang dimensi *ground plane* yang tetap dengan lebar dimensi *ground plane* yang Berubah-ubah 148



DAFTAR TABEL

No	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Standar IEEE 802.11	42
Tabel 4.1	Rancangan Antena <i>Microstrip</i> dengan <i>Finite Ground Plane</i>	63
Tabel 4.2	Rancangan Antena <i>Microstrip</i> dengan <i>Finite Ground Plane</i>	63
Tabel 4.3	Rancangan Antena <i>Microstrip</i> dengan <i>Finite Ground Plane</i>	64
Tabel 4.4	Tabulasi Hasil Simulasi Pengaruh Dimensi <i>Ground Plane</i>	66
Tabel 4.5	Tabulasi Hasil Simulasi Pengaruh Dimensi <i>Ground Plane</i>	69
Tabel 4.6	Tabulasi Hasil Simulasi Pengaruh Dimensi <i>Ground Plane</i>	72
Tabel 4.7	Riwayat Simulasi Antena <i>Microstrip</i> dengan program simulator IE3D	75
Tabel 5.1	Tabulasi Hasil Simulasi Pengaruh Dimensi <i>Ground Plane</i> terhadap <i>Bandwidth</i>	81
Tabel 5.2	Tabulasi Hasil Simulasi Pengaruh Dimensi <i>Ground Plane</i> terhadap <i>Bandwidth</i>	85
Tabel 5.3	Tabulasi Hasil Simulasi Pengaruh Dimensi <i>Ground Plane</i> terhadap <i>Bandwidth</i>	89
Tabel 5.4	Hasil pengukuran <i>Return Loss</i> antena uji	94
Tabel 5.5	Tabulasi Hasil Simulasi Pengaruh Dimensi <i>Ground Plane</i> terhadap <i>Gain</i>	98
Tabel 5.6	Tabulasi Hasil Simulasi Pengaruh Dimensi <i>Ground Plane</i> terhadap <i>Gain</i>	102
Tabel 5.7	Tabulasi Hasil Simulasi Pengaruh Dimensi <i>Ground Plane</i> terhadap <i>Gain</i>	106
Tabel 5.8	Hasil pengukuran <i>gain</i> antena <i>microstrip</i> dengan <i>finite</i>	111

	<i>ground plane</i> $1 \lambda_0 \times 1 \lambda_0$	
Tabel 5.9	Tabulasi Hasil Simulasi Pengaruh Dimensi <i>Ground Plane</i> terhadap Pola Radiasi	115
Tabel 5.10	Tabulasi Hasil Simulasi Pengaruh Dimensi <i>Ground Plane</i> terhadap Pola Radiasi	120
Tabel 5.11	Tabulasi Hasil Simulasi Pengaruh Dimensi <i>Ground Plane</i> terhadap Pola Radiasi	125
Tabel 5.12	Hasil pengukuran pola radiasi bidang horisontal antena <i>microstrip</i> dengan <i>finite ground plane</i> $1 \lambda_0 \times 1 \lambda_0$	131
Tabel 5.13	Hasil pengukuran pola radiasi bidang vertikal antena <i>microstrip</i> dengan <i>finite ground plane</i> $1 \lambda_0 \times 1 \lambda_0$	132
Tabel 5.14	Tabulasi Hasil Simulasi Pengaruh Dimensi <i>Ground Plane</i> terhadap Polarisasi	137
Tabel 5.15	Tabulasi Hasil Simulasi Pengaruh Dimensi <i>Ground Plane</i> terhadap Polarisasi	141
Tabel 5.16	Tabulasi Hasil Simulasi Pengaruh Dimensi <i>Ground Plane</i> terhadap Polarisasi	145
Tabel 5.17	Hasil pengukuran polarisasi antena <i>microstrip</i> dengan <i>finite ground plane</i> $1 \lambda_0 \times 1 \lambda_0$	150



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Langkah-Langkah Simulasi.....	159
Lampiran 2	Dokumentasi Pengukuran.....	164



ABSTRAKSI

A. RIFQI FAKHRUDDIN, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Februari 2012, Analisis Pengaruh *Finite Ground Plane* pada Performansi Antena *Microstrip Rectangular Patch* dengan Frekuensi Kerja 2,4 Ghz, Dosen Pembimbing : Ir. Erfan Achmad Dahlan, MT. dan Dwi Fadila Kurniawan, ST., MT.

Saat ini teknologi informasi berkembang sangat pesat seiring dengan semakin meningkatnya kebutuhan manusia akan jasa layanan multimedia. 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*. Dengan menggunakan teknologi *radio frequency* (RF), WLAN mentransmisikan dan menerima data melalui udara sehingga meminimalisasi penggunaan koneksi menggunakan kabel. Di abad ini teknologi *microstrip* menjadi salah satu alternatif utama karena sudah terbukti sangat handal dalam penggunaannya pada frekuensi orde gigahertz.

Antena *Microstrip* adalah antena yang dibentuk dari suatu saluran transmisi, dan *microstrip*-nya mempunyai pengertian suatu lapisan tipis konduktor (*strip*) yang berfungsi untuk merambatkan gelombang, lapisan ini terdapat pada salah satu sisi permukaan substrat sedangkan pada permukaan sisi lainnya dilapisi konduktor sebagai bidang pentanahan (*ground plane*). Pada perencanaan dan perancangan antena *Microstrip*, lapisan *groundplane* seringkali diasumsikan dengan ukuran tidak terbatas (*infinite ground plane*) tetapi dalam praktiknya lapisan tersebut mempunyai ukuran yang terbatas (*finite ground plane*).

Antena mikrostrip ini dibuat menggunakan Bahan *Epoxy fiberglass* – FR 4 dengan konstanta dielektrik (ϵ_r) = 4,6. Perencanaan antena *microstrip rectangular patch* dengan *finite ground plane* memiliki tujuan untuk menganalisis pengaruh *finite ground plane* pada performansi antena *microstrip rectangular patch* dengan frekuensi kerja 2,4 GHz.

Berdasarkan hasil simulasi yang dilakukan, dengan membatasi dimensi *ground plane* akan mempengaruhi nilai *bandwidth*, *gain*, pola radiasi, dan polarisasi pada antena mikrostrip *rectangular patch* yang dirancang pada frekuensi 2.400 MHz. Sedangkan berdasarkan hasil pengukuran yang dilakukan, antena mikrostrip *rectangular patch* dengan *finite ground plane* berdimensi $1\lambda_0 \times 1\lambda_0$ (15.625 mm^2) yang dirancang pada frekuensi 2400 MHz memiliki nilai *bandwidth* sebesar $> 300 \text{ MHz}$ dengan *gain* sebesar 2,3121 dBi, pola radiasi *unidirectional* serta bentuk polarisasi linier.

Kata kunci : *Microstrip*, FR-4, *Ground Plane*, *Bandwidth*, *Gain*, Pola radiasi, Polarisasi

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 *wireless* LAN (WLAN) dibuat dan dikembangkan oleh *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE), berdasarkan standar teknis perangkat ada 5 protokol untuk kelompok 802.11 yaitu 802.11a, 802.11b, 802.11e, 802.11f, dan 802.11g. Dari kelima standar protokol yang ada, protokol 802.11b, 802.11a dan 802.11g yang paling banyak digunakan. 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 kelompok protokol 802.11 dan *throughput*-nya lebih besar (secara teoritis dapat mencapai 54Mbps, pada prakteknya hanya mencapai 20 Mbps). WLAN yang akan dibahas ini adalah dengan standar teknologi IEEE 802.11b dengan frekuensi 2,4 Gigahertz.

Dengan menggunakan teknologi *radio frequency* (RF), WLAN mentransmisikan dan menerima data melalui udara sehingga meminimalisasi penggunaan koneksi menggunakan kabel. Informasi yang ditransmisikan melalui udara mempunyai fenomena seperti cahaya, artinya bila sinyal tersebut terhalang maka sinyal informasi tidak dapat diterima oleh penerima yang ada di balik

penghalang itu, meskipun daya yang ditransmisikan sangat kuat. Hal ini terjadi karena sinyal tersebut dipantulkan kembali. Bila sinyal yang ditransmisikan tersebut mempunyai daya yang lemah (di bawah ambang batas yang ditentukan), maka sinyal yang diterima mempunyai kualitas yang jelek. Lemahnya sinyal yang diterima dapat terjadi karena daya yang dipancarkan mempunyai nilai yang kecil, atau daya yang dipancarkan mempunyai nilai yang besar tetapi daya yang diterima oleh penerima merupakan daya yang sudah dipantul-pantulkan, atau daya sinyal yang dipancarkan tersebut sangat teredam oleh media transmisi yang dilewatinya.

Antena adalah suatu instrumen penting pada sistem komunikasi radio, yang berfungsi sebagai sarana untuk memancarkan atau menerima sinyal – sinyal informasi yang dibawa gelombang radio. Dengan kata lain antena adalah sebagai media peralihan antara ruang bebas dengan saluran transmisi yang berfungsi untuk merubah energi gelombang elektromagnetik menjadi energi listrik atau sebaliknya.

Di abad ini teknologi *microstrip* menjadi salah satu alternatif utama karena sudah terbukti sangat handal dalam penggunaannya pada frekuensi orde gigahertz. Dalam penyusunan skripsi ini adalah menganalisis pengaruh *finite ground plane* pada performansi antena *microstrip rectangular patch* dengan frekuensi kerja 2,4 GHz, dengan harapan mendapatkan parameter-parameter yang diinginkan meliputi *gain*, *bandwidth*, pola radiasi, dan polarisasi Antena *Microstrip*. Dengan parameter-parameter seperti itu, kita dapat mengetahui kinerja dari antena tersebut.

Antena *Microstrip* adalah antena yang dibentuk dari suatu saluran transmisi, dan *microstrip*-nya mempunyai pengertian suatu lapisan tipis konduktor (*strip*) yang berfungsi untuk merambatkan gelombang, lapisan ini terdapat pada salah satu sisi permukaan substrat sedangkan pada permukaan sisi lainnya dilapisi konduktor sebagai bidang pentanahan (*ground plane*).

Pada perencanaan dan perancangan antena *Microstrip*, lapisan *groundplane* seringkali diasumsikan dengan ukuran tidak terbatas (*infinite ground plane*) tetapi dalam praktiknya lapisan tersebut mempunyai ukuran yang terbatas (*finite ground plane*). Dalam keadaan tertentu, untuk mengetahui kinerja antena *Microstrip* yang sesungguhnya perlu dilakukan analisis terhadap pengaruh *ground*

plane terhadap parameter-parameter yang dihasilkan. Analisis ini dilakukan sebelum melakukan fabrikasi antenna yang dirancang berdasarkan simulasi kinerja antenna *Microstrip circular patch* dengan program simulator antenna (pada penelitian ini digunakan IE3D™ simulator). Sehingga pengetahuan tentang pengaruh *finite ground plane* terhadap parameter kinerja antenna *Microstrip* sangat penting bagi perancang antenna.

1.2 Rumusan Masalah

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

1. Bagaimana merancang antenna *microstrip rectangular patch* dengan *finite ground plane* agar dapat digunakan pada frekuensi kerja 2,4 GHz yang meliputi dimensi elemen peradiasi dan dimensi saluran transmisi antenna *Microstrip* berdasarkan frekuensi dan substrat yang akan digunakan ?
2. Bagaimana menguji *gain*, *bandwidth*, pola radiasi, dan polarisasi Antena *Microstrip* agar diketahui kinerja dari antenna *microstrip rectangular patch* dengan *finite ground plane*?
3. Bagaimana pengaruh *ground plane* terhadap antenna *microstrip rectangular patch* dengan ukuran yang berbeda-beda?

1.3 Ruang Lingkup

Pembahasan mengenai pengaruh *finite ground plane* pada Antena *Microstrip Rectangular Patch* dengan frekuensi kerja 2,4 GHz. Dengan batasan sebagai berikut :

1. Antena yang dianalisis adalah antenna menggunakan teknologi *microstrip* pada frekuensi kerja 2,4 GHz dengan impedansi karakteristik 50 Ω .
2. Antena yang dianalisis memiliki nilai VSWR ≤ 2 , karena dengan nilai VSWR ≤ 2 antenna akan dapat memancarkan maupun menerima gelombang dengan optimal sehingga antenna mampu bekerja dengan baik.
3. Pengukuran parameter antenna meliputi *gain*, *bandwidth*, pola radiasi, dan polarisasi.

4. Tidak membahas pola perambatan gelombang elektromagnetik serta rugi-rugi di ruang bebas.
5. Tidak membahas tentang penurunan rumus dari semua rumus yang digunakan.
6. Tidak membahas karakteristik alat ukur dan sarana pendukungnya.
7. Substrat yang digunakan adalah *epoxy fiberglass*-FR4 dengan ketebalan 1,6 mm.
8. Perbedaan *ground plane* hanya pada simulasi dan hanya melakukan fabrikasi satu antenna yang terbaik terhadap hasil simulasi.
9. Dalam menganalisis penelitian ini, hanya melakukan analisis pengaruh *finite ground plane* terhadap kinerja antenna mikrostrip *circular patch* dengan dimensi elemen peradiasi tetap dan variabel *finite ground plane* sebagai berikut :
 - Variasi besar dimensi berubah berdasarkan λ_0 (panjang gelombang di medium udara bebas) berupa panjang atau lebar persegi panjang.
 - Acuan letak *ground plane* yaitu bagian *ground plane* yang bersinggungan dengan saluran transmisi tetap dan simetris.

1.4 Tujuan

Tujuan dalam penulisan skripsi ini adalah menganalisis pengaruh *finite ground plane* pada performansi antenna *microstrip rectangular patch* dengan frekuensi kerja 2,4 GHz.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan laporan skripsi ini adalah sebagai berikut:

- BAB I : Membahas mengenai Pendahuluan, meliputi latar belakang, rumusan masalah, ruang lingkup, tujuan, dan sistematika penulisan.
- BAB II : Membahas teori penunjang dan yang berhubungan dengan analisis pengaruh *finite ground plane* pada Antena *Microstrip rectangular patch* dengan frekuensi kerja 2,4 GHz.
- BAB III : Metodologi yang digunakan dalam penulisan skripsi.

BAB IV : Menjelaskan proses perencanaan dan pembuatan Antena *Microstrip rectangular patch* dengan pengaruh *finite ground plane* pada frekuensi kerja 2,4 GHz.

BAB V : Menjelaskan langkah-langkah simulasi serta hasil simulasi dan analisis data baik data dari hasil simulasi maupun data hasil pengukuran.

BAB VI : Memuat kesimpulan yang diambil berdasarkan hasil perencanaan, hasil simulasi, dan hasil pengukuran antenna serta saran – saran yang bisa diberikan.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Konsep Dasar Antena

Antena merupakan instrumen yang penting dalam suatu sistem komunikasi radio. Antena adalah suatu media peralihan antara ruang bebas dengan piranti pemandu (dapat berupa kabel koaksial atau pemandu gelombang/*Waveguide*) yang digunakan untuk menggerakkan energi elektromagnetik dari sumber pemancar ke antena atau dari antena ke penerima. Berdasarkan hal ini maka antena dibedakan menjadi antena pemancar dan antena penerima (Balanis, 1982 :17).

Perancangan antena yang baik adalah ketika antena dapat mentransmisikan energi atau daya maksimum dalam arah yang diharapkan oleh penerima. Meskipun pada kenyataannya terdapat rugi-rugi yang terjadi ketika penjalaran gelombang seperti rugi-rugi pada saluran transmisi dan terjadi kondisi tidak *matching* antara saluran transmisi dan antena. Sehingga *matching* impedansi juga merupakan salah satu faktor penting yang harus dipertimbangkan dalam perancangan sebuah antena.

2.2 Parameter Dasar Antena *Microstrip*

Parameter – parameter antena adalah suatu hal yang sangat penting untuk menjelaskan kinerja antena. Maka diperlukan parameter – parameter antena yang akan memberikan informasi suatu antena sebagai pemancar maupun sebagai penerima. Definisi parameter – parameter yang berhubungan dengan skripsi ini akan diberikan pada bab ini.

2.2.1 Impedansi Masukan

Impedansi masukan didefinisikan sebagai impedansi yang ditunjukkan oleh antena pada terminal – terminalnya atau perbandingan tegangan terhadap arus pada pasangan terminalnya (Balanis, 1982: 53). Perbandingan tegangan dan arus pada terminal – terminal tanpa beban, memberikan impedansi masukan antena sebesar (Balanis, 1982: 54) :

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

dengan :

Z_A = impedansi antena (Ω)

R_A = resistansi antena (Ω)

X_A = reaktansi antena (Ω)

Oleh karena menggunakan saluran *microstrip*, maka resistansi antena merupakan resistansi rugi – rugi pada saluran *microstrip*. Resistansi rugi – rugi pada antena *microstrip* sama dengan resistansi rugi – rugi pada antena konvensional, yaitu terdiri dari rugi konduktor dan rugi radiasi, yang dinyatakan dengan persamaan berikut :

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

dengan :

R_r = resistansi radiasi (Ω)

R_S = resistansi konduktor (Ω)

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

Impedansi antena juga dapat diketahui dengan mengetahui koefisien pantul dengan persamaan (Balanis, 1982: 726) :

$$\Gamma = \left| \frac{Z_A - Z_0}{Z_A + Z_0} \right| \quad (2.3)$$

dengan :

Z_A = impedansi antena (Ω)

Z_0 = impedansi karakteristik (Ω)

Γ = koefisien pantul

Koefisien pantul sangat menentukan besarnya VSWR (*Voltage Standing Wave Ratio*) antena, karena dengan VSWR ini juga dapat ditentukan baik buruknya antena, yang dinyatakan oleh persamaan (Kraus, 1988: 833) :

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

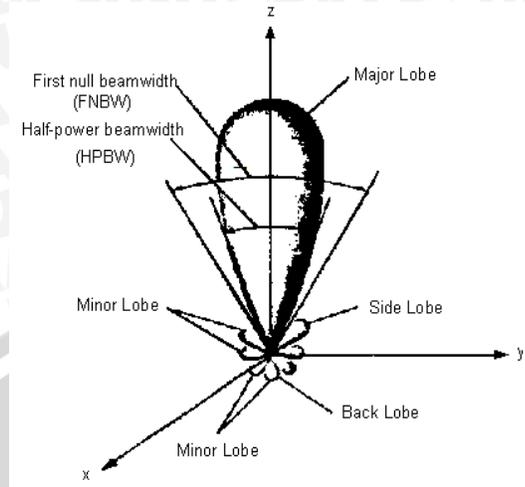
Nilai VSWR perlu dibatasi karena kualitas antenna dapat dikatakan baik bila nilai VSWR-nya tidak melampaui 2.

Untuk memaksimalkan pemindahan daya dari/ke antenna dibutuhkan rangkaian penyesuai sebagai kompleks konjugasi. Komponen reaktansi perlu dihilangkan karena akan memberi daya semu dalam bentuk rugi – rugi panas pada elemen dan rugi – rugi hamburan. Umpamanya rangkaian penyesuai mampu menghilangkan komponen reaktansinya, maka antenna merupakan beban resistif murni bagi saluran transmisi.

2.2.2 Pola Radiasi

Pola radiasi suatu antenna didefinisikan sebagai "Gambaran secara grafik dari sifat – sifat radiasi suatu antenna sebagai fungsi koordinat ruang". Dalam banyak keadaan, pola radiasi ditentukan dalam daerah medan jauh dan dipresentasikan sebagai fungsi koordinat arah. Sifat – sifat radiasi ini mencakup intensitas radiasi, kekuatan medan (*field strenght*) dan polarisasi (Balanis, 1982: 17). Sedangkan untuk pola radiasi antenna *microstrip* mempunyai fenomena yang sama dengan pola radiasi antenna konvensional.

Pola radiasi ditentukan pada pola daerah medan jauh dan digambarkan sebagai fungsi koordinat – koordinat arah sepanjang radius konstan, dan digambarkan pada koordinat ruang. Sifat – sifat radiasi meliputi intensitas radiasi, kuat medan, sudut fasa dan polarisasi. Koordinat – koordinat yang sesuai ditunjukkan pada Gambar 2.1. Jejak daya yang diterima pada radius tetap disebut pola daya. Sedangkan grafik variasi ruang medan listrik dan medan magnet sepanjang radius tetap disebut pola medan.



Gambar 2.1 Pola Radiasi
(Sumber: Balanis, 1982: 31)

Lebar berkas $\frac{1}{2}$ daya (*half power beamwidth / HPBW*) adalah lebar sudut pada 3 dB dibawah maksimum. Untuk menyatakan lebar berkas biasanya dalam satuan derajat. Pada gambar 2.1 tampak pola radiasi yang terdiri dari *lobe-lobe* radiasi yang meliputi *main lobe* dan *minor lobe (side lobe)*. *Main lobe* adalah *lobe* radiasi yang mempunyai arah radiasi maksimum. Sedangkan *minor lobe* adalah radiasi pada arah lain yang sebenarnya tidak diinginkan (Stutzman, 1981: 29). 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) :

$$P(dB) = 10 \cdot \log \frac{P_o}{P_T} (dB) \tag{2.5}$$

$$P(dB) = 10 \cdot \log P_o - 10 \cdot \log P_T \tag{2.6}$$

dengan :

- P = intensitas radiasi antenna pada sudut tertentu (dB)
- P_o = daya yang diterima antenna pada sudut 0° (watt)
- P_T = daya yang diterima antenna pada sudut tertentu (watt)

Ukuran yang menyatakan berapa besar daya yang terkonsentrasi pada *main lobe* dibanding daya pada *side lobe* disebut dengan *Side Lobe Level*, yang merupakan perbandingan besar puncak *side lobe* dengan puncak *main lobe*. Atau dapat dinyatakan dengan persamaan (Stutzman, 1981: 29) :

$$SLL_{dB} = 20 \log \left| \frac{F(SLL)}{F(\max)} \right| \quad (2.7)$$

dengan :

SLL = Side Lobe Level

F(SLL) = nilai maksimum *Main Lobe*

F(max) = nilai maksimum *Side Lobe*

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* (*back lobe*), sehingga nilai *F/B* adalah:

$$\frac{F}{B} = \frac{P_m}{P_l} \quad (2.8)$$

$$\frac{F}{B} \text{ (dB)} = P_m \text{ (dBm)} - P_l \text{ (dBm)} \quad (2.9)$$

dengan :

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

P_m = daya puncak *main lobe* (dBm)

P_l = daya puncak *back lobe* (dBm)

2.2.3 Keterarahan (*Directivity*)

Keterarahan (*directivity*) dari suatu antenna didefinisikan sebagai ”perbandingan antara intensitas radiasi maksimum dengan intensitas radiasi dari antenna referensi *isotropis*”. Keterarahan dari sumber non-*isotropis* adalah sama dengan perbandingan intensitas radiasi maksimumnya di atas sebuah sumber *isotropis* (Balanis, 1982: 29). Nilai *directivity* diperoleh dari pengukuran pola radiasi. Keterarahan/*directivity* pada antenna secara umum dinyatakan dari persamaan di bawah ini (Balanis, 1982: 494) :

$$D_o = 10 \cdot \log \frac{4 \cdot \pi \cdot U_{\max}}{P_{rad}} \quad (2.10)$$

$$P_{rad} = \phi_{hp}^0 \theta_{hp}^0 \quad (2.11)$$

dengan :

$$D_o = \text{directivity (dB)}$$

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

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

$$\Phi = \text{sudut lebar berkas setengah daya (-3 dB) untuk pola radiasi vertikal}$$

$$\theta = \text{sudut lebar berkas setengah daya (-3 dB) untuk pola radiasi horisontal}$$

2.2.4 Penguatan (Gain)

Penguatan sangat erat hubungannya dengan *directivity*. Penguatan mempunyai pengertian perbandingan daya yang dipancarkan oleh antena tertentu dibandingkan dengan *radiator isotropis* yang bentuk pola radiasinya menyerupai bola. Secara fisik suatu *radiator isotropis* tidak ada, tapi sering kali digunakan sebagai referensi untuk menyatakan sifat – sifat kearahannya antena praktis, sedangkan pada prakteknya penguatan antena biasanya dibandingkan dengan intensitas radiasi sebuah antena standar *dipole* $\lambda/2$ yang besarnya 1,64 kali pada arah radiasi maksimum atau 2,15 dB. Sehingga besar penguatan terhadap intensitas radiasi sebuah antena standar *dipole* $\lambda/2$ adalah (Stutzman, 1981: 39) :

$$G = 1,64 \frac{P_U}{P_R} \quad (2.12)$$

$$G = 10 \cdot \log 1,64 \cdot \frac{P_U}{P_R} \quad (2.13)$$

$$G = 2,15 + P_U(\text{dB}) - P_R(\text{dB}) \quad (2.14)$$

dengan :

$$G = \text{penguatan antena yang diuji (dB)}$$

$$P_U = \text{daya yang diterima antena uji (dB)}$$

$$P_R = \text{daya yang diterima antena referensi (dB)}$$

Penguatan daya antena pada arah tertentu didefinisikan sebagai 4π kali perbandingan intensitas radiasi dalam arah tersebut dengan daya yang diterima oleh antena dari pemancar yang terhubung (Balanis, 1982: 43). Apabila arahnya tidak diketahui, penguatan daya biasanya ditentukan dalam arah radiasi

maksimum, dalam persamaan matematik dinyatakan sebagai (Stutzman, 1981: 37):

$$G = 10 \cdot \log \frac{4\pi \cdot U_m}{P_{in}} \text{ (dB)} \quad (2.15)$$

dengan:

G = gain antenna (dB)

U_m = intensitas radiasi antenna (watt)

P_{in} = daya input total yang diterima oleh antenna (watt)

Penguatan relatif didefinisikan sebagai perbandingan penguatan daya pada arah tertentu dengan penguatan daya antenna acuan pada arah yang telah ditentukan (Balanis, 1982: 43).

Atau perhitungan gain antenna *microstrip* secara teoritis dengan persamaan (Munson, 1984: 724) :

$$G = 10 \cdot \log \left[\frac{4 \cdot \pi \cdot D_1 \cdot D_2}{\lambda_o^2} \right] - \alpha \cdot \left[\frac{D_1 + D_2}{2} \right] \quad (2.16)$$

dengan :

G = gain (dB)

D_1 dan D_2 = panjang dan lebar modul (m)

α = koefisien pelemahan (dB/cm)

λ_o = panjang gelombang yang merambat pada ruang bebas (m)

2.2.5 Return Loss (RL)

Return loss adalah salah satu parameter yang digunakan untuk mengetahui berapa banyak daya yang hilang pada beban dan tidak kembali sebagai pantulan. RL adalah parameter seperti VSWR yang menentukan *matching* antara antenna dan *transmitter*.

Koefisien pantulan (*reflection coefficient*) adalah perbandingan antara tegangan pantulan dengan tegangan maju (*forward voltage*). Antena yang baik akan mempunyai nilai *return loss* dibawah -10 dB, yaitu 90% sinyal dapat diserap, dan 10%-nya terpantulkan kembali. Koefisien pantul dan *return loss* didefinisikan sebagai (Punit, 2004: 19) :

$$\Gamma = \frac{V_r}{V_i} \quad (2.17)$$

$$RL = -20 \cdot \log \Gamma \quad (\text{dB}) \quad (2.18)$$

dengan :

Γ = koefisien pantul

V_r = tegangan gelombang pantul (*reflected wave*)

V_i = tegangan gelombang maju (*incident wave*)

RL = *return loss* (dB)

Untuk *matching* sempurna antara transmitter dan antenna, 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.

2.2.6 Lebar Pita (*Bandwidth*)

Bandwidth antenna didefinisikan sebagai "range frekuensi antenna dengan beberapa karakteristik, sesuai dengan standar yang telah ditentukan". Untuk *Broadband* antenna, lebar bidang dinyatakan sebagai perbandingan frekuensi operasi atas (*upper*) dengan frekuensi bawah (*lower*). Sedangkan untuk *Narrowband* antenna, maka lebar bidang antenna dinyatakan sebagai persentase dari selisih frekuensi di atas frekuensi tengah dari lebar bidang (Balanis, 1982: 47).

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

$$B_p = \frac{f_u - f_l}{f_c} \times 100\% \quad (2.19)$$

$$f_c = \frac{f_u + f_l}{2} \quad (2.20)$$

$$B_r = \frac{f_u}{f_l} \quad (2.21)$$

dengan :

B_p = *bandwidth* dalam persen (%)

B_r = *bandwidth* rasio

f_u = jangkauan frekuensi atas

f_l = jangkauan frekuensi bawah

Bandwidth antenna *microstrip* sebanding dengan ketebalan substrat yang digunakan. Secara teori lebar pita antenna *microstrip* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut (Herrera, 1999: 4) :

$$BW = 3,77 \times \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r^2} \times \frac{W}{L} \times \frac{t}{\lambda} \quad (\text{Hz}) \quad (2.22)$$

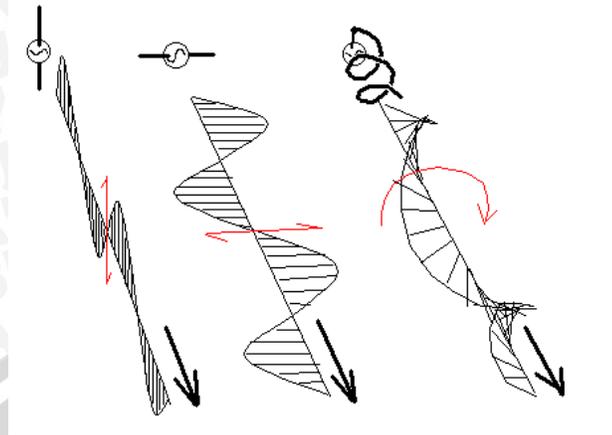
dengan :

- BW = *bandwidth*
- ϵ_r = konstanta dielektrik relatif (F/m)
- W, L = dimensi elemen radiasi (mm)
- t = tebal substrat (mm)
- λ = panjang gelombang (mm)

2.2.7 Polarisasi

Polarisasi suatu antenna didefinisikan sebagai "polarisasi dari gelombang yang diradiasikan pada saat antenna dibangkitkan/dioperasikan". Dengan kata lain, "polarisasi gelombang datang dari arah yang diberikan yang menghasilkan daya maksimum pada terminal antenna". Dalam praktek, polarisasi dari energi yang diradiasikan berubah menurut arah antenna, sehingga dengan pola yang berbeda akan memungkinkan mempunyai polarisasi yang berbeda pola. Polarisasi antenna dibedakan menjadi 3 : polarisasi linier, polarisasi lingkaran dan polarisasi elips (Balanis, 1982: 48).

Polarisasi dari gelombang yang teradiasi, merupakan sifat – sifat gelombang elektromagnetik yang menggambarkan perubahan arah dan nilai relatif vektor medan listrik sebagai fungsi waktu. Jika vektor yang dilukiskan pada suatu titik sebagai fungsi dari waktu selalu terarah pada suatu garis, medan ini dikatakan terpolarisasi linier. Bila jejak medan listrik berbentuk elips, maka medan dikatakan terpolarisasi elips. Suatu keadaan khusus dari polarisasi elips adalah polarisasi lingkaran dan polarisasi linier.



Gambar 2.2 Macam – Macam Polarisasi

(Sumber: Balanis, 1982: 48)

Polarisasi isolasi adalah redaman pada antenna akibat perubahan polarisasi, atau perbandingan daya suatu polarisasi antenna terhadap daya polarisasi yang lain pada antenna tersebut. Polarisasi isolasi dapat dihitung dari hasil pengukuran polarisasi antenna dengan persamaan :

$$a = 10 \cdot \log \frac{P_2}{P_1} (dB) \quad (2.23)$$

dengan :

a = polarisasi isolasi (dB)

P_1 = daya mula-mula (watt)

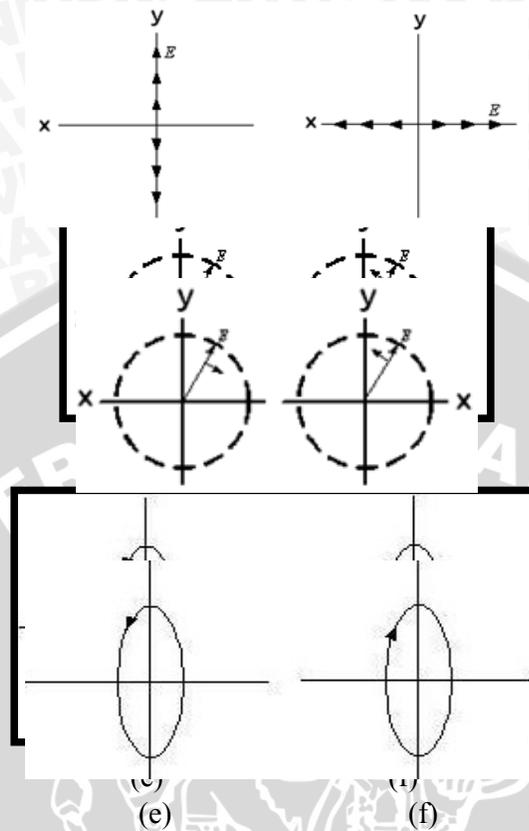
P_2 = daya yang diperlukan jika polarisasi diubah (watt)

2.2.7.1 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° (atau kelipatannya).

Untuk mengetahui lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 2.3 tentang polarisasi vertikal (a) dan polarisasi horisontal (b).



Gambar 2.3 (a) Polarisasi Linier Vertikal, (b) Polarisasi Linear Horizontal, (c) Polarisasi *Circular* dengan Kaidah Tangan Kanan, (d) Polarisasi *Circular* dengan Kaidah Tangan Kiri, (e) Polarisasi Elips Berlawanan Arah Jarum Jam, dan (f) Polarisasi Elips Searah Jarum Jam

(Sumber: : Punit, 2004: 21)

2.2.7.2 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° 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° . Fasa yang lebih besar atau sama dengan 0° dan kurang dari 180° akan dianggap mendahului sedangkan yang lebih besar dari atau sama dengan 180° dan kurang dari 360° akan dianggap tertinggal. Untuk mengetahui lebih jelasnya bentuk dari polarisasi *circular* dapat dilihat pada Gambar 2.3 (c) dan (d).

2.2.7.3 Polarisasi Elips

Suatu gelombang dikatakan terpolarisasi elips apabila ujung vektor medan elektrik (atau medan magnetik) pada suatu titik membentuk kedudukan elips dalam ruang (Gambar 2.3 (e) dan (f)). 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.
- Jika keduanya memiliki besaran yang berbeda, beda fasa-waktu diantara keduanya tidak boleh 0° atau perkalian 180° (karena akan bersifat linier). Dan jika kedua komponen memiliki besaran yang sama, beda fasa-waktu diantara keduanya tidak boleh kelipatan bilangan ganjil dari 90° (karena akan bersifat *circular*).

2.2.7.4 Proses Pembentukan Axial Ratio

Perbandingan antara mayor dan minor axes pada polarisasi ellips disebut dengan *axial ratio* (AR)

$$AR = \frac{E_1}{E_2} \quad (2.24)$$

Jika $AR = \frac{E_{mayor}}{E_{minor}} \approx \text{tak hingga} \rightarrow$ polarisasi linier

$$AR = \frac{E_{mayor}}{E_{minor}} \approx 1 \approx 0 \text{ dB} \rightarrow \text{polarisasi lingkaran}$$

$$AR = \frac{E_{mayor}}{E_{minor}} \approx \text{berada di antara } 1 \approx 0 \text{ dB} - \text{tak hingga} \rightarrow \text{polarisasi ellips}$$

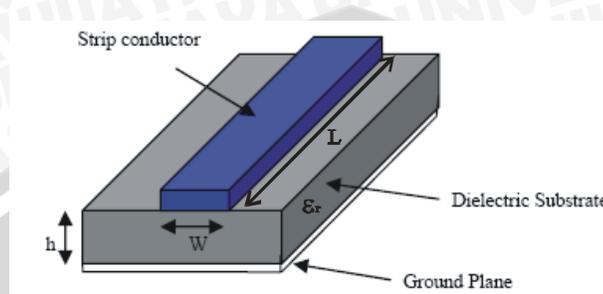
2.3 Antena Microstrip

Antena *microstrip* adalah antenna yang terdiri atas elemen radiasi (konduktor) yang sangat tipis yang diletakkan di bidang tanah (*ground plane*), dimana antara bidang dengan elemen radiasi (konduktor) dipisahkan oleh substrat dielektrik. Antena *microstrip* bekerja pada alokasi frekuensi UHF (*Ultra High Frequency*) (300 MHz – 3 GHz) sampai dengan X Band (5,2 GHz – 10,9 GHz). Karena antenna *microstrip* dapat bekerja pada frekuensi UHF, maka dapat digunakan sebagai alternatif antenna penerima *broadcast TV* UHF maupun dalam sistem telepon seluler sebagai antenna pemancar dan penerima.

2.3.1 Saluran Transmisi Microstrip

Saluran transmisi *microstrip* adalah saluran yang digunakan untuk menghubungkan *patch* antenna dengan *feed koaksial*. Antena *microstrip* termasuk jenis antenna yang dibentuk dari suatu saluran transmisi. *Microstrip* adalah suatu lapisan konduktor dari tembaga (*metallic strip*) yang sangat tipis, berfungsi untuk merambatkan gelombang, lapisan ini terdapat pada salah satu sisi permukaan substrat dielektrik dan pada permukaan sisi lainnya juga dilapisi konduktor yang berfungsi sebagai pentanahan (*ground plane*) (Liao, 1987: 142). Lapisan konduktor tembaga yang terletak di atas substrat dielektrik adalah berfungsi sebagai elemen radiasi (*radiating element*). Struktur dasar saluran *microstrip*

terdiri atas panjang strip konduktor L , lebar strip konduktor W , tinggi substrat dielektrik h , dan tebal strip konduktor *microstrip* t dengan konstanta permitifitas dielektrik relatif ϵ_r sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 2.4



Gambar 2.4 Struktur Dasar Saluran Transmisi *Microstrip*

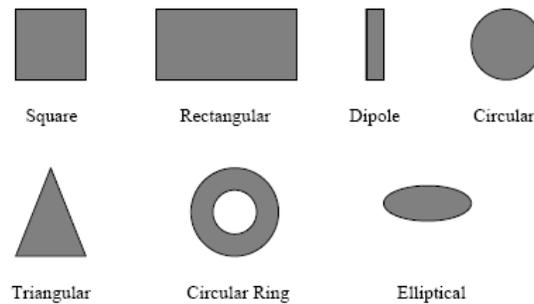
(Sumber: Punit S. Nakar, 2004: 39)

2.3.2 Bentuk Umum Antena *Microstrip*

Antena ini merupakan suatu bentuk antena yang dibuat dengan memanfaatkan prinsip dasar saluran transmisi *microstrip*, yaitu dengan cara mencetak elemen radiasi (*konduktor*) pada salah satu sisi permukaan substrat dielektrik dan bidang pentanahan (*ground plane*) yang terdapat pada permukaan sisi lainnya (Kraus, 1988: 745). Bentuk antena *microstrip* ini terdiri dari elemen radiasi (*konduktor*) pada salah satu sisi substrat dielektrik dan bagian pentanahan (*ground plane*) pada sisi lainnya (Liao, 1987: 197).

Pada bagian elemen radiasi biasanya digunakan tembaga, perak, *alloy* antara perak dengan *palladium* atau kadang-kadang juga digunakan emas. Bahan dasar (*substrat*) yang digunakan umumnya mempunyai nilai konstanta dielektrik antara 1,2 sampai 51, misalnya *Teflon RT / Duroid* atau alumina atau FR – 4 dengan rugi-rugi *tangent* dari 0,0001 sampai 0,018.

Antena *microstrip* terdiri dari berbagai macam bentuk geometri. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 2.5.

Gambar 2.5 Bentuk *Patch* Antena *Microstrip*

(Sumber: Punit S. Nakar, 2004 : 32)

2.3.3 Batasan Frekuensi Pada Substrat

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

$$h \leq \frac{0,3 \cdot c}{2\pi \cdot f_r \cdot \sqrt{\epsilon_r}} \quad (2.25)$$

dengan :

- h = ketebalan substrat (m)
- c = kecepatan cahaya ($3 \cdot 10^8$ m/s)
- f_r = frekuensi kerja (Hz)
- ϵ_r = konstanta dielektrik bahan (F/m)

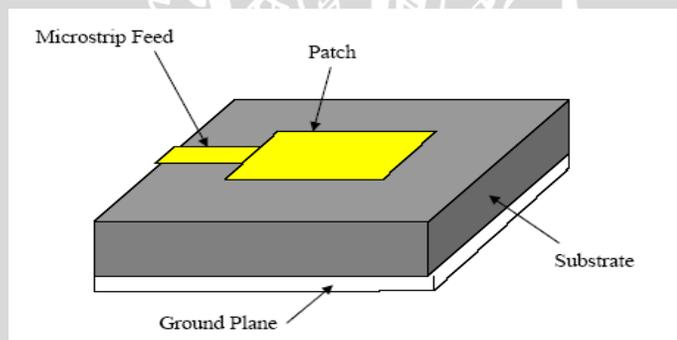
2.3.4 Teknik Pencatutan Antena *Microstrip*

Teknik *feed* atau pencatutan adalah teknik yang digunakan untuk menghubungkan antena *Microstrip* dengan saluran transmisi lainnya, umumnya yang dihubungkan adalah bagian *patch* antena *Microstrip*. *Patch* antena *Microstrip* 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 *Microstrip*. Sedangkan dalam skema *non-contacting method*, kopling medan elektromagnet 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).

2.3.4.1 *Microstrip Line Feed*

Pada tipe pencatuan ini, bagian konduktor dihubungkan secara langsung dengan bagian tepi *patch Microstrip*. Lebar *strip* konduktor lebih kecil dari pada elemen peradiasi antena *Microstrip*. 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.

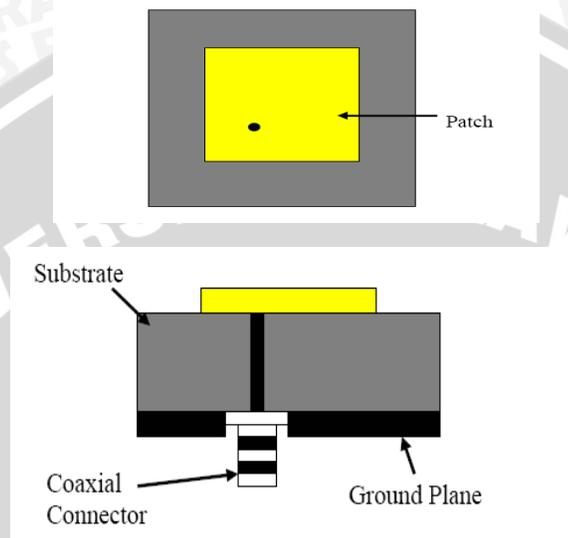


Gambar 2.6 *Microstrip Line Feed*
(Sumber: Punit S. Nakar, 2004 : 34)

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

2.3.4.2 Coaxial Feed

Coaxial feed atau *probe feed* adalah teknik yang umum digunakan pada pencatutan antenna. Seperti terlihat pada Gambar 2.7 konduktor bagian dalam dari kabel koaksial dihubungkan dengan elemen peradiasi dan konduktor bagian luar dari kabel koaksial dihubungkan dengan bidang pentanahan (*ground plane*).

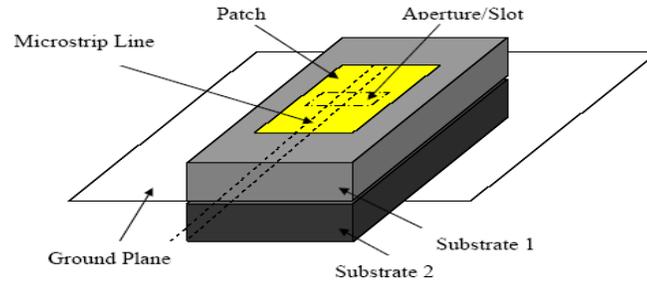


Gambar 2.7 Metode *Coaxial feed*
(Sumber: Punit S. Nakar, 2004 : 35)

Kelebihan dari metode pencatutan seperti ini adalah pencatutan 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.

2.3.4.3 Aperture Coupling

Pada tipe pencatutan ini elemen peradiasi dan bagian pencatu terpisah dengan bidang pentanahan (*ground plane*) seperti pada Gambar 2.8 kopleng antara elemen peradiasi antenna (*patch*) dan saluran pencatu (*line feed*) dibuat melalui *slot* atau *aperture*.

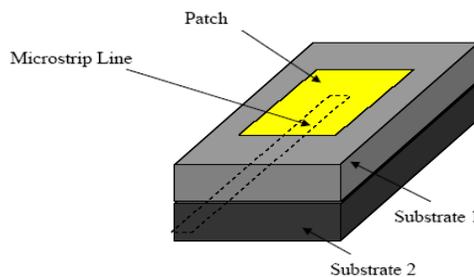


Gambar 2.8 Aperture Coupling Feed
(Sumber: Punit S. Nakar, 2004 : 36)

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.

2.3.4.4 Proximity Coupling

Metode pencatuan semacam ini disebut juga skema kopling elektromagnetik. Seperti ditunjukkan pada Gambar 2.9 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.

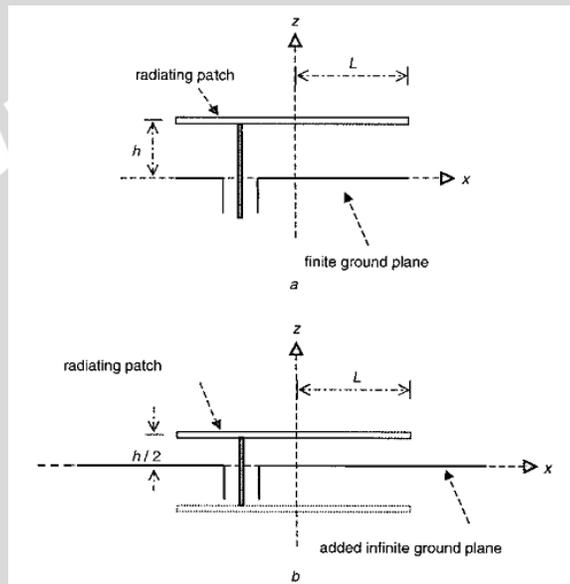


Gambar 2.9 Proximity Coupling Feed
(Sumber: Punit S. Nakar, 2004 : 37)

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.

2.3.5 Konsep Dasar *Ground Plane*

2.3.5.1 *Infinite Ground Plane* dan *Finite Ground Plane*

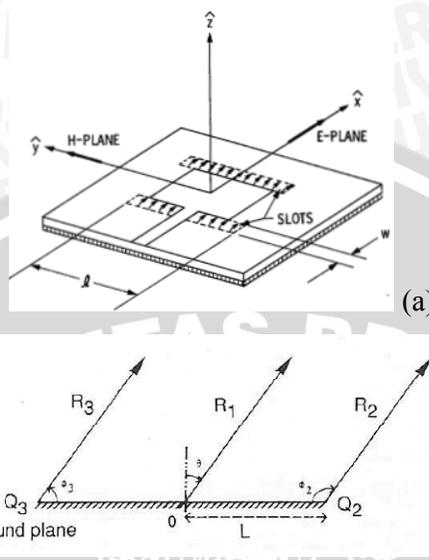


Gambar 2.10 Antena Mikrostrip dengan *Finite Ground Plane* (a) dan Antena Mikrostrip dengan *Infinite Ground Plane* (b)

(Sumber: C.L. Mak, 2003 : 12)

Seringkali karakteristik antena digambarkan dengan mengasumsikan ukuran yang tidak terbatas dari substrat dan *ground plane (infinite)*. Dalam prakteknya ukuran dari keduanya terbatas (*finite*) dan akan mempengaruhi kinerja antena mikrostrip. Seperti diperlihatkan pada Gambar 2.10, terlihat perbedaan fisis antena mikrostrip yang menggunakan *ground plane* terbatas (*finite*) dan tidak terbatas (*infinite*).

2.3.5.2 Teori E-Plane dan H-Plane pada Antena Mikrostrip dengan *Finite Ground Plane*



Gambar 2.11 Analisis Medan Listrik E-Plane pada Antena Mikrostrip dengan *Finite Ground Plane*
(Sumber: Patrick Vaudon, 1992 : 2/11)

Pada gambar 2.11 terdapat antena mikrostrip dengan *finite ground plane*, diasumsikan jarak batas *ground plane* terhadap sumbu pusat (*origin*) antena mikrostrip adalah L . Pola radiasi antena mikrostrip dapat didefinisikan sebagai pola garis tertutup di atas kertas dengan pola tertentu, yang menunjukkan kuat medan listrik (*electric field*, E) pancaran satu antena yang terletak di pusat pola tersebut. Untuk keperluan pengukuran, maka bidang pola yang dipilih ada dua jenis, yaitu E-Plane dan H-Plane. Sehingga, terdapat dua bidang pola radiasi, yaitu horizontal (H-Plane) dan vertikal (E-Plane).

Kemudian akan dilakukan pencarian bentuk fisis medan listrik dari E-Plane dan H-Plane dari antena yang diberikan dalam fungsi : $F(\theta)$. Dengan sifat gelombang sebagai cahaya (*rays*), maka diasumsikan ada tiga titik, yaitu 0 (titik tengah *finite ground plane*), Q_2 (batas *finite ground plane* pertama) dan Q_3 (batas *finite ground plane* kedua) yang digunakan untuk menemukan persamaan dari kuat medan listrik total E-Plane seperti pada gambar (2.11.b) dengan,

R_1 = gelombang terdifraksi yang berhubungan dengan medan $\vec{E}_1(\theta)$.

R_2 dan R_3 = gelombang terdifraksi yang ada di daerah batas *ground plane* dan berhubungan dengan medan $\vec{E}_2(\theta)$ dan $\vec{E}_3(\theta)$.

Maka didapatkan total medan pada E-Plane adalah (Voudon, 1992: 320-321) :

$$\vec{E}(\theta) = \vec{E}_1(\theta) + \vec{E}_2(\theta) + \vec{E}_3(\theta) \quad (2.26)$$

dengan :

$\vec{E}(\theta)$ = Total Medan Listrik pada vector (θ)

$\vec{E}_1(\theta)$ = Medan Listrik pada titik 0

$\vec{E}_2(\theta)$ = Medan Listrik pada titik Q_2

$\vec{E}_3(\theta)$ = Medan Listrik pada titik Q_3

Tiap vektor hanya memiliki satu komponen ke arah \vec{U}_θ . Dalam bentuk vektor penjumlahan skalar dinyatakan dalam persamaan :

$$\vec{E}(\theta) = [E_1(\theta) + E_2(\theta) + E_3(\theta)]\vec{U}_\theta \quad (2.27)$$

dimana tiap komponen dinyatakan dengan $E_i(\theta)$; $i = 1, 2, 3$.

$E_1(\theta)$ adalah medan yang dihasilkan oleh pola radiasi antenna pada E-Plane, ketika titik P ditempatkan pada jarak r dari antenna. Sehingga:

$$\vec{E}_1(\theta) = F(\theta) \frac{e^{-jkr}}{\sqrt{r}} \vec{U}_\theta \quad (2.28)$$

dengan, $F(\theta)$ = pola radiasi antenna pada *infinite ground plane*. Penetapan nilai $E_2(\theta)$ dan $E_3(\theta)$ didapatkan dengan cara yang sama, cukup dengan pemecahan dari komponen $E_2(\theta)$ saja didapatkan pada titik Q_2 :

$$E(Q_2) = F\left(\frac{\pi}{2}\right) \frac{e^{-jkL}}{\sqrt{L}} \quad (2.29)$$

Untuk mendapatkan persamaan umum medan difraksi digunakan persamaan Sommerfeld dan koefisien difraksi dari metode yang dikembangkan oleh Kouyoumjian dan Pathak tentang batas optis geometris di sekitar medan. Sehingga :

$$E(Q_2) = -F\left(\frac{\pi}{2}\right) \frac{e^{-jkl}}{\sqrt{L}} \tilde{K}_- \left\{ \sqrt{2kL'} \cos \frac{\phi_2}{2} \right\} \sqrt{L'} \frac{e^{-jk(r-L\sin\theta)}}{\sqrt{r-L\sin\theta}} \quad (2.30)$$

Dengan:

$$L' = \frac{(r-L\sin\theta)L}{(r-L\sin\theta)+L} \quad \text{dan} \quad \phi_2 = \frac{\pi}{2} + \theta$$

L = jarak pusat ke batas tepi *finite ground plane*

$$\tilde{K}_-(x) = \frac{\text{Sgn}(x)e^{-j(x^2+\pi/4)}}{\sqrt{\pi}} \int_{|x|}^{\infty} e^{-jt^2} dt$$

K = koefisien difraksi hasil persamaan Sommerfeld, Kouyoumjian dan Pathak

Suatu titik observasi P diletakkan pada jarak r yang dibandingkan dengan L, dengan asumsi perkiraan $L' = L$ didapatkan:

$$E_2(\theta) = -F\left(\frac{\pi}{2}\right) e^{-jkL(1-\sin\theta)} \tilde{K}_-(x) = \left\{ \sqrt{2kL} \cos\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\theta}{2}\right) \frac{e^{-jkr}}{\sqrt{r}} \right. \tag{2.31}$$

Pada sisi lainnya (Q_3), didapatkan analisis yang sama terhadap difraksi yang terjadi hingga akhirnya didapatkan total medan radiasi antenna dengan *finite ground plane* :

$$E(\theta) = \left\{ F(\theta) - F\left(\frac{\pi}{2}\right) \left[e^{-jkL(1-\sin\theta)} \tilde{K}_- \left\{ \sqrt{2kL} \cos\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\theta}{2}\right) \right\} \right. \right. \tag{2.32}$$

$$\left. \left. + e^{-jkL(1-\sin\theta)} \tilde{K}_- \left\{ \sqrt{2kL} \cos\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\theta}{2}\right) \right\} \right] \right\} \frac{e^{-jkr}}{\sqrt{r}}$$

Untuk mendapatkan medan radiasi pada bidang H-Plane dengan menggunakan prinsip yang sama pada bidang E-Plane, tiap vektor hanya memiliki satu komponen ke arah \vec{U}_θ . Dalam bentuk vektor penjumlahan skalar dinyatakan dalam persamaan (Voudon, 1992: 320-321) :

$$\vec{E}(\theta) = [E_1(\theta) + E_2(\theta) + E_3(\theta)] \vec{U}_\theta \tag{2.33}$$

dengan,

$E_1(\theta)$ = medan radiasi pada antenna dengan *infinite ground plane*

$E_2(\theta)$ dan $E_3(\theta)$ = medan difraksi pada tiap batas *ground plane*

Dengan $F(\theta)$ = Pola radiasi pada H-Plane antenna mikrostrip dengan *infinite ground plane*, ketika titik P ditempatkan pada jarak r dari antenna, didapatkan :

$$\vec{E}_1(\theta) = F(\theta) \frac{e^{-jkr}}{\sqrt{r}} \vec{U}_\theta \tag{2.34}$$

Pada $F(\pm\pi/2) = 0$ karena kondisi batas pada medan vertikal dari *infinite ground plane*. Tidak ada difraksi pada orde pertama, tetapi pada orde kedua didapatkan :

$$\left. \frac{\partial U^2}{\partial n} \right|_Q$$

$\frac{\partial U^2}{\partial n} = \overrightarrow{grad U} \cdot \vec{n}$, dimana pada koordinat silinder ρ , θ dan z :

$$\frac{\partial U^i}{\partial n} = \left(\frac{\partial U^i}{\partial \rho} \vec{\rho} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial U^i}{\partial \theta} \vec{\theta} + \frac{\partial U^i}{\partial z} \vec{z} \right) \vec{\theta} = \frac{1}{\rho} \frac{\partial U^i}{\partial \theta} \vec{\theta}$$

Sehingga didapatkan :

$$\left. \frac{\partial U^i(Q)}{\partial n} = \frac{1}{L} \frac{\partial F(\theta)}{\partial \theta} \right|_{\theta = \pm \pi/2} \frac{e^{-jkL}}{\sqrt{L}} \quad (2.35)$$

Dari persamaan (2.35) diketahui bahwa medan difraksi berbanding terbalik dengan L . Dianggap nilainya mendekati 0. Kemudian analisis dilanjutkan terhadap komponen $E_2(\theta)$ dan $E_3(\theta)$. Digunakan koefisien slope difraksi oleh Kouyoumjian dan Pathak :

$$E_2(\theta) = \frac{1}{jk\sqrt{32\pi jk}} \frac{\sin(\phi_2/2)}{\cos^2(\phi_2/2)} K_s \left\{ \sqrt{2kL} \cos(\phi_2/2) \right. \\ \left. /2 \right\} \frac{\partial U^i(\phi_2)}{\partial n} \frac{e^{-jk(r-L\sin\theta)}}{\sqrt{r-L\sin\theta}} \quad (2.36)$$

dengan,

$$L' = \frac{(r-L\sin\theta)L}{(r-L\sin\theta)+L}$$

$$\phi_2 = \frac{\pi}{2} + \theta$$

$$K_s(x) = 2jx^2 + 4 \sqrt{\frac{\pi}{j}} x^3 \tilde{K}_x$$

Melalui penyederhanaan-penyederhanaan didapatkan persamaan akhir :

$$E_2(\theta) = \frac{e^{-jkL(1+\sin\theta)}}{jkL\sqrt{32\pi jkL}} \frac{\sin(\frac{\phi_2}{2})}{\cos^2(\frac{\phi_2}{2})} K_s \left\{ \sqrt{2kL} \cos\left(\frac{\phi_2}{2}\right) \right\} \frac{\partial U^i(\phi_2)}{\partial n} \bigg|_{\theta = \frac{\pi}{2}} \frac{e^{-jkr}}{\sqrt{r}} \quad (2.37)$$

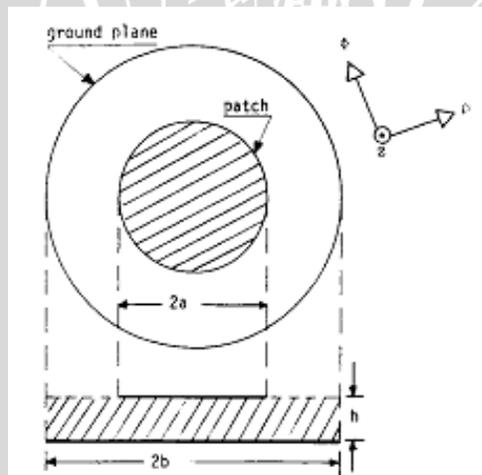
$E_3(\theta)$ didapatkan berupa bentuk yang sama dengan mengganti nilai $\phi_2 = \frac{\pi}{2} + \theta$

dengan $\phi_3 = \frac{\pi}{2} - \theta$ dan $e^{-jkL(1+\sin\theta)}$ dengan $e^{-jkL(1-\sin\theta)}$.

2.3.5.3 Pengaruh *Finite Ground Plane* terhadap Kinerja Antena Mikrostrip

Pada penelitian sebelumnya tentang pengaruh *finite ground plane* terhadap kinerja antena mikrostrip, telah didapatkan hasil penelitian sebagai berikut :

- Perubahan ukuran dan bentuk *finite ground plane* tidak memberikan perubahan atau efek signifikan terhadap frekuensi resonansi antena mikrostrip (C.L. Mak, 2003:15)
- Perubahan ukuran dan luas *finite ground plane* mempengaruhi pola radiasi terutama pada bidang E-Plane dan menurunkan nilai maksimum *gain*. (Joshapat Tetuko 2005:100)
- Pada ukuran *finite ground plane* yang bervariasi, didapatkan kinerja antena mikrostrip berupa parameter *gain* maksimum pada saat radius *finite ground plane* berukuran $0.6 \lambda_0$. (Arun K. B, 1990:1)
- Radiasi didekat arah *broadside* yang utama ditentukan oleh *patch*. Ukuran dari substrat dan *ground plane* yang terbatas akan mempengaruhi radiasi didekat arah end-fire, dan khususnya daerah di belakang antena. Hal ini menunjukkan bahwa pola radiasi dari berbagai macam mode tersebut secara dapat dikendalikan oleh *ground plane*. (L. Shafai, 1998:212)



Gambar 2.12 Konfigurasi Antena Mikrostrip dengan *Finite Ground Plane*

(Sumber : Arun K. B, 1990:1)

Analisis struktur antena mikrostrip dengan *finite ground plane* dapat dilakukan dengan memperhatikan arus induksi dan daerah medan radiasi yang dihasilkan pada *ground plane* (Arun K.B, 1990:1).

a. Arus Induksi pada Permukaan *Ground Plane*

Finite ground plane memberikan pengaruh terhadap arus induksi *patch*. Dengan mengabaikan efek ketebalan bahan dielektrik, arus induksi permukaan pada *ground plane* didapatkan dari perhitungan medan dekatnya (*near fields*). Nilai dipengaruhi oleh ekivalensi dari vektor magnetik (*equivalent magnetic*) dan sumber arus (*electric current source*):

$$\vec{M}_a = (\hat{z} \times \hat{\rho})E_z(\phi) \quad \text{pada } \rho = a \quad \text{dan } 0 < z < h \quad (2.38)$$

$$I_a = (\hat{\rho} \times \hat{\phi})H_\phi(\phi) \quad \text{pada } \rho = a \quad \text{dan } 0 < z < h \quad (2.39)$$

dengan,

a = jari-jari *patch*,

h = ketebalan substrat dielektrik,

\hat{z} , $\hat{\rho}$, dan $\hat{\phi}$ menyatakan unit vektor pada masing-masing arah,

$E_z(\phi)$ dan $H_\phi(\phi)$ adalah medan listrik pada masing-masing arah (z untuk medan listrik dan ϕ untuk medan magnet)

Pada *patch* $\rho = a$, untuk mode TM_{mn} *circular patch*, nilai medannya diasumsikan dalam bentuk persamaan :

$$E_z(\phi) = E_a \cos n\phi \quad (2.40)$$

$$H_\phi(\phi) = -y_a E_a \cos n\phi \quad (2.41)$$

dengan,

y_a = *wall admittance* (medan magnet yang ditimbulkan oleh ekivalen vektor magnetik),

E_a = nilai maksimum medan pada mode TM_{mn} .

Dalam prakteknya, nilai I_a dianggap sangat kecil sehingga diabaikan. Analisis terhadap arus induksi permukaan ditentukan hanya dari kontribusi vektor magnetiknya. Medan listrik yang timbul dinyatakan sebagai :

$$\vec{E} = -\nabla \times \vec{F} \quad (2.42)$$

dengan,

\vec{F} adalah potensial vektor elektrik

$$\vec{F} = \int_{-\square}^{\square} \int_{-x}^x \vec{M}_a \cdot \vec{G} \left(\frac{r}{r_0} \right) a \, d\phi \, dz_0 \quad (2.43)$$

\vec{G} merupakan fungsi dyadic Greens pada udara bebas

$$\vec{G}(r/r_0) = \frac{e^{-jk|\vec{r}-\vec{r}_0|}}{4\pi|\vec{r}-\vec{r}_0|} \vec{I} \quad (2.44)$$

dengan,

\vec{I} = unit dyadic,

$\vec{r} - \vec{r}_0$ adalah vektor posisi dari sumber ke titik pengamatan.

Komponen medan magnet didapatkan dari persamaan Maxwell dalam :

$$\vec{H} = \frac{1}{j\omega\mu} [\nabla\nabla \cdot \vec{F} + k_0^2 \vec{F}] \quad (2.45)$$

Dengan menyelesaikan persamaan (2.43) didapatkan pada $z=0$:

$$\begin{aligned} H_\phi(\rho, \phi) = & \frac{-jahE_a}{2\pi\omega\mu} \int_{-\pi}^{\pi} \cos n\alpha \frac{e^{-jk_0r_1}}{r_1^3} \\ & \cdot [2(1 + jk_0r_1)\cos(\phi - \alpha) - a\cos(\phi - \alpha) \\ & \cdot (\rho - a\cos(\phi - \alpha))(k_0^2r_1^2 - 3jk_0r_1 - 3]d\alpha \end{aligned} \quad (2.46)$$

$$\begin{aligned} H_\rho(\rho, \phi) = & \frac{-jahE_a}{2\pi\omega\mu} \int_{-\pi}^{\pi} \cos n\alpha \frac{e^{-jk_0r_1}}{r_1^3} \\ & \cdot [2(1 + jk_0r_1)\sin(\phi - \alpha) - a\sin(\phi - \alpha) \\ & \cdot (\rho \cos(\phi - \alpha) - a)(k_0^2r_1^2 - 3jk_0r_1 - 3)/r_1^2]d\alpha \end{aligned} \quad (2.47)$$

dengan,

$$r_1^2 = \rho^2 + a^2 - 2a\rho \cos(\phi - \alpha).$$

Bentuk persamaan (2.55 dan 2.56) secara umum dinyatakan dalam :

$$f(\rho, \phi) = \int_{-\pi}^{\pi} \cos n\alpha g(\phi - \alpha) d\alpha \quad (2.48)$$

dengan,

$g(x)$ = fungsi periodic dari 2π .

Didapatkan bentuk akhir persamaan arus induksi permukaan pada *finite ground plane* sebagai :

$$\vec{J}_s = \hat{z} \times \vec{H}, \quad (2.49)$$

dengan komponen $J_{\rho s} = -\cos n\phi H_\phi(\rho)$ dan $J_{\phi s} = \sin n\phi H_\rho(\rho)$

b. Medan Radiasi

Total medan radiasi pada antenna dengan *finite ground plane* didapatkan dari penambahan total vector dari tiap-tiap medan yang berkontribusi. Medan jauh

(*far field*) yang dihasilkan pada *ground plane* dapat dianalisis dari potensial magnetik vektornya. Total medan elektrik antenna adalah vector penjumlahan dari semua vector sebagai berikut (Arun K. B, 1990:2):

$$E_{\theta} = E_{\theta}^g + E_{\theta}^e + E_{\theta}^m \text{ dan } E_{\phi} = E_{\phi}^g + E_{\phi}^m \quad (2.50)$$

dengan,

E_{θ}^g dan E_{ϕ}^g : komponen medan elektrik oleh arus pada *finite ground plane*,

E_{θ}^m dan E_{ϕ}^m : komponen medan elektrik oleh *equivalent magnetic current source*,

E_{θ}^e dan E_{ϕ}^e : komponen medan elektrik oleh *equivalent electric current source*(E_{ϕ}^e).

2.3.6 Impedansi Karakteristik Saluran *Microstrip*

Pada prinsipnya antenna *microstrip* mempunyai kesamaan dengan saluran *microstrip*. Dengan memperhatikan adanya kesamaan sifat yang dimiliki sebagai komponen pasif, maka dalam menentukan impedansi karakteristik antenna dapat dilakukan dengan menggunakan analisis saluran transmisi dalam bentuk *microstrip*. Tujuan penentuan impedansi karakteristik antenna adalah untuk menentukan lebar saluran atau elemen radiasinya.

Secara matematik besarnya nilai impedansi karakteristik untuk saluran atau antenna *microstrip* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut (Liao, 1987: 471) :

$$Z_o = \frac{377h}{\sqrt{\epsilon_r W}} (\Omega) \quad (2.51)$$

dengan :

Z_o = impedansi karakteristik (Ω)

ϵ_r = permitifitas dielektrik relatif *substrat* (F/m)

W = lebar elemen radiasi (mm)

h = tinggi bahan *substrat* (mm)

Impedansi karakteristik merupakan salah satu parameter yang penting dalam merancang antenna *microstrip*, karena apabila impedansi saluran yang tidak

matching dengan impedansi masukan antenna akan menyebabkan beberapa masalah, antara lain timbulnya sinyal pantul, distorsi dan *interferensi* antar alur rangkaian.

2.3.7 Permittifitas Dielektrik Relatif Efektif

Saluran *microstrip* mempunyai dua bahan dielektrik. Oleh karena itu diperlukan satu parameter baru yang berguna untuk melihat pengaruh kedua bahan dielektrik tersebut secara serentak. Parameter ini disebut sebagai konstanta permitifitas dielektrik relatif efektif. Besarnya permitifitas dielektrik relatif efektif dinyatakan dengan persamaan (Liao, 1987: 199) :

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

$$\epsilon_{reff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[1 + 12 \frac{h}{W} \right]^{-\frac{1}{2}} \quad (2.52)$$

dengan:

ϵ_{reff} = konstanta dielektrik efektif (F/m)

ϵ_r = konstanta dielektrik bahan (F/m)

h = tinggi bahan *substrat* (mm)

W = lebar *patch* (mm)

2.3.8 Dimensi Antena

2.3.8.1 Dimensi Elemen Radiasi

Untuk menentukan dimensi elemen radiasi, maka terlebih dahulu harus ditentukan besarnya panjang gelombang di ruang bebas (λ_o) berdasarkan frekuensi acuan yang akan diradiasikan (f_r) dan kecepatan cahaya di ruang bebas (c), dengan persamaan:

$$\lambda_o = \frac{c}{f_r} \text{ (m)} \quad (2.53)$$

Setelah nilai λ_o diketahui, maka ditentukan panjang gelombang pada saluran transmisi (λ_d) yang dapat dihitung dengan persamaan :

$$\lambda_d = \frac{\lambda_o}{\sqrt{\epsilon_r}} \text{ (m)} \quad (2.54)$$

dengan :

$$\varepsilon_r = \text{konstanta dielektrik bahan (F/m)}$$

2.3.8.1.1 Lebar Elemen Radiasi (W)

Untuk menentukan lebar (W) dari elemen radiasi antenna *microstrip* digunakan persamaan (Balanis,1997: 730) :

$$W = \frac{c}{2 \cdot f_r} \sqrt{\frac{2}{\varepsilon_r + 1}} \quad (2.55)$$

dengan :

$$W = \text{Lebar elemen radiasi (mm)}$$

$$f_r = \text{frekuensi kerja pada antenna (Hz)}$$

$$\varepsilon_r = \text{konstanta dielektrik bahan (F/m)}$$

2.3.8.1.2 Panjang Elemen Radiasi (L)

Pada umumnya *patch microstrip* memiliki panjang sebesar setengah panjang gelombang. Untuk menentukan panjang (L) dari elemen radiasi antenna *microstrip* digunakan persamaan (Balanis, 1997: 730):

$$L = \frac{c}{2 \cdot f_r \sqrt{\varepsilon_{\text{reff}}}} - 2 \cdot \Delta L \quad (2.56)$$

dengan

$$\Delta L = 0,412 \cdot h \cdot \frac{(\varepsilon_{\text{reff}} + 0,3) \left(\frac{W}{h} + 0,264 \right)}{(\varepsilon_{\text{reff}} - 0,258) \left(\frac{W}{h} + 0,8 \right)} \quad (2.57)$$

dengan :

$$L = \text{panjang elemen radiasi (mm)}$$

$$\varepsilon_{\text{reff}} = \text{konstanta dielektrik efektif (F/m)}$$

$$h = \text{ketebalan bahan (mm)}$$

$$W = \text{lebar elemen radiasi (mm)}$$

$$f_r = \text{frekuensi kerja pada antenna (Hz)}$$

$$c = \text{kecepatan cahaya di ruang bebas (3.10⁸m/s)}$$

Panjang (L) dari elemen peradiasi antenna *Microstrip* juga dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (Kraus, 1988: 749)

$$L \approx 0.49\lambda_d = 0.49 \frac{\lambda}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (\text{Half-wave patch}) \quad (2.58)$$

L = panjang elemen peradiasi (mm)

ϵ_r = konstanta dielektrik bahan (F/m)

λ = panjang gelombang pada saluran transmisi *Microstrip* (mm)

2.3.8.2 Impedansi Masukan

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

$$Z_A = 90 \frac{\epsilon_r^2}{\epsilon_r - 1} \left(\frac{L}{W} \right)^2 \Omega \quad (2.59)$$

dengan :

Z_A = impedansi masukan elemen radiasi (Ω)

L = panjang elemen radiasi (mm)

W = lebar elemen radiasi (mm)

Dengan memperbesar lebar *patch* antenna maka besarnya impedansi masukan dapat berkurang.

2.3.8.3 Penyesuai Impedansi (*Matching Impedance*)

Impedansi masukan elemen radiasi harus ada kesesuaian impedansi antara impedansi karakteristik saluran transmisi, elemen radiasi dan impedansi di ruang bebas hal ini dimaksudkan agar sinyal yang diterima antenna akan maksimum. Selanjutnya impedansi *matching* didapat dengan menggunakan persamaan berikut:

$$Z_T = \sqrt{Z_o \cdot Z_L} \quad (2.60)$$

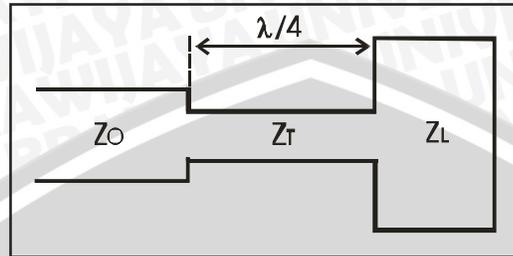
dengan :

Z_T = impedansi transformer (Ω)

Z_o = impedansi karakteristik saluran transmisi (Ω)

Z_L = impedansi beban (Ω)

Penggunaan impedansi transformer $\lambda_d/4$ di antara saluran transmisi dimaksudkan agar saluran transmisi yang ada *match* satu dengan yang lain.



Gambar 2.13 Penggunaan transformer untuk *matching* saluran transmisi
(Sumber: Munson, 1984: 75)

2.3.8.4 Dimensi Saluran Transmisi

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

$$W_o = \frac{k}{Z_o} \times \frac{h}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (\text{mm}) \quad (2.61)$$

dengan :

W_o = lebar saluran transmisi (mm)

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

h = ketebalan substrat (mm)

Z_o = impedansi karakteristik (Ω)

ϵ_r = konstanta dielektrik bahan (F/m)

Untuk menghitung panjang saluran transmisi dapat digunakan persamaan sebagai berikut :

$$L_o = \frac{1}{4} \lambda_d \quad (\text{mm}) \quad (2.62)$$

dengan :

λ_d = panjang gelombang pada saluran transmisi *microstrip* (mm)

2.3.8.5 Dimensi Saluran Transformer

Untuk menghitung dimensi saluran transmisi *microstrip* digunakan persamaan di bawah ini (Resmana. H, 2001: 21) :

$$W_T = \frac{k}{Z_T} \times \frac{h}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (\text{mm}) \quad (2.63)$$

dengan :

W_T = lebar saluran transformer (mm)

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

h = ketebalan substrat (mm)

Z_T = impedansi transformer (Ω)

ϵ_r = konstanta dielektrik bahan (F/m)

Karena menggunakan transformer $\frac{1}{4} \lambda$ maka panjang transformer dapat dicari dengan persamaan (Astoto, 2004: 23) :

$$L_T = \frac{1}{4} \lambda_d \quad (\text{mm}) \quad (2.64)$$

dengan :

λ_d = panjang gelombang pada saluran transmisi *microstrip* (mm)

2.3.9 Rugi – Rugi Pada Saluran *Microstrip*

Substrat dan elemen pada saluran *microstrip* menyebabkan adanya rugi – rugi pada saluran tersebut. Rugi – rugi tersebut mengekspresikan rugi – rugi per satuan panjang yang dinyatakan dalam faktor pelemahan (α). Tiga jenis rugi – rugi yang utama yaitu rugi – rugi dielektrik, rugi – rugi konduktor, dan rugi – rugi radiasi. Rugi – rugi tersebut tergantung dari faktor geometri, saluran geometris, sifat dielektrik dari substrat dan konduktor serta frekuensi yang digunakan (Liao, 1987: 141).

2.3.9.1 Rugi – Rugi Dielektrik

Rugi – rugi dielektrik disebabkan adanya sifat konduktivitas dielektrik dan dinyatakan sebagai koefisien pelemahan dielektrik (α_d). Besarnya rugi – rugi dielektrik pada saluran *microstrip* dapat dinyatakan dengan persamaan (Liao, 1987: 143) :

$$\alpha_d = 4,34 \frac{\sigma_d}{\sqrt{\epsilon_{reff}}} \left(\frac{\epsilon_{reff} - 1}{\epsilon_r - 1} \right) \sqrt{\frac{\mu_o}{\epsilon_o}} (dB/cm) \quad (2.65)$$

dengan :

$$\begin{aligned} \alpha_d &= \text{rugi – rugi dielektrik (dB/cm)} \\ \sigma_d &= \text{konduktivitas dielektrik (mho/m)} \\ \epsilon_{reff} &= \text{permitifitas dielektrik relatif efektif (F/m)} \\ \epsilon_r &= \text{permitifitas dielektrik relatif substrat (F/m)} \\ \epsilon_o &= \text{permitifitas ruang hampa } (8,854 \times 10^{-12} \text{ F/m)} \\ \mu_o &= \text{permeabilitas ruang hampa } (4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m)} \end{aligned}$$

2.3.9.2 Rugi – rugi Konduktor

Dalam suatu saluran *microstrip* 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) :

$$\alpha_c = \frac{8,686}{w \cdot Z_o} R_s (dB/cm) \quad (2.66)$$

$$R_s = \sqrt{\frac{\pi \cdot f \cdot \mu}{\sigma_c}} (\Omega) \quad (2.67)$$

dengan :

$$\begin{aligned} \alpha_c &= \text{rugi – rugi konduktor (dB/cm)} \\ R_s &= \text{resistansi permukaan } (\Omega) \\ Z_o &= \text{impedansi karakteristik saluran } (\Omega) \\ w &= \text{lebar saluran } \textit{microstrip} \text{ (mm)} \\ \mu &= \text{permeabilitas bahan} \\ \sigma_c &= \text{konduktivitas konduktor (mho/cm)} \end{aligned}$$

Dari persamaan – persamaan di atas akan didapatkan besarnya koefisien pelamahan (α) pada *microstrip* adalah merupakan penjumlahan antara rugi – rugi dielektrik (α_d) dan rugi – rugi konduktor (α_c) yang dinyatakan dengan persamaan (Resmana, H, 2001: 11) :

$$\alpha = \alpha_d + \alpha_c \text{ (dB/cm)} \quad (2.68)$$

dengan :

α = koefisien pelamahan (dB/cm)

α_d = rugi – rugi dielektrik (dB/cm)

α_c = rugi – rugi konduktor (dB/cm)

2.3.9.3 Rugi –Rugi Radiasi

Disamping rugi – rugi dielektrik (α_d) dan rugi – rugi konduktor (α_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) :

$$\frac{P_{rad}}{P_t} = \frac{240 \cdot \pi^2}{Z_o} \left(\frac{h}{\lambda_o} \right)^2 \left[\frac{\epsilon_{reff} + 1}{\epsilon_{reff}} - \frac{\epsilon_{reff} - 1}{2\epsilon_{reff} \sqrt{\epsilon_{reff}}} \ln \left(\frac{\sqrt{\epsilon_{reff} + 1}}{\sqrt{\epsilon_{reff} - 1}} \right) \right] \quad (2.69)$$

$$\frac{P_{rad}}{P_t} = \frac{R_r}{Z_o} \quad (2.70)$$

dari substitusi persamaan di atas, akan didapatkan persamaan :

$$R_r = 240 \cdot \pi^2 \left(\frac{h}{\lambda_o} \right)^2 \left[\frac{\epsilon_{reff} + 1}{\epsilon_{reff}} - \frac{\epsilon_{reff} - 1}{2\epsilon_{reff} \sqrt{\epsilon_{reff}}} \ln \left(\frac{\sqrt{\epsilon_{reff} + 1}}{\sqrt{\epsilon_{reff} - 1}} \right) \right] \text{ (dB/cm)} \quad (2.71)$$

dengan :

R_r = rugi – rugi radiasi (dB/cm)

P_t = daya total yang diberikan saluran (dB)

P_{rad} = daya yang diradiasikan (dB)

λ_o = panjang gelombang di udara (m)

h = tebal substrat (mm)

ϵ_{reff} = permitifitas dielektrik relatif efektif (F/m)

2.4 *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.

2.4.1 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.

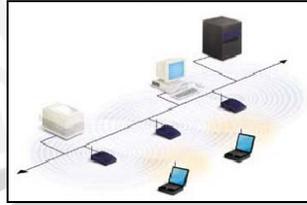


Gambar 2.14 Topologi jaringan *peer-to-peer*
(Sumber: <http://www.geocities.com/setyolia>)

2. Jaringan infrastruktur

Pada topologi ini, pemasangan beberapa *access point* dapat memperluas jangkauan dari jaringan *peer-to-peer*. Selama *access point* terhubung dengan

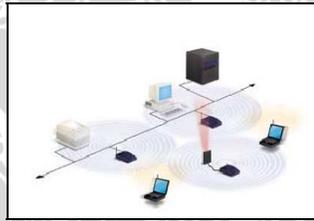
jangkauan kabel, tiap pengguna dapat mengakses data *server* seperti pengguna lainnya.



Gambar 2.15 Topologi jaringan infrastruktur
(Sumber: <http://www.geocities.com/setyolia>)

3. Jaringan menggunakan *extension point*

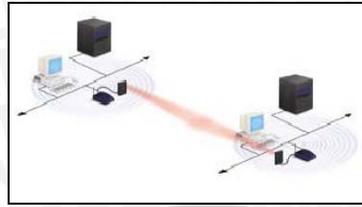
Untuk memperluas jangkauan jaringan *access point*, dapat digunakan *extension point* (EP). *Extension point* mempunyai fungsi yang sama dengan *access point*, tetapi EP tidak terikat dengan jaringan kabel seperti AP. Fungsi EP adalah untuk menambah jangkauan jaringan dengan me-*relay* sinyal dari *client*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



Gambar 2.16 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, masing-masing antena tergantung dengan yang lain.



Gambar 2.17 Jaringan menggunakan *directional antenna*
 (Sumber: <http://www.geocities.com/setyolia>)

2.4.2 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.

Tabel 2.1 Standar IEEE 802.11

	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	11, 5.5, 2, 1 Mbps	54, 36, 33, 24, 22, 12, 11, 9, 6,

		Mbps		5.5, 2, 1 Mbps
Tipe modulasi	DQPSK (2 Mbps DSSS)	BPSK (6,9 Mbps)	DQPSK/CCK (11, 5,5 Mbps)	OFDM/CCK (6,9,12,18,24,36,48,54)
	DBPSK (1 Mbps DSSS)	QPSK (12, 18 Mbps)	DQPSK (2 Mbps)	OFDM (6,9,12,18,24,36,48,54 Mbps)
	4GFSK (2 Mbps FHSS)	16-QAM (24,36 Mbps)	DBPSK (1 Mbps)	DQPSK/CCK (22,33,11,5.5 Mbps)
	2GFSK (1 Mbps FHSS)	64-QAM (48, 54 Mbps)		DQPSK (2 Mbps)
				DBPSK (1 Mbps)

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

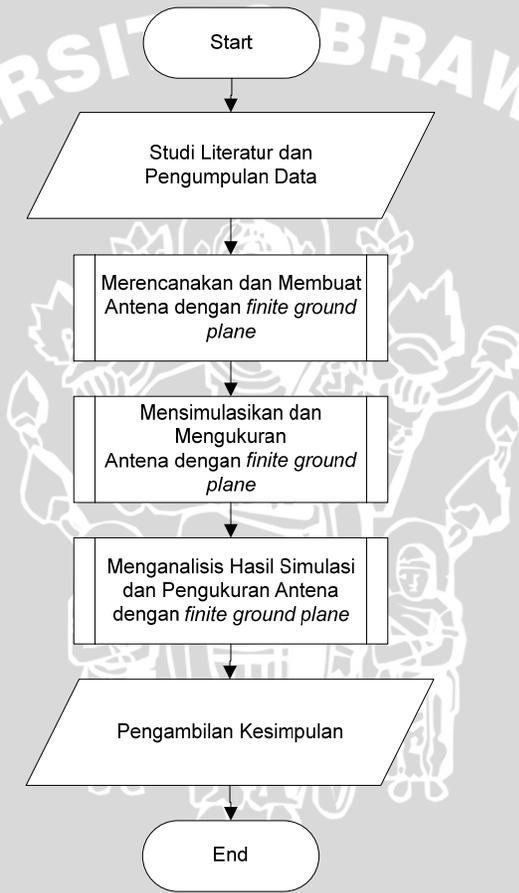
Dari kelima standar protokol yang ada, protokol 802.11a, 802.11b, 802.11g lah yang paling banyak digunakan sekarang ini. 802.11b dipandang unggul karena harganya yang relatif lebih murah dari yang lain. 802.11a memiliki kelebihan pada jangkauan spektrum frekuensi yang lebih tinggi (5-6 GHz), sedang 802.11g 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 ft².

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.

BAB III METODOLOGI

Kajian yang dilakukan dalam skripsi ini adalah kegiatan yang bersifat analisis, yaitu tentang menganalisis pengaruh *finite ground plane* pada Antena *Microstrip Rectangular Patch* dengan frekuensi kerja 2,4 GHz untuk aplikasi *wireless LAN (WLAN)*. Metodologi yang digunakan dalam penulisan skripsi ini didasarkan kepada :



Gambar 3.1 Diagram Alir Analisis Pengaruh *Finite Ground Plane* pada Antena *Microstrip Rectangular Patch 2,4 GHz*
(Sumber: Perancangan)

3.1 Studi Literatur

Melakukan kajian pustaka untuk memahami karakteristik, analisis dan desain suatu *finite ground plane* pada antena *microstrip rectangular patch* dengan frekuensi kerja 2,4 GHz untuk aplikasi *wireless LAN* (WLAN).

3.2 Pengumpulan Data

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

a. Data primer

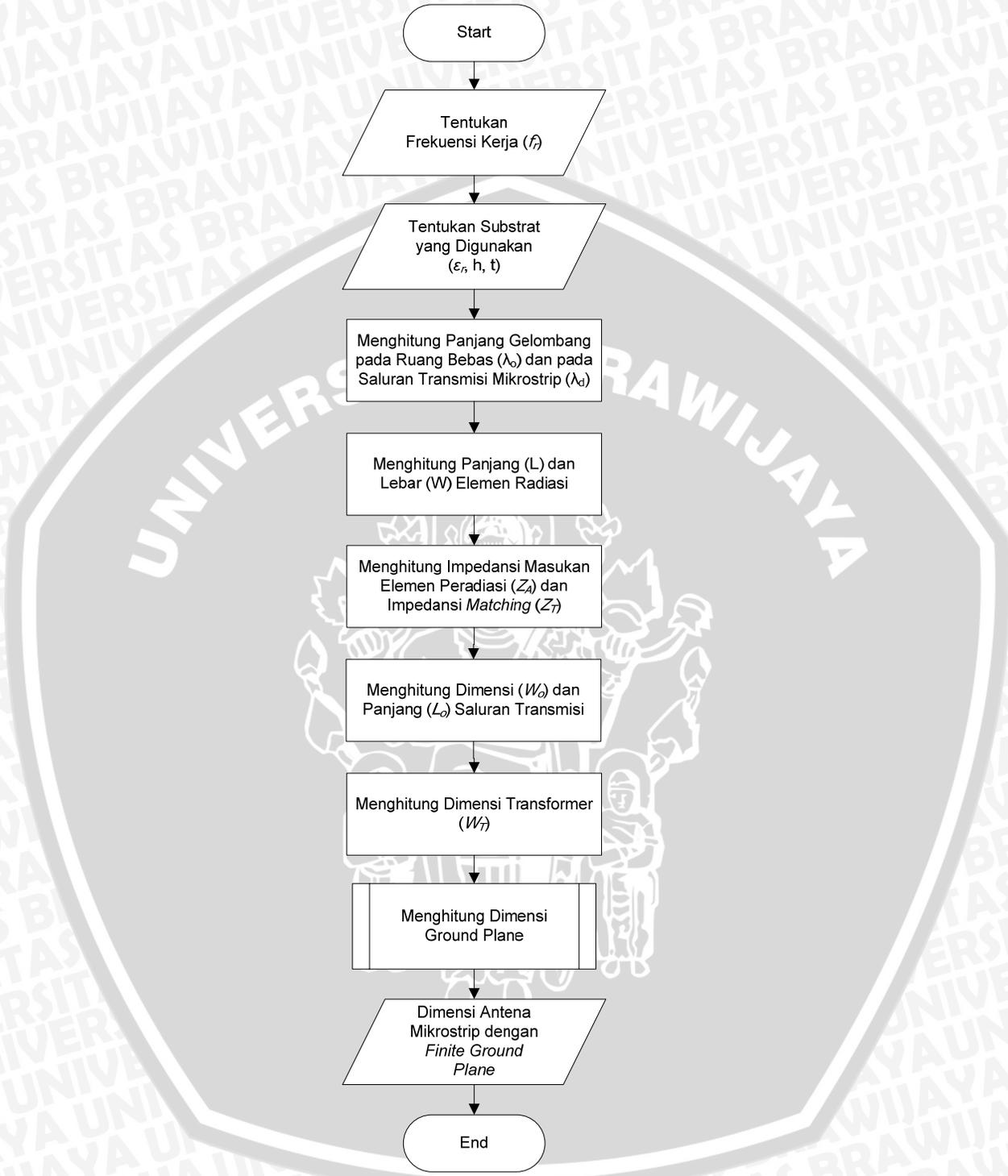
Data primer adalah data yang didapatkan dari hasil simulasi dan hasil pengukuran.

b. Data sekunder

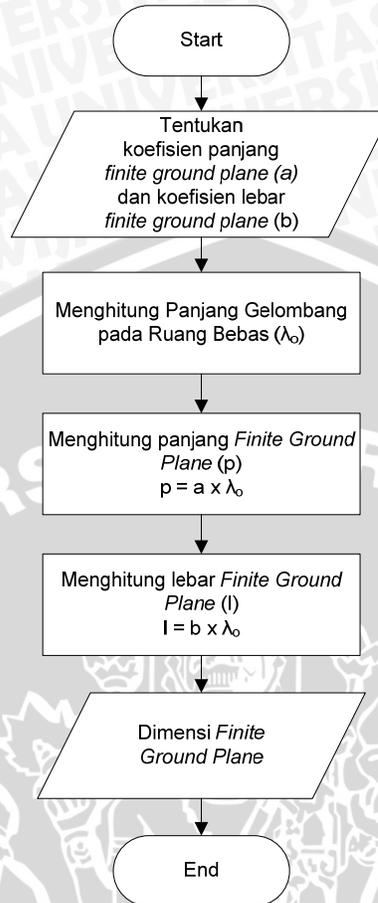
Data sekunder adalah data yang diperoleh dari studi literatur (buku, jurnal-jurnal, dan internet).

3.3 Perencanaan dan Pembuatan

Dalam merencanakan pengaruh *finite ground plane* pada antena *microstrip rectangular patch* dengan frekuensi kerja 2,4 GHz untuk aplikasi *wireless LAN* (WLAN), dengan data yang telah dikumpulkan tadi kemudian dianalisis. Analisa data dilakukan secara matematis yang kemudian digunakan untuk menentukan jenis konduktor, substrat dari PCB, impedansi karakteristik saluran dan menghitung dimensi fisik antena *microstrip* kemudian mensimulasikan pada *software IE3D* (*software* untuk perencanaan antena) sampai didapatkan dimensi fisik antena *microstrip* sesuai dengan parameter yang diinginkan. Setelah dimensi fisik antena *microstrip* ditentukan kemudian dilakukan fabrikasi salah satu antena *microstrip* tersebut.



Gambar 3.2 Diagram Alir Perhitungan Dimensi Antena *Microstrip* dengan *Finite Ground Plane* (Sumber: Perancangan)



Gambar 3.3 Diagram Alir Perhitungan Dimensi *Finite Ground Plane*
(Sumber: Perancangan)

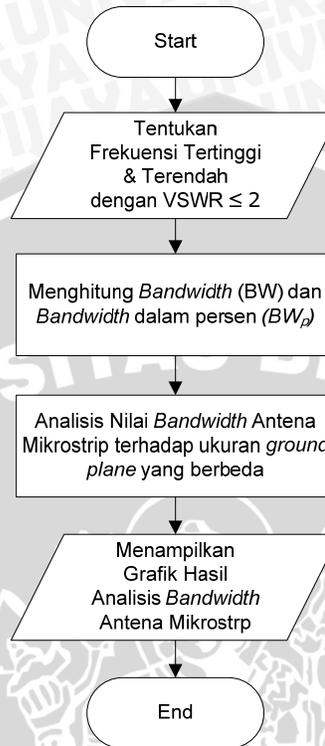
3.4 Simulasi dan Pengukuran

Untuk mengetahui karakteristik dari antenna yang sudah disimulasi dan difabrikasi maka dilakukan analisis terhadap beberapa parameter antenna pada frekuensi kerjanya, analisis ini diperlukan karena akan menunjukkan kinerja antenna yang sesungguhnya. Jangkauan frekuensi yang dipakai dalam simulasi dan pengukuran adalah sebesar 2,25 GHz sampai dengan 2,55 GHz. Analisis ini meliputi :

1. *Bandwidth*

Pada simulasi, software yang digunakan adalah IE3D (*software* untuk perencanaan antenna) jangkauan frekuensi yang dipakai adalah sebesar 2,25 GHz sampai dengan 2,55 GHz. *Bandwidth* antenna ini kemudian dibandingkan

dengan *bandwidth* dari antenna *microstrip* dengan *groundplane* yang berbeda-beda.



Gambar 3.4 Diagram Alir Analisis *Bandwidth* Antena *Microstrip* pada simulasi
(Sumber: Perancangan)

Sedangkan pada pengukuran, perhitungan ini dilakukan dengan menghitung selisih antara frekuensi atas dan frekuensi bawah pada pengukuran VSWR antenna dengan nilai VSWR maksimum 2.

2. *Gain*

Pada simulasi, software yang digunakan adalah IE3D (*software* untuk perencanaan antenna) jangkauan frekuensi yang dipakai adalah sebesar 2,25 GHz sampai dengan 2,55 GHz. *Gain* antenna ini kemudian dibandingkan dengan *gain* dari antenna *microstrip* dengan *groundplane* yang berbeda-beda.



Gambar 3.5 Diagram Alir Analisis *Gain* Antena *Microstrip* pada simulasi
(Sumber: Perancangan)

Sedangkan pada pengukuran, alat yang digunakan adalah *RF Signal Generator* yang dioperasikan pada frekuensi 2,25 GHz sampai dengan 2,55 GHz, *Spectrum Analyzer* dan dua buah antena dipole 0.5λ (sebagai antena referensi dan antena pemancar). Antena ini digunakan sebagai antena standar dengan nilai penguatan yang sudah diketahui sebelumnya. Penguatan antena ini kemudian dibandingkan dengan penguatan dari antena yang diukur (antena *microstrip*).

3. Pola radiasi

Pada simulasi, software yang digunakan adalah IE3D (*software* untuk perencanaan antena) frekuensi yang dipakai adalah sebesar 2,4 GHz. Pola radiasi antena ini kemudian dibandingkan dengan pola radiasi dari antena *microstrip* dengan *groundplane* yang berbeda-beda.

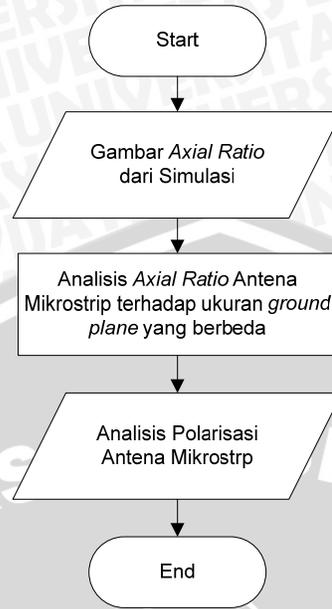


Gambar 3.6 Diagram Alir Analisis Pola Radiasi Antena *Microstrip* pada simulasi
(Sumber: Perancangan)

Sedangkan pada pengukuran, alat yang digunakan adalah *RF Signal Generator* yang digunakan pada frekuensi 2,25 GHz sampai dengan 2,55 GHz, *Spectrum Analyzer* dan antenna dipole 0.5λ sebagai antenna referensi. Pengukuran dilakukan dengan cara memutar antenna penerima (antenna *microstrip*) terhadap bidang horisontal dari sudut 0° sampai dengan sudut 360° dengan interval sudut 10° dengan antenna dipole 0.5λ tetap pada posisinya. Tujuan dari pengukuran ini adalah untuk mengetahui pola liputan antenna dari setiap sudut azimut pada bidang horisontal.

4. Polarisasi

Pada simulasi, software yang digunakan adalah IE3D (*software* untuk perencanaan antenna) jangkauan frekuensi yang dipakai adalah sebesar 2,25 GHz sampai dengan 2,55 GHz. Polarisasi antenna ini kemudian dibandingkan dengan polarisasi dari antenna *microstrip* dengan *groundplane* yang berbeda-beda.



Gambar 3.7 Diagram Alir Analisis Polarisasi Antena *Microstrip* pada simulasi
(Sumber: Perancangan)

Sedangkan pada pengukuran, Antena yang diukur diberlakukan sebagai antena penerima dan antena dipole 0.5λ digunakan sebagai pemancarnya. Pengukuran dilakukan dengan cara memutar antena penerima dari sudut 0° sampai dengan 360° dengan interval sudut 10° terhadap bidang vertikal. Peralatan yang digunakan adalah *RF Signal Generator*, *Spectrum Analyzer* dan antena dipole 0.5λ sebagai antena referensi.

3.5 Analisis

Melakukan tahap selanjutnya, yaitu analisis antena yang telah disimulasi dan difabrikasi. Pada tahap ini dilakukan perbandingan antara parameter – parameter antena hasil dari perencanaan dengan parameter – parameter antena hasil dari simulasi dan pengukuran, yang pada akhirnya dianalisis.

3.6 Pengambilan Kesimpulan

Pengambilan kesimpulan ditulis berdasarkan setelah mendapatkan hasil dari analisis dan simulasi antena yang dilakukan

BAB IV

PERENCANAAN DAN PEMBUATAN ANTENA *MICROSTRIP* *RECTANGULAR PATCH* DENGAN *FINITE GROUND PLANE*

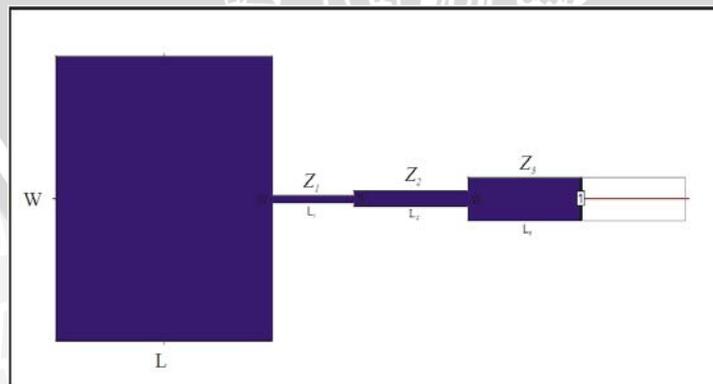
4.1 Tinjauan Umum

Antena *microstrip* adalah antenna yang dibuat dengan merealisasikan di atas bahan substrat, dimana sebagai elemen peradiasinya (*radiating element*) terletak pada salah satu sisi permukaan substrat dan sisi permukaan lainnya dari substrat tersebut terdapat bidang konduktor yang berfungsi sebagai bidang pentanahan (*ground plane*).

Dalam bab ini akan dibahas mengenai penentuan bahan substrat dan konduktor, perencanaan dimensi fisik antenna *microstrip* dan pembuatan antenna *microstrip*.

4.2 Perencanaan Antena *Microstrip Rectangular Patch* dengan *Finite Ground Plane*

Menurut perencanaan antenna *microstrip* yang dijelaskan sebelumnya antenna ini adalah antenna yang dibentuk di atas bahan substrat yang berupa FR4 dengan elemen peradiasi berbentuk persegi panjang yang terletak pada salah satu sisi permukaan substrat dan sisi yang lain adalah bidang konduktor yang berfungsi sebagai pentanahan (*ground plane*). Adapun bentuk antenna *microstrip* yang direncanakan adalah sebagai berikut :



Gambar 4.1 Antena *microstrip rectangular patch*

(Sumber : Perencanaan)

Langkah – langkah sebelum pembuatan antena *microstrip* ini, terlebih dahulu harus direncanakan hal – hal yang lebih rinci seperti sebagai berikut :

4.2.1 Spesifikasi Dimensi Substrat dan Konduktor

Dalam menentukan bahan suatu antena *microstrip* harus diketahui terlebih dahulu parameter serta batasan frekuensi maksimum yang masih bisa dilewatkan pada substrat. Pada perencanaan antena ini bahan substrat yang digunakan adalah sebagai berikut :

- Bahan *Epoxy fiberglass* – FR4
 - Konstanta dielektrik relatif (ϵ_r) = 4,6
 - 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 (σ) = $5,8 \times 10^{-7}$ mho m⁻¹
- Frekuensi kerja (f_r) = 2400 MHz
- Impedansi karakteristik saluran = 50 Ω

Batasan frekuensi kerja yang bisa dilewatkan pada substrat ini dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

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

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

Dengan batasan frekuensi sebesar ini maka jenis substrat *epoxy fiberglass* – FR4 ini memungkinkan untuk digunakan sebagai substrat dalam membuat antena dengan menggunakan dasar saluran *microstrip*.

4.2.2 Perencanaan Dimensi Elemen Peradiasi

Untuk perencanaan dimensi elemen peradiasi, maka terlebih dahulu harus ditentukan nilai frekuensi kerja (f_r) yang direncanakan yaitu 2400×10^6 (Hz) dengan nilai perambatan di ruang bebas (c) 3×10^8 (m/s). Dengan menggunakan persamaan (2.32) :

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

$$\lambda_o = \frac{3 \times 10^8}{2,4 \times 10^9} = 0,125 \text{ m}$$

Maka panjang gelombang pada saluran transmisi *microstrip* dapat dihitung dengan persamaan (2.33) :

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

$$\lambda_d = \frac{0,125}{\sqrt{4,6}} = \frac{0,125}{2,144761} = 0,058282 \text{ m}$$

Selanjutnya dapat dihitung dimensi lebar elemen peradiasi (W) antena *microstrip* dengan bentuk geometri persegi panjang dengan persamaan (2.34) :

$$W = \frac{c}{2 \cdot f_r} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}}$$

$$W = \frac{3 \times 10^8}{2 \times 2,4 \times 10^9} \sqrt{\frac{2}{4,6 + 1}} = \frac{3}{48} \sqrt{\frac{2}{5,6}} = 0,037351 \text{ m} = 37,351 \text{ mm}$$

Sedangkan untuk menentukan panjang elemen peradiasi (L), terlebih dahulu harus ditentukan konstanta dielektrik efektif dengan menggunakan persamaan (2.31) :

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

$$\begin{aligned} \epsilon_{reff} &= \frac{4,6 + 1}{2} + \frac{4,6 - 1}{2} \left[1 + 12 \cdot \frac{1,6}{37,351} \right]^{-\frac{1}{2}} = 2,8 + 1,8(1 + 0,51404262)^{-\frac{1}{2}} \\ &= 2,8 + 1,8 \cdot \left(\frac{1}{1,230464328} \right) = 4,2628624 \approx 4,263 \end{aligned}$$

Sehingga dimensi panjang elemen peradiasi (L) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.35) :

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

dengan :

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

$$\Delta L = 0,412 \cdot 1,6 \cdot \frac{(4,263 + 0,3) \left(\frac{37,351}{1,6} + 0,264 \right)}{(4,263 - 0,258) \left(\frac{37,351}{1,6} + 0,8 \right)} = 0,6592 \cdot \frac{(4,563)(23,608375)}{(4,005)(24,144375)}$$

$$= 0,6592 \cdot \frac{107,7250151}{96,69822188} = 0,734370586 \text{ mm}$$

maka :

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

$$L = \frac{3 \times 10^8}{2 \times 2,4 \times 10^9 \sqrt{4,263}} - 2 \times 0,734370586 \times 10^{-3}$$

$$= \frac{3}{48 \times 2,064703369} - 1,468741172 \times 10^{-3}$$

$$= 0,030270692 - 1,468741172 \times 10^{-3}$$

$$= 0,028801951 \text{ m} = 28,801951 \text{ mm} \approx 28,8 \text{ mm}$$

4.2.3 Perencanaan Impedansi Masukan Elemen Peradiasi dan Impedansi Matching

Untuk menghitung impedansi masukan elemen peradiasi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan dibawah ini :

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

$$= 90 \cdot \frac{4,6^2}{4,6 - 1} \left(\frac{28,8}{37,351} \right)^2 = 90 \cdot \frac{21,16}{3,6} \cdot 0,594619773$$

$$= 314,5538601 \text{ } \Omega \approx 314 \text{ } \Omega$$

Dan impedansi saluran transformer didapat dengan menggunakan persamaan (2.39) berikut :

$$Z_T = \sqrt{Z_o \cdot Z_L}$$

$$= \sqrt{50 \cdot 314} = 125,4100993 \ \Omega \approx 125 \ \Omega$$

4.2.4 Perencanaan Dimensi Saluran Transmisi

Untuk menghitung dimensi saluran transmisi dapat digunakan persamaan (2.40) di bawah ini :

$$W_o = \frac{k}{Z_o} \times \frac{h}{\sqrt{\epsilon_r}} \text{ (mm)}$$

Pada saluran transmisi untuk perencanaan antena *microstrip* ini nilai impedansi pada Z_1 sebesar $314 \ \Omega$, sedangkan nilai impedansi Z_3 sama dengan nilai impedansi karakteristik Z_o sebesar $50 \ \Omega$, maka diperoleh nilai W_o untuk tiap – tiap nilai impedansi (dengan $h = 1,6 \text{ mm}$; $\epsilon_r = 4,6$) :

- Untuk $Z_1 = 314 \ \Omega$;

$$W_1 = \frac{120\pi}{314} \times \frac{1,6}{\sqrt{4,6}} = 0,8957 \text{ mm}$$

- Untuk $Z_3 = 50 \ \Omega$;

$$W_3 = \frac{120\pi}{50} \times \frac{1,6}{\sqrt{4,6}} = 5,621884988 \text{ mm} \approx 5,622 \text{ mm}$$

Dalam perencanaan ini panjang saluran transmisi yang digunakan dapat dicari dengan persamaan berikut :

$$L_o = 0,25 \cdot \lambda_d \text{ (m)}$$

dengan $\lambda_d = 0,058282 \text{ m}$, maka panjang saluran transmisi :

$$L_1 = 0,25 \cdot \lambda_d = 0,25 \cdot 0,058282 = 0,014570387 \text{ m} \approx 14,57 \text{ mm}$$

$$L_1 = L_3 = 14,57 \text{ mm}$$

4.2.5 Perencanaan Dimensi Transformer

Dengan nilai impedansi Z_2 sama dengan nilai impedansi saluran transformer sebesar $125 \ \Omega$ maka dapat dihitung lebar saluran transformer dengan menggunakan persamaan (2.42) berikut :

$$W_T = \frac{k}{Z_T} \times \frac{h}{\sqrt{\epsilon_r}}$$

$$W_2 = \frac{120\pi}{125} \times \frac{1,6}{\sqrt{4,6}} = 2,241400421 \text{ mm} \approx 2 \text{ mm}$$

dapat diketahui panjang saluran transformers :

$$L_T = 0,25 \cdot \lambda_d$$

$$L_2 = 0,25 \cdot 0,058282 = 0,014570387 \text{ m} \approx 14,57 \text{ mm}$$

4.2.6 Perhitungan Rugi – rugi Antena *Microstrip*

Seperti yang telah diuraikan dalam sub – bab sebelumnya, bahwa rugi – rugi yang utama pada antena *microstrip* adalah rugi – rugi dielektrik, rugi – rugi konduktor dan rugi – rugi peradiasi. Pada strip konduktor terdapat pelemahan sinyal yang disebabkan oleh adanya resistansi permukaan. Resistansi permukaan pada strip konduktor ada dua macam, yaitu pada sisi permukaan strip elemen peradiasi dan pada sisi bidang pentanahan, sehingga konstanta pelemahan sinyal konduktor adalah merupakan penjumlahan kedua jenis pelemahan di atas.

4.2.6.1 Perhitungan Rugi – rugi Dielektrik (α_d)

Sifat perambatan gelombang elektromagnetik pada saluran *microstrip* menyebabkan rugi – rugi yang berupa konstanta pelemahan sinyal pada suatu dielektrik. Rugi – rugi ini dipengaruhi oleh adanya sifat konduktivitas dielektrik dan konstanta dielektrik relatif efektif substrat. Besarnya rugi – rugi dielektrik dapat dicari dengan persamaan (2.44) :

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

dengan nilai $\epsilon_r = 4,6$; $\epsilon_{reff} = 4,263$; $\mu_o = 4\pi \times 10^{-7}$ H/m; $\epsilon_o = 8,854 \times 10^{-12}$ F/m; $\sigma_d = 5,8 \times 10^{-7}$ mho/m, maka :

$$\begin{aligned} \alpha_d &= 4,34 \frac{5,8 \cdot 10^{-7}}{\sqrt{4,263}} \left(\frac{4,263 - 1}{4,6 - 1} \right) \sqrt{\frac{4\pi \cdot 10^{-7}}{8,854 \cdot 10^{-12}}} \\ &= 12,19158179 \cdot 10^{-7} \left(\frac{3,263}{3,6} \right) \sqrt{1,418567 \cdot 10^5} \\ &= 4,161975847 \cdot 10^{-4} \quad (dB/cm) \end{aligned}$$

4.2.6.2 Perhitungan Rugi – rugi Konduktor

Pada perencanaan antenna ini, dengan konduktor dari bahan tembaga maka, besarnya rugi – rugi konduktor dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$\alpha_c = \frac{8,686}{w \cdot Z_o} \cdot \sqrt{\frac{\pi \cdot f \cdot \mu}{\sigma_c}} \quad (dB/cm)$$

dengan $f_r = 2400 \times 10^6$ Hz; $\mu_{tembaga} = 0,999999981$; $\sigma_{tembaga} = 6,17 \times 10^7$ mho/m; $Z_o = 50 \Omega$, maka :

$$\begin{aligned} \alpha_c &= \frac{8,686}{3,7351 \cdot 50} \cdot \sqrt{\frac{3,14 \cdot 2,4 \cdot 10^9 \cdot 0,999999981}{6,17 \cdot 10^7}} \\ &= 0,046510133 \cdot 11,05166779 = 0,514014538 \quad (dB/cm) \end{aligned}$$

Dari perhitungan rugi – rugi dielektrik dan rugi – rugi konduktor dapat ditentukan nilai koefisien pelemahan *microstrip* seperti terdapat pada persamaan di bawah ini :

$$\begin{aligned} \alpha &= \alpha_d + \alpha_c \quad (dB/cm) \\ &= 4,161975847 \cdot 10^{-4} + 0,514014538 = 0,514430736 \quad (dB/cm) \end{aligned}$$

Nilai koefisien pelemahan *microstrip* ini akan mempengaruhi penguatan antenna perancangan. Semakin besar nilai koefisien pelemahan, maka semakin kecil penguatan antenna.

4.2.6.3 Perhitungan Rugi – rugi Peradiasi

Besarnya rugi – rugi peradiasi dapat dicari dengan persamaan :

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

dengan $h = 1,6$ mm; $\lambda_o = 125$ mm; $\epsilon_{reff} = 4,263$, maka :

$$\begin{aligned} R_r &= 240\pi^2 \left(\frac{1,6}{125} \right)^2 \left[\frac{4,263 + 1}{4,263} - \frac{4,263 - 1}{2 \cdot 4,263 \cdot \sqrt{4,263}} \ln \left(\frac{\sqrt{4,263 + 1} + 1}{\sqrt{4,263 - 1}} \right) \right] \\ &= 0,402667066 \quad dB/cm \end{aligned}$$

4.2.7 Perencanaan Bandwidth

Secara teori bandwidth antenna *microstrip* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.22) (dengan $f_r = 2400 \times 10^6$ Hz; $h = 1,6$ mm) :

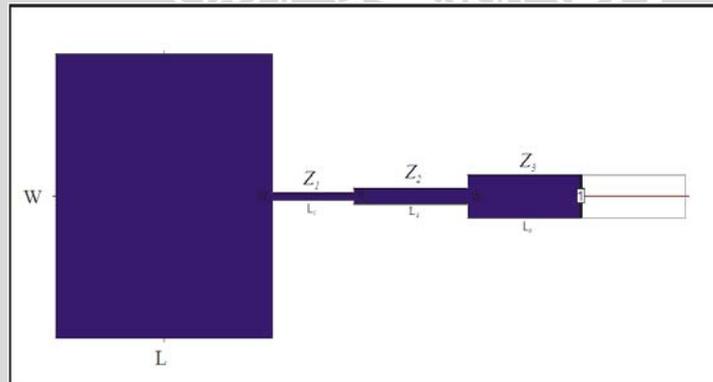
$$\begin{aligned}
 BW &= 4f^2 \left(\frac{h}{0,79375} \right) \text{ MHz} \\
 &= 4 \cdot 2,4^2 \left(\frac{1,6}{0,79375} \right) = 46,44283465 \text{ MHz} \approx 46,4 \text{ MHz}
 \end{aligned}$$

4.2.8 Perencanaan Antena *Microstrip* dengan Simulator

Pada perencanaan antena ini, setelah menghitung beberapa hal yang diperlukan maka selanjutnya mensimulasikan rencana antena kita dengan menggunakan simulator IE3D dan spesifikasi perangkat keras *Intel Pentium Dual CPU T2330 @1.60 GHz, 1 GB DDR2 Memory* dan *Intel HD Graphics*. Tahap – tahap simulasi menggunakan simulator IE3D :

4.2.8.1 Simulasi Dengan Elemen Peradiasi

Masukkan nilai hitungan dimensi elemen peradiasi dan dimensi saluran transmisi, yang ditunjukkan pada gambar (4.2) :



Gambar 4.2 Dimensi elemen peradiasi

(Sumber : Perencanaan)

dengan :

$$W = 37,351 \text{ mm}$$

$$L = 28,8 \text{ mm}$$

$$W_1 = 0,8957 \text{ mm}$$

$$L_1 = 14,57 \text{ mm}$$

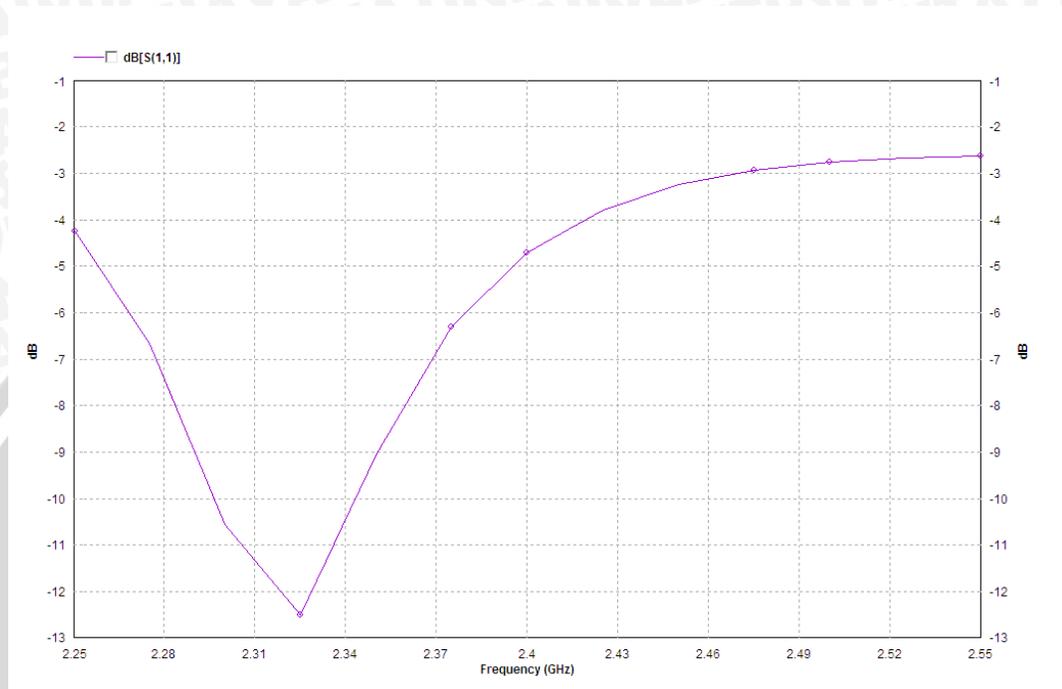
$$W_2 = 2 \text{ mm}$$

$$L_2 = 14,57 \text{ mm}$$

$$W_3 = 5,622 \text{ mm}$$

$$L_3 = 14,57 \text{ mm}$$

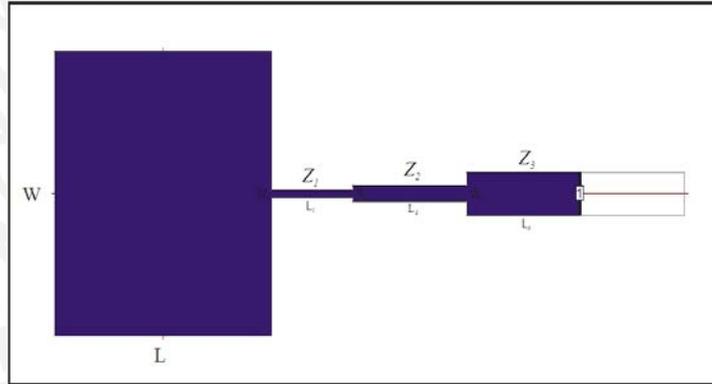
Kemudian dilakukan simulasi, yang menghasilkan hasil simulasi sebagai berikut:



Grafik 4.1 Grafik S11 elemen peradiasi
(Sumber : Simulasi)

Simulasi pada grafik 4.1 menunjukkan nilai S11 dari elemen peradiasi. Untuk nilai S11 sebuah antenna bekerja dengan baik jika nilai S11 > -10 dB. Dari hasil simulasi dapat dilihat bahwa antenna belum bekerja pada range frekuensi yang diharapkan yaitu 2,4 GHz, tetapi maksimal pada frekuensi 2,325 GHz. Sehingga harus dilakukan optimasi pada elemen peradiasi tersebut.

Optimasi dilakukan agar antenna dapat bekerja sesuai dengan yang kita inginkan yaitu bekerja pada frekuensi 2,4 GHz. 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 *microstrip*. Hasil optimasi adalah sebagai berikut (gambar 4.3)



Gambar 4.3 Hasil optimasi elemen peradiasi

(Sumber : Simulasi)

dengan :

$$W = 36,8 \text{ mm}$$

$$L = 27,8 \text{ mm}$$

$$W_1 = 0,9 \text{ mm}$$

$$L_1 = 10,57 \text{ mm}$$

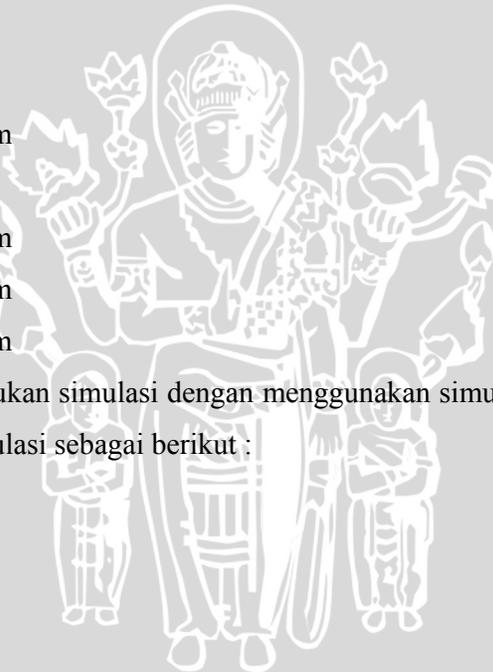
$$W_2 = 2 \text{ mm}$$

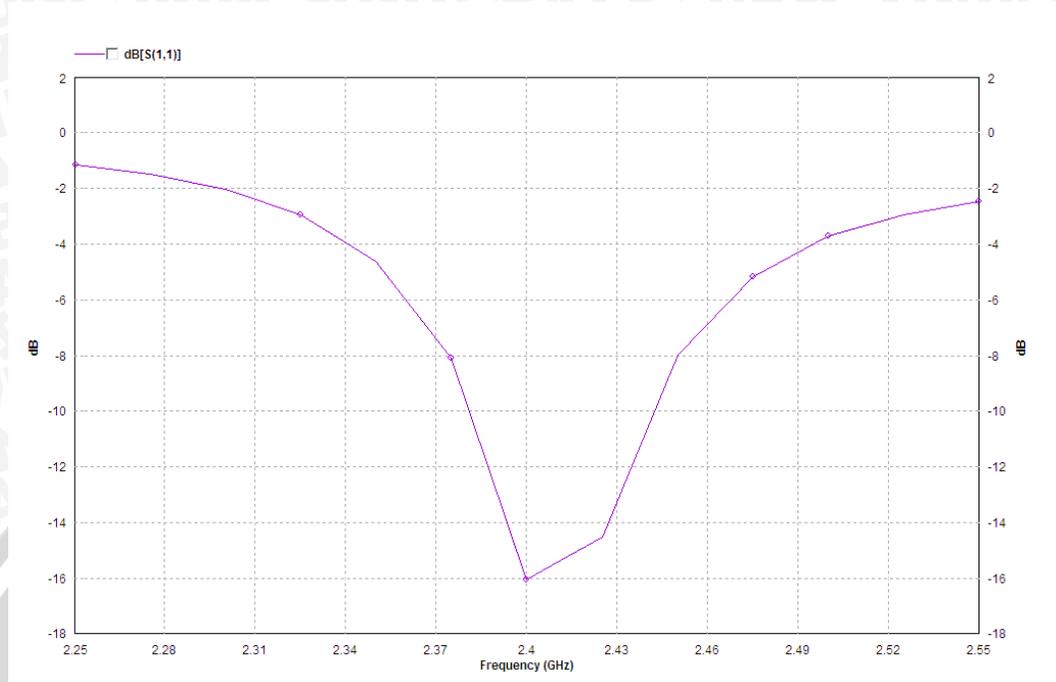
$$L_2 = 14,57 \text{ mm}$$

$$W_3 = 5,622 \text{ mm}$$

$$L_3 = 14,57 \text{ mm}$$

Kemudian dilakukan simulasi dengan menggunakan simulator IE3D, yang menghasilkan hasil simulasi sebagai berikut :





Grafik 4.2 Grafik S11 elemen peradiasi hasil simulasi optimasi
(Sumber : Simulasi)

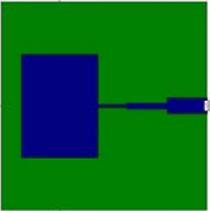
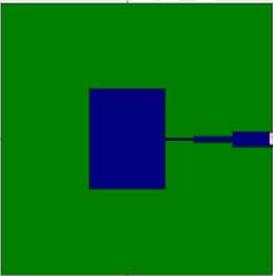
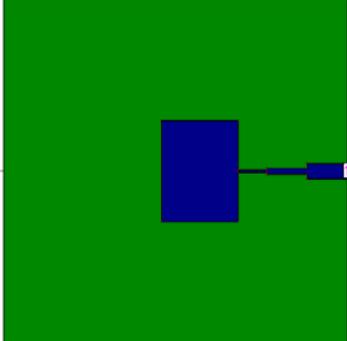
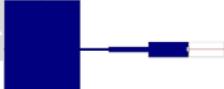
Dari hasil optimasi di atas dapat dilihat bahwa elemen peradiasi sudah bekerja paling maksimal pada frekuensi yang diinginkan yaitu 2,4 GHz

4.2.8.2 Simulasi Antena *Microstrip* dengan *Finite Ground Plane*

Desain antena dengan *finite ground plane* sangat diperlukan para perancang antena agar dapat merancang dan mengetahui unjuk kerja suatu antena dapat maksimal dan lebih akurat. Salah satu cara yang lebih praktis adalah dengan membentuk suatu sistem antena dengan dimensi *ground plane* yang terbatas. Adapun bentuk *ground plane* antena *microstrip* yang direncanakan adalah sebagai berikut:

Tabel 4.1 Rancangan Antena *Microstrip* dengan *Finite Ground Plane*

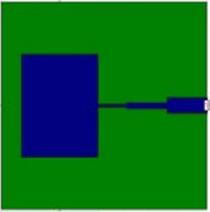
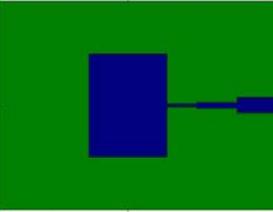
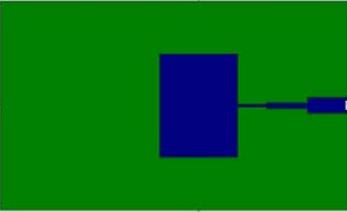
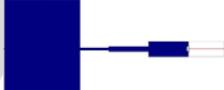
Ket: Dengan bentuk *ground plane* adalah persegi panjang (*rectangular*) dan variabel panjang (p) dan lebar (l) berubah pada arah tertentu

Ukuran (p x l) = $0,6\lambda_0 \times 0,6\lambda_0$ = 5.625 mm ²	Ukuran (p x l) = $0,8 \lambda_0 \times 0,8 \lambda_0$ = 10.000 mm ²	Ukuran (p x l) = $1 \lambda_0 \times 1 \lambda_0$ = 15.625 mm ²	Ukuran (p x l) = <i>infinite</i> = ~ mm ²
			

(Sumber: Perencanaan)

Tabel 4.2 Rancangan Antena *Microstrip* dengan *Finite Ground Plane*

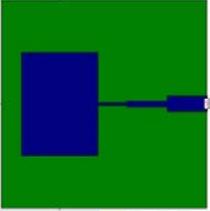
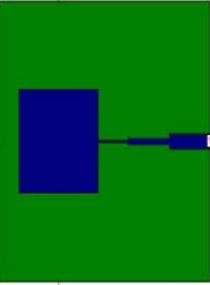
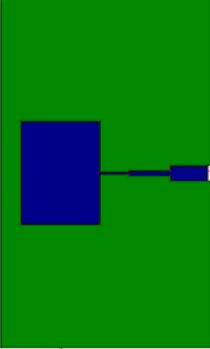
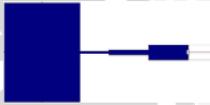
Ket: Dengan bentuk *ground plane* adalah persegi panjang (*rectangular*) dan variabel panjang (p) berubah dan lebar (l) tetap pada arah tertentu

Ukuran (p x l) = $0,6 \lambda_0 \times 0,6 \lambda_0$ = 5.625 mm ²	Ukuran (p x l) = $0,8 \lambda_0 \times 0,6 \lambda_0$ = 7.500 mm ²	Ukuran (p x l) = $1 \lambda_0 \times 0,6 \lambda_0$ = 9.375 mm ²	Ukuran (p x l) = <i>infinite</i> = ~ mm ²
			

(Sumber: Perencanaan)

Tabel 4.3 Rancangan Antena *Microstrip* dengan *Finite Ground Plane*

Ket: Dengan bentuk *ground plane* adalah persegi panjang (*rectangular*) dan variabel panjang (p) tetap dan lebar (l) berubah pada arah tertentu

Ukuran (p x l) = $0,6 \lambda_0 \times 0,6 \lambda_0$ = 5.625 mm ²	Ukuran (p x l) = $0,6 \lambda_0 \times 0,8 \lambda_0$ = 7.500 mm ²	Ukuran (p x l) = $0,6 \lambda_0 \times 1 \lambda_0$ = 9.375 mm ²	Ukuran (p x l) = <i>infinite</i> = ~ mm ²
			

(Sumber: Perencanaan)

dengan :

- Patch :

$$W = 36,8 \text{ mm}$$

$$L = 27,8 \text{ mm}$$

$$W_1 = 0,9 \text{ mm}$$

$$L_1 = 10,57 \text{ mm}$$

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

$$L_2 = 14,57 \text{ mm}$$

$$W_3 = 5,622 \text{ mm}$$

$$L_3 = 14,57 \text{ mm}$$

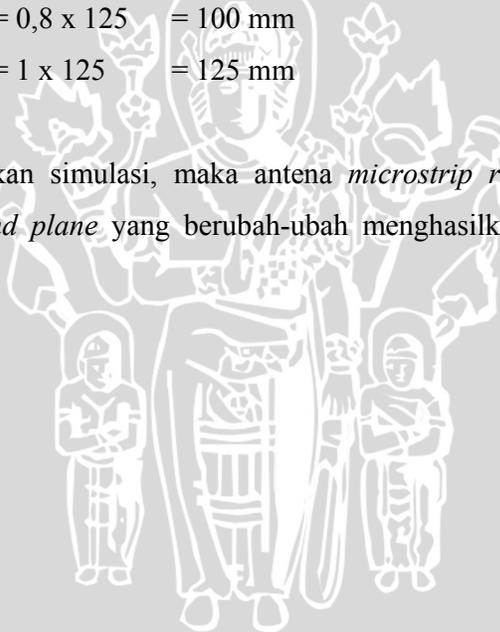
- Ground Plane ($\lambda_0=125 \text{ mm}$) :

$$0,6 \lambda_0 = 0,6 \times 125 = 75 \text{ mm}$$

$$0,8 \lambda_0 = 0,8 \times 125 = 100 \text{ mm}$$

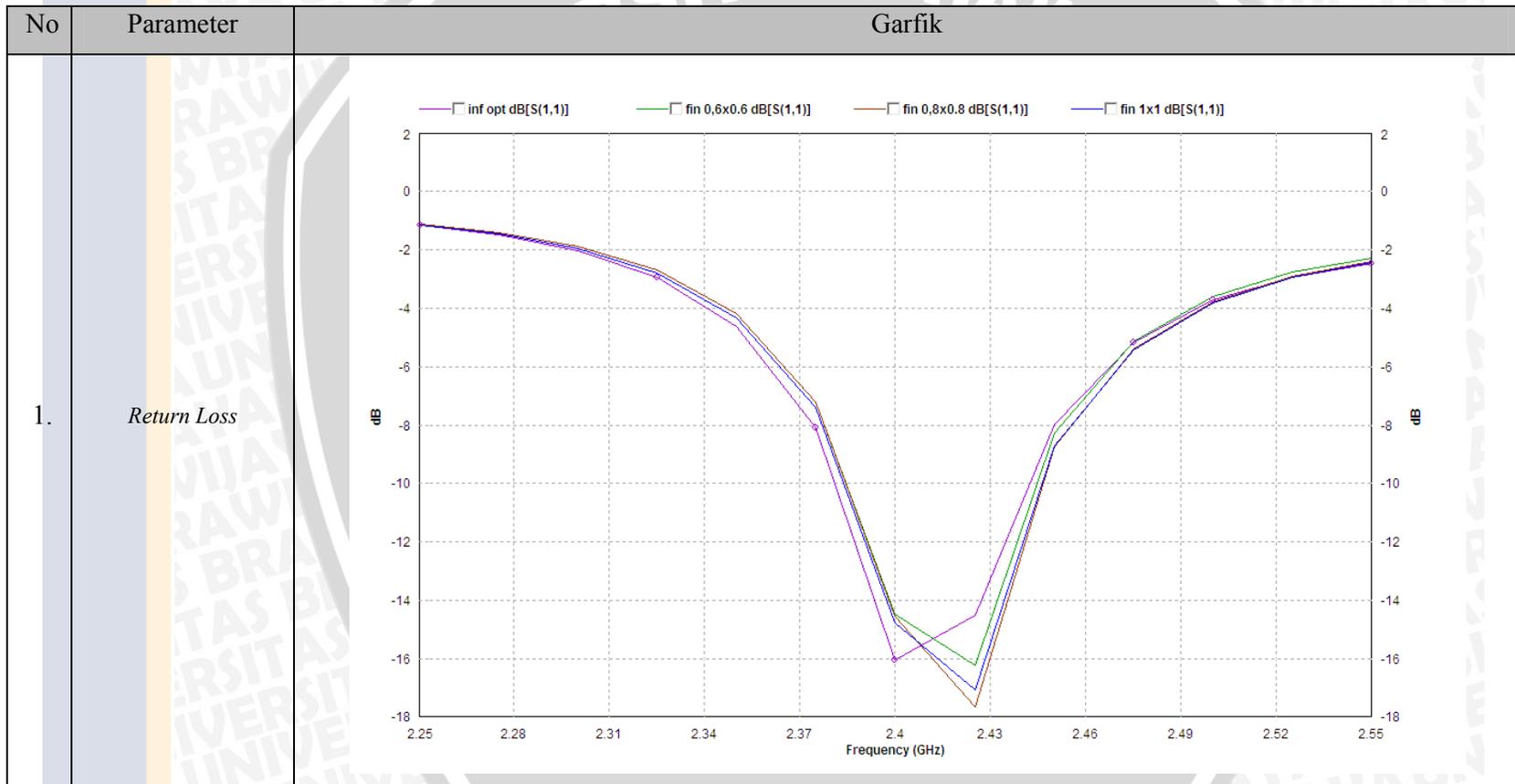
$$1\lambda_0 = 1 \times 125 = 125 \text{ mm}$$

Setelah dilakukan simulasi, maka antena *microstrip rectangular patch* dengan dimensi *ground plane* yang berubah-ubah menghasilkan hasil simulasi sebagai berikut :



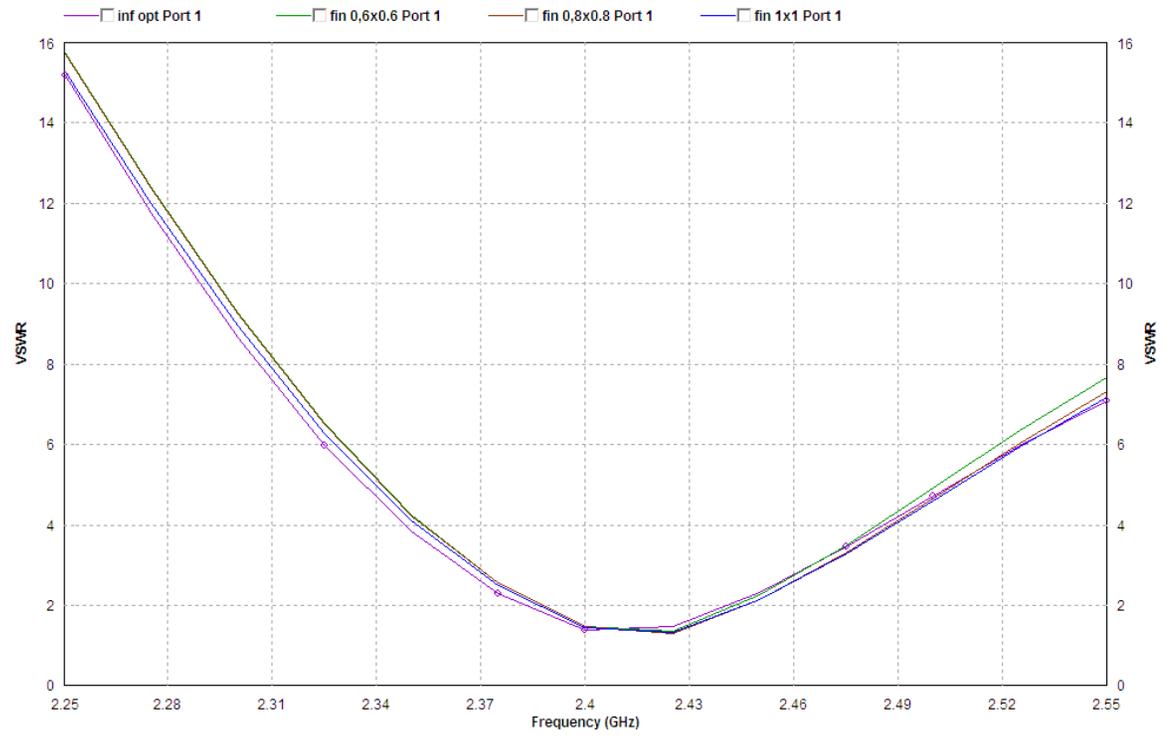
Tabel 4.4 Tabulasi Hasil Simulasi Pengaruh Dimensi *Ground Plane*

Ket: Dengan bentuk *ground plane* adalah persegi panjang (*rectangular*) dan variabel panjang (p) dan lebar (l) berubah pada arah tertentu

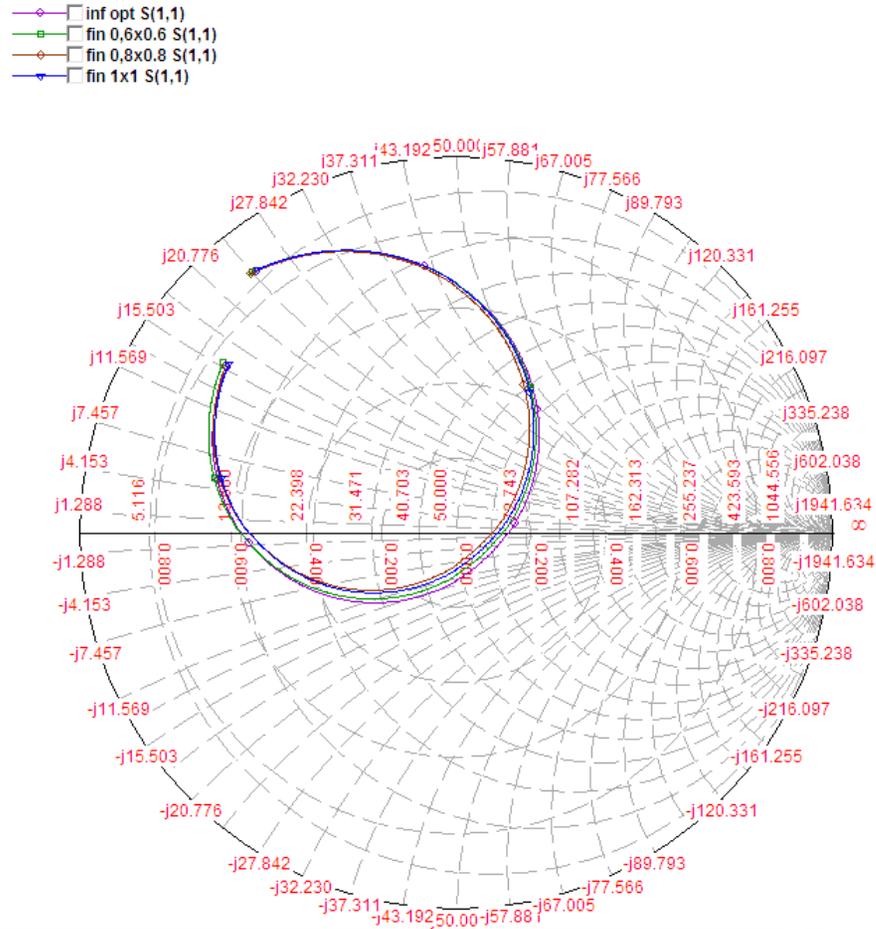


2.

VSWR



3. Smith Chart



(Sumber: Simulasi)

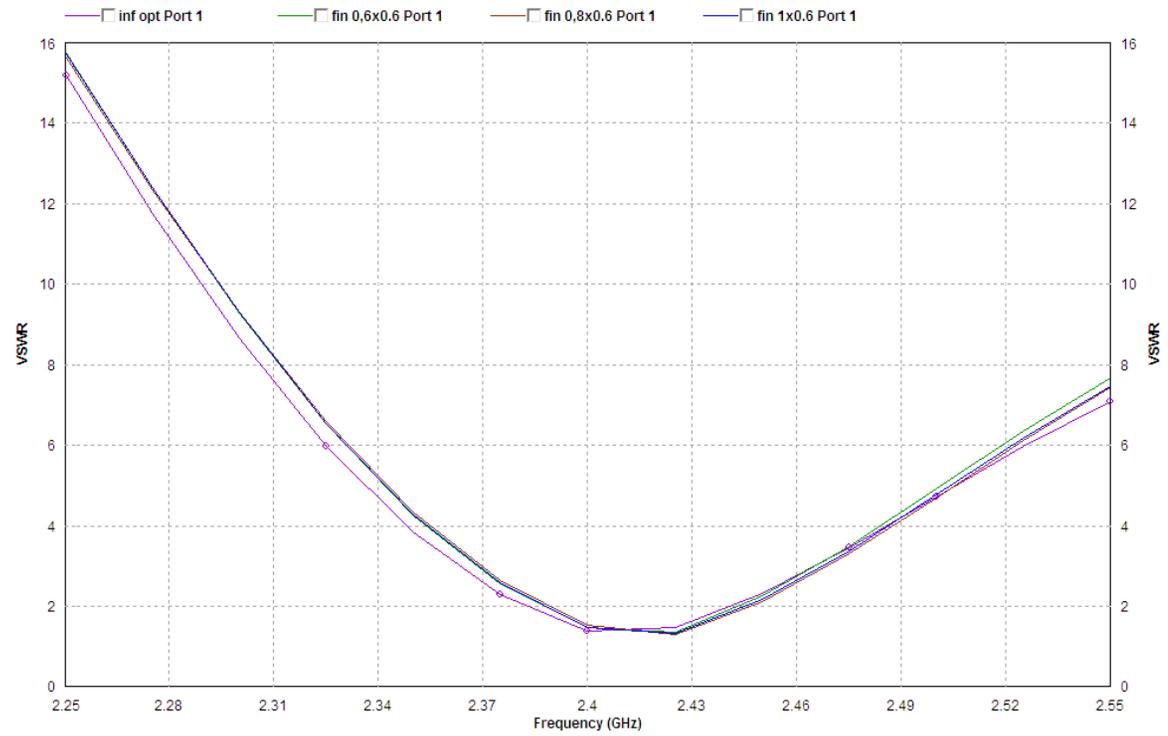
Tabel 4.5 Tabulasi Hasil Simulasi Pengaruh Dimensi *Ground Plane*

Ket: Dengan bentuk *ground plane* adalah persegi panjang (*rectangular*) dan variabel panjang (p) berubah dan lebar (l) tetap pada arah tertentu

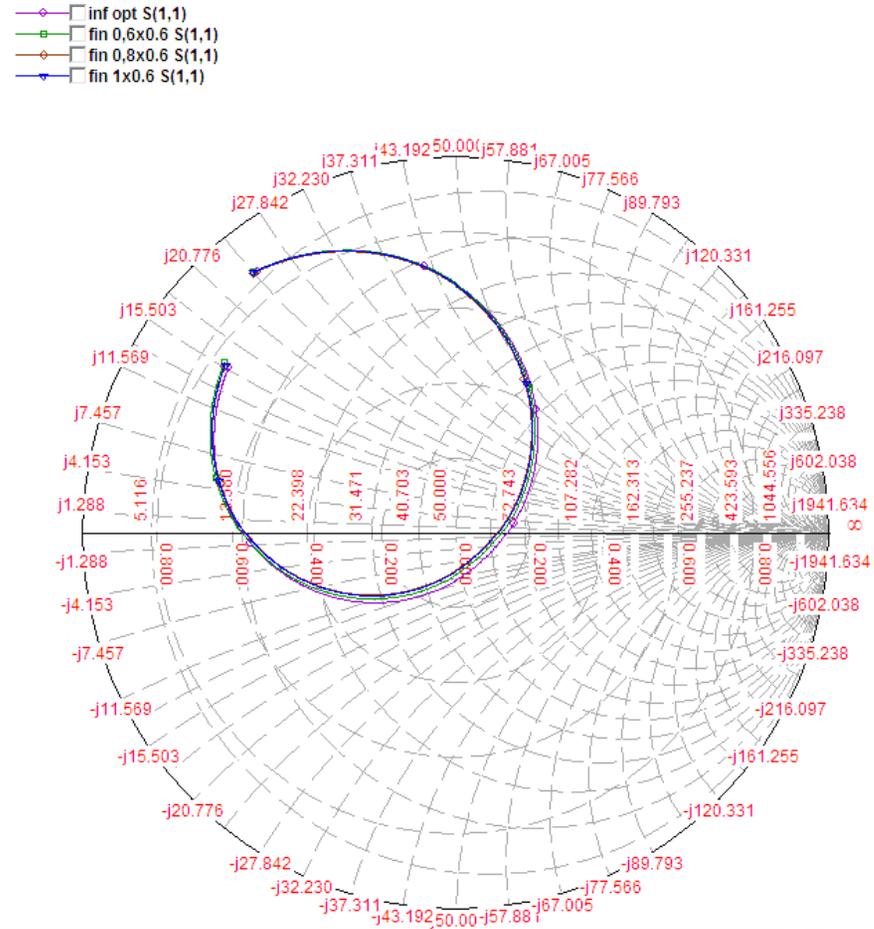
No	Parameter	Garfik
1.	Return Loss	<p>The graph plots Return Loss in dB on the y-axis (ranging from -18 to 2) against Frequency in GHz on the x-axis (ranging from 2.25 to 2.55). Four data series are shown: 'inf opt dB[S(1,1)]' (purple), 'fin 0,6x0.6 dB[S(1,1)]' (green), 'fin 0,8x0.6 dB[S(1,1)]' (orange), and 'fin 1x0.6 dB[S(1,1)]' (blue). All series show a resonance dip around 2.4 GHz. The 'fin 0,8x0.6 dB[S(1,1)]' series reaches the lowest return loss of approximately -17.5 dB at 2.4 GHz, while the 'inf opt dB[S(1,1)]' series reaches about -16 dB at the same frequency.</p>

2.

VSWR



3. Smith Chart



(Sumber: Simulasi)

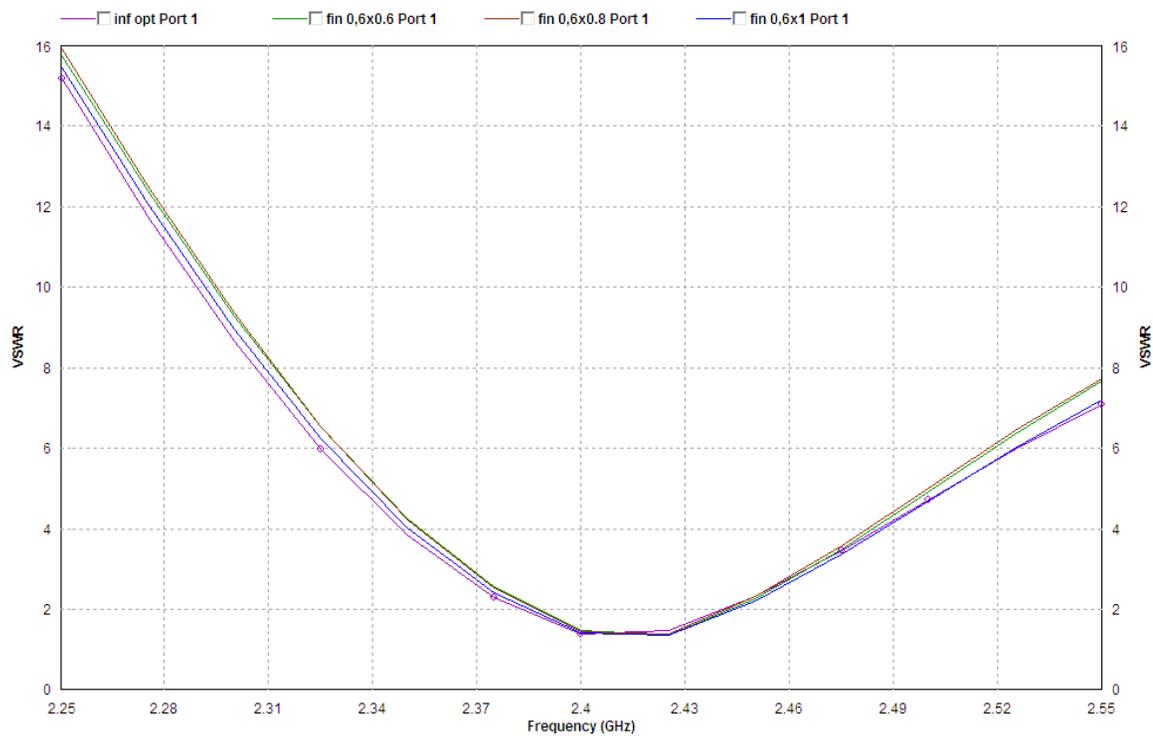
Tabel 4.6 Tabulasi Hasil Simulasi Pengaruh Dimensi *Ground Plane*

Ket: Dengan bentuk *ground plane* adalah persegi panjang (*rectangular*) dan variabel panjang (p) tetap dan lebar (l) berubah pada arah tertentu

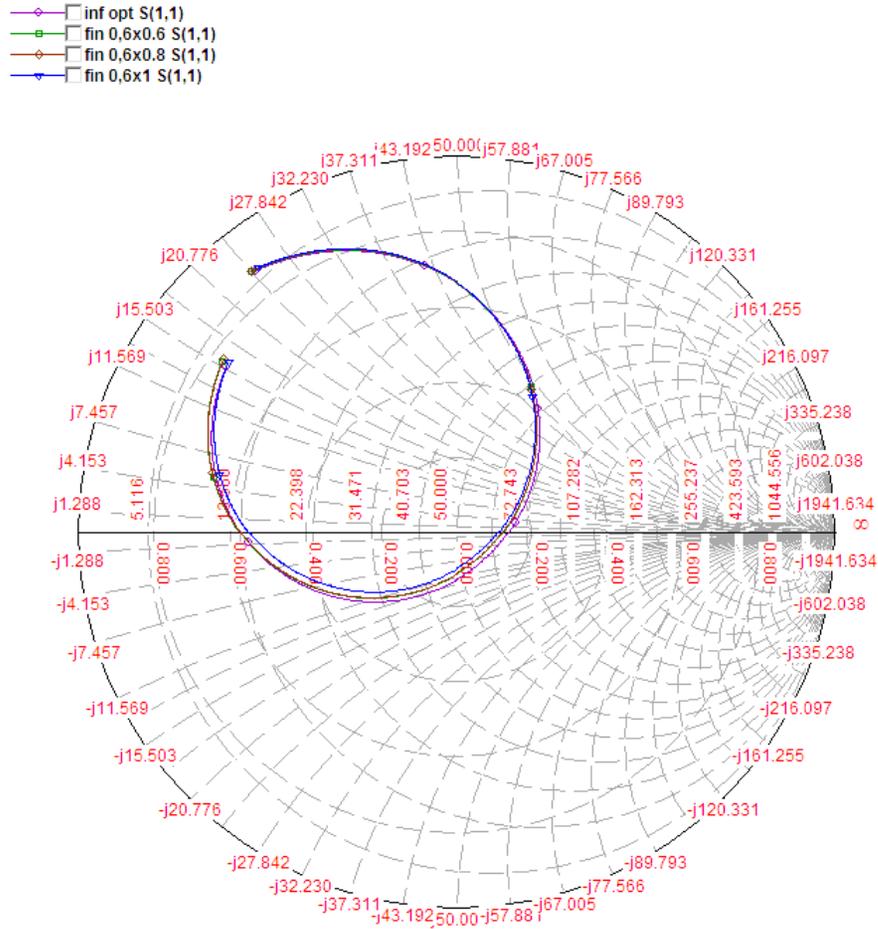
No	Parameter	Garfik
1.	Return Loss	<p>The graph displays the Return Loss (dB) as a function of Frequency (GHz) for four different ground plane configurations. The resonance frequency is consistently around 2.4 GHz. The 'inf opt' configuration shows the deepest resonance, reaching approximately -16.5 dB. The other three configurations (0.6x0.6, 0.6x0.8, and 0.6x1) show slightly higher return loss at the resonance point, around -15.5 dB to -16 dB.</p>

2.

VSWR



3. Smith Chart



(Sumber: Simulasi)

Spesifikasi perangkat keras dan konfigurasi antena yang disimulasikan mempengaruhi waktu simulasi. Ukuran *ground plane* yang semakin luas menyebabkan waktu simulasi lebih lama. Riwayat simulasi keseluruhan konfigurasi antena mikrostrip *rectangular patch* dijelaskan pada tabel 4.7.

Tabel 4.7 Riwayat Simulasi Antena *Microstrip* dengan program simulator IE3D

No.	Bentuk <i>Ground Plane</i>	Waktu (detik)
1.	<i>Infinite</i>	135
2.	$0,6 \lambda_0 \times 0,6 \lambda_0$	570
3.	$0,6 \lambda_0 \times 0,8 \lambda_0$	698
4.	$0,8 \lambda_0 \times 0,6 \lambda_0$	710
5.	$0,6 \lambda_0 \times 1 \lambda_0$	832
6.	$0,8 \lambda_0 \times 0,8 \lambda_0$	896
7.	$1 \lambda_0 \times 0,6 \lambda_0$	923
8.	$1 \lambda_0 \times 1 \lambda_0$	5286

(Sumber: Simulasi)

4.3 Pembuatan Antena *Microstrip* dengan *Finite Ground Plane*

Pada umumnya teknik pembuatan rangkaian – rangkaian *microstrip* dilakukan dengan menggunakan pasta yang dibentuk dan dicetak di atas substrat tertentu, sehingga menghasilkan komponen seperti resistor, induktor, dan kapasitor atau merupakan rangkaian fungsional lengkap.

Pada skripsi ini substrat yang digunakan adalah FR4 yang sudah dalam bentuk PCB *double layer* dan lapisan konduktornya dari bahan tembaga. Proses pembuatan antena ini berbeda dengan pembuatan rangkaian *microstrip* pada umumnya, yaitu lebih mendekati pada pencetakan alur rangkaian elektronika pada PCB.

4.3.1 Alat-Alat yang Digunakan

Bahan dan alat yang digunakan dalam pembuatan antena *microstrip* ini adalah sebagai berikut :

1. *Layout* rancangan dengan Corel Draw 11 di atas kertas kalkir dengan skala 1:1.
2. PCB dengan bahan substrat FR4 dengan lapisan konduktornya dari logam tembaga.
3. Mikrometer
4. Ulano – 133
5. *Screen T* – 180
6. Amplas *waterproof* CC – Cw
7. Gergaji besi
8. Konektor antena standar N *female*
9. Mata bor dengan diameter 2 mm

4.3.2 Pencetakan Pola Antena *Microstrip*

Pola antena *microstrip* yang akan dicetak di atas PCB terlebih dahulu digambar dengan program Corel Draw 11, untuk kemudian dicetak di atas kertas kalkir sebagai *sample layout*. Untuk menghasilkan cetakan *layout* yang bagus lebih baik kita gunakan *printer* dengan teknologi laser, supaya ketelitian dari dimensi jalur – jalurnya terjaga. Selain itu hasil *layout* dengan kertas kalkir ini harus terjaga kebersihannya, agar kotoran yang mungkin melekat padanya tidak ikut tercetak pada proses pembuatan antena *microstrip* ini.

Sebelum proses pencetakan, lembaran PCB harus dibersihkan dari debu dan kotoran lainnya yang mungkin melekat pada PCB tersebut. Pembersihan dilakukan dengan menggosokkan kompon atau kit, kemudian dicuci dengan menggunakan deterjen agar tidak ada lagi sisa kotoran yang menempel. Kemudian *screen T* – 180 kita bersihkan dengan air sabun hingga benar – benar bersih, lalu kita keringkan. Setelah *screen* kering kita lapisi dengan ulano – 133, pelapisan ini prosesnya dilakukan pada tempat yang tidak terkena cahaya apapun secara langsung (bebas dari sinar *ultraviolet*). Setelah selesai pelapisan tersebut, maka *screen* kita keringkan dengan menggunakan *hairdriyer*.

Setelah itu lembar *layout* yang kita buat sebelumnya kita letakkan di atas *screen* yang telah terlapisi ulano – 133 tersebut, untuk selanjutnya kita sinari dengan cahaya matahari \pm 1 menit. Kemudian *screen* tersebut kita bawa kembali

ke ruang yang tidak terkena sinar secara langsung, untuk proses pembasahan dengan menggunakan air, agar tercetak pola antena *microstrip* pada *screen* tersebut. Selanjutnya *screen* ini dapat digunakan untuk mencetak (menyablon) pola antena *microstrip* yang kita inginkan pada PCB yang kita gunakan.

Setelah tercetak pola antena *microstrip* yang kita inginkan, kita lakukan proses selanjutnya, yaitu proses pelarutan PCB dengan menggunakan larutan yang merupakan campuran $\text{HCl} + \text{H}_2\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O}$ dengan perbandingan 1 : 2 : 9 sampai lapisan konduktor yang tidak diinginkan larut dan hanya tersisa gambar pola antena yang kita rencanakan.

Proses selanjutnya yang merupakan proses terakhir adalah pelapisan lapisan konduktor antena *microstrip* dengan menggunakan cairan perak nitrat, yaitu dengan cara mencelupkannya ke dalam cairan perak nitrat dalam waktu ± 15 menit, sampai benar – benar seluruh lapisan konduktor telah terlapsi dengan perak. Setelah itu antena *microstrip* ini kita cuci dan kita bersihkan.



BAB V

ANALISIS HASIL SIMULASI DAN PENGUKURAN ANTENA *MICROSTRIP RECTANGULAR PATCH* DENGAN *FINITE GROUND PLANE*

5.1 Tinjauan Umum

Bab ini akan menguraikan hasil simulasi yang diperoleh dan analisisnya. Tujuan menganalisa antena adalah untuk mengetahui karakteristik antena *microstrip* yang telah disimulasi. Karakteristik antena hasil perencanaan dan simulasi diketahui dengan melakukan analisis hasil simulasi terhadap parameter – parameter antena tersebut pada frekuensi kerjanya. Parameter – parameter antena yang dianalisis dalam skripsi ini adalah meliputi :

1. Menganalisis *bandwidth*.
2. Menganalisis *gain* antena.
3. Menganalisis pola radiasi.
4. Menganalisis polarisasi.

Menganalisa parameter – parameter tersebut menggunakan Program IE3D™.

5.2 Perhitungan *Bandwidth*

5.2.1 Tujuan

Perhitungan *bandwidth* bertujuan untuk mengetahui besar nilai lebar bidang frekuensi kerja antena *rectangular patch* dengan dimensi *ground plane* yang berbeda-beda

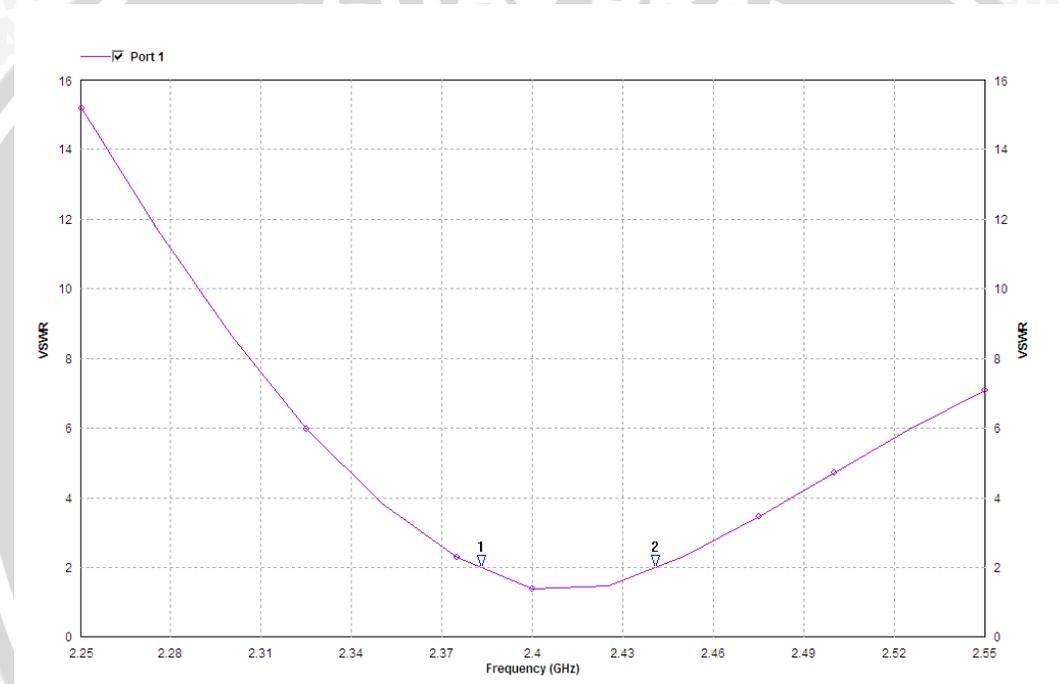
5.2.2 Hasil Perhitungan

Perhitungan *bandwidth* antena yang diuji dilakukan dengan cara menghitung selisih antara frekuensi atas dengan frekuensi bawah antena uji. Penentuan frekuensi atas dan frekuensi bawah antena dilakukan dengan cara menentukan frekuensi tertinggi dan terendah antena dimana masih memiliki nilai $VSWR \leq 2$. Berdasarkan data hasil perhitungan VSWR:

5.2.2.1 Simulasi

Bandwidth antenna didefinisikan sebagai "range frekuensi antenna dengan beberapa karakteristik, sesuai dengan standar yang telah ditentukan". Untuk *Broadband* antenna, lebar bidang dinyatakan sebagai perbandingan frekuensi operasi atas (*upper*) dengan frekuensi bawah (*lower*).

Pada simulasi, antenna *microstrip* dengan *infinite ground plane* disimulasi dengan menggunakan software IE3D (*software* untuk perencanaan antenna) pada jangkauan frekuensi yang dipakai adalah sebesar 2,25 GHz sampai dengan 2,55 GHz dapat dilihat dalam grafik 5.1:



Grafik 5.1 Grafik VSWR antenna *microstrip* dengan *infinite ground plane*

(Sumber : Simulasi)

Dari grafik 5.1, dapat dianalisis bahwa pada antenna *microstrip* dengan *infinite ground plane* memiliki frekuensi terendah pada frekuensi 2,38315 GHz, dan frekuensi tertinggi antenna ini adalah pada frekuensi 2,44045 GHz. Sehingga *bandwidth* antenna ini adalah :

$$B = f_u - f_l$$

$$B = 2,44045 \text{ GHz} - 2,38315 \text{ GHz} = 0,0573 \text{ GHz} = 57,3 \text{ MHz}$$

Bandwidth dalam persen (persamaan 2.19) :

$$B_p = \frac{f_u - f_l}{f_c} \times 100 \% = \frac{57,3}{2411,8} \times 100 \% = 2,38 \%$$

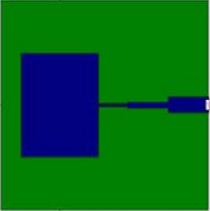
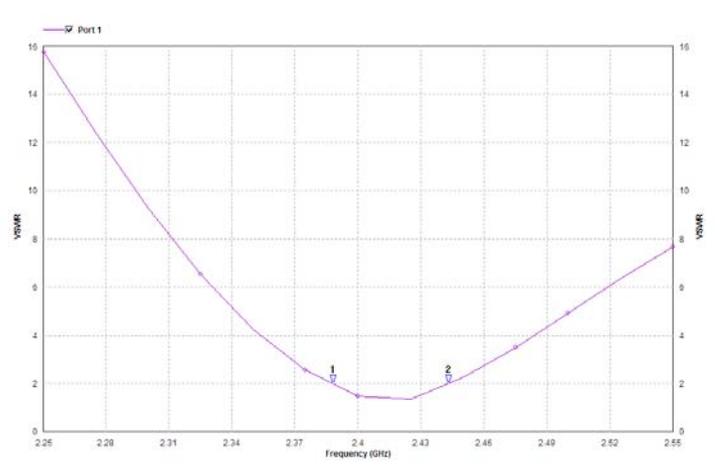
Bandwidth antenna hasil pengukuran masih lebih besar dari *bandwidth* hasil perencanaan yang hanya sebesar 46,4 MHz. Dengan melakukan simulasi pada dimensi *ground plane* yang lain pada kondisi yang berbeda akan didapatkan *bandwidth* yang dilihat dalam tabel dibawah ini.

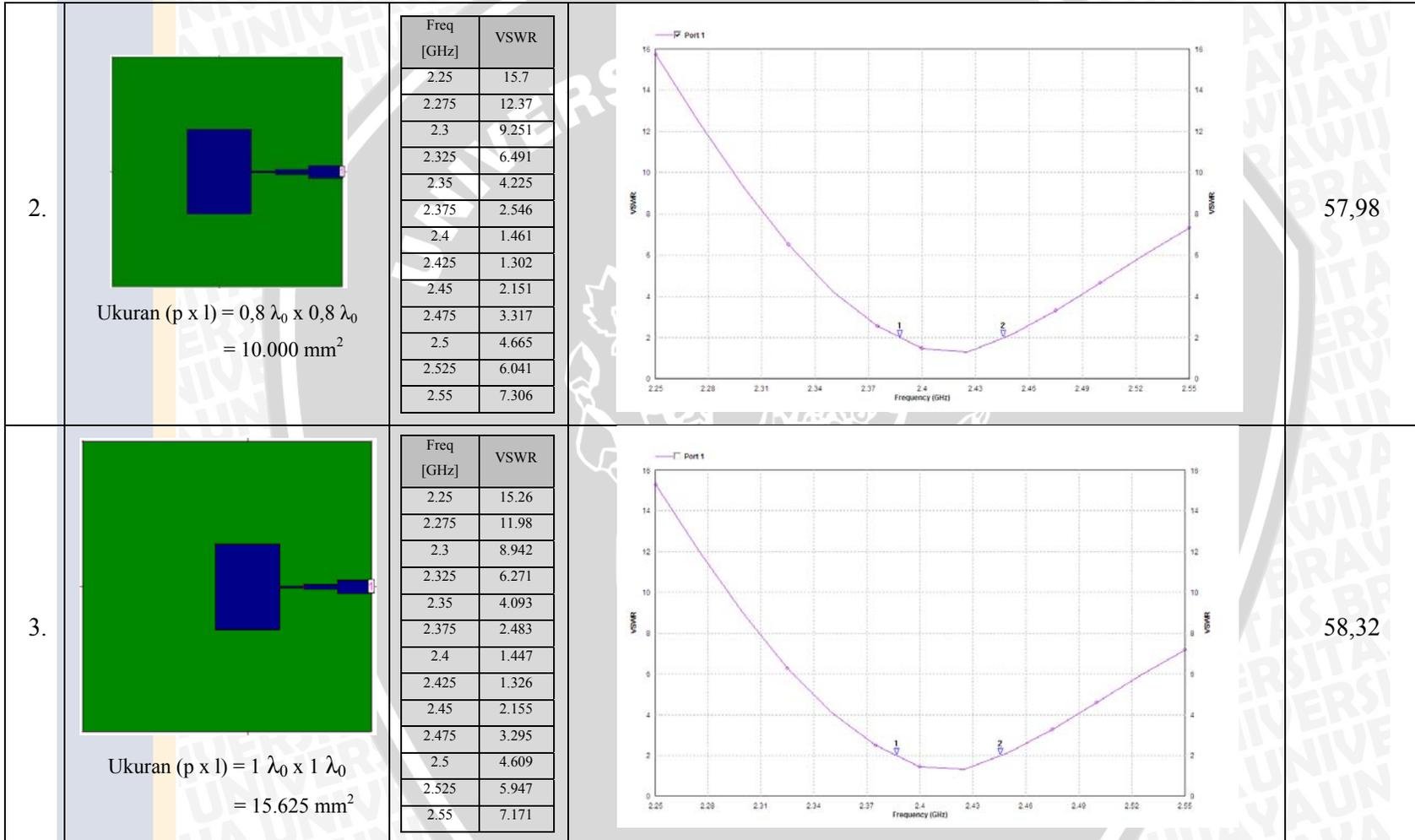
UNIVERSITAS BRAWIJAYA



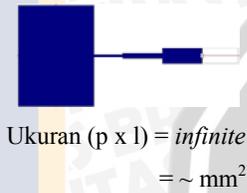
Tabel 5.1 Tabulasi Hasil Simulasi Pengaruh Dimensi *Ground Plane* terhadap *Bandwidth*

Ket: Dengan bentuk *ground plane* adalah persegi panjang (*rectangular*) dan variabel panjang (p) dan lebar (l) berubah pada arah tertentu

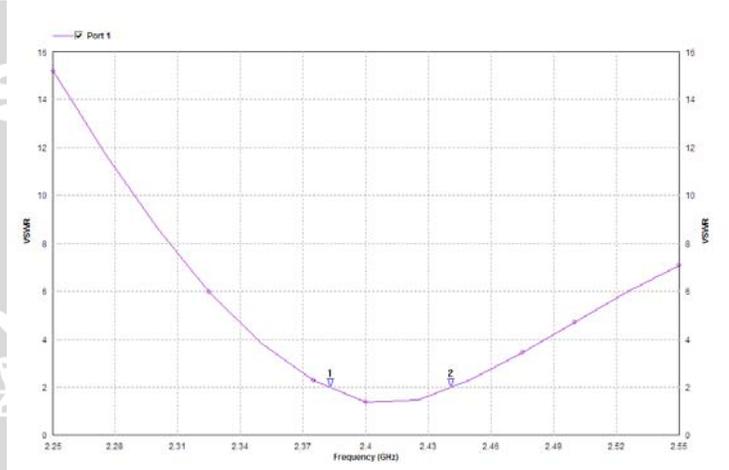
No	Bentuk Antena <i>Microstrip Rectangular Patch</i> dengan Konfigurasi <i>Ground Plane</i>	Tabel VSWR	Grafik VSWR	<i>Bandwidth</i> (MHz)																												
1.	 <p data-bbox="304 932 617 997">Ukuran (p x l) = $0,6 \lambda_0 \times 0,6 \lambda_0$ = $5,625 \text{ mm}^2$</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Freq [GHz]</th> <th>VSWR</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>2.25</td><td>15.73</td></tr> <tr><td>2.275</td><td>12.4</td></tr> <tr><td>2.3</td><td>9.278</td></tr> <tr><td>2.325</td><td>6.513</td></tr> <tr><td>2.35</td><td>4.237</td></tr> <tr><td>2.375</td><td>2.548</td></tr> <tr><td>2.4</td><td>1.467</td></tr> <tr><td>2.425</td><td>1.366</td></tr> <tr><td>2.45</td><td>2.252</td></tr> <tr><td>2.475</td><td>3.486</td></tr> <tr><td>2.5</td><td>4.912</td></tr> <tr><td>2.525</td><td>6.355</td></tr> <tr><td>2.55</td><td>7.663</td></tr> </tbody> </table>	Freq [GHz]	VSWR	2.25	15.73	2.275	12.4	2.3	9.278	2.325	6.513	2.35	4.237	2.375	2.548	2.4	1.467	2.425	1.366	2.45	2.252	2.475	3.486	2.5	4.912	2.525	6.355	2.55	7.663		54,94
Freq [GHz]	VSWR																															
2.25	15.73																															
2.275	12.4																															
2.3	9.278																															
2.325	6.513																															
2.35	4.237																															
2.375	2.548																															
2.4	1.467																															
2.425	1.366																															
2.45	2.252																															
2.475	3.486																															
2.5	4.912																															
2.525	6.355																															
2.55	7.663																															



4.



Freq [GHz]	VSWR
2.25	15.18
2.275	11.76
2.3	8.643
2.325	5.965
2.35	3.833
2.375	2.304
2.4	1.374
2.425	1.463
2.45	2.325
2.475	3.463
2.5	4.729
2.525	5.975
2.55	7.078



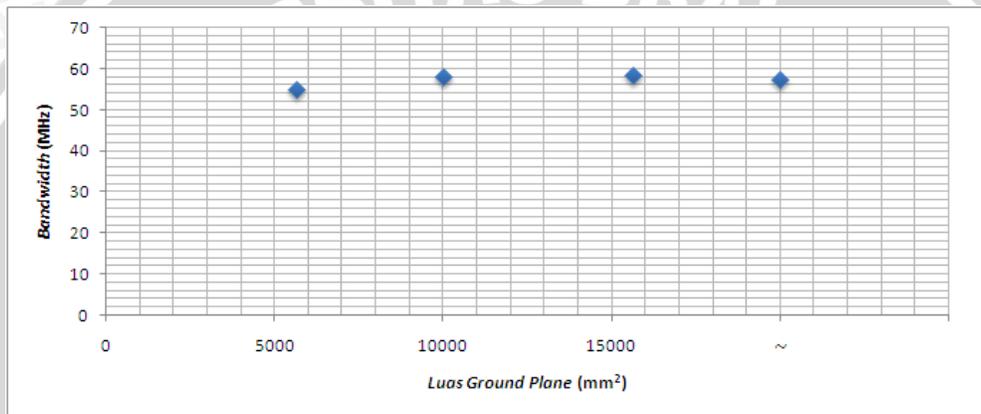
57,3

(Sumber: Simulasi)

Berdasarkan hasil analisis perhitungan *bandwidth* antenna *microstrip* pada tabel 5.1 dapat diketahui bahwa:

- *Bandwidth* yang dimilikinya semakin besar.
- *Bandwidth* yang paling maksimal terjadi pada antenna yang memiliki *ground plane* dengan dimensi $1\lambda_0 \times 1\lambda_0$ (15.625 mm^2) yaitu sebesar 58,32 MHz.
- Antena mengalami pergeseran frekuensi resonansi.

Pengaruh dimensi *ground plane* pada kondisi panjang dan lebar dimensi *ground plane* yang berubah-ubah ditunjukkan pada grafik 5.2.

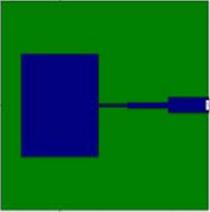
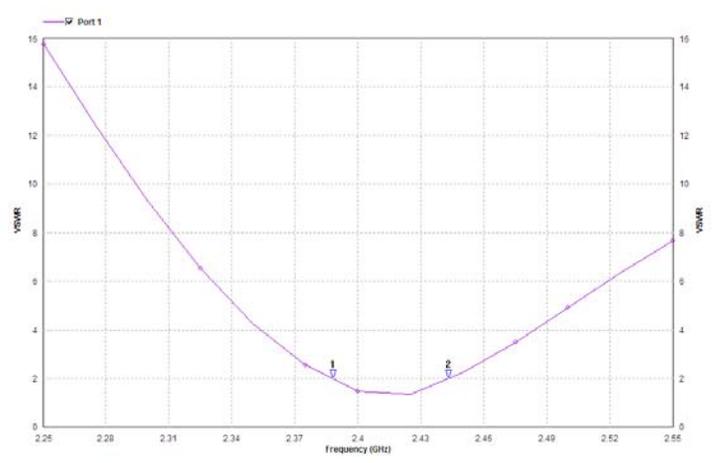


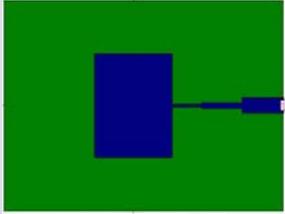
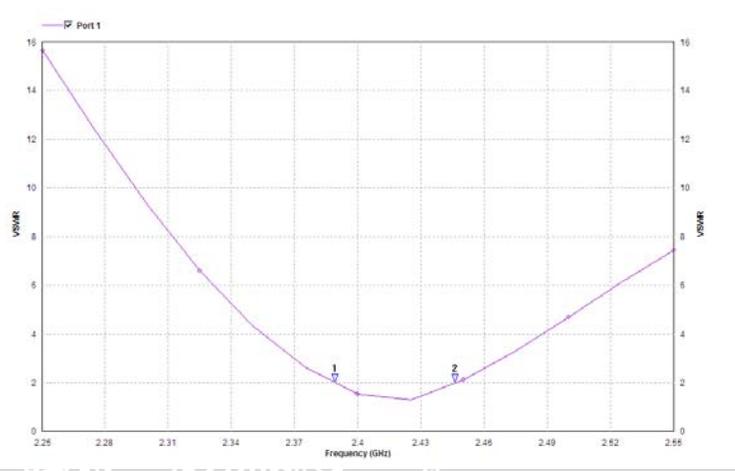
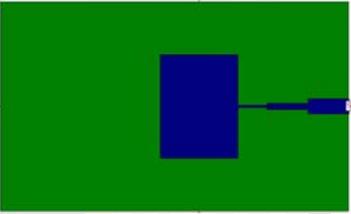
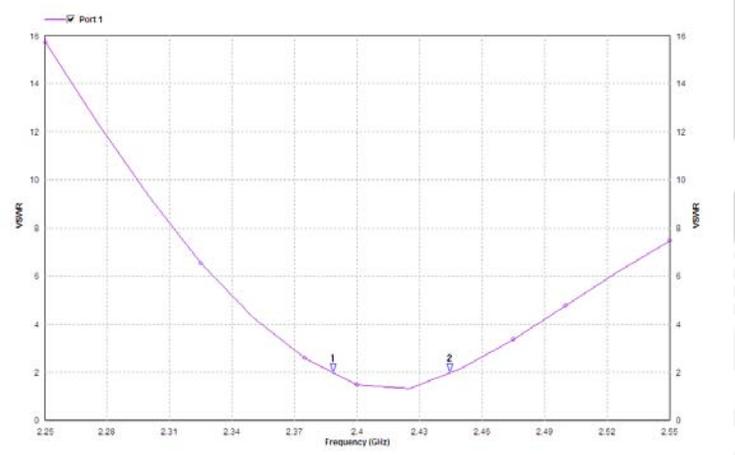
Grafik 5.2 Grafik hubungan *bandwidth* antenna *microstrip* dengan luas *ground plane* pada kondisi panjang dan lebar dimensi *ground plane* yang berubah-ubah pada frekuensi 2,4 GHz

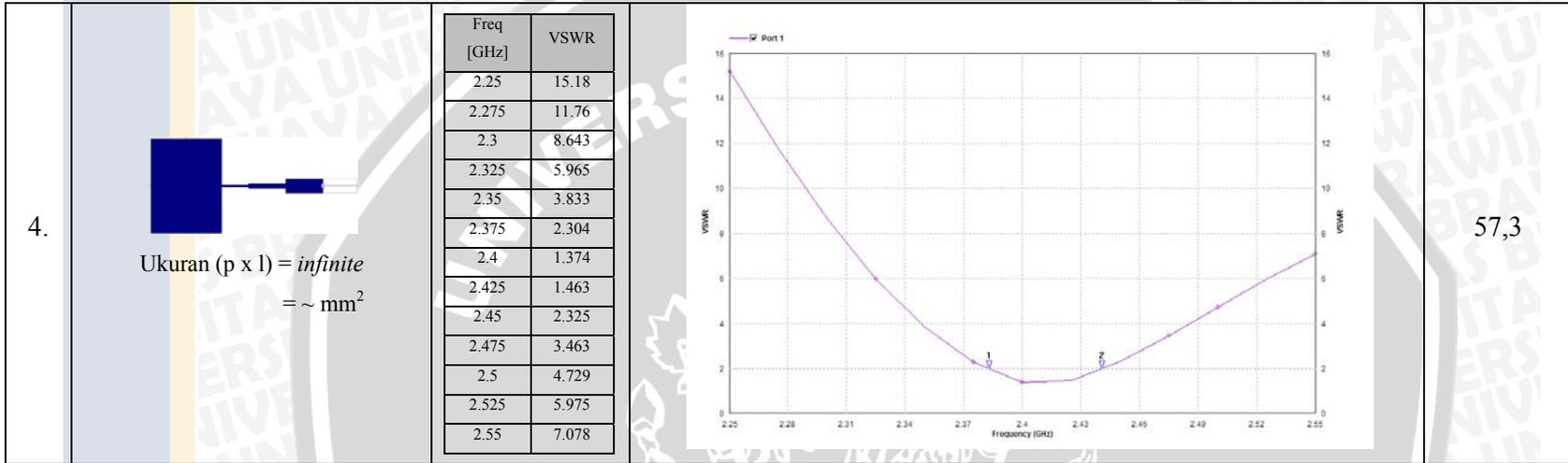
(Sumber : Simulasi)

Tabel 5.2 Tabulasi Hasil Simulasi Pengaruh Dimensi *Ground Plane* terhadap *Bandwidth*

Ket: Dengan bentuk *ground plane* adalah persegi panjang (*rectangular*) dan variabel panjang (p) berubah dan lebar (l) tetap pada arah tertentu

No.	Bentuk Antena <i>Microstrip Rectangular Patch</i> dengan Konfigurasi <i>Ground Plane</i>	Tabel VSWR	Grafik VSWR	<i>Bandwidth</i> (MHz)																												
1.	 <p data-bbox="304 987 619 1060">Ukuran (p x l) = $0,6 \lambda_0 \times 0,6 \lambda$ = 5.625 mm^2</p>	<table border="1" data-bbox="667 678 850 1149"> <thead> <tr> <th>Freq [GHz]</th> <th>VSWR</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>2.25</td><td>15.73</td></tr> <tr><td>2.275</td><td>12.4</td></tr> <tr><td>2.3</td><td>9.278</td></tr> <tr><td>2.325</td><td>6.513</td></tr> <tr><td>2.35</td><td>4.237</td></tr> <tr><td>2.375</td><td>2.548</td></tr> <tr><td>2.4</td><td>1.467</td></tr> <tr><td>2.425</td><td>1.366</td></tr> <tr><td>2.45</td><td>2.252</td></tr> <tr><td>2.475</td><td>3.486</td></tr> <tr><td>2.5</td><td>4.912</td></tr> <tr><td>2.525</td><td>6.355</td></tr> <tr><td>2.55</td><td>7.663</td></tr> </tbody> </table>	Freq [GHz]	VSWR	2.25	15.73	2.275	12.4	2.3	9.278	2.325	6.513	2.35	4.237	2.375	2.548	2.4	1.467	2.425	1.366	2.45	2.252	2.475	3.486	2.5	4.912	2.525	6.355	2.55	7.663		54,94
Freq [GHz]	VSWR																															
2.25	15.73																															
2.275	12.4																															
2.3	9.278																															
2.325	6.513																															
2.35	4.237																															
2.375	2.548																															
2.4	1.467																															
2.425	1.366																															
2.45	2.252																															
2.475	3.486																															
2.5	4.912																															
2.525	6.355																															
2.55	7.663																															

<p>2.</p>	 <p>Ukuran (p x l) = $0,8 \lambda_0 \times 0,6 \lambda_0$ = 7.500 mm^2</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Freq [GHz]</th> <th>VSWR</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>2.25</td><td>15.6</td></tr> <tr><td>2.275</td><td>12.35</td></tr> <tr><td>2.3</td><td>9.296</td></tr> <tr><td>2.325</td><td>6.575</td></tr> <tr><td>2.35</td><td>4.322</td></tr> <tr><td>2.375</td><td>2.629</td></tr> <tr><td>2.4</td><td>1.519</td></tr> <tr><td>2.425</td><td>1.291</td></tr> <tr><td>2.45</td><td>2.124</td></tr> <tr><td>2.475</td><td>3.304</td></tr> <tr><td>2.5</td><td>4.689</td></tr> <tr><td>2.525</td><td>6.112</td></tr> <tr><td>2.55</td><td>7.418</td></tr> </tbody> </table>	Freq [GHz]	VSWR	2.25	15.6	2.275	12.35	2.3	9.296	2.325	6.575	2.35	4.322	2.375	2.629	2.4	1.519	2.425	1.291	2.45	2.124	2.475	3.304	2.5	4.689	2.525	6.112	2.55	7.418		<p>57,3</p>
Freq [GHz]	VSWR																															
2.25	15.6																															
2.275	12.35																															
2.3	9.296																															
2.325	6.575																															
2.35	4.322																															
2.375	2.629																															
2.4	1.519																															
2.425	1.291																															
2.45	2.124																															
2.475	3.304																															
2.5	4.689																															
2.525	6.112																															
2.55	7.418																															
<p>3.</p>	 <p>Ukuran (p x l) = $1 \lambda_0 \times 0,6 \lambda_0$ = 9.375 mm^2</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Freq [GHz]</th> <th>VSWR</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>2.25</td><td>15.7</td></tr> <tr><td>2.275</td><td>12.39</td></tr> <tr><td>2.3</td><td>9.289</td></tr> <tr><td>2.325</td><td>6.539</td></tr> <tr><td>2.35</td><td>4.271</td></tr> <tr><td>2.375</td><td>2.581</td></tr> <tr><td>2.4</td><td>1.487</td></tr> <tr><td>2.425</td><td>1.323</td></tr> <tr><td>2.45</td><td>2.179</td></tr> <tr><td>2.475</td><td>3.376</td></tr> <tr><td>2.5</td><td>4.766</td></tr> <tr><td>2.525</td><td>6.182</td></tr> <tr><td>2.55</td><td>7.473</td></tr> </tbody> </table>	Freq [GHz]	VSWR	2.25	15.7	2.275	12.39	2.3	9.289	2.325	6.539	2.35	4.271	2.375	2.581	2.4	1.487	2.425	1.323	2.45	2.179	2.475	3.376	2.5	4.766	2.525	6.182	2.55	7.473		<p>56,29</p>
Freq [GHz]	VSWR																															
2.25	15.7																															
2.275	12.39																															
2.3	9.289																															
2.325	6.539																															
2.35	4.271																															
2.375	2.581																															
2.4	1.487																															
2.425	1.323																															
2.45	2.179																															
2.475	3.376																															
2.5	4.766																															
2.525	6.182																															
2.55	7.473																															

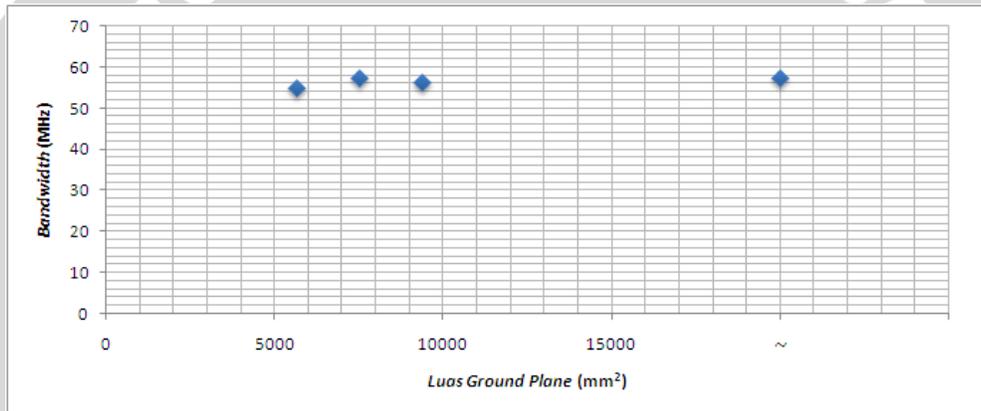


(Sumber: Simulasi)

Berdasarkan hasil analisis perhitungan *bandwidth* antenna *microstrip* pada tabel 5.2 dapat diketahui bahwa:

- *Bandwidth* yang dimilikinya semakin besar, kecuali pada dimensi $1\lambda_0 \times 0,6\lambda_0$ (9.375 mm^2) nilai *bandwidth* menurun.
- *Bandwidth* yang paling maksimal terjadi pada antenna yang memiliki *ground plane* dengan dimensi $0,8\lambda_0 \times 0,6\lambda_0$ (7.500 mm^2) yaitu sebesar 57,3 MHz.
- Antena mengalami pergeseran frekuensi resonansi.

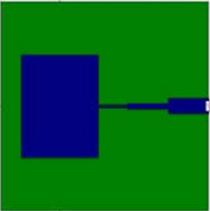
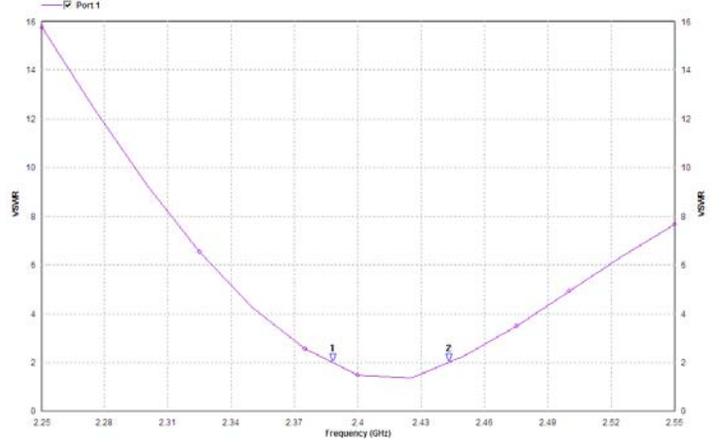
Pengaruh dimensi *ground plane* pada kondisi panjang dimensi *ground plane* berubah-ubah dengan lebar dimensi *ground plane* tetap ditunjukkan pada grafik 5.3.

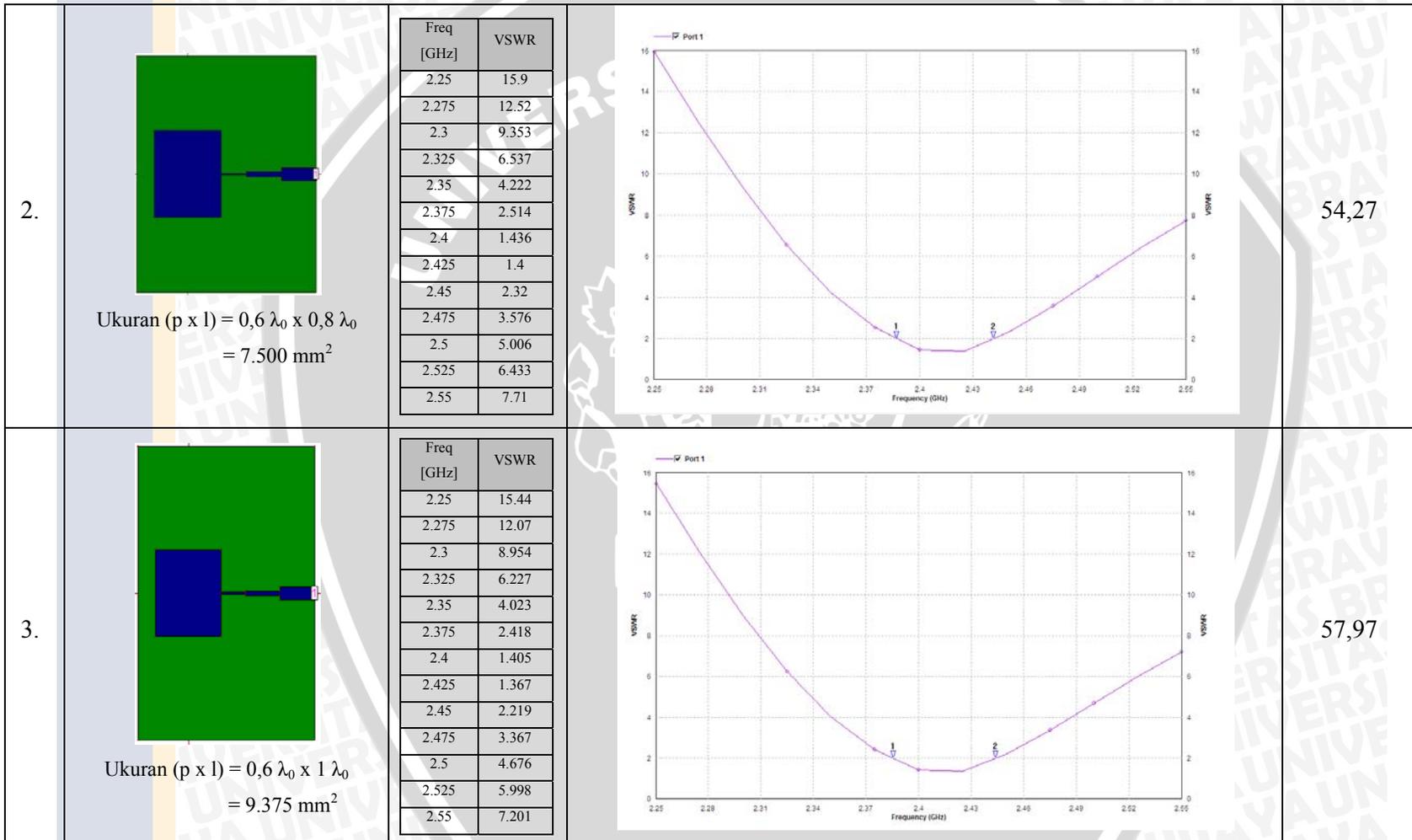


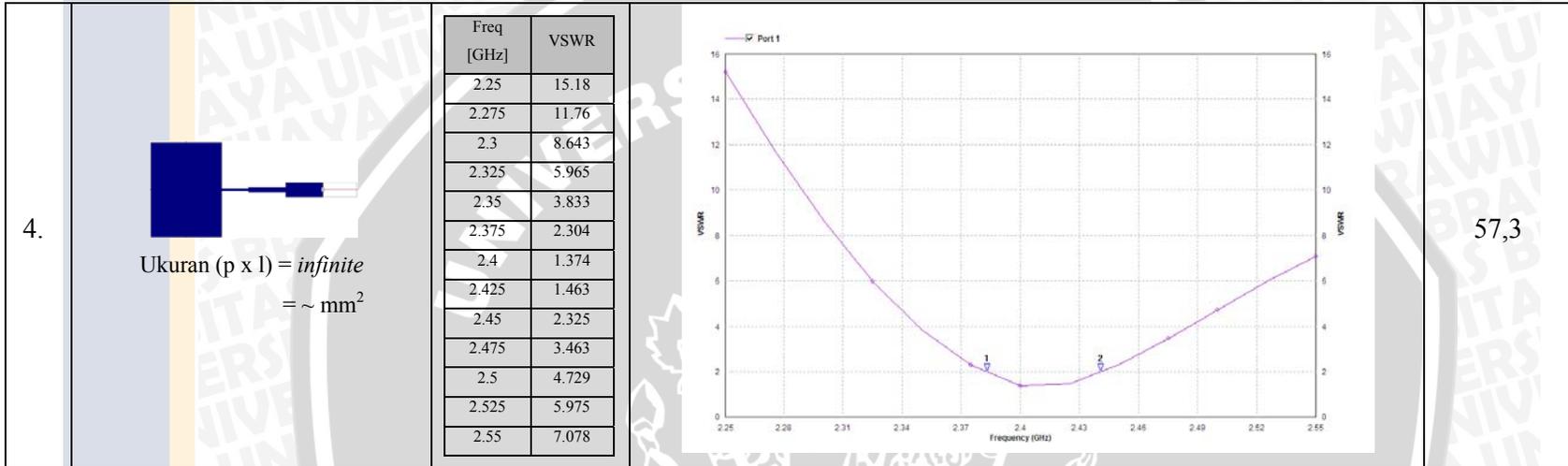
Grafik 5.3 Grafik hubungan *bandwidth* antenna *microstrip* dengan luas *ground plane* pada kondisi panjang dimensi *ground plane* berubah-ubah dengan lebar dimensi *ground plane* tetap pada frekuensi 2,4 GHz
(Sumber : Simulasi)

Tabel 5.3 Tabulasi Hasil Simulasi Pengaruh Dimensi *Ground Plane* terhadap *Bandwidth*

Ket: Dengan bentuk *ground plane* adalah persegi panjang (*rectangular*) dan variabel panjang (p) tetap dan lebar (l) berubah pada arah tertentu

No.	Bentuk Antena <i>Microstrip Rectangular Patch</i> dengan Konfigurasi <i>Ground Plane</i>	Tabel VSWR	Grafik VSWR	<i>Bandwidth</i> (MHz)																												
1.	 <p data-bbox="310 984 615 1052">Ukuran (p x l) = $0,6 \lambda_0 \times 0,6 \lambda$ = $5,625 \text{ mm}^2$</p>	<table border="1" data-bbox="667 675 850 1144"> <thead> <tr> <th>Freq [GHz]</th> <th>VSWR</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>2.25</td><td>15.73</td></tr> <tr><td>2.275</td><td>12.4</td></tr> <tr><td>2.3</td><td>9.278</td></tr> <tr><td>2.325</td><td>6.513</td></tr> <tr><td>2.35</td><td>4.237</td></tr> <tr><td>2.375</td><td>2.548</td></tr> <tr><td>2.4</td><td>1.467</td></tr> <tr><td>2.425</td><td>1.366</td></tr> <tr><td>2.45</td><td>2.252</td></tr> <tr><td>2.475</td><td>3.486</td></tr> <tr><td>2.5</td><td>4.912</td></tr> <tr><td>2.525</td><td>6.355</td></tr> <tr><td>2.55</td><td>7.663</td></tr> </tbody> </table>	Freq [GHz]	VSWR	2.25	15.73	2.275	12.4	2.3	9.278	2.325	6.513	2.35	4.237	2.375	2.548	2.4	1.467	2.425	1.366	2.45	2.252	2.475	3.486	2.5	4.912	2.525	6.355	2.55	7.663		54,94
Freq [GHz]	VSWR																															
2.25	15.73																															
2.275	12.4																															
2.3	9.278																															
2.325	6.513																															
2.35	4.237																															
2.375	2.548																															
2.4	1.467																															
2.425	1.366																															
2.45	2.252																															
2.475	3.486																															
2.5	4.912																															
2.525	6.355																															
2.55	7.663																															



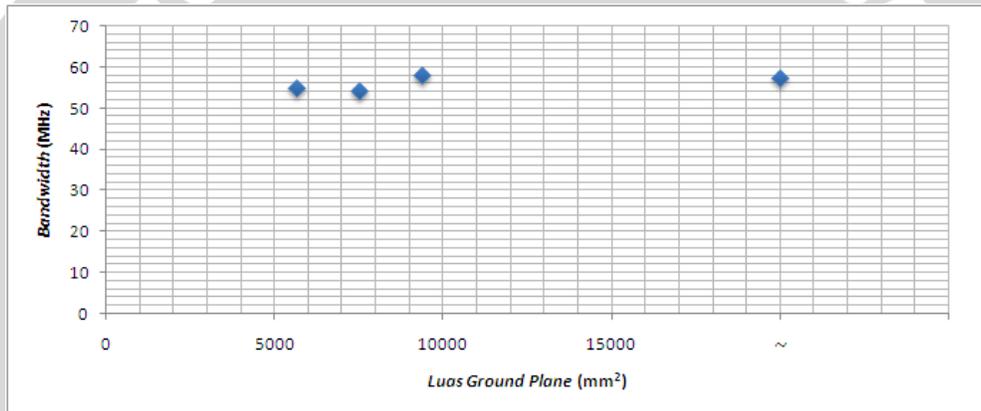


(Sumber: Simulasi)

Berdasarkan hasil analisis perhitungan *bandwidth* antenna *microstrip* pada tabel 5.3 dapat diketahui bahwa:

- *Bandwidth* yang dimilikinya semakin kecil, kecuali pada dimensi $0,6\lambda_0 \times 1\lambda_0$ (9.375 mm^2) nilai *bandwidth* meningkat.
- *Bandwidth* yang paling maksimal terjadi pada antenna yang memiliki *ground plane* dengan dimensi $0,6\lambda_0 \times 1\lambda_0$ (9.375 mm^2) yaitu sebesar 57,97 MHz.
- Antena mengalami pergeseran frekuensi resonansi.

Pengaruh dimensi *ground plane* pada kondisi panjang dimensi *ground plane* tetap dengan lebar dimensi *ground plane* berubah-ubah ditunjukkan pada grafik 5.4.



Grafik 5.4 Grafik hubungan *bandwidth* antenna *microstrip* dengan luas *ground plane* pada kondisi panjang dimensi *ground plane* tetap dengan lebar dimensi *ground plane* berubah-ubah pada frekuensi 2,4 GHz
(Sumber : Simulasi)

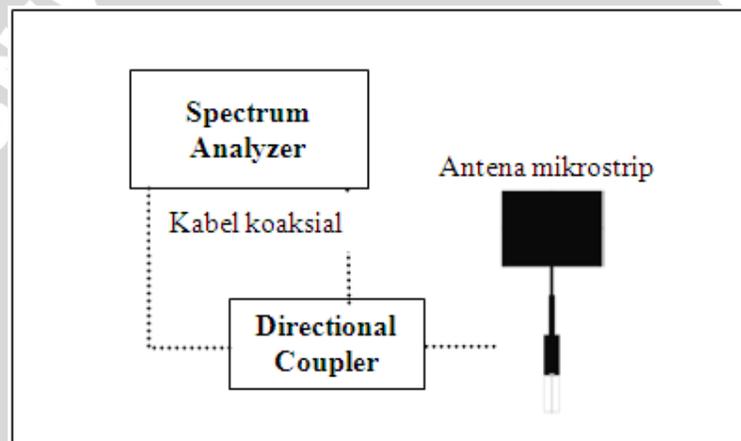
5.2.2.2 Pengukuran

5.2.2.2.1 Alat-Alat yang Digunakan

1. *Spectrum Analyzer GSP-827 2,7 GHz Gw INSTEK*
2. *Directional Coupler*
3. Antena uji (antena *microstrip* dengan *finite ground plane* $1 \lambda_0 \times 1 \lambda_0$)
4. Kabel koaksial RG-58A/U
5. Konektor N *Female*

5.2.2.2 Prosedur Pengukuran

1. Menghidupkan alat ukur *Spectrum Analyzer* GSP-827
2. Menghubungkan RF input pada *Spectrum Analyzer* GSP-827 dengan *directional coupler*, ujung lain dari *directional coupler* dihubungkan dengan TG output pada *Spectrum Analyzer* GSP-827. Hal ini dilakukan untuk mengetahui level daya dari *Tracking Generator* (TG).
3. Menghubungkan RF input pada *Spectrum Analyzer* GSP-827 dengan *directional coupler*, ujung lain dari *directional coupler* dihubungkan dengan TG output pada *Spectrum Analyzer* GSP-827. Sedangkan antenna uji dihubungkan dengan ujung *directional coupler* yang lainnya, sehingga terbentuk rangkaian seperti pada gambar 5.1.



Gambar 5.1 Rangkaian pengukuran *Return Loss*
(Sumber : Pengukuran)

4. Mengatur alat ukur *Spectrum Analyzer* GSP-827 pada frekuensi 2400 MHz
5. Mencatat nilai level daya yang ditunjukkan oleh alat ukur pada frekuensi 2400 MHz.

5.2.2.3 Hasil Pengukuran

Berdasarkan hasil pengukuran diperoleh level daya antenna pada frekuensi 2.400 MHz sebesar -38,3 dBm. Untuk mengetahui nilai *return loss*, perlu diketahui besarnya level daya TG dan redaman pada *directional coupler*. Nilai *return loss* minimal diketahui dengan menggunakan persamaan 5.1.

$$RL_{\min} = \text{level daya TG} + RL_{\text{ref}} + \text{DC attenuator} \quad (5.1)$$

Dengan:

RL_{min} = *return loss* minimal

level daya TG = level daya dari *Tracking Generator*, sebesar -8 dBm

RL_{ref} = *return loss* referensi, sebesar -10 dB

DC attenuator = redaman pada *Directional Coupler*, sebesar -20 dBm

Dari persamaan 5.1 diperoleh *return loss* minimal sebesar:

$RL_{min} = \text{level daya TG} + RL_{ref} + \text{DC attenuator}$

$RL_{min} = -8 + (-10) + (-20)$

$RL_{min} = -38 \text{ dB}$

Sedangkan untuk *return loss* antenna pada frekuensi 2,4 GHz adalah sebesar:

$RL_{ant} = -38,3 - (-28)$

$RL_{ant} = -10,3 \text{ dB}$

Dengan cara perhitungan yang sama, data hasil pengukuran *Return Loss* antenna dapat dilihat pada tabel 5.4.

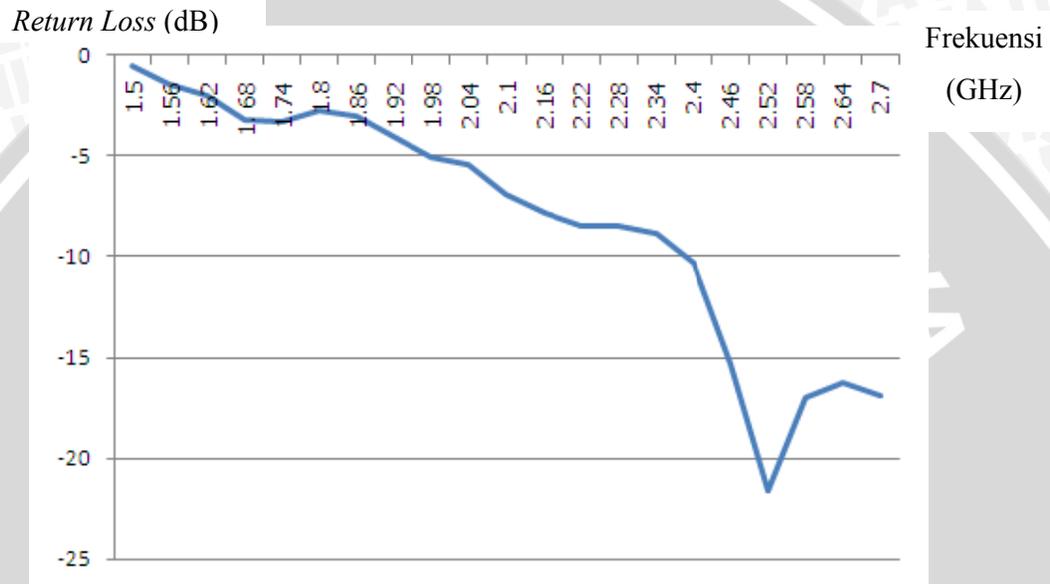
Tabel 5.4 Hasil pengukuran *Return Loss* antenna *microstrip* dengan *finite ground plane* $1 \lambda_0 \times 1 \lambda_0$

No.	Frekuensi (GHz)	Level Daya (dBm)	Return Loss (dB)
1	1,5	- 28,5	- 0,5
2	1,56	- 29,4	- 1,4
3	1,62	- 30	- 2
4	1,68	-31,2	- 3,2
5	1,74	- 31,3	- 3,3
6	1,8	- 30,7	- 2,7
7	1,86	- 31	- 3
8	1,92	- 32	- 4
9	1,98	- 33	- 5
10	2,04	- 33,4	- 5,4
11	2,1	- 34,9	- 6,9
12	2,16	- 35,8	- 7,8
13	2,22	- 36,5	- 8,5
14	2,28	-36,5	- 8,5
15	2,34	- 36,8	- 8,8
16	2,4	- 38,3	- 10,3
17	2,46	- 43,2	- 15,3
18	2,52	- 49,6	- 21,6

19	2,58	- 45	- 17
20	2,64	- 44,2	- 16,2
21	2,7	- 44,9	- 16,9

(Sumber: Pengukuran)

Selanjutnya dari data hasil pengukuran *return loss* dapat dibuat grafik fungsi *return loss* terhadap frekuensi, seperti ditunjukkan pada grafik 5.5.



Grafik 5.5 Grafik fungsi *return loss* terhadap frekuensi antenna *microstrip* dengan *finite ground plane* $1 \lambda_0 \times 1 \lambda_0$

(Sumber : Pengukuran)

Berdasarkan data hasil pengukuran *return loss*, antenna *microstrip* dengan *finite ground plane* dengan dimensi $1\lambda_0 \times 1\lambda_0$ (15.625 mm^2) memiliki frekuensi terendah pada frekuensi 2,395 GHz, dan frekuensi tertinggi antenna ini tidak dapat ditentukan karena keterbatasan *Spectrum Analyzer* yang memiliki batas frekuensi hingga 2.700 MHz. Sehingga *bandwidth* antenna ini adalah $> 300 \text{ MHz}$.

Bandwidth antenna hasil pengukuran masih lebih besar dari *bandwidth* hasil perencanaan yang hanya sebesar 46,4 MHz.

5.2.3 Analisis Hasil Perhitungan

Berdasarkan hasil analisis perhitungan *bandwidth* antena *microstrip* di atas dapat diketahui bahwa:

1. Besarnya *bandwidth* antena *microstrip* dipengaruhi oleh dimensi *ground plane*, diantaranya:
 - Pada kondisi panjang dan lebar dimensi *ground plane* yang berubah-ubah, *bandwidth* yang dimilikinya semakin besar.
 - Pada kondisi panjang dimensi *ground plane* berubah-ubah dengan lebar dimensi *ground plane* tetap, *bandwidth* yang dimilikinya semakin besar kecuali pada dimensi $1\lambda_0 \times 0,6\lambda_0$ ($9,375 \text{ mm}^2$) nilai *bandwidth* menurun.
 - Pada kondisi panjang dimensi *ground plane* tetap dengan lebar dimensi *ground plane* berubah-ubah, *bandwidth* yang dimilikinya semakin kecil kecuali pada dimensi $0,6\lambda_0 \times 1\lambda_0$ ($9,375 \text{ mm}^2$) nilai *bandwidth* meningkat.
2. *Bandwidth* antena *microstrip rectangular patch* dengan dimensi $1\lambda_0 \times 1\lambda_0$ ($15,625 \text{ mm}^2$) hasil pengukuran lebih besar dari *bandwidth* hasil simulasi yang hanya sebesar 58,32 MHz.
3. Antena mengalami pergeseran frekuensi resonansi.

5.3 Perhitungan Gain Antena

5.3.1 Tujuan

Tujuan perhitungan *gain* antena adalah untuk mengetahui besar *gain* masing-masing antena *microstrip rectangular* dengan dimensi *ground plane* yang berbeda-beda .

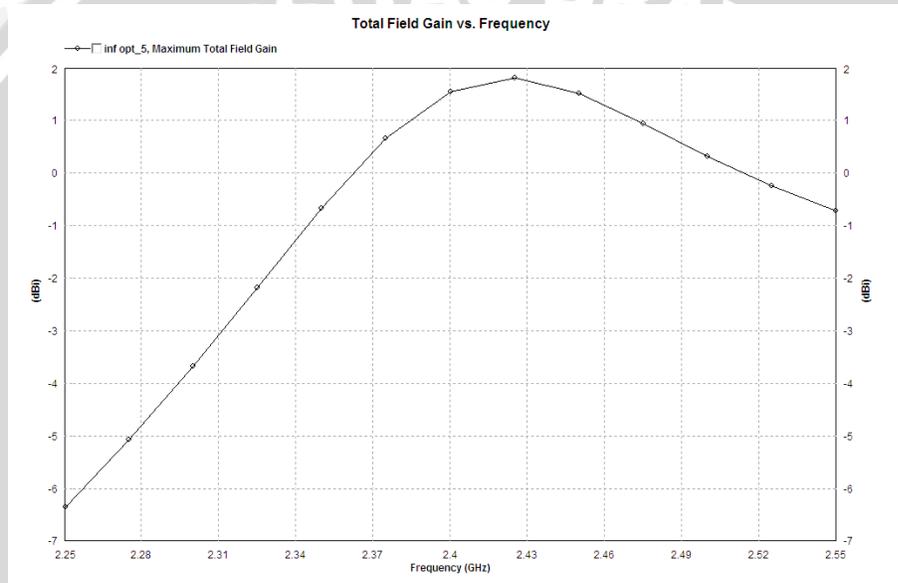
5.3.2 Hasil Perhitungan

Perhitungan *gain* antena yang dilakukan dengan cara menganalisis dari hasil simulasi dan pengukuran. Berdasarkan data hasil perhitungan *gain*:

5.3.2.1 Simulasi

Penguatan sangat erat hubungannya dengan *directivity*. Penguatan mempunyai pengertian perbandingan daya yang dipancarkan oleh antenna tertentu dibandingkan dengan *radiator isotropis* yang bentuk pola radiasinya menyerupai bola.

Pada simulasi, antenna *microstrip* dengan *infinite ground plane* disimulasi dengan menggunakan software IE3D (*software* untuk perencanaan antenna) pada jangkauan frekuensi yang dipakai adalah sebesar 2,25 GHz sampai dengan 2,55 GHz dapat dilihat dalam grafik 5.6:

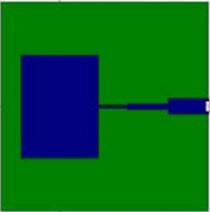
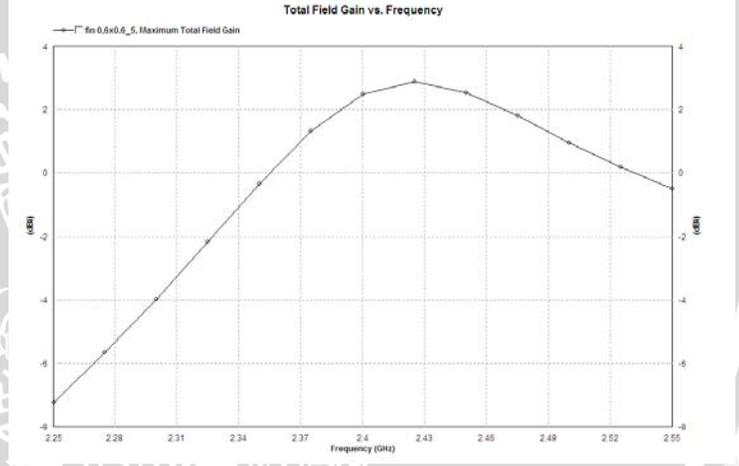


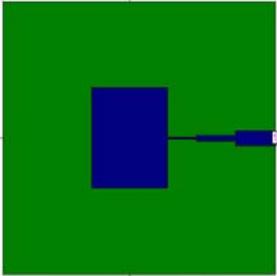
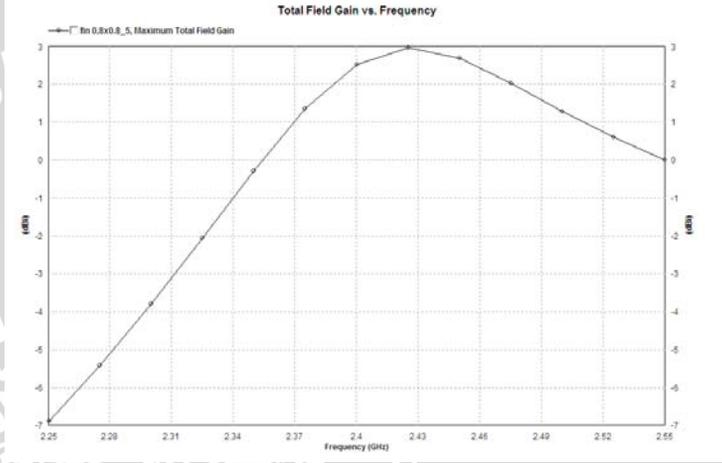
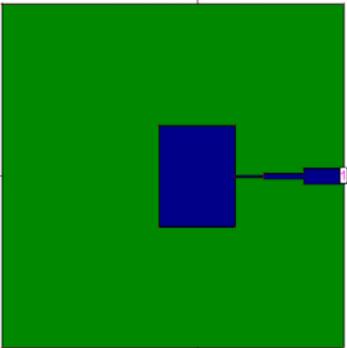
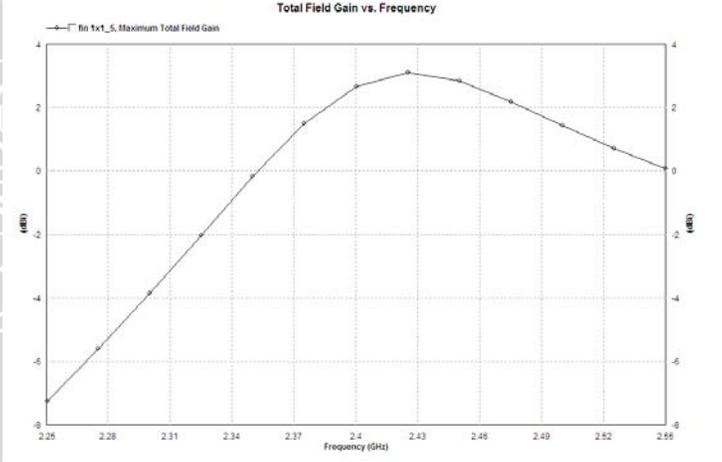
Grafik 5.6 Grafik *gain* antenna *microstrip* dengan *infinite ground plane*
(Sumber : Simulasi)

Dari grafik 5.6, dapat dianalisis bahwa pada frekuensi 2,4 GHz antenna *microstrip* dengan *infinite ground plane* memiliki Nilai *gain* antenna (G) sebesar 1,5506014447 dBi. Dengan melakukan simulasi pada dimensi *ground plane* yang lain pada kondisi yang sama akan didapatkan *bandwidth* yang dilihat dalam tabel dibawah ini.

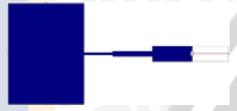
Tabel 5.5 Tabulasi Hasil Simulasi Pengaruh Dimensi *Ground Plane* terhadap *Gain*

Ket: Dengan bentuk *ground plane* adalah persegi panjang (*rectangular*) dan variabel panjang (p) dan lebar (l) berubah pada arah tertentu

No.	Bentuk Antena <i>Microstrip Rectangular Patch</i> dengan Konfigurasi <i>Ground Plane</i>	Tabel <i>Gain</i>	Grafik <i>Gain</i>	<i>Gain</i> (dBi)																												
1.	 <p>Ukuran (p x l) = $0,6 \lambda_0 \times 0,6 \lambda_0$ = 5.625 mm^2</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Freq [GHz]</th> <th><i>Gain</i> (dBi)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>2.25</td><td>-7.2224924933</td></tr> <tr><td>2.275</td><td>-5.6544514675</td></tr> <tr><td>2.3</td><td>-3.9710515004</td></tr> <tr><td>2.325</td><td>-2.1695469842</td></tr> <tr><td>2.35</td><td>-0.3440929565</td></tr> <tr><td>2.375</td><td>1.3175041721</td></tr> <tr><td>2.4</td><td>2.4823526140</td></tr> <tr><td>2.425</td><td>2.8743456031</td></tr> <tr><td>2.45</td><td>2.5303747169</td></tr> <tr><td>2.475</td><td>1.7885418545</td></tr> <tr><td>2.5</td><td>0.9472565136</td></tr> <tr><td>2.525</td><td>0.1696417339</td></tr> <tr><td>2.55</td><td>-0.4954733572</td></tr> </tbody> </table>	Freq [GHz]	<i>Gain</i> (dBi)	2.25	-7.2224924933	2.275	-5.6544514675	2.3	-3.9710515004	2.325	-2.1695469842	2.35	-0.3440929565	2.375	1.3175041721	2.4	2.4823526140	2.425	2.8743456031	2.45	2.5303747169	2.475	1.7885418545	2.5	0.9472565136	2.525	0.1696417339	2.55	-0.4954733572	 <p>Total Field Gain vs. Frequency</p>	2,4823526140
Freq [GHz]	<i>Gain</i> (dBi)																															
2.25	-7.2224924933																															
2.275	-5.6544514675																															
2.3	-3.9710515004																															
2.325	-2.1695469842																															
2.35	-0.3440929565																															
2.375	1.3175041721																															
2.4	2.4823526140																															
2.425	2.8743456031																															
2.45	2.5303747169																															
2.475	1.7885418545																															
2.5	0.9472565136																															
2.525	0.1696417339																															
2.55	-0.4954733572																															

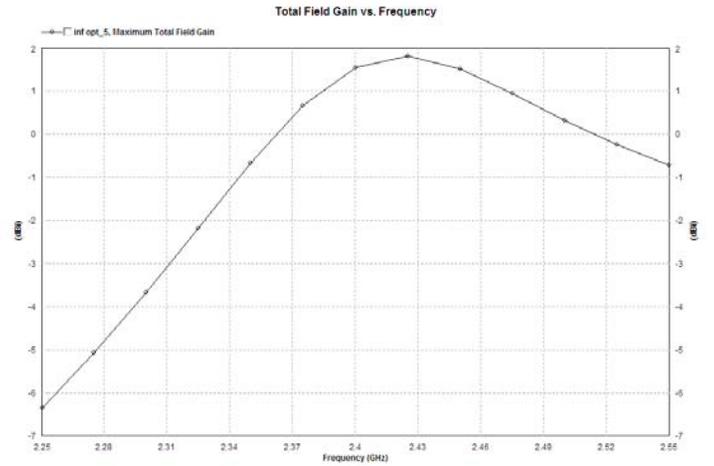
<p>2.</p>	 <p>Ukuran (p x l) = $0,8 \lambda_0 \times 0,8 \lambda_0$ = 10.000 mm^2</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Freq [GHz]</th> <th>Gain (dBi)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>2.25</td><td>-6.8894628513</td></tr> <tr><td>2.275</td><td>-5.4132380065</td></tr> <tr><td>2.3</td><td>-3.7979547469</td></tr> <tr><td>2.325</td><td>-2.0624114103</td></tr> <tr><td>2.35</td><td>-0.2955795320</td></tr> <tr><td>2.375</td><td>1.3492095142</td></tr> <tr><td>2.4</td><td>2.5143456701</td></tr> <tr><td>2.425</td><td>2.9470560640</td></tr> <tr><td>2.45</td><td>2.6800895848</td></tr> <tr><td>2.475</td><td>2.0239534235</td></tr> <tr><td>2.5</td><td>1.2840242623</td></tr> <tr><td>2.525</td><td>0.5929023020</td></tr> <tr><td>2.55</td><td>-0.0055213124</td></tr> </tbody> </table>	Freq [GHz]	Gain (dBi)	2.25	-6.8894628513	2.275	-5.4132380065	2.3	-3.7979547469	2.325	-2.0624114103	2.35	-0.2955795320	2.375	1.3492095142	2.4	2.5143456701	2.425	2.9470560640	2.45	2.6800895848	2.475	2.0239534235	2.5	1.2840242623	2.525	0.5929023020	2.55	-0.0055213124	 <p>Total Field Gain vs. Frequency</p>	<p>2,5143456701</p>
Freq [GHz]	Gain (dBi)																															
2.25	-6.8894628513																															
2.275	-5.4132380065																															
2.3	-3.7979547469																															
2.325	-2.0624114103																															
2.35	-0.2955795320																															
2.375	1.3492095142																															
2.4	2.5143456701																															
2.425	2.9470560640																															
2.45	2.6800895848																															
2.475	2.0239534235																															
2.5	1.2840242623																															
2.525	0.5929023020																															
2.55	-0.0055213124																															
<p>3.</p>	 <p>Ukuran (p x l) = $1 \lambda_0 \times 1 \lambda_0$ = 15.625 mm^2</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Freq [GHz]</th> <th>Gain (dBi)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>2.25</td><td>-7.2411551722</td></tr> <tr><td>2.275</td><td>-5.5962685367</td></tr> <tr><td>2.3</td><td>-3.8490270972</td></tr> <tr><td>2.325</td><td>-2.0220550357</td></tr> <tr><td>2.35</td><td>-0.1802438594</td></tr> <tr><td>2.375</td><td>1.4821140597</td></tr> <tr><td>2.4</td><td>2.6559808720</td></tr> <tr><td>2.425</td><td>3.0827707284</td></tr> <tr><td>2.45</td><td>2.8197965794</td></tr> <tr><td>2.475</td><td>2.1729843736</td></tr> <tr><td>2.5</td><td>1.4167407035</td></tr> <tr><td>2.525</td><td>0.7008489115</td></tr> <tr><td>2.55</td><td>0.0753654995</td></tr> </tbody> </table>	Freq [GHz]	Gain (dBi)	2.25	-7.2411551722	2.275	-5.5962685367	2.3	-3.8490270972	2.325	-2.0220550357	2.35	-0.1802438594	2.375	1.4821140597	2.4	2.6559808720	2.425	3.0827707284	2.45	2.8197965794	2.475	2.1729843736	2.5	1.4167407035	2.525	0.7008489115	2.55	0.0753654995	 <p>Total Field Gain vs. Frequency</p>	<p>2,6559808720</p>
Freq [GHz]	Gain (dBi)																															
2.25	-7.2411551722																															
2.275	-5.5962685367																															
2.3	-3.8490270972																															
2.325	-2.0220550357																															
2.35	-0.1802438594																															
2.375	1.4821140597																															
2.4	2.6559808720																															
2.425	3.0827707284																															
2.45	2.8197965794																															
2.475	2.1729843736																															
2.5	1.4167407035																															
2.525	0.7008489115																															
2.55	0.0753654995																															

4.



Ukuran (p x l) = infinite
= ~ mm²

Freq [GHz]	Gain (dBi)
2.25	-6.3571321873
2.275	-5.0655625549
2.3	-3.6663380867
2.325	-2.1781720275
2.35	-0.6726785419
2.375	0,6669246322
2.4	1.5506014447
2.425	1.8044184265
2.45	1.5094659354
2.475	0.9452173532
2.5	0.3128324170
2.525	-0.2494347892
2.55	-0.7250920233



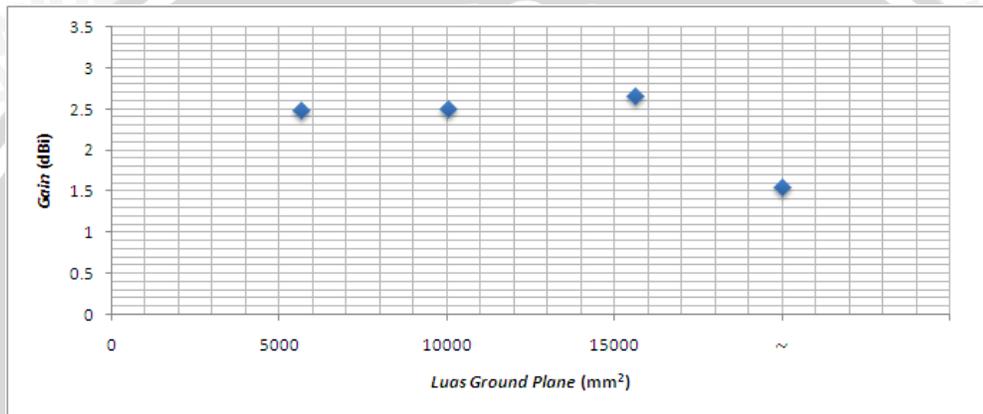
1,5506014447

(Sumber: Simulasi)

Berdasarkan hasil analisis perhitungan *gain* antenna *microstrip* pada tabel 5.5 dapat diketahui bahwa:

- *Gain* yang dimilikinya semakin besar.
- *Gain* yang paling maksimal terjadi pada antenna yang memiliki *ground plane* dengan dimensi $1\lambda_0 \times 1\lambda_0$ (15.625 mm^2) yaitu sebesar 2,6559808720 dBi.

Pengaruh dimensi *ground plane* pada kondisi panjang dan lebar dimensi *ground plane* yang berubah-ubah ditunjukkan pada grafik 5.7.

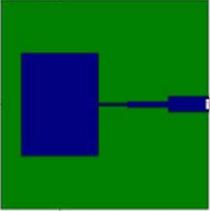
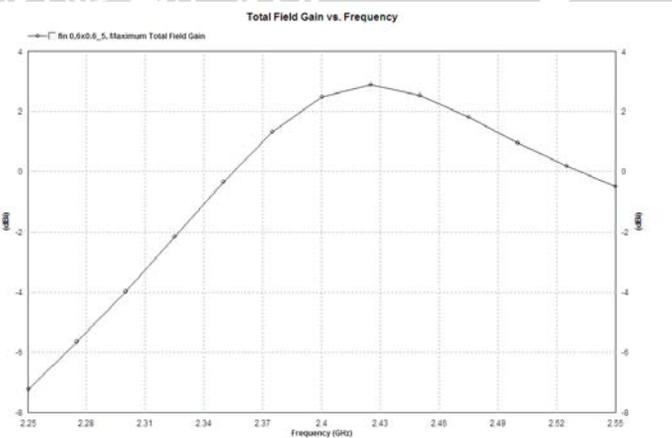


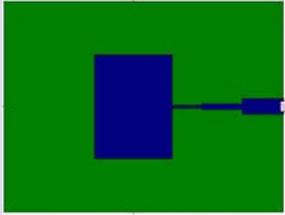
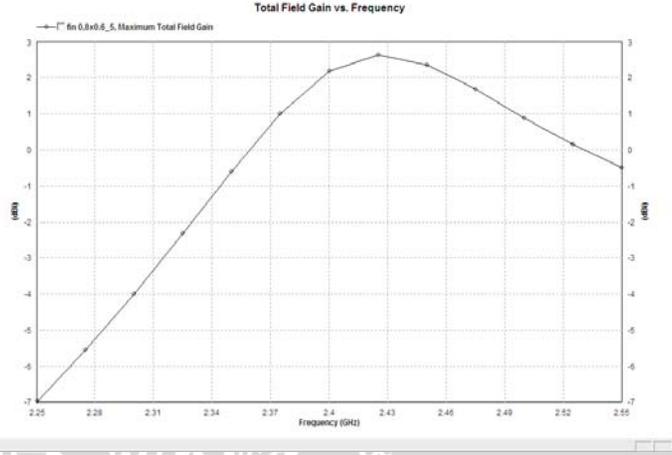
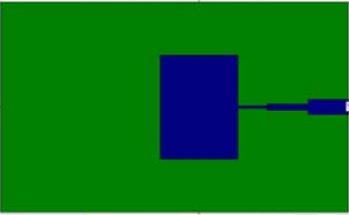
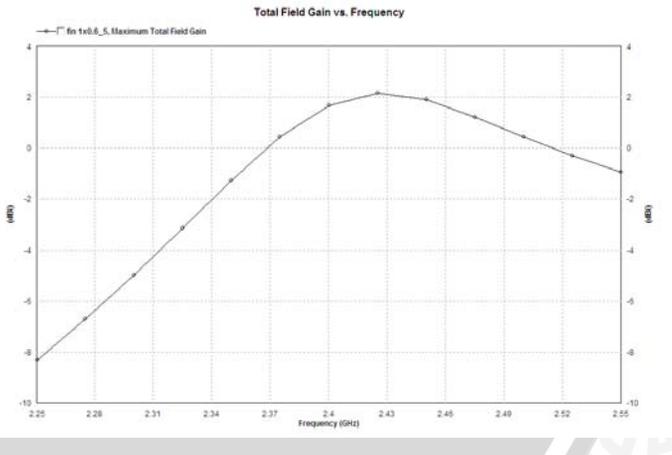
Grafik 5.7 Grafik Hubungan *gain* antenna *microstrip* dengan luas *ground plane* pada kondisi panjang dan lebar dimensi *ground plane* yang Berubah-ubah pada frekuensi 2,4 GHz

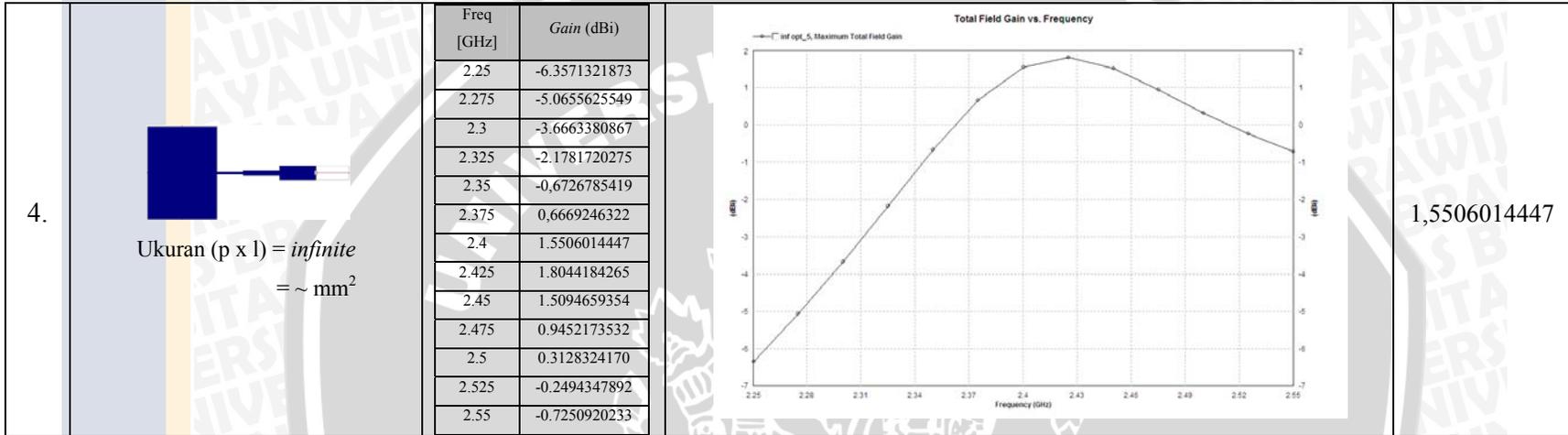
(Sumber : Simulasi)

Tabel 5.6 Tabulasi Hasil Simulasi Pengaruh Dimensi *Ground Plane* terhadap *Gain*

Ket: Dengan bentuk *ground plane* adalah persegi panjang (*rectangular*) dan variabel panjang (p) berubah dan lebar (l) tetap pada arah tertentu

No.	Bentuk Antena <i>Microstrip Rectangular Patch</i> dengan Konfigurasi <i>Ground Plane</i>	Tabel <i>Gain</i>	Grafik <i>Gain</i>	<i>Gain</i> (dBi)																												
1.	 <p data-bbox="302 971 621 1045">Ukuran (p x l) = $0,6 \lambda_0 \times 0,6 \lambda_0$ = 5.625 mm^2</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th data-bbox="661 667 758 724">Freq [GHz]</th> <th data-bbox="758 667 913 724"><i>Gain</i> (dBi)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>2.25</td><td>-7.2224924933</td></tr> <tr><td>2.275</td><td>-5.6544514675</td></tr> <tr><td>2.3</td><td>-3.9710515004</td></tr> <tr><td>2.325</td><td>-2.1695469842</td></tr> <tr><td>2.35</td><td>-0.3440929565</td></tr> <tr><td>2.375</td><td>1.3175041721</td></tr> <tr><td>2.4</td><td>2.4823526140</td></tr> <tr><td>2.425</td><td>2.8743456031</td></tr> <tr><td>2.45</td><td>2.5303747169</td></tr> <tr><td>2.475</td><td>1.7885418545</td></tr> <tr><td>2.5</td><td>0.9472565136</td></tr> <tr><td>2.525</td><td>0.1696417339</td></tr> <tr><td>2.55</td><td>-0.4954733572</td></tr> </tbody> </table>	Freq [GHz]	<i>Gain</i> (dBi)	2.25	-7.2224924933	2.275	-5.6544514675	2.3	-3.9710515004	2.325	-2.1695469842	2.35	-0.3440929565	2.375	1.3175041721	2.4	2.4823526140	2.425	2.8743456031	2.45	2.5303747169	2.475	1.7885418545	2.5	0.9472565136	2.525	0.1696417339	2.55	-0.4954733572		2,4823526140
Freq [GHz]	<i>Gain</i> (dBi)																															
2.25	-7.2224924933																															
2.275	-5.6544514675																															
2.3	-3.9710515004																															
2.325	-2.1695469842																															
2.35	-0.3440929565																															
2.375	1.3175041721																															
2.4	2.4823526140																															
2.425	2.8743456031																															
2.45	2.5303747169																															
2.475	1.7885418545																															
2.5	0.9472565136																															
2.525	0.1696417339																															
2.55	-0.4954733572																															

<p>2.</p>	 <p>Ukuran (p x l) = $0,8 \lambda_0 \times 0,6 \lambda_0$ = 7.500 mm^2</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Freq [GHz]</th> <th>Gain (dBi)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>2.25</td><td>-6.9671013849</td></tr> <tr><td>2.275</td><td>-5.5423458717</td></tr> <tr><td>2.3</td><td>-3.9990961784</td></tr> <tr><td>2.325</td><td>-2.3235050549</td></tr> <tr><td>2.35</td><td>-0.5999554874</td></tr> <tr><td>2.375</td><td>1.0037361717</td></tr> <tr><td>2.4</td><td>2.1854453146</td></tr> <tr><td>2.425</td><td>2.6185416339</td></tr> <tr><td>2.45</td><td>2.3548135835</td></tr> <tr><td>2.475</td><td>1.6705152454</td></tr> <tr><td>2.5</td><td>0,8708312430</td></tr> <tr><td>2.525</td><td>0.1353768720</td></tr> <tr><td>2.55</td><td>-0.5033611904</td></tr> </tbody> </table>	Freq [GHz]	Gain (dBi)	2.25	-6.9671013849	2.275	-5.5423458717	2.3	-3.9990961784	2.325	-2.3235050549	2.35	-0.5999554874	2.375	1.0037361717	2.4	2.1854453146	2.425	2.6185416339	2.45	2.3548135835	2.475	1.6705152454	2.5	0,8708312430	2.525	0.1353768720	2.55	-0.5033611904	 <p>Total Field Gain vs. Frequency</p> <p>Graph showing Maximum Total Field Gain (dBi) vs. Frequency (GHz) for the antenna with dimensions $0.8 \lambda_0 \times 0.6 \lambda_0$. The gain peaks at approximately 2.43 GHz.</p>	<p>2,1854453146</p>
Freq [GHz]	Gain (dBi)																															
2.25	-6.9671013849																															
2.275	-5.5423458717																															
2.3	-3.9990961784																															
2.325	-2.3235050549																															
2.35	-0.5999554874																															
2.375	1.0037361717																															
2.4	2.1854453146																															
2.425	2.6185416339																															
2.45	2.3548135835																															
2.475	1.6705152454																															
2.5	0,8708312430																															
2.525	0.1353768720																															
2.55	-0.5033611904																															
<p>3.</p>	 <p>Ukuran (p x l) = $1 \lambda_0 \times 0,6 \lambda_0$ = 9.375 mm^2</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Freq [GHz]</th> <th>Gain (dBi)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>2.25</td><td>-8.2931867686</td></tr> <tr><td>2.275</td><td>-6.6963130431</td></tr> <tr><td>2.3</td><td>-4.9692608245</td></tr> <tr><td>2.325</td><td>-3.1388659818</td></tr> <tr><td>2.35</td><td>-1.2773066029</td></tr> <tr><td>2.375</td><td>0.4326733758</td></tr> <tr><td>2.4</td><td>1.6687090266</td></tr> <tr><td>2.425</td><td>2.1410853934</td></tr> <tr><td>2.45</td><td>1.8803149074</td></tr> <tr><td>2.475</td><td>1.2127674469</td></tr> <tr><td>2.5</td><td>0.4350685566</td></tr> <tr><td>2.525</td><td>-0.3000809937</td></tr> <tr><td>2.55</td><td>-0.9380492381</td></tr> </tbody> </table>	Freq [GHz]	Gain (dBi)	2.25	-8.2931867686	2.275	-6.6963130431	2.3	-4.9692608245	2.325	-3.1388659818	2.35	-1.2773066029	2.375	0.4326733758	2.4	1.6687090266	2.425	2.1410853934	2.45	1.8803149074	2.475	1.2127674469	2.5	0.4350685566	2.525	-0.3000809937	2.55	-0.9380492381	 <p>Total Field Gain vs. Frequency</p> <p>Graph showing Maximum Total Field Gain (dBi) vs. Frequency (GHz) for the antenna with dimensions $1 \lambda_0 \times 0.6 \lambda_0$. The gain peaks at approximately 2.43 GHz.</p>	<p>1,6687090266</p>
Freq [GHz]	Gain (dBi)																															
2.25	-8.2931867686																															
2.275	-6.6963130431																															
2.3	-4.9692608245																															
2.325	-3.1388659818																															
2.35	-1.2773066029																															
2.375	0.4326733758																															
2.4	1.6687090266																															
2.425	2.1410853934																															
2.45	1.8803149074																															
2.475	1.2127674469																															
2.5	0.4350685566																															
2.525	-0.3000809937																															
2.55	-0.9380492381																															

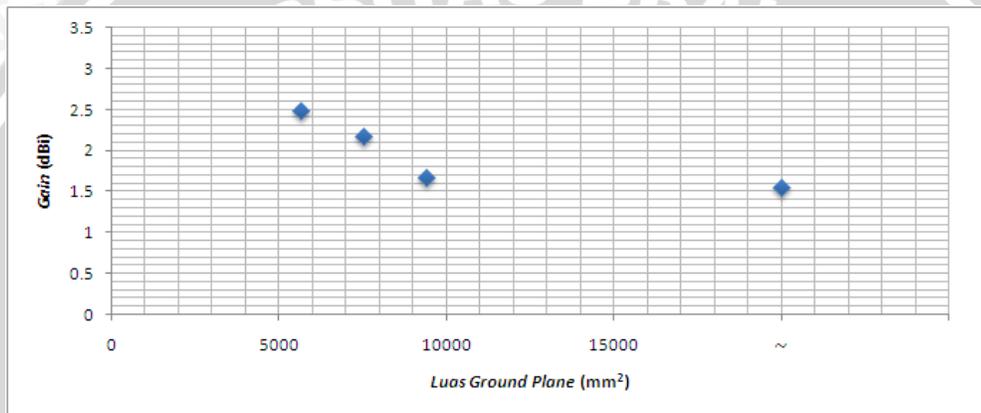


(Sumber: Simulasi)

Berdasarkan hasil analisis perhitungan *gain* antenna *microstrip* pada tabel 5.6 dapat diketahui bahwa:

- *Gain* yang dimilikinya semakin kecil.
- *Gain* yang paling maksimal terjadi pada antenna yang memiliki *ground plane* dengan dimensi $0,6\lambda_0 \times 0,6\lambda_0$ (5.625 mm^2) yaitu sebesar 2,4823526140 dBi.

Pengaruh dimensi *ground plane* pada kondisi panjang dimensi *ground plane* yang berubah-ubah dengan dan lebar dimensi *ground plane* yang tetap ditunjukkan pada grafik 5.8.

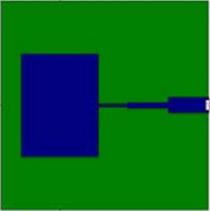
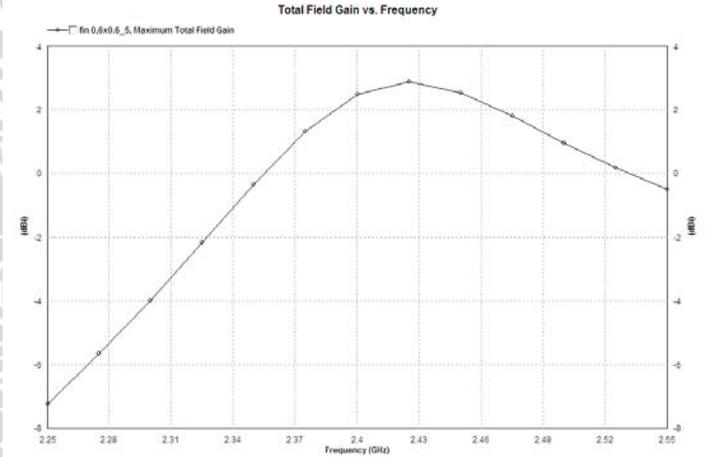


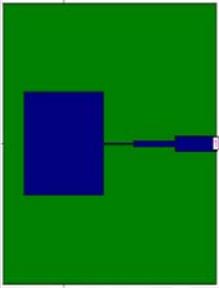
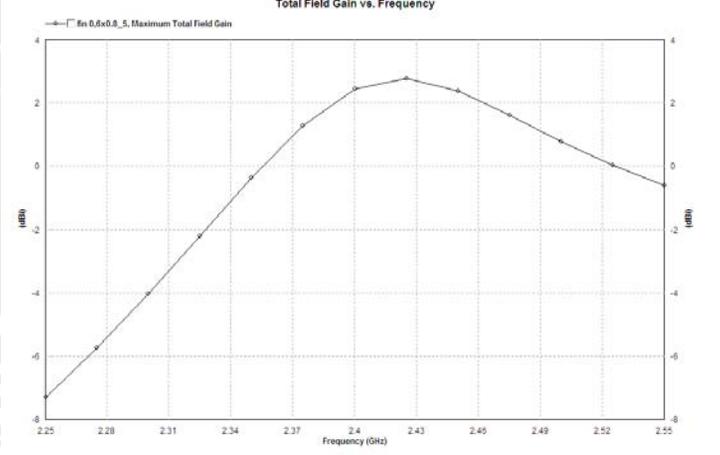
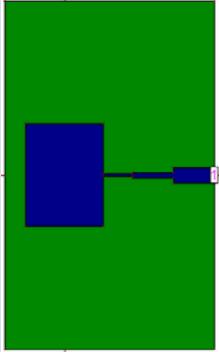
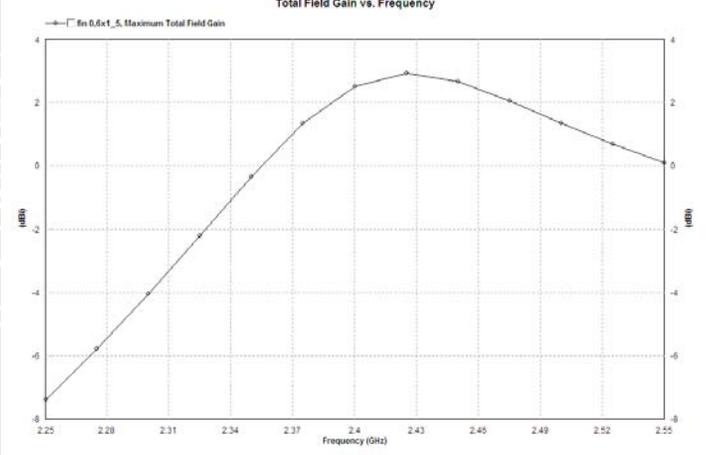
Grafik 5.8 Grafik hubungan *gain* antenna *microstrip* dengan luas *ground plane* pada kondisi panjang dimensi *ground plane* yang berubah-ubah dengan dan lebar dimensi *ground plane* yang tetap pada frekuensi 2,4 GHz

(Sumber : Simulasi)

Tabel 5.7 Tabulasi Hasil Simulasi Pengaruh Dimensi *Ground Plane* terhadap *Gain*

Ket: Dengan bentuk *ground plane* adalah persegi panjang (*rectangular*) dan variabel panjang (p) tetap dan lebar (l) berubah pada arah tertentu

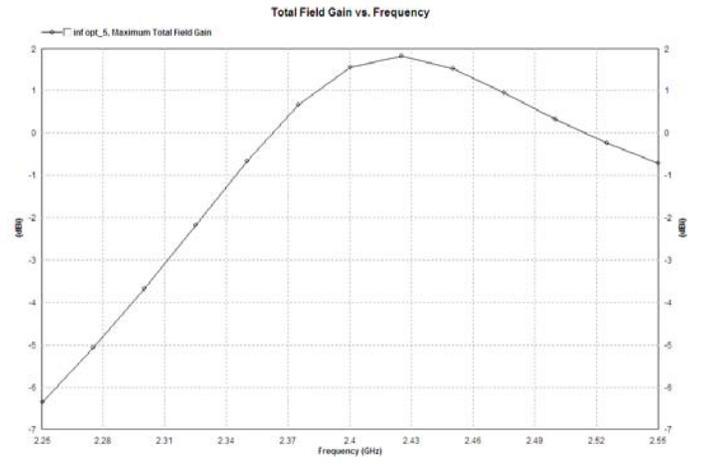
No	Bentuk Antena <i>Microstrip Rectangular Patch</i> dengan Konfigurasi <i>Ground Plane</i>	Tabel <i>Gain</i>	Grafik <i>Gain</i>	<i>Gain</i> (dBi)																												
1.	 <p data-bbox="310 980 611 1045">Ukuran (p x l) = $0,6 \lambda_0 \times 0,6 \lambda_0$ = $5,625 \text{ mm}^2$</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th data-bbox="663 670 758 727">Freq [GHz]</th> <th data-bbox="758 670 909 727"><i>Gain</i> (dBi)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>2.25</td><td>-7.2224924933</td></tr> <tr><td>2.275</td><td>-5.6544514675</td></tr> <tr><td>2.3</td><td>-3.9710515004</td></tr> <tr><td>2.325</td><td>-2.1695469842</td></tr> <tr><td>2.35</td><td>-0.3440929565</td></tr> <tr><td>2.375</td><td>1.3175041721</td></tr> <tr><td>2.4</td><td>2.4823526140</td></tr> <tr><td>2.425</td><td>2.8743456031</td></tr> <tr><td>2.45</td><td>2.5303747169</td></tr> <tr><td>2.475</td><td>1.7885418545</td></tr> <tr><td>2.5</td><td>0.9472565136</td></tr> <tr><td>2.525</td><td>0.1696417339</td></tr> <tr><td>2.55</td><td>-0.4954733572</td></tr> </tbody> </table>	Freq [GHz]	<i>Gain</i> (dBi)	2.25	-7.2224924933	2.275	-5.6544514675	2.3	-3.9710515004	2.325	-2.1695469842	2.35	-0.3440929565	2.375	1.3175041721	2.4	2.4823526140	2.425	2.8743456031	2.45	2.5303747169	2.475	1.7885418545	2.5	0.9472565136	2.525	0.1696417339	2.55	-0.4954733572		2,4823526140
Freq [GHz]	<i>Gain</i> (dBi)																															
2.25	-7.2224924933																															
2.275	-5.6544514675																															
2.3	-3.9710515004																															
2.325	-2.1695469842																															
2.35	-0.3440929565																															
2.375	1.3175041721																															
2.4	2.4823526140																															
2.425	2.8743456031																															
2.45	2.5303747169																															
2.475	1.7885418545																															
2.5	0.9472565136																															
2.525	0.1696417339																															
2.55	-0.4954733572																															

<p>2.</p>	 <p>Ukuran (p x l) = $0,6 \lambda_0 \times 0,8 \lambda_0$ = 7.500 mm^2</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Freq [GHz]</th> <th>Gain (dBi)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>2.25</td><td>-7.2978728903</td></tr> <tr><td>2.275</td><td>-5.7240650256</td></tr> <tr><td>2.3</td><td>-4.0154947409</td></tr> <tr><td>2.325</td><td>-2.2075964579</td></tr> <tr><td>2.35</td><td>-0.3757284499</td></tr> <tr><td>2.375</td><td>1.2819025793</td></tr> <tr><td>2.4</td><td>2.4323149340</td></tr> <tr><td>2.425</td><td>2.7679027488</td></tr> <tr><td>2.45</td><td>2.3668338974</td></tr> <tr><td>2.475</td><td>1.5941792943</td></tr> <tr><td>2.5</td><td>0.7648430525</td></tr> <tr><td>2.525</td><td>0.0158095569</td></tr> <tr><td>2.55</td><td>-0,6180496832</td></tr> </tbody> </table>	Freq [GHz]	Gain (dBi)	2.25	-7.2978728903	2.275	-5.7240650256	2.3	-4.0154947409	2.325	-2.2075964579	2.35	-0.3757284499	2.375	1.2819025793	2.4	2.4323149340	2.425	2.7679027488	2.45	2.3668338974	2.475	1.5941792943	2.5	0.7648430525	2.525	0.0158095569	2.55	-0,6180496832	 <p>Total Field Gain vs. Frequency</p>	<p>2,4323149340</p>
Freq [GHz]	Gain (dBi)																															
2.25	-7.2978728903																															
2.275	-5.7240650256																															
2.3	-4.0154947409																															
2.325	-2.2075964579																															
2.35	-0.3757284499																															
2.375	1.2819025793																															
2.4	2.4323149340																															
2.425	2.7679027488																															
2.45	2.3668338974																															
2.475	1.5941792943																															
2.5	0.7648430525																															
2.525	0.0158095569																															
2.55	-0,6180496832																															
<p>3.</p>	 <p>Ukuran (p x l) = $0,6 \lambda_0 \times 1 \lambda_0$ = 9.375 mm^2</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Freq [GHz]</th> <th>Gain (dBi)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>2.25</td><td>-7.3771343492</td></tr> <tr><td>2.275</td><td>-5.7730837429</td></tr> <tr><td>2.3</td><td>-4.0366587793</td></tr> <tr><td>2.325</td><td>-2.2017339898</td></tr> <tr><td>2.35</td><td>-0.3455562557</td></tr> <tr><td>2.375</td><td>1.3346006635</td></tr> <tr><td>2.4</td><td>2.5008299720</td></tr> <tr><td>2.425</td><td>2.9065850943</td></tr> <tr><td>2.45</td><td>2.6563973426</td></tr> <tr><td>2.475</td><td>2.0509925676</td></tr> <tr><td>2.5</td><td>1.3484955085</td></tr> <tr><td>2.525</td><td>0,6825739910</td></tr> <tr><td>2.55</td><td>0.1015813734</td></tr> </tbody> </table>	Freq [GHz]	Gain (dBi)	2.25	-7.3771343492	2.275	-5.7730837429	2.3	-4.0366587793	2.325	-2.2017339898	2.35	-0.3455562557	2.375	1.3346006635	2.4	2.5008299720	2.425	2.9065850943	2.45	2.6563973426	2.475	2.0509925676	2.5	1.3484955085	2.525	0,6825739910	2.55	0.1015813734	 <p>Total Field Gain vs. Frequency</p>	<p>2,5008299720</p>
Freq [GHz]	Gain (dBi)																															
2.25	-7.3771343492																															
2.275	-5.7730837429																															
2.3	-4.0366587793																															
2.325	-2.2017339898																															
2.35	-0.3455562557																															
2.375	1.3346006635																															
2.4	2.5008299720																															
2.425	2.9065850943																															
2.45	2.6563973426																															
2.475	2.0509925676																															
2.5	1.3484955085																															
2.525	0,6825739910																															
2.55	0.1015813734																															

4.

Ukuran (p x l) = infinite
= ~ mm²

Freq [GHz]	Gain (dBi)
2.25	-6.3571321873
2.275	-5.0655625549
2.3	-3.6663380867
2.325	-2.1781720275
2.35	-0.6726785419
2.375	0,6669246322
2.4	1.5506014447
2.425	1.8044184265
2.45	1.5094659354
2.475	0.9452173532
2.5	0.3128324170
2.525	-0.2494347892
2.55	-0.7250920233



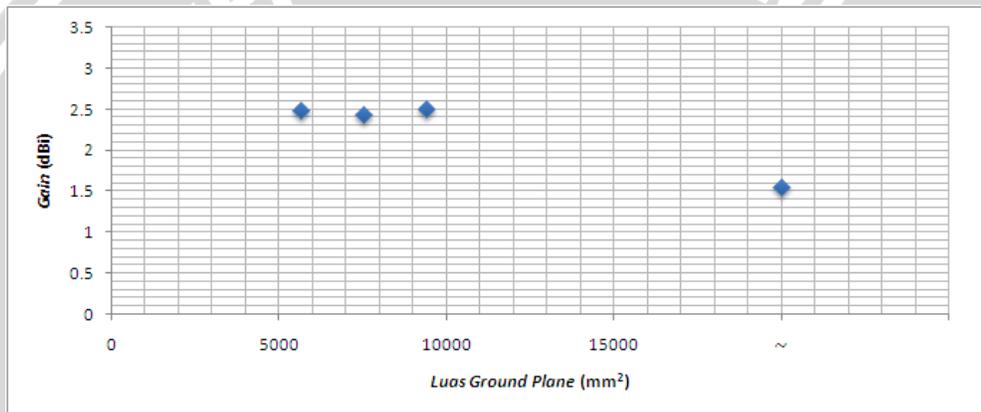
1,5506014447

(Sumber: Simulasi)

Berdasarkan hasil analisis perhitungan *gain* antenna *microstrip* pada tabel 5.7 dapat diketahui bahwa:

- *Gain* yang semakin kecil, kecuali pada dimensi $0,6\lambda_0 \times 1\lambda_0$ (9.375 mm^2) nilai *gain* meningkat.
- *Gain* yang paling maksimal terjadi pada antenna yang memiliki *ground plane* dengan dimensi $0,6\lambda_0 \times 1\lambda_0$ (9.375 mm^2) yaitu sebesar 2,5008299720 dBi.

Pengaruh dimensi *ground plane* pada kondisi panjang dimensi *ground plane* yang tetap dengan dan lebar dimensi *ground plane* yang berubah-ubah ditunjukkan pada grafik 5.9.



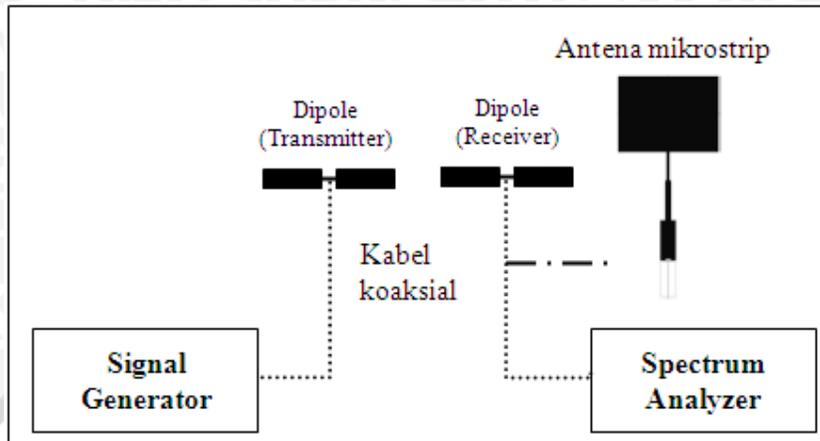
Grafik 5.9 Grafik hubungan *gain* antenna *microstrip* dengan luas *ground plane* pada kondisi panjang dimensi *ground plane* yang tetap dengan lebar dimensi *ground plane* yang Berubah-ubah pada frekuensi 2,4 GHz
(Sumber : Simulasi)

5.3.2.2 Pengukuran

5.3.2.2.1 Alat-Alat yang Digunakan

1. *Signal Generator* FR 3413 250 kHz - 3 GHz *Aeroflex*.
2. *Spectrum Analyzer* GSP-827 2,7 GHz *Gw INSTEK*
3. Dua buah antenna standar *dipole sleeve* $\lambda/2$
4. Antena uji (antena *microstrip* dengan *finite ground plane* $1 \lambda_0 \times 1 \lambda_0$)
5. Kabel koaksial RG-58A/U
6. Konektor tipe N *Female*
7. Dua Buah Tiang penyangga

5.3.2.2.2 Prosedur Pengukuran



Gambar 5.2 Rangkaian pengukuran *gain* antenna
(Sumber : Pengukuran)

1. Merangkai peralatan seperti pada gambar 5.2.
2. Antena standar *dipole* $\lambda/2$ dipasang sebagai antena pemancar dan yang kedua dipasang sebagai antena referensi pada sisi penerima.
3. *Signal Generator* diatur pada frekuensi 2250 MHz dan catat daya antena *dipole* $\lambda/2$ yang terukur pada *Spectrum Analyzer*.
4. Menaikkan frekuensi *Sweep Oscillator* menjadi 25 MHz hingga pada frekuensi 2550 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 *circular array*) hasil perancangan.
6. Mengulangi langkah 3 dan 4

5.3.2.2.3 Hasil Pengukuran

Pada pengukuran *gain* antena ini, akan diperoleh parameter – parameter yaitu daya antena referensi (P_r), daya antena yang diuji (P_u), dan penguatan antena yang diuji (G). untuk hasil pengukuran dapat dilihat pada tabel 5.8.

Tabel 5.8 Hasil pengukuran *gain* antena *microstrip*
dengan *finite ground plane* $1 \lambda_0 \times 1 \lambda_0$

No.	Frekuensi (GHz)	P_{ref} (dBm)	P_{RX} (dBm)	G (dB)
1	2,25	- 61,4	- 68,9	2,41087
2	2,275	- 53,1	- 65,6	2,65419
3	2,3	- 52,4	- 64,2	2,63225
4	2,325	- 49,8	- 62,8	2,70928
5	2,35	- 54,3	- 63,1	2,49662
6	2,375	- 66,2	- 64,2	2,08353
7	2,4	- 61,7	- 66,4	2,3121
8	2,425	- 64,4	- 63,5	2,11841
9	2,45	- 53,4	- 59,4	2,38984
10	2,475	- 56,7	- 58,6	2,22043
11	2,5	- 55,2	- 56,3	2,19125
12	2,525	- 61,2	- 57,7	2,02557
13	2,55	- 62,3	- 56,4	1,94497

(Sumber : Pengukuran)

Nilai penguatan antena (G) yang diuji diperoleh dari perhitungan data hasil pengukuran dengan menggunakan persamaan 2.10 di bawah ini :

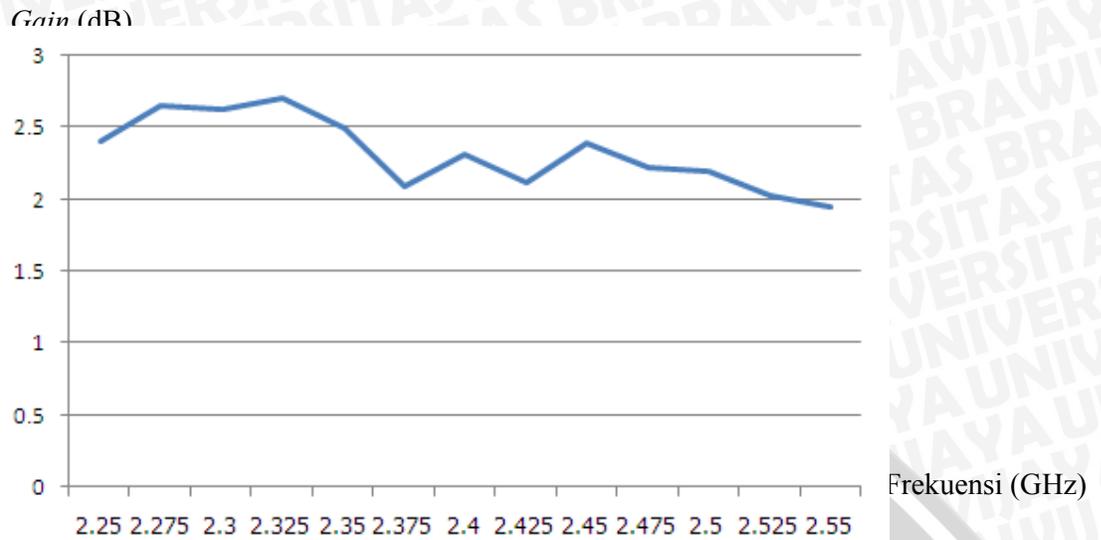
$$f_r = 2,4 \text{ GHz}$$

$$P_{ref} = - 61,7 \text{ dBm}$$

$$P_{RX} = - 66,4 \text{ dBm}$$

$$G_{ref} = 2,3121 \text{ dB}$$

Selanjutnya dari tabel 5.8 dapat pula dibuat grafik fungsi penguatan terhadap frekuensi, sebagaimana ditunjukkan pada grafik 5.10.



Grafik 5.10 Grafik gain antenna *microstrip* dengan *finite ground plane* $1 \lambda_0 \times 1 \lambda_0$

(Sumber : Pengukuran)

Berdasarkan tabel 5.8 dapat diketahui bahwa nilai *gain* antenna *microstrip rectangular patch* untuk tiap – tiap frekuensi tidak sama dan berubah – ubah. Hal ini disebabkan karena kondisi *matching* antenna yang tidak sama pada masing – masing frekuensi. Pada pengukuran ini digunakan antenna referensi adalah antenna *dipole* dengan nilai penguatan standar 2,15 dB.

Pada frekuensi perencanaan antenna yaitu 2.400 MHz antenna memiliki nilai penguatan 2,3121 dB dan mendekati dengan simulasi yaitu nilai penguatan 2,6559808720 dBi.

5.3.3 Analisis Hasil Perhitungan

Berdasarkan hasil analisis perhitungan *gain* antenna *microstrip* di atas dapat diketahui bahwa:

1. Besarnya *gain* antenna *microstrip* dipengaruhi oleh dimensi *ground plane*, diantaranya:
 - Pada kondisi panjang dan lebar dimensi *ground plane* yang berubah-ubah, *gain* yang dimilikinya semakin besar.
 - Pada kondisi panjang dimensi *ground plane* berubah-ubah dengan lebar dimensi *ground plane* tetap, *gain* yang dimilikinya semakin kecil.

- Pada kondisi panjang dimensi *ground plane* tetap dengan lebar dimensi *ground plane* berubah-ubah, *gain* yang semakin kecil kecuali pada dimensi $0,6\lambda_0 \times 1\lambda_0$ (9.375 mm^2) nilai *gain* meningkat.
2. *Gain* antena *microstrip rectangular patch* dengan dimensi $1\lambda_0 \times 1\lambda_0$ (15.625 mm^2) hasil pengukuran lebih kecil dari *gain* hasil simulasi yang hanya sebesar 2,6559808720 dBi.

5.4 Perhitungan Pola Radiasi

5.4.1 Tujuan

Tujuan perhitungan ini adalah mengetahui bentuk pola radiasi antena *microstrip rectangular patch* dengan dimensi *ground plane* yang berbeda-beda.

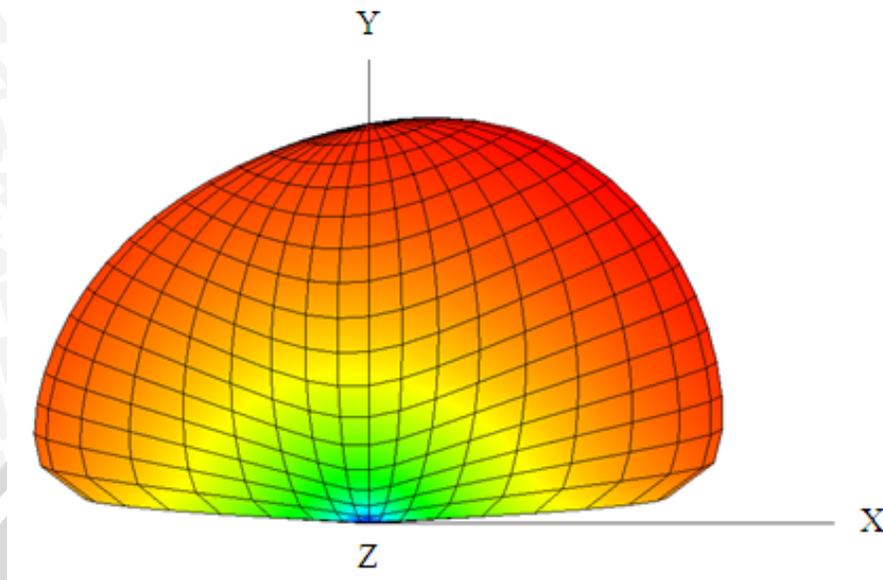
5.4.2 Hasil Perhitungan

Perhitungan pola radiasi antena yang dilakukan dengan cara menganalisis dari hasil simulasi dan pengukuran. Berdasarkan data hasil perhitungan pola radiasi:

5.4.2.1 Simulasi

Pola radiasi suatu antena didefinisikan sebagai "Gambaran secara grafik dari sifat – sifat radiasi suatu antena sebagai fungsi koordinat ruang". Dalam banyak keadaan, pola radiasi ditentukan dalam daerah medan jauh dan dipresentasikan sebagai fungsi koordinat arah.

Pada simulasi, pola radiasi antena *microstrip* dengan *infinite ground plane* disimulasi dengan menggunakan software IE3D (*software* untuk perencanaan antena) pada frekuensi 2,4 GHz dapat dilihat dalam gambar 5.3:

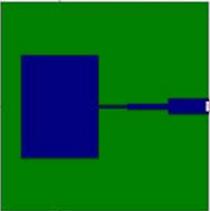
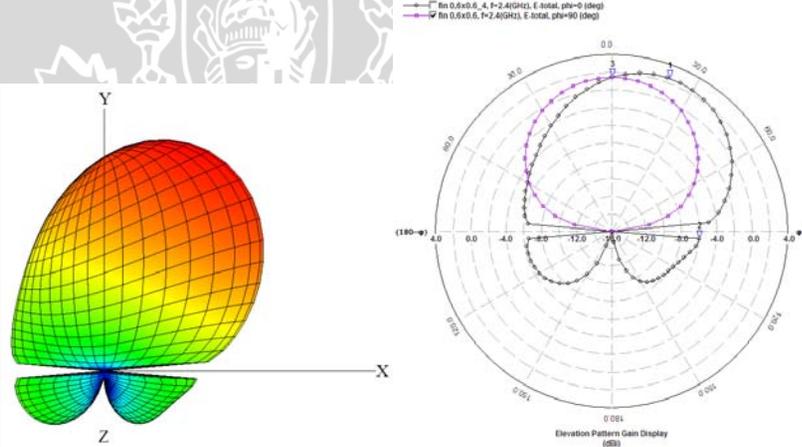


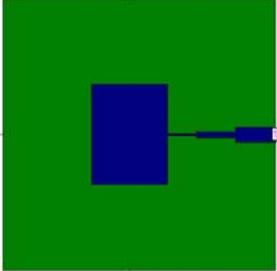
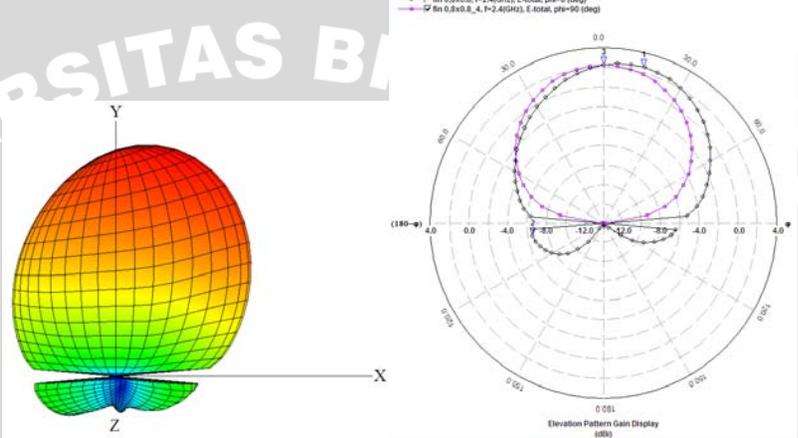
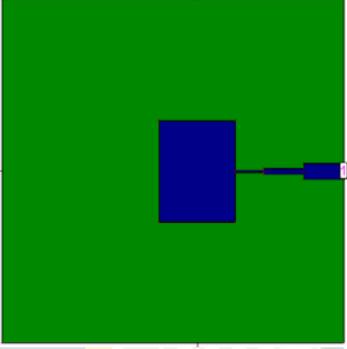
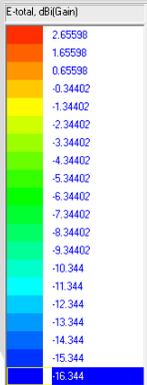
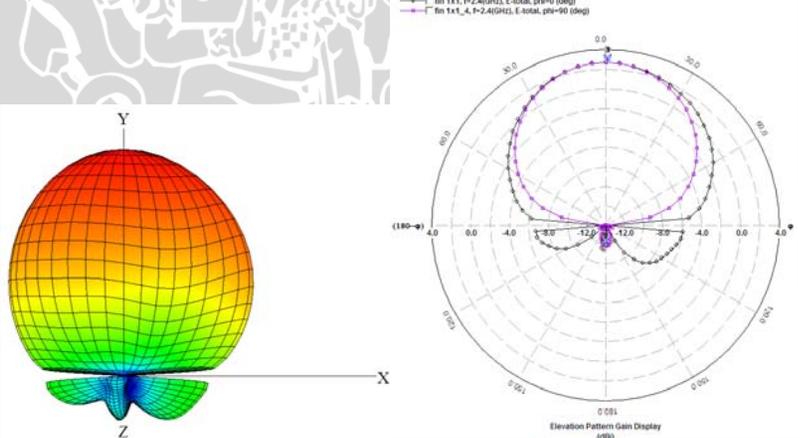
Gambar 5.3 Pola radiasi antenna *microstrip* dengan *infinite ground plane*
(Sumber : Simulasi)

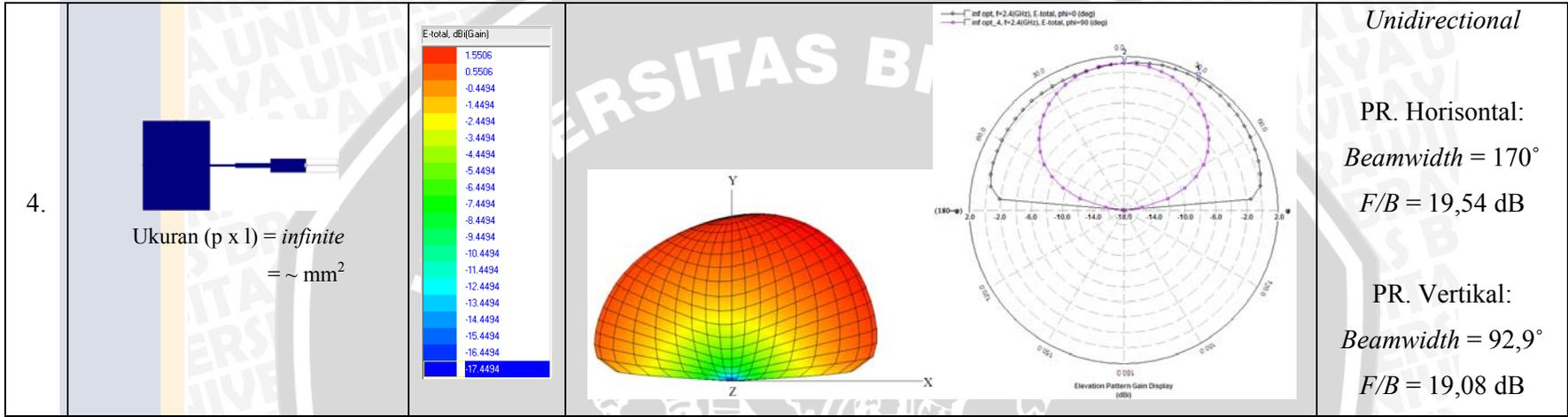
Dari gambar 5.3, dapat dianalisis bahwa pada frekuensi 2,4 GHz antenna *microstrip* dengan *infinite ground plane* memiliki pola radiasi antenna *unidirectional*, yaitu memiliki intensitas radiasi maksimum hanya pada satu arah tertentu saja. Dengan melakukan simulasi pada dimensi *ground plane* yang lain pada kondisi yang sama akan didapatkan pola radiasi yang dilihat dalam tabel dibawah ini.

Tabel 5.9 Tabulasi Hasil Simulasi Pengaruh Dimensi *Ground Plane* terhadap Pola Radiasi

Ket: Dengan bentuk *ground plane* adalah persegi panjang (*rectangular*) dan variabel panjang (p) dan lebar (l) berubah pada arah tertentu

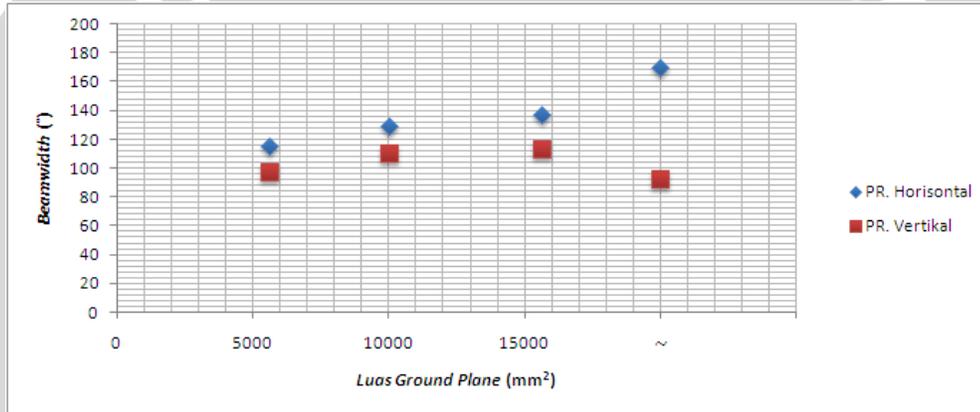
No.	Bentuk Antena <i>Microstrip Rectangular Patch</i> dengan Konfigurasi <i>Ground Plane</i>	Gain (dBi)	Grafik Pola Radiasi (3D dan 2D)	Bentuk Pola Radiasi, <i>Beamwidth</i> , f/b
1.	 <p>Ukuran (p x l) = $0,6 \lambda_0 \times 0,6 \lambda_0$ = $5,625 \text{ mm}^2$</p>			<p><i>Unidirectional</i></p> <p>PR. Horizontal: <i>Beamwidth</i> = $115,9^\circ$ <i>F/B</i> = 8,48 dB</p> <p>PR. Vertikal: <i>Beamwidth</i> = $97,5^\circ$ <i>F/B</i> = 17,41 dB</p>

<p>2.</p>	 <p>Ukuran (p x l) = $0,8 \lambda_0 \times 0,8 \lambda_0$ = 10.000 mm^2</p>			<p><i>Unidirectional</i></p> <p>PR. Horizontal: <i>Beamwidth</i> = $128,9^\circ$ <i>F/B</i> = $9,05 \text{ dB}$</p> <p>PR. Vertikal: <i>Beamwidth</i> = $110,8^\circ$ <i>F/B</i> = $16,2 \text{ dB}$</p>
<p>3.</p>	 <p>Ukuran (p x l) = $1 \lambda_0 \times 1 \lambda_0$ = 15.625 mm^2</p>			<p><i>Unidirectional</i></p> <p>PR. Horizontal: <i>Beamwidth</i> = $137,1^\circ$ <i>F/B</i> = $14,1 \text{ dB}$</p> <p>PR. Vertikal: <i>Beamwidth</i> = $113,9^\circ$ <i>F/B</i> = $14,54 \text{ dB}$</p>



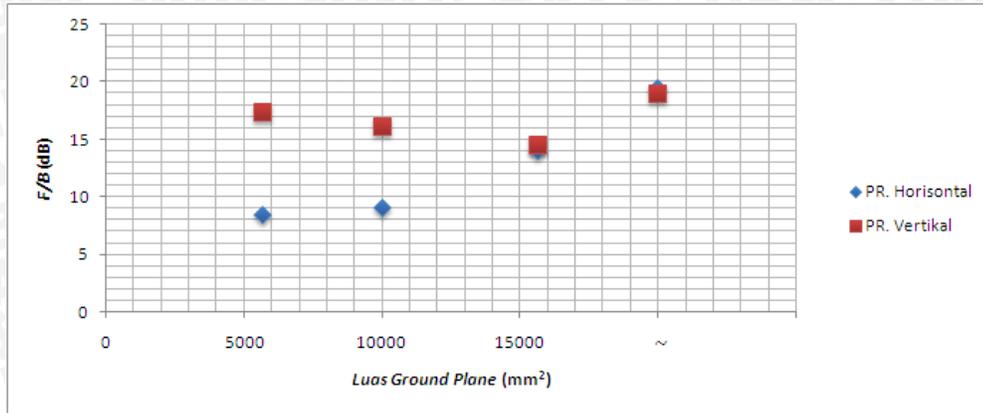
Berdasarkan hasil analisis perhitungan pola radiasi antena *microstrip* pada tabel 5.9 dapat diketahui bahwa:

- Bentuk pola radiasi yang dimilikinya adalah *unidirectional*
 - *Beamwidth* yang dimilikinya semakin besar.
 - *front to back ratio* (F/B) pada pola radiasi horisontal yang dimilikinya semakin besar sedangkan pada *front to back ratio* (F/B) pada pola radiasi vertikal yang dimilikinya semakin kecil.
 - Munculnya *minor lobe* pada pancaran radiasi *unidirectional* dan pada bidang E-plane terjadi pergeseran sudut nilai maksimum *main lobe*
- Pengaruh dimensi *ground plane* pada kondisi panjang dan lebar dimensi *ground plane* yang berubah-ubah dengan ditunjukkan pada grafik 5.11 dan 5.12.

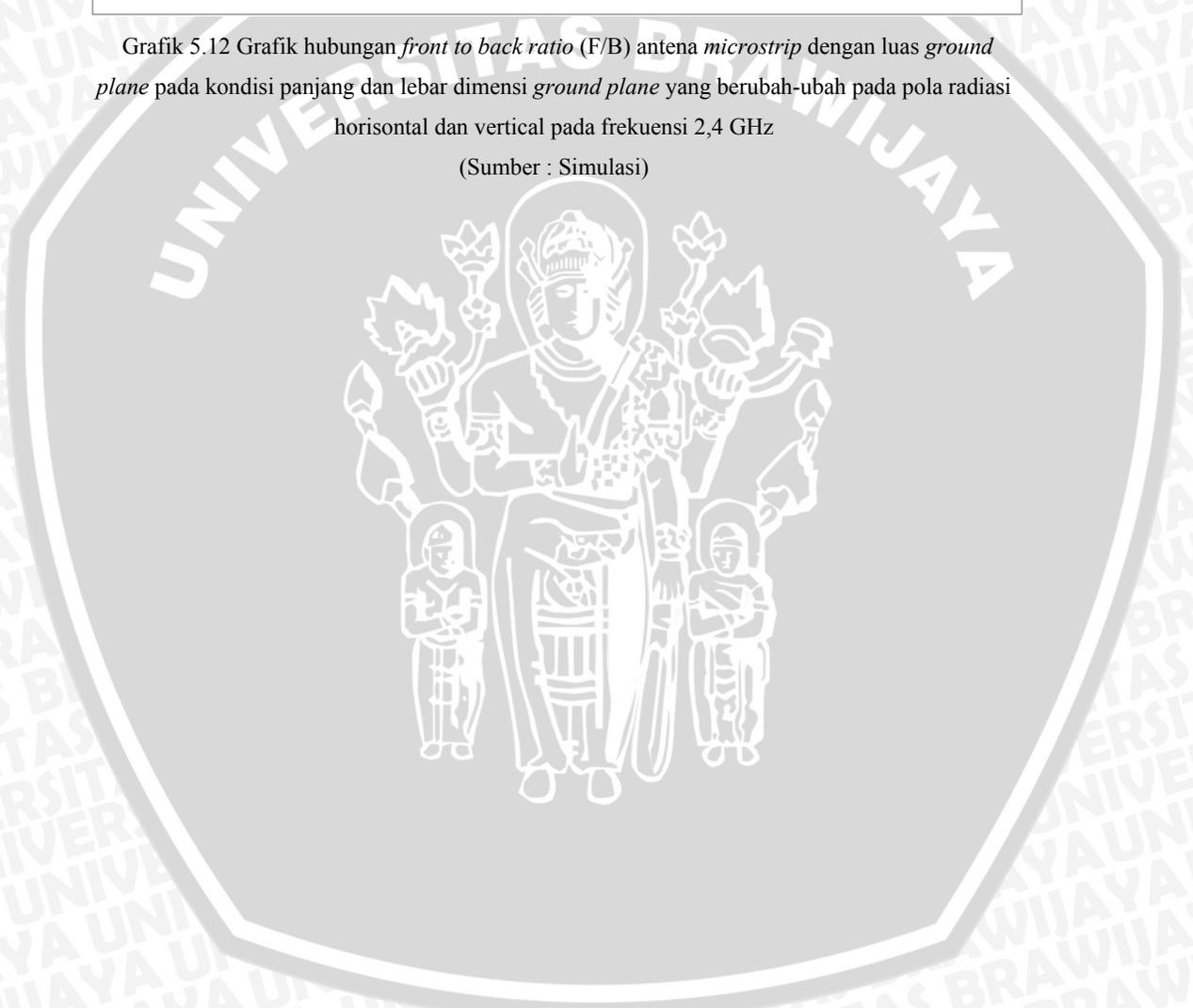


Grafik 5.11 Grafik hubungan *beamwidth* antena *microstrip* dengan luas *ground plane* pada kondisi panjang dan lebar dimensi *ground plane* yang berubah-ubah pada pola radiasi horisontal dan vertikal pada frekuensi 2,4 GHz

(Sumber : Simulasi)

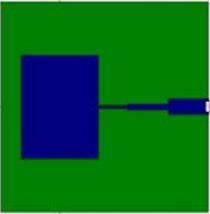
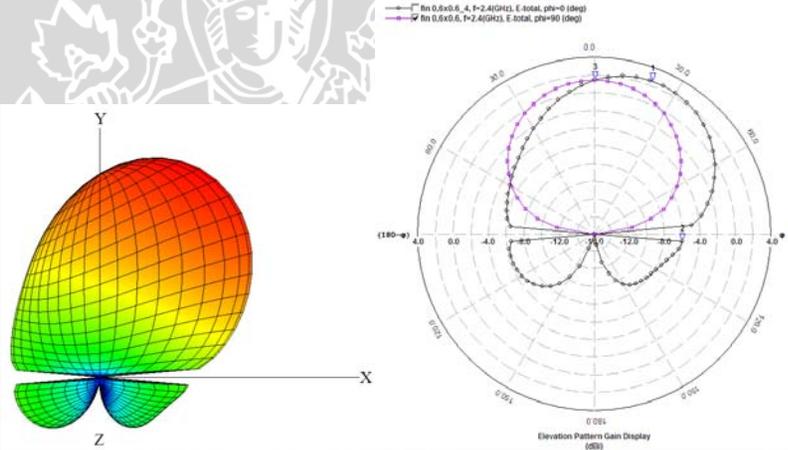


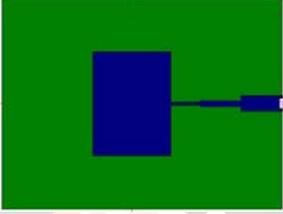
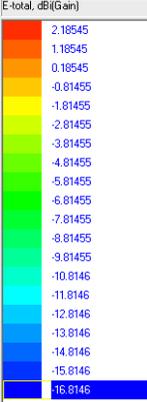
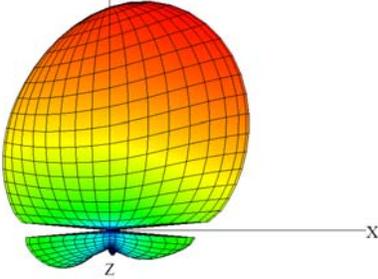
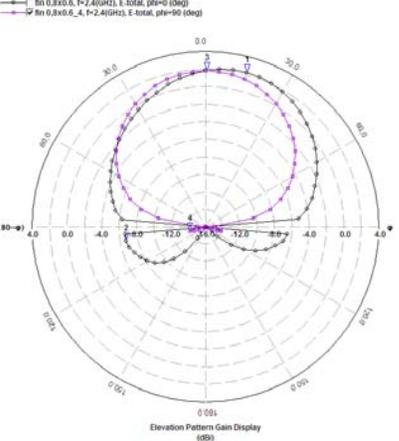
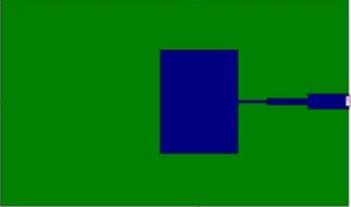
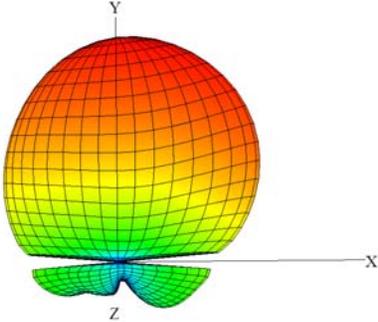
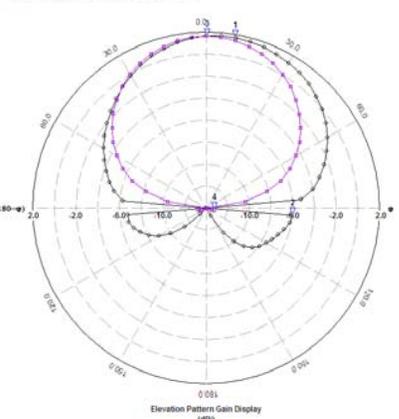
Grafik 5.12 Grafik hubungan *front to back ratio* (F/B) antena *microstrip* dengan luas *ground plane* pada kondisi panjang dan lebar dimensi *ground plane* yang berubah-ubah pada pola radiasi horizontal dan vertical pada frekuensi 2,4 GHz
(Sumber : Simulasi)

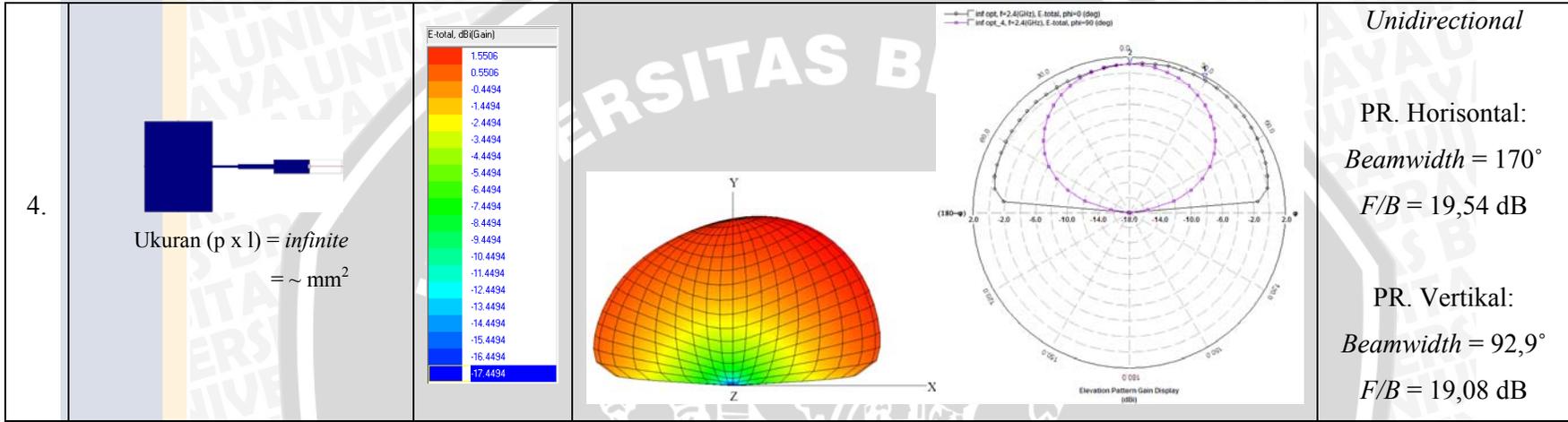


Tabel 5.10 Tabulasi Hasil Simulasi Pengaruh Dimensi *Ground Plane* terhadap Pola Radiasi

Ket: Dengan bentuk *ground plane* adalah persegi panjang (*rectangular*) dan variabel panjang (p) berubah dan lebar (l) tetap pada arah tertentu

No.	Bentuk Antena <i>Microstrip Rectangular Patch</i> dengan Konfigurasi <i>Ground Plane</i>	Gain (dBi)	Grafik Pola Radiasi (3D dan 2D)	Bentuk Pola Radiasi, <i>Beamwidth</i> , f/b
1.	 <p>Ukuran (p x l) = $0,6 \lambda_0 \times 0,6 \lambda$ = $5,625 \text{ mm}^2$</p>			<p><i>Unidirectional</i></p> <p>PR. Horizontal: <i>Beamwidth</i> = $115,9^\circ$ <i>F/B</i> = $8,48 \text{ dB}$</p> <p>PR. Vertikal: <i>Beamwidth</i> = $97,5^\circ$ <i>F/B</i> = $17,41 \text{ dB}$</p>

<p>2.</p>	 <p>Ukuran (p x l) = $0,8 \lambda_0 \times 0,6 \lambda_0$ = 7.500 mm^2</p>				<p><i>Unidirectional</i></p> <p>PR. Horizontal: <i>Beamwidth</i> = $128,6^\circ$ <i>F/B</i> = $8,84 \text{ dB}$</p> <p>PR. Vertikal: <i>Beamwidth</i> = $104,3^\circ$ <i>F/B</i> = $15,92 \text{ dB}$</p>
<p>3.</p>	 <p>Ukuran (p x l) = $1 \lambda_0 \times 0,6 \lambda_0$ = 9.375 mm^2</p>				<p><i>Unidirectional</i></p> <p>PR. Horizontal: <i>Beamwidth</i> = $132,4^\circ$ <i>F/B</i> = $7,68 \text{ dB}$</p> <p>PR. Vertikal: <i>Beamwidth</i> = $103,7^\circ$ <i>F/B</i> = $14,83 \text{ dB}$</p>

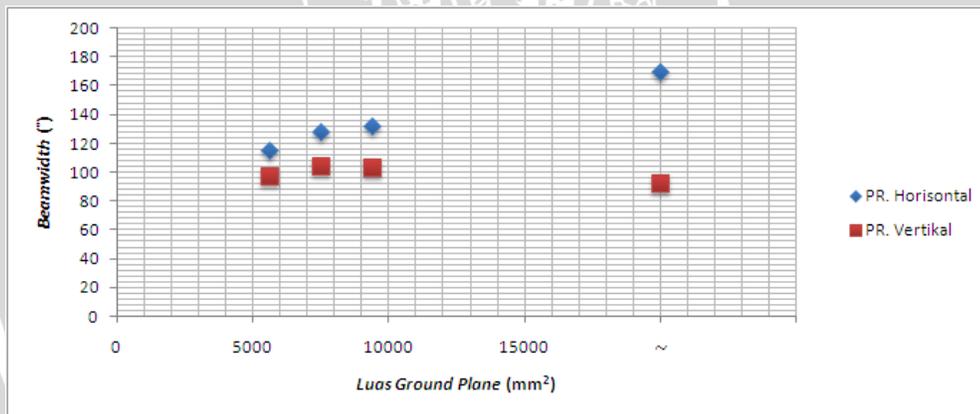


(Sumber: Simulasi)

Berdasarkan hasil analisis perhitungan pola radiasi antenna *microstrip* pada tabel 5.10 dapat diketahui bahwa:

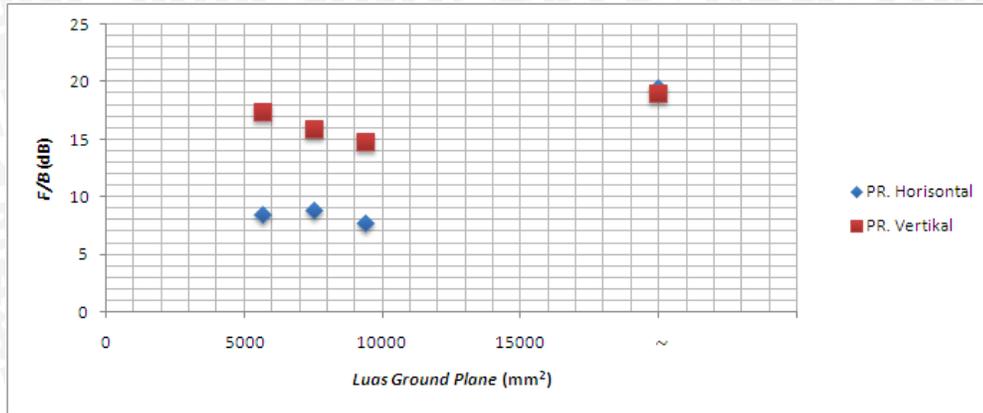
- Bentuk pola radiasi yang dimilikinya adalah *unidirectional*
- *Beamwidth* yang dimilikinya semakin besar, kecuali pada dimensi $1\lambda_0 \times 0,6\lambda_0$ (9.375 mm^2) nilai *beamwidth* pada pola radiasi vertikal menurun.
- *Front to back ratio(F/B)* pada pola horisontal yang dimilikinya semakin besar, kecuali pada pola vertikal pada dimensi $1\lambda_0 \times 0,6\lambda_0$ (9.375 mm^2) nilai *front to back ratio(F/B)* menurun. Sedangkan *front to back ratio(F/B)* pada pola vertikal yang dimilikinya semakin kecil.
- Munculnya *minor lobe* pada pancaran radiasi *unidirectional* dan pada bidang E-plane terjadi pergeseran sudut nilai maksimum *main lobe*.

Pengaruh dimensi *ground plane* pada kondisi panjang dimensi *ground plane* berubah-ubah dengan lebar dimensi *ground plane* tetap dengan ditunjukkan pada grafik 5.13 dan 5.14.

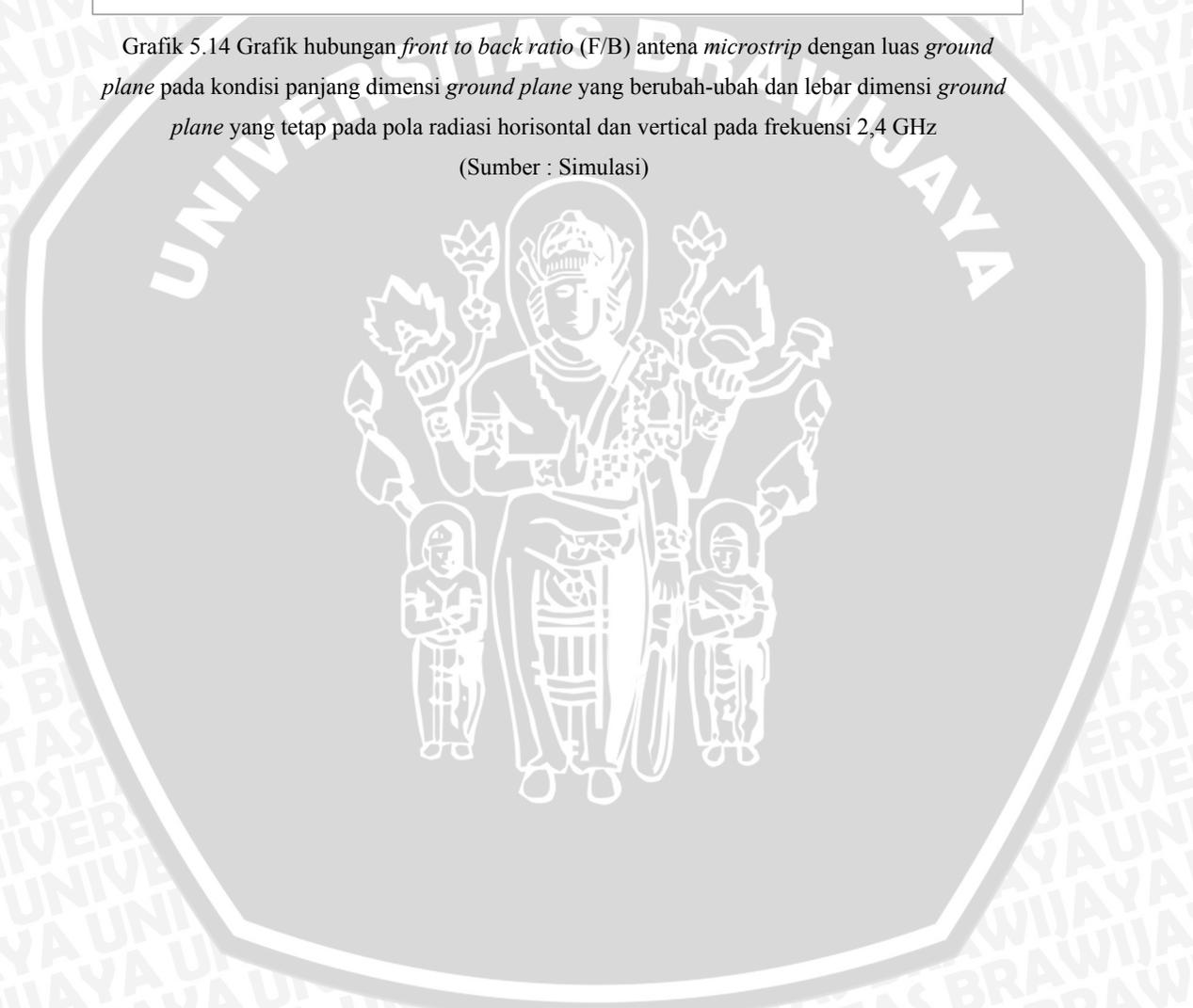


Grafik 5.13 Grafik hubungan *beamwidth* antenna *microstrip* dengan luas *ground plane* pada kondisi panjang dimensi *ground plane* yang berubah-ubah dan lebar dimensi *ground plane* yang tetap pada pola radiasi horisontal dan vertikal pada frekuensi 2,4 GHz

(Sumber : Simulasi)

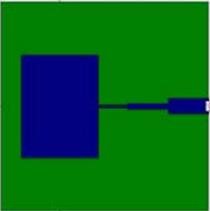
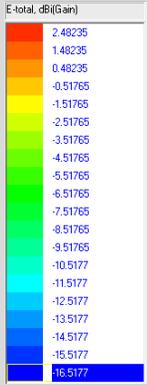
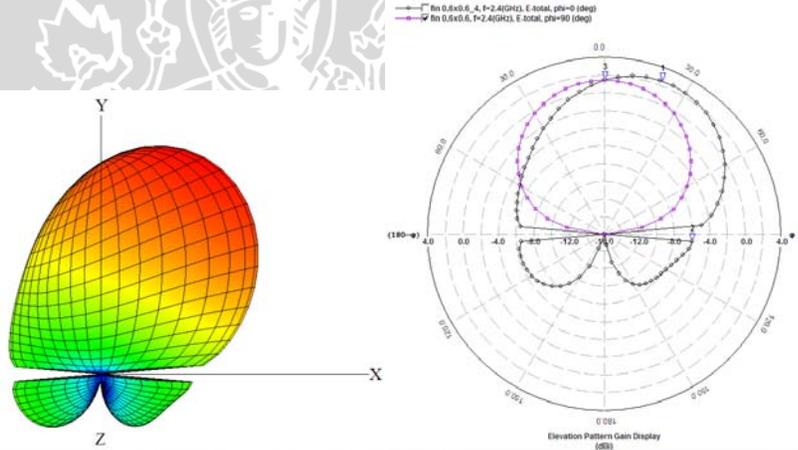


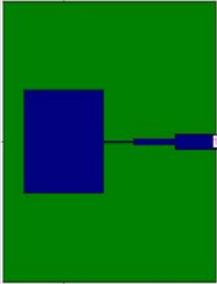
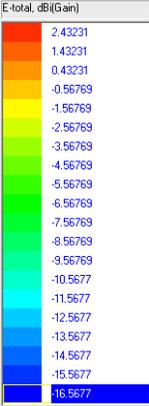
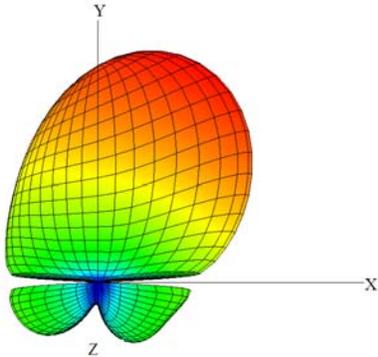
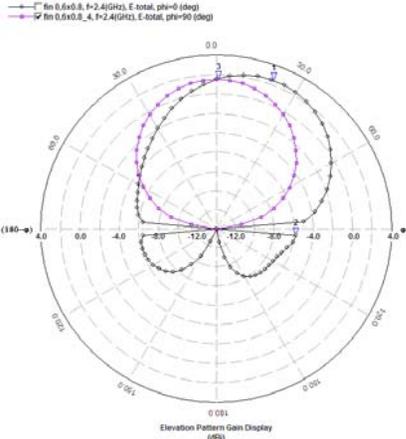
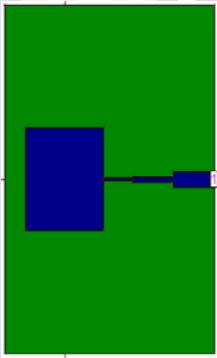
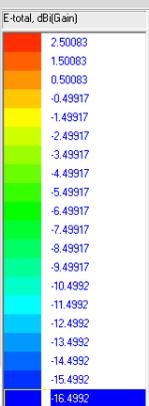
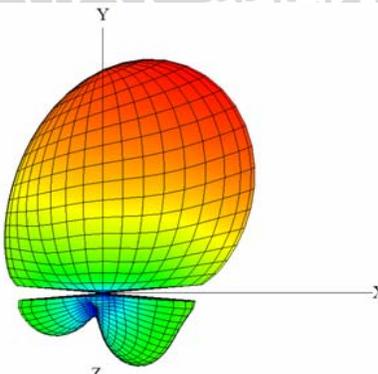
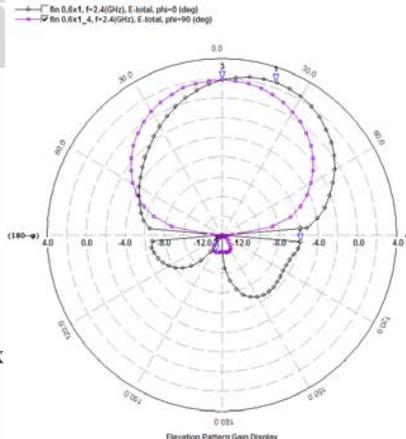
Grafik 5.14 Grafik hubungan *front to back ratio* (F/B) antenna *microstrip* dengan luas *ground plane* pada kondisi panjang dimensi *ground plane* yang berubah-ubah dan lebar dimensi *ground plane* yang tetap pada pola radiasi horisontal dan vertikal pada frekuensi 2,4 GHz
(Sumber : Simulasi)

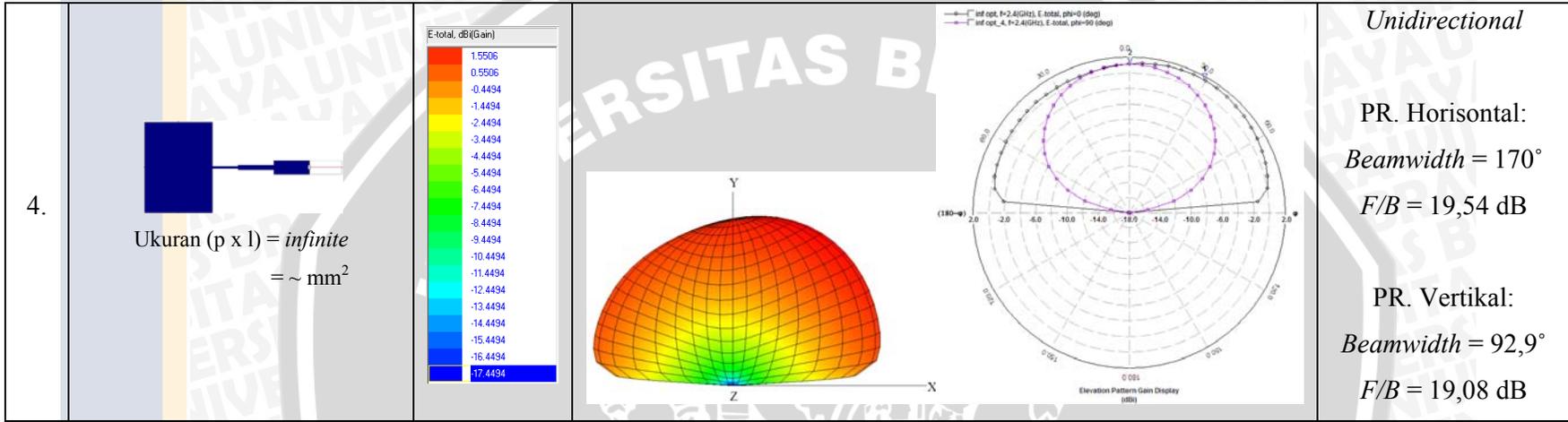


Tabel 5.11 Tabulasi Hasil Simulasi Pengaruh Dimensi *Ground Plane* terhadap Pola Radiasi

Ket: Dengan bentuk *ground plane* adalah persegi panjang (*rectangular*) dan variabel panjang (p) tetap dan lebar (l) berubah pada arah tertentu

No.	Bentuk Antena <i>Microstrip Rectangular Patch</i> dengan Konfigurasi <i>Ground Plane</i>	Gain (dBi)	Grafik Pola Radiasi (3D dan 2D)	Bentuk Pola Radiasi, <i>Beamwidth</i> , f/b
1.	 <p>Ukuran (p x l) = $0,6 \lambda_0 \times 0,6 \lambda$ = $5,625 \text{ mm}^2$</p>			<p><i>Unidirectional</i></p> <p>PR. Horizontal: <i>Beamwidth</i> = $115,9^\circ$ <i>F/B</i> = $8,48 \text{ dB}$</p> <p>PR. Vertikal: <i>Beamwidth</i> = $97,5^\circ$ <i>F/B</i> = $17,41 \text{ dB}$</p>

<p>2.</p>	 <p>Ukuran (p x l) = $0,6 \lambda_0 \times 0,8 \lambda_0$ = 7.500 mm^2</p>		 	<p><i>Unidirectional</i></p> <p>PR. Horizontal: <i>Beamwidth</i> = $114,8^\circ$ <i>F/B</i> = $8,29 \text{ dB}$</p> <p>PR. Vertikal: <i>Beamwidth</i> = $95,7^\circ$ <i>F/B</i> = $15,46 \text{ dB}$</p>
<p>3.</p>	 <p>Ukuran (p x l) = $0,6 \lambda_0 \times 1 \lambda_0$ = 9.375 mm^2</p>		 	<p><i>Unidirectional</i></p> <p>PR. Horizontal: <i>Beamwidth</i> = $121,3^\circ$ <i>F/B</i> = $8,43 \text{ dB}$</p> <p>PR. Vertikal: <i>Beamwidth</i> = $114,8^\circ$ <i>F/B</i> = $13,94 \text{ dB}$</p>

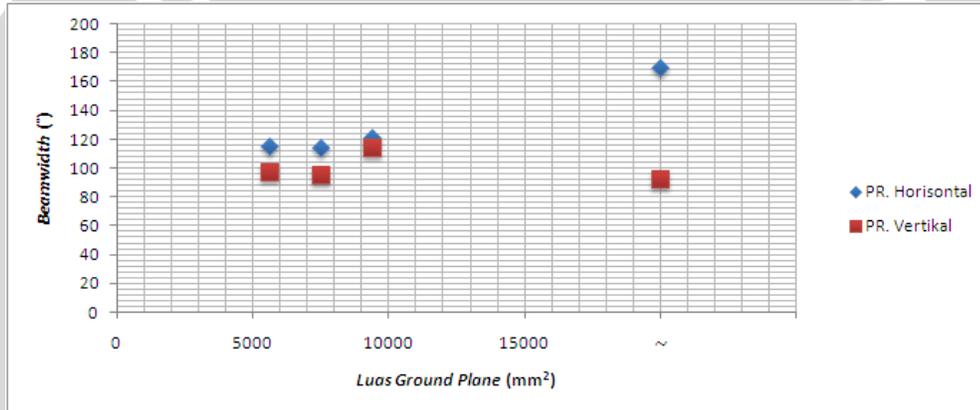


(Sumber: Simulasi)

Berdasarkan hasil analisis perhitungan pola radiasi antena *microstrip* pada tabel 5.11 dapat diketahui bahwa:

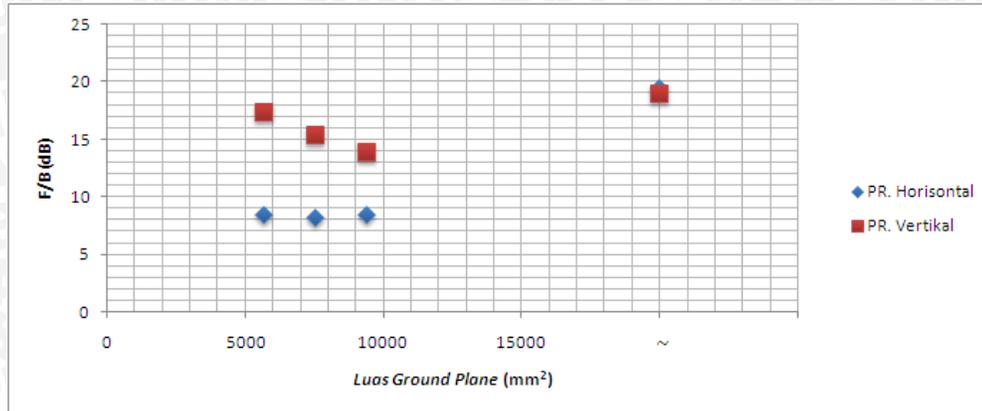
- Bentuk pola radiasi yang dimilikinya adalah *unidirectional*
- *Beamwidth* yang dimilikinya semakin kecil, kecuali pada dimensi $0,6\lambda_0 \times 1\lambda_0$ (9.375 mm^2) nilai *beamwidth* meningkat.
- *Front to back ratio* (F/B) yang dimilikinya semakin kecil.
- Munculnya *minor lobe* pada pancaran radiasi *unidirectional* dan pada bidang E-plane terjadi pergeseran sudut nilai maksimum *main lobe*.

Pengaruh dimensi *ground plane* pada kondisi panjang dimensi *ground plane* tetap dengan lebar dimensi *ground plane* berubah-ubah dengan ditunjukkan pada grafik 5.15 dan 5.16.



Grafik 5.15 Grafik hubungan *beamwidth* antena *microstrip* dengan luas *ground plane* pada kondisi panjang dimensi *ground plane* yang tetap dan lebar dimensi *ground plane* yang berubah-ubah pada pola radiasi horizontal pada frekuensi 2,4 GHz

(Sumber : Simulasi)



Grafik 5.16 Grafik hubungan *front to back ratio* (F/B) antenna *microstrip* dengan luas *ground plane* pada kondisi panjang dimensi *ground plane* yang tetap dan lebar dimensi *ground plane* yang berubah-ubah pada pola radiasi horizontal pada frekuensi 2,4 GHz

(Sumber : Simulasi)

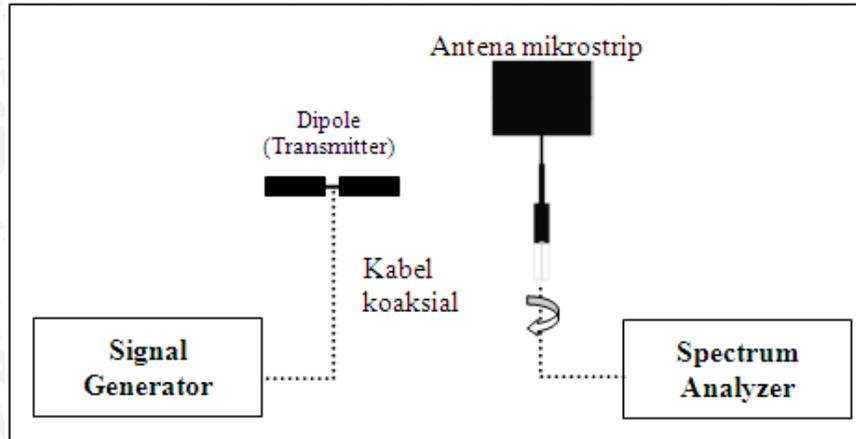
5.4.2.2 Pengukuran

5.4.2.2.1 Alat-Alat yang Digunakan

1. *Signal Generator* FR 3413 250 kHz - 3 GHz *Aeroflex*.
2. *Spectrum Analyzer* GSP-827 2,7 GHz *Gw INSTEK*
3. Satu buah antenna standar *dipole sleeve* $\lambda/2$
4. Antena uji (antena *microstrip* dengan *finite ground plane* $1 \lambda_0 \times 1 \lambda_0$)
5. Kabel koaksial RG-58A/U
6. Konektor tipe N *Female*
7. Dua buah tiang penyangga dengan skala sudut putar

5.4.2.2.2 Prosedur Pengukuran

1. Memasang antenna *dipole sleeve* $\lambda/2$ sebagai antenna pemancar dengan menghubungkannya ke *Signal Generator* menggunakan kabel koaksial RG-58A/U.
2. Memasang antenna uji sebagai antenna penerima dengan menghubungkannya ke *Spectrum Analyzer* menggunakan kabel koaksial RG-58A/U, seperti ditunjukkan pada gambar 5.4.



Gambar 5.4 Rangkaian pengukuran pola radiasi antenna
(Sumber : Pengukuran)

3. Memposisikan antenna pemancar sejajar dengan antenna uji, kemudian mengatur *Signal Generator* pada frekuensi 2400 MHz.
4. Meletakkan antenna uji pada posisi vertikal dan memutar antenna uji pada sumbu vertikal antenna, dari 0° sampai 360° dengan interval 10° , dan mencatat nilai daya yang ditunjukkan oleh *Spectrum Analyzer* pada tiap-tiap interval pemutaran.
5. Meletakkan antenna uji pada posisi horizontal dan memutar antenna uji pada sumbu vertikal antenna, dari 0° sampai 360° dengan interval 10° , dan mencatat nilai daya yang ditunjukkan oleh *Spectrum Analyzer* pada tiap-tiap interval pemutaran untuk mendapatkan nilai Pola Radiasi Vertikal.

5.4.2.2.3 Hasil Pengukuran

Berdasarkan hasil pengukuran pola radiasi yang dilakukan, maka diperoleh nilai daya yang diradiasikan oleh antenna uji (*Antena Microstrip Rectangular Patch*). Pola radiasi yang diperoleh yaitu pola radiasi horisontal dan pola radiasi vertikal. Data hasil pengukuran pola radiasi horisontal dan pola radiasi vertikal pada frekuensi 2.4 GHz terlihat dalam tabel 5.12 dan tabel 5.13.

Tabel 5.12 Hasil pengukuran pola radiasi bidang horisontal antena *microstrip* dengan *finite ground plane* $1 \lambda_0 \times 1 \lambda_0$

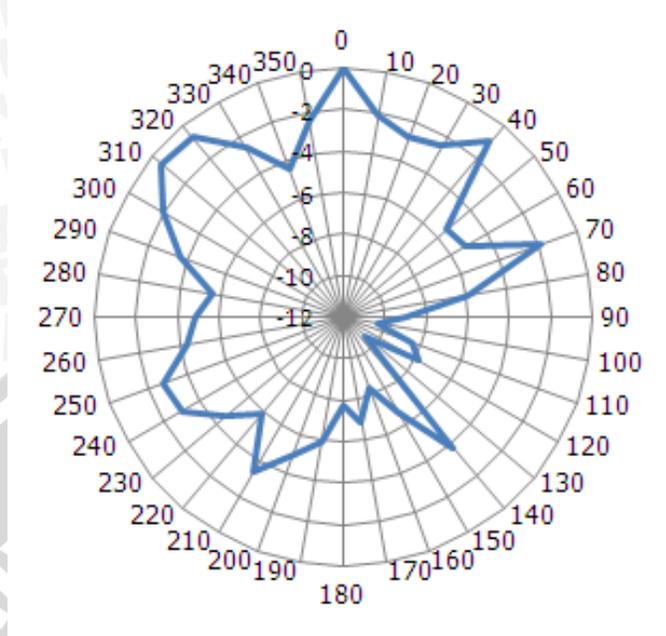
No.	Sudut (°)	Daya yang terukur (dBm)	Normalisasi (dB)
1	0	- 64,8	0
2	10	- 66,9	- 2,1
3	20	- 67,6	- 2,8
4	30	- 67,3	- 2,5
5	40	- 65,7	- 0,9
6	50	- 70,2	- 5,4
7	60	- 69,9	- 5,1
8	70	- 66,6	- 1,8
9	80	- 70,7	- 5,9
10	90	- 73,8	- 9
11	100	- 75,1	- 10,3
12	110	- 73,2	- 8,4
13	120	- 72,6	- 7,8
14	130	- 75,4	- 10,6
15	140	- 68,5	- 3,7
16	150	- 71,5	- 6,7
17	160	- 73,2	- 8,4
18	170	- 71,7	- 6,9
19	180	- 72,6	- 7,8
20	190	- 70,7	- 5,9
21	200	- 69,8	- 5
22	210	- 68,2	- 3,4
23	220	- 70,7	- 5,9
24	230	- 69,4	- 4,6
25	240	- 67,8	- 3
26	250	- 67,5	- 2,7
27	260	- 69,1	- 4,3
28	270	- 69,7	- 4,9
29	280	- 70,4	- 5,6
30	290	- 68,4	- 3,6
31	300	- 66,7	- 1,9
32	310	- 65,3	- 0,5
33	320	- 65,5	- 0,7
34	330	- 67,4	- 2,6
35	340	- 69,2	- 4,4
36	350	- 67,2	- 2,4
37	360	- 64,8	0

(Sumber: Pengukuran)

Tabel 5.13 Hasil pengukuran pola radiasi bidang vertikal antena *microstrip* dengan *finite ground plane* $1 \lambda_0 \times 1 \lambda_0$

No.	Sudut (°)	Daya yang terukur (dBm)	Normalisasi (dB)
1	0	- 65,6	0
2	10	- 66,3	- 0,7
3	20	- 67,4	- 1,8
4	30	- 68,3	- 2,7
5	40	- 72,6	- 7
6	50	- 73,5	- 7,9
7	60	- 76,1	- 10,5
8	70	- 75,9	- 10,3
9	80	- 73,5	- 7,9
10	90	- 71,4	- 5,8
11	100	- 71,9	- 6,3
12	110	- 71,2	- 5,6
13	120	- 70,3	- 4,7
14	130	- 69,2	- 3,6
15	140	- 72,2	- 6,6
16	150	- 74,1	- 8,5
17	160	- 76,3	- 10,7
18	170	- 74,8	- 9,2
19	180	- 76,5	- 10,9
20	190	- 74,2	- 8,6
21	200	- 76,1	- 10,5
22	210	- 76,7	- 11,1
23	220	- 75	- 9,4
24	230	- 74,2	- 8,6
25	240	- 73,2	- 7,6
26	250	- 75,2	- 9,6
27	260	- 74,6	- 9
28	270	- 75,1	- 9,5
29	280	- 75,5	- 9,9
30	290	- 74	- 8,4
31	300	- 71,4	- 5,8
32	310	- 69,6	- 4
33	320	- 69,1	- 3,5
34	330	- 69,6	- 3
35	340	- 67,1	- 1,5
36	350	- 67,5	- 1,9
37	360	- 65,6	0

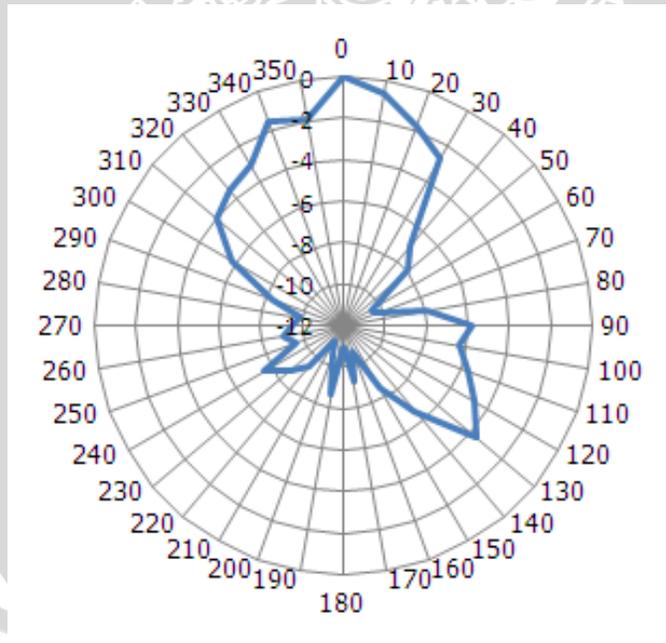
(Sumber: Pengukuran)



Gambar 5.5 Pola Radiasi bidang horisontal antenna *microstrip* dengan *finite ground plane*

$$1 \lambda_0 \times 1 \lambda_0$$

(Sumber : Pengukuran)



Gambar 5.6 Pola Radiasi bidang vertikal antenna *microstrip* dengan *finite ground plane*

$$1 \lambda_0 \times 1 \lambda_0$$

(Sumber : Pengukuran)

Berdasarkan tabel 5.12 dan tabel 5.13, dapat digambarkan bentuk pola radiasi antena hasil perencanaan pada diagram polar, sebagaimana tampak dalam gambar 5.5 dan gambar 5.6. Berdasarkan gambar 5.5 dan gambar 5.6, dapat diketahui bahwa bentuk pola radiasi antena hasil perencanaan (Antena *Microstrip Rectangular Patch*) adalah *unidirectional*, yaitu memiliki intensitas radiasi maksimum hanya pada satu arah tertentu saja.

Berdasarkan gambar 5.5, dapat diketahui bahwa untuk pola radiasi horisontal pada frekuensi 2,4 GHz, antena ini memiliki nilai - 3 dB *beamwidth* sebesar 55°. Dan dengan menggunakan persamaan 2.6, nilai *Front to Back Ratio (F/B)* antena ini sebesar 2,7 dB.

Berdasarkan gambar 5.6, dapat diketahui bahwa untuk pola radiasi vertikal pada frekuensi 2,4 GHz, antena ini memiliki nilai - 3 dB *beamwidth* sebesar 61°. Dan dengan menggunakan persamaan 2.6, nilai *Front to Back Ratio (F/B)* antena ini sebesar 3,6 dB.

5.4.3 Analisis Hasil Perhitungan

Berdasarkan hasil analisis perhitungan pola radiasi antena *microstrip* di atas dapat diketahui bahwa:

1. Bentuk pola radiasi antena *microstrip* tidak dipengaruhi oleh dimensi *ground plane*. Bentuk pola radiasi yang dimilikinya adalah *unidirectional*
2. Besarnya *beamwidth* pada pola radiasi antena *microstrip* dipengaruhi oleh dimensi *ground plane*, diantaranya:
 - Pada kondisi panjang dan lebar dimensi *ground plane* yang berubah-ubah, *beamwidth* yang dimilikinya semakin besar.
 - Pada kondisi panjang dimensi *ground plane* berubah-ubah dengan lebar dimensi *ground plane* tetap, *beamwidth* yang dimilikinya semakin besar kecuali pada dimensi $1\lambda_0 \times 0,6\lambda_0$ (9.375 mm^2) nilai *beamwidth* pada pola radiasi vertikal menurun.
 - Pada kondisi panjang dimensi *ground plane* tetap dengan lebar dimensi *ground plane* berubah-ubah, *beamwidth* yang dimilikinya semakin kecil kecuali pada dimensi $0,6\lambda_0 \times 1\lambda_0$ (9.375 mm^2) nilai *beamwidth* meningkat.

3. Besarnya *front to bank ratio* (F/B) pada pola radiasi antena *microstrip* dipengaruhi oleh dimensi *ground plane*, diantaranya:
 - Pada kondisi panjang dan lebar dimensi *ground plane* yang berubah-ubah, *front to back ratio* (F/B) pada pola radiasi horisontal yang dimilikinya semakin besar sedangkan pada *front to back ratio* (F/B) pada pola radiasi vertikal yang dimilikinya semakin kecil.
 - Pada kondisi panjang dimensi *ground plane* berubah-ubah dengan lebar dimensi *ground plane* tetap, *front to back ratio* (F/B) pada pola horisontal yang dimilikinya semakin besar kecuali pada pola vertikal pada dimensi $1\lambda_0 \times 0,6\lambda_0$ (9.375 mm^2) nilai *front to back ratio*(F/B) menurun sedangkan *front to back ratio*(F/B) pada pola vertikal yang dimilikinya semakin kecil.
 - Pada kondisi panjang dimensi *ground plane* tetap dengan lebar dimensi *ground plane* berubah-ubah, *front to back ratio* (F/B) yang dimilikinya semakin kecil.
4. *Beamwidth* dan *Front to Back Ratio* (F/B) antena *microstrip rectangular patch* dengan dimensi $1\lambda_0 \times 1\lambda_0$ (15.625 mm^2) baik pada pola radiasi horisontal maupun vertikal hasil pengukuran lebih kecil dari *beamwidth* dan *Front to Back Ratio* (F/B) hasil simulasi.
5. Munculnya *minor lobe* pada pancaran radiasi *unidirectional* dan pada bidang E-plane terjadi pergeseran sudut nilai maksimum *main lobe*

5.5 Perhitungan Polarisasi

5.5.1 Tujuan

Perhitungan polarisasi antena dilakukan untuk mengetahui vektor medan listrik antena atau bentuk polarisasi antena *microstrip rectangular patch*

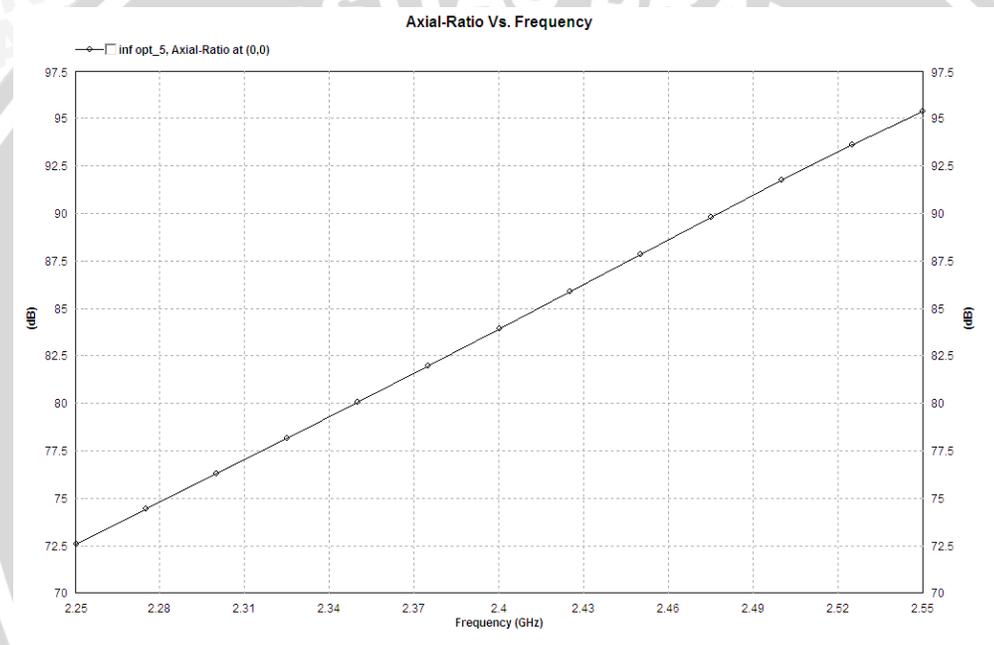
5.5.2 Hasil Perhitungan

Perhitungan polarisasi antena yang dilakukan dengan cara menganalisis dari hasil simulasi dan pengukuran. Berdasarkan data hasil perhitungan polarisasi:

5.5.2.1 Simulasi

Polarisasi suatu antenna didefinisikan sebagai ”polarisasi dari gelombang yang diradiasikan pada saat antenna dibangkitkan/dioperasikan”. Dengan kata lain, ”polarisasi gelombang datang dari arah yang diberikan yang menghasilkan daya maksimum pada terminal antenna”.

Pada simulasi, polarisasi antenna *microstrip* dengan *infinite ground plane* disimulasi dengan menggunakan software IE3D (*software* untuk perencanaan antenna) pada jangkauan frekuensi yang dipakai adalah sebesar 2,25 GHz sampai dengan 2,55 GHz dapat dilihat dalam grafik 5.17:

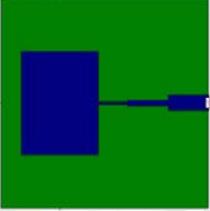
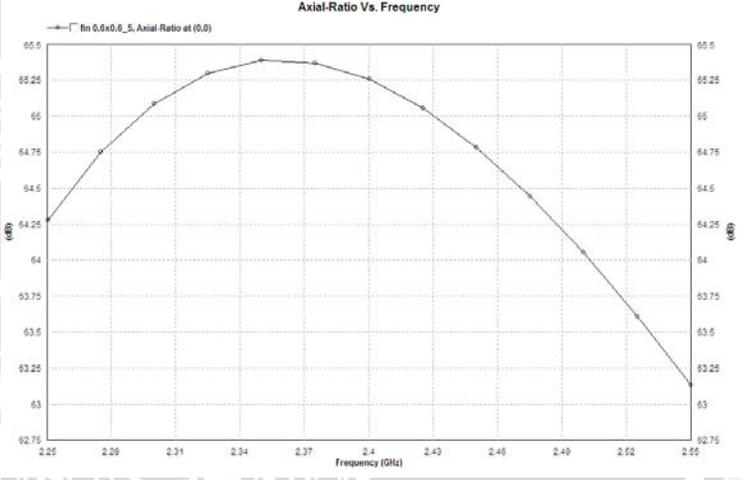


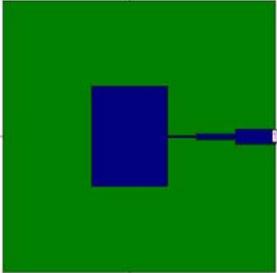
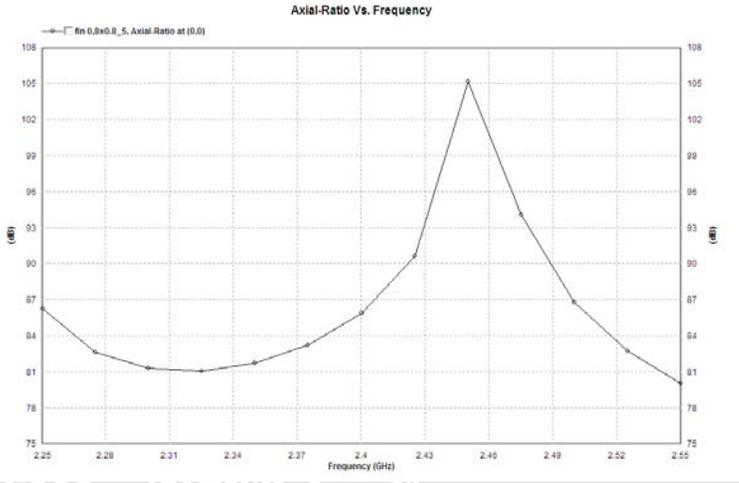
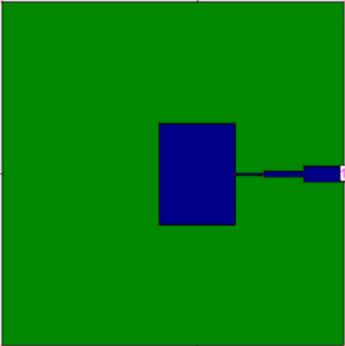
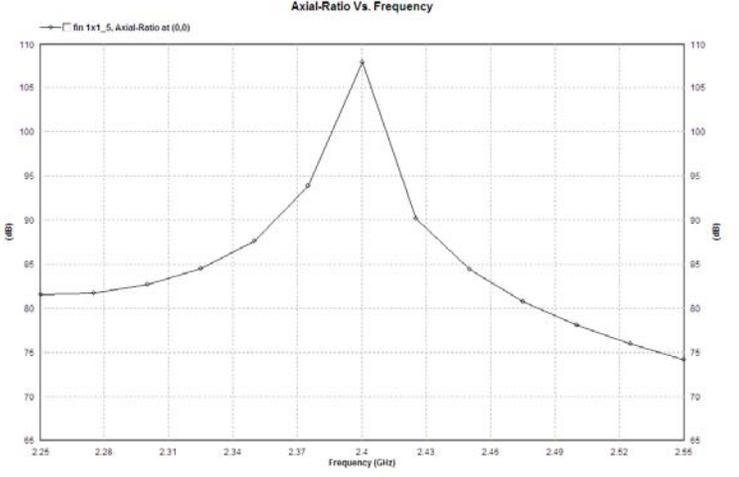
Grafik 5.17 Axial ratio antenna *microstrip* dengan *infinite ground plane*
(Sumber : Simulasi)

Dari grafik 5.17, dapat dianalisis bahwa pada frekuensi 2,4 GHz antenna *microstrip* dengan *infinite ground plane* memiliki bentuk polarisasi antenna adalah linier. Dengan melakukan simulasi pada dimensi *ground plane* yang lain pada kondisi yang sama akan didapatkan bentuk polarisasi yang dilihat dalam tabel dibawah ini.

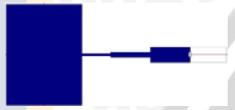
Tabel 5.14 Tabulasi Hasil Simulasi Pengaruh Dimensi *Ground Plane* terhadap Polarisasi

Ket: Dengan bentuk *ground plane* adalah persegi panjang (*rectangular*) dan variabel panjang (p) dan lebar (l) berubah pada arah tertentu

No.	Bentuk Antena <i>Microstrip Rectangular Patch</i> dengan Konfigurasi <i>Ground Plane</i>	Tabel <i>Axial Ratio</i>	Grafik <i>Axial Ratio</i>	<i>Axial Ratio</i> (dB)																												
1.	 <p>Ukuran (p x l) = $0,6 \lambda_0 \times 0,6 \lambda_0$ = $5,625 \text{ mm}^2$</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Freq [GHz]</th> <th><i>Axial Ratio</i> [dB]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>2.25</td><td>64.2792649746</td></tr> <tr><td>2.275</td><td>64.7502347040</td></tr> <tr><td>2.3</td><td>65.0862739661</td></tr> <tr><td>2.325</td><td>65.2950350792</td></tr> <tr><td>2.35</td><td>65.3854368387</td></tr> <tr><td>2.375</td><td>65.3681307459</td></tr> <tr><td>2.4</td><td>65.2542053932</td></tr> <tr><td>2.425</td><td>65.0548118629</td></tr> <tr><td>2.45</td><td>64.7810613020</td></tr> <tr><td>2.475</td><td>64.4433540784</td></tr> <tr><td>2.5</td><td>64.0510995781</td></tr> <tr><td>2.525</td><td>63.6125726543</td></tr> <tr><td>2.55</td><td>63.1346651902</td></tr> </tbody> </table>	Freq [GHz]	<i>Axial Ratio</i> [dB]	2.25	64.2792649746	2.275	64.7502347040	2.3	65.0862739661	2.325	65.2950350792	2.35	65.3854368387	2.375	65.3681307459	2.4	65.2542053932	2.425	65.0548118629	2.45	64.7810613020	2.475	64.4433540784	2.5	64.0510995781	2.525	63.6125726543	2.55	63.1346651902		<p>65,2542053932</p> <p>Bentuk Polarisasi: Linier</p>
Freq [GHz]	<i>Axial Ratio</i> [dB]																															
2.25	64.2792649746																															
2.275	64.7502347040																															
2.3	65.0862739661																															
2.325	65.2950350792																															
2.35	65.3854368387																															
2.375	65.3681307459																															
2.4	65.2542053932																															
2.425	65.0548118629																															
2.45	64.7810613020																															
2.475	64.4433540784																															
2.5	64.0510995781																															
2.525	63.6125726543																															
2.55	63.1346651902																															

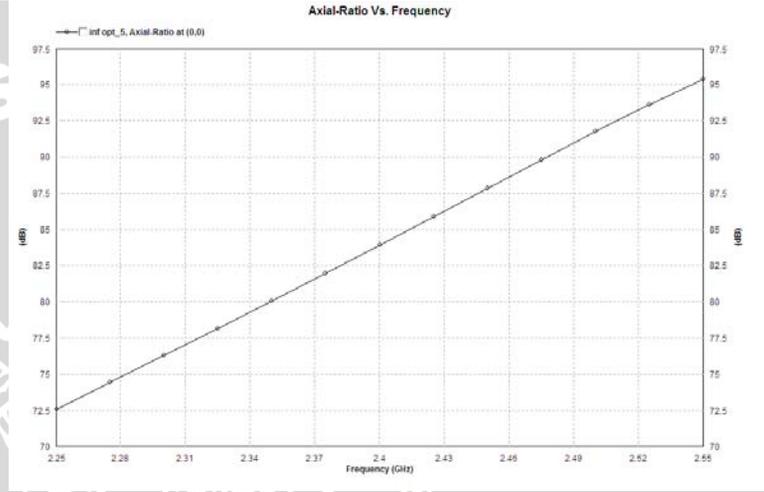
<p>2.</p>	 <p>Ukuran (p x l) = $0,8 \lambda_0 \times 0,8 \lambda_0$ = 10.000 mm^2</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Freq [GHz]</th> <th>Axial Ratio [dB]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>2.25</td><td>86.2164759015</td></tr> <tr><td>2.275</td><td>82.6236373142</td></tr> <tr><td>2.3</td><td>81.2777091103</td></tr> <tr><td>2.325</td><td>81.0786476961</td></tr> <tr><td>2.35</td><td>81.7375220453</td></tr> <tr><td>2.375</td><td>83.2425450767</td></tr> <tr><td>2.4</td><td>85.8699229420</td></tr> <tr><td>2.425</td><td>90.6304045652</td></tr> <tr><td>2.45</td><td>105.113796825</td></tr> <tr><td>2.475</td><td>94.0735409656</td></tr> <tr><td>2.5</td><td>86.7449909896</td></tr> <tr><td>2.525</td><td>82.7680707126</td></tr> <tr><td>2.55</td><td>80.0241820668</td></tr> </tbody> </table>	Freq [GHz]	Axial Ratio [dB]	2.25	86.2164759015	2.275	82.6236373142	2.3	81.2777091103	2.325	81.0786476961	2.35	81.7375220453	2.375	83.2425450767	2.4	85.8699229420	2.425	90.6304045652	2.45	105.113796825	2.475	94.0735409656	2.5	86.7449909896	2.525	82.7680707126	2.55	80.0241820668	 <p>Axial-Ratio Vs. Frequency plot for item 2. The plot shows a resonance peak at approximately 2.45 GHz with an axial ratio of about 105 dB. The y-axis is labeled (dB) and ranges from 75 to 108. The x-axis is labeled Frequency (GHz) and ranges from 2.25 to 2.55.</p>	<p>85,8699229420</p> <p>Bentuk Polarisasi: Linier</p>
Freq [GHz]	Axial Ratio [dB]																															
2.25	86.2164759015																															
2.275	82.6236373142																															
2.3	81.2777091103																															
2.325	81.0786476961																															
2.35	81.7375220453																															
2.375	83.2425450767																															
2.4	85.8699229420																															
2.425	90.6304045652																															
2.45	105.113796825																															
2.475	94.0735409656																															
2.5	86.7449909896																															
2.525	82.7680707126																															
2.55	80.0241820668																															
<p>3.</p>	 <p>Ukuran (p x l) = $1 \lambda_0 \times 1 \lambda_0$ = 15.625 mm^2</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Freq [GHz]</th> <th>Axial Ratio [dB]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>2.25</td><td>81.5407434213</td></tr> <tr><td>2.275</td><td>81.7320552344</td></tr> <tr><td>2.3</td><td>82.6926297533</td></tr> <tr><td>2.325</td><td>84.4976393509</td></tr> <tr><td>2.35</td><td>87.6040905667</td></tr> <tr><td>2.375</td><td>93.8484177013</td></tr> <tr><td>2.4</td><td>107.935831101</td></tr> <tr><td>2.425</td><td>90.1759154434</td></tr> <tr><td>2.45</td><td>84.3954032016</td></tr> <tr><td>2.475</td><td>80.7538764759</td></tr> <tr><td>2.5</td><td>78.0713607933</td></tr> <tr><td>2.525</td><td>75.9468075123</td></tr> <tr><td>2.55</td><td>74.1953278958</td></tr> </tbody> </table>	Freq [GHz]	Axial Ratio [dB]	2.25	81.5407434213	2.275	81.7320552344	2.3	82.6926297533	2.325	84.4976393509	2.35	87.6040905667	2.375	93.8484177013	2.4	107.935831101	2.425	90.1759154434	2.45	84.3954032016	2.475	80.7538764759	2.5	78.0713607933	2.525	75.9468075123	2.55	74.1953278958	 <p>Axial-Ratio Vs. Frequency plot for item 3. The plot shows a resonance peak at approximately 2.4 GHz with an axial ratio of about 108 dB. The y-axis is labeled (dB) and ranges from 65 to 110. The x-axis is labeled Frequency (GHz) and ranges from 2.25 to 2.55.</p>	<p>107,935831101</p> <p>Bentuk Polarisasi: Linier</p>
Freq [GHz]	Axial Ratio [dB]																															
2.25	81.5407434213																															
2.275	81.7320552344																															
2.3	82.6926297533																															
2.325	84.4976393509																															
2.35	87.6040905667																															
2.375	93.8484177013																															
2.4	107.935831101																															
2.425	90.1759154434																															
2.45	84.3954032016																															
2.475	80.7538764759																															
2.5	78.0713607933																															
2.525	75.9468075123																															
2.55	74.1953278958																															

4.



Ukuran (p x l) = *infinite*
= ~ mm²

Freq [GHz]	Axial Ratio [dB]
2.25	72.5876600021
2.275	74.4319520153
2.3	76.2878462054
2.325	78.1602885972
2.35	80.0529811920
2.375	81.9679703342
2.4	83.9052955048
2.425	85.8628857145
2.45	87.8329908771
2.475	89.8019741188
2.5	91.7453317782
2.525	93.6248072412
2.55	95.3843815955



83,9052955048

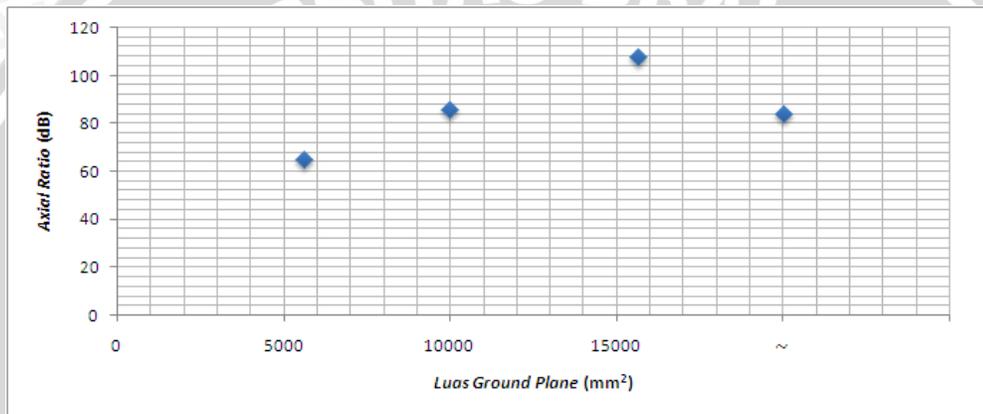
Bentuk
Polarisasi:
linier

(Sumber: Simulasi)

Berdasarkan hasil analisis perhitungan polarisasi antenna *microstrip* pada tabel 5.14 dapat diketahui bahwa:

- Bentuk pola radiasi yang dimilikinya adalah linier.
- *Axial ratio* yang dimilikinya semakin besar.
- *Axial ratio* yang paling maksimal terjadi pada antenna yang memiliki *ground plane* dengan dimensi $1\lambda_0 \times 1\lambda_0$ (15.625 mm^2) yaitu sebesar 107,935831101 dB.

Pengaruh dimensi *ground plane* pada kondisi panjang dan lebar dimensi *ground plane* yang berubah-ubah ditunjukkan pada grafik 5.18.

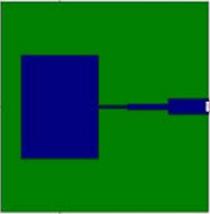
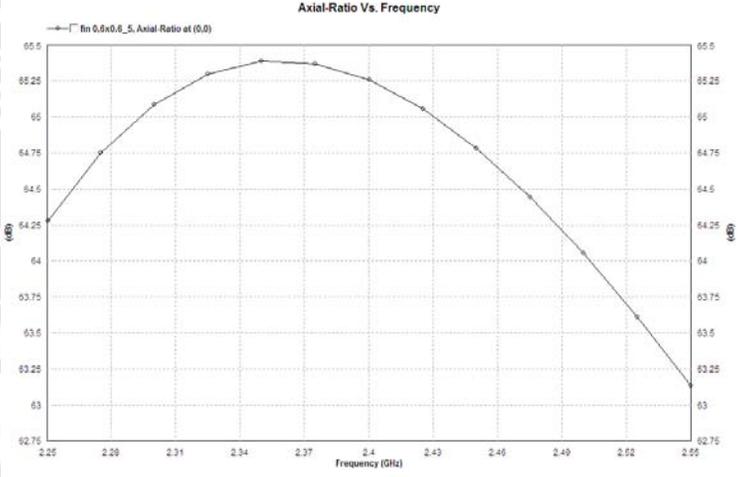


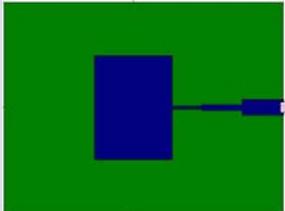
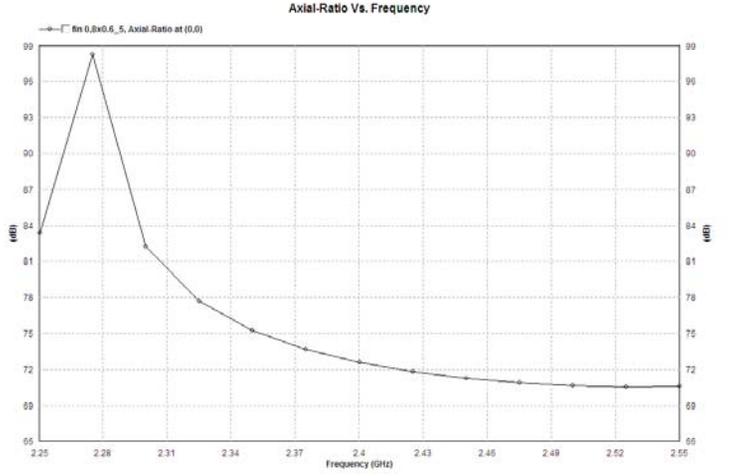
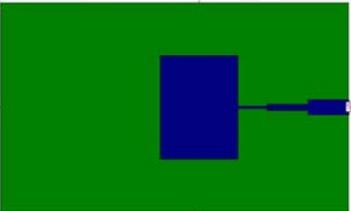
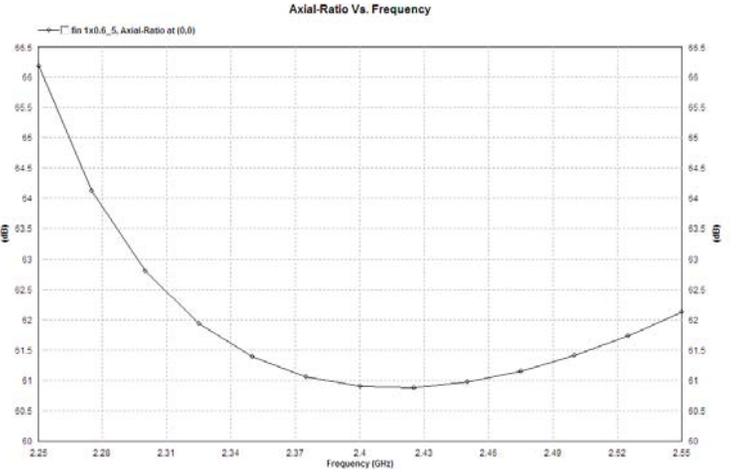
Grafik 5.18 Grafik Hubungan *axial ratio* antenna *microstrip* dengan dengan luas *ground plane* pada kondisi panjang dan lebar dimensi *ground plane* yang Berubah-ubah pada frekuensi 2,4 GHz

(Sumber : Simulasi)

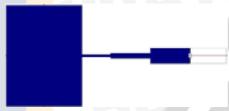
Tabel 5.15 Tabulasi Hasil Simulasi Pengaruh Dimensi *Ground Plane* terhadap Polarisasi

Ket: Dengan bentuk *ground plane* adalah persegi panjang (*rectangular*) dan variabel panjang (p) berubah dan lebar (l) tetap pada arah tertentu

No.	Bentuk Antena <i>Microstrip Rectangular Patch</i> dengan Konfigurasi <i>Ground Plane</i>	Tabel <i>Axial Ratio</i>	Grafik <i>Axial Ratio</i>	<i>Axial Ratio</i> (dB)																												
1.	 <p>Ukuran (p x l) = $0,6 \lambda_0 \times 0,6 \lambda$ = 5.625 mm^2</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Freq [GHz]</th> <th><i>Axial Ratio</i> [dB]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>2.25</td><td>64.2792649746</td></tr> <tr><td>2.275</td><td>64.7502347040</td></tr> <tr><td>2.3</td><td>65.0862739661</td></tr> <tr><td>2.325</td><td>65.2950350792</td></tr> <tr><td>2.35</td><td>65.3854368387</td></tr> <tr><td>2.375</td><td>65.3681307459</td></tr> <tr><td>2.4</td><td>65.2542053932</td></tr> <tr><td>2.425</td><td>65.0548118629</td></tr> <tr><td>2.45</td><td>64.7810613020</td></tr> <tr><td>2.475</td><td>64.4433540784</td></tr> <tr><td>2.5</td><td>64.0510995781</td></tr> <tr><td>2.525</td><td>63.6125726543</td></tr> <tr><td>2.55</td><td>63.1346651902</td></tr> </tbody> </table>	Freq [GHz]	<i>Axial Ratio</i> [dB]	2.25	64.2792649746	2.275	64.7502347040	2.3	65.0862739661	2.325	65.2950350792	2.35	65.3854368387	2.375	65.3681307459	2.4	65.2542053932	2.425	65.0548118629	2.45	64.7810613020	2.475	64.4433540784	2.5	64.0510995781	2.525	63.6125726543	2.55	63.1346651902		<p>65,2542053932</p> <p>Bentuk Polarisasi: Linier</p>
Freq [GHz]	<i>Axial Ratio</i> [dB]																															
2.25	64.2792649746																															
2.275	64.7502347040																															
2.3	65.0862739661																															
2.325	65.2950350792																															
2.35	65.3854368387																															
2.375	65.3681307459																															
2.4	65.2542053932																															
2.425	65.0548118629																															
2.45	64.7810613020																															
2.475	64.4433540784																															
2.5	64.0510995781																															
2.525	63.6125726543																															
2.55	63.1346651902																															

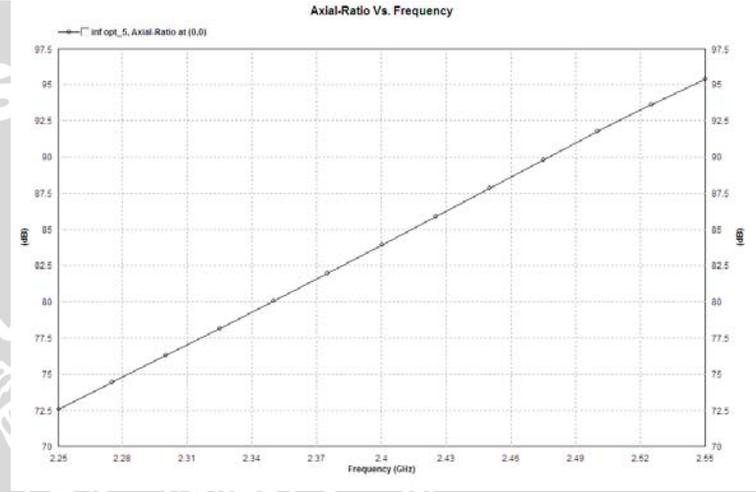
<p>2.</p>	 <p>Ukuran (p x l) = $0,8 \lambda_0 \times 0,6 \lambda_0$ = 7.500 mm^2</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Freq [GHz]</th> <th>Axial Ratio [dB]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>2.25</td><td>83.3776582268</td></tr> <tr><td>2.275</td><td>98.2471846690</td></tr> <tr><td>2.3</td><td>82.2527409504</td></tr> <tr><td>2.325</td><td>77.7296392848</td></tr> <tr><td>2.35</td><td>75.2593258767</td></tr> <tr><td>2.375</td><td>73.6770592035</td></tr> <tr><td>2.4</td><td>72.5889957378</td></tr> <tr><td>2.425</td><td>71.8172273460</td></tr> <tr><td>2.45</td><td>71.2692117263</td></tr> <tr><td>2.475</td><td>70.8938274260</td></tr> <tr><td>2.5</td><td>70.6619839479</td></tr> <tr><td>2.525</td><td>70.5592539316</td></tr> <tr><td>2.55</td><td>70.5797654616</td></tr> </tbody> </table>	Freq [GHz]	Axial Ratio [dB]	2.25	83.3776582268	2.275	98.2471846690	2.3	82.2527409504	2.325	77.7296392848	2.35	75.2593258767	2.375	73.6770592035	2.4	72.5889957378	2.425	71.8172273460	2.45	71.2692117263	2.475	70.8938274260	2.5	70.6619839479	2.525	70.5592539316	2.55	70.5797654616	 <p>Axial-Ratio Vs. Frequency</p> <p>Plot showing Axial Ratio (dB) vs Frequency (GHz) for a 0.8×0.6 antenna. The curve shows a sharp peak at approximately 2.28 GHz and then gradually decreases towards 2.55 GHz.</p>	<p>72,5889957378</p> <p>Bentuk Polarisasi: Linier</p>
Freq [GHz]	Axial Ratio [dB]																															
2.25	83.3776582268																															
2.275	98.2471846690																															
2.3	82.2527409504																															
2.325	77.7296392848																															
2.35	75.2593258767																															
2.375	73.6770592035																															
2.4	72.5889957378																															
2.425	71.8172273460																															
2.45	71.2692117263																															
2.475	70.8938274260																															
2.5	70.6619839479																															
2.525	70.5592539316																															
2.55	70.5797654616																															
<p>3.</p>	 <p>Ukuran (p x l) = $1 \lambda_0 \times 0,6 \lambda_0$ = 9.375 mm^2</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Freq [GHz]</th> <th>Axial Ratio [dB]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>2.25</td><td>66.1716689591</td></tr> <tr><td>2.275</td><td>64.1198524655</td></tr> <tr><td>2.3</td><td>62.8061811640</td></tr> <tr><td>2.325</td><td>61.9438892177</td></tr> <tr><td>2.35</td><td>61.3908167202</td></tr> <tr><td>2.375</td><td>61.0632069741</td></tr> <tr><td>2.4</td><td>60.9074223890</td></tr> <tr><td>2.425</td><td>60.8868233244</td></tr> <tr><td>2.45</td><td>60.9755470374</td></tr> <tr><td>2.475</td><td>61.1552315529</td></tr> <tr><td>2.5</td><td>61.4123925302</td></tr> <tr><td>2.525</td><td>61.7383095217</td></tr> <tr><td>2.55</td><td>62.1275620826</td></tr> </tbody> </table>	Freq [GHz]	Axial Ratio [dB]	2.25	66.1716689591	2.275	64.1198524655	2.3	62.8061811640	2.325	61.9438892177	2.35	61.3908167202	2.375	61.0632069741	2.4	60.9074223890	2.425	60.8868233244	2.45	60.9755470374	2.475	61.1552315529	2.5	61.4123925302	2.525	61.7383095217	2.55	62.1275620826	 <p>Axial-Ratio Vs. Frequency</p> <p>Plot showing Axial Ratio (dB) vs Frequency (GHz) for a 1×0.6 antenna. The curve shows a broad minimum around 2.4 GHz and increases at both lower and higher frequencies.</p>	<p>60,9074223890</p> <p>Bentuk Polarisasi: Linier</p>
Freq [GHz]	Axial Ratio [dB]																															
2.25	66.1716689591																															
2.275	64.1198524655																															
2.3	62.8061811640																															
2.325	61.9438892177																															
2.35	61.3908167202																															
2.375	61.0632069741																															
2.4	60.9074223890																															
2.425	60.8868233244																															
2.45	60.9755470374																															
2.475	61.1552315529																															
2.5	61.4123925302																															
2.525	61.7383095217																															
2.55	62.1275620826																															

4.



Ukuran (p x l) = *infinite*
= ~ mm²

Freq [GHz]	Axial Ratio [dB]
2.25	72.5876600021
2.275	74.4319520153
2.3	76.2878462054
2.325	78.1602885972
2.35	80.0529811920
2.375	81.9679703342
2.4	83.9052955048
2.425	85.8628857145
2.45	87.8329908771
2.475	89.8019741188
2.5	91.7453317782
2.525	93.6248072412
2.55	95.3843815955



83,9052955048

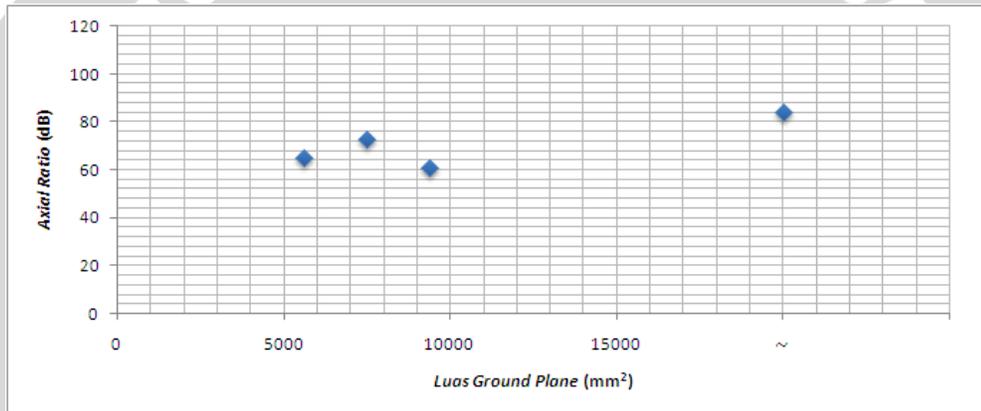
Bentuk
Polarisasi:
linier

(Sumber: Simulasi)

Berdasarkan hasil analisis perhitungan polarisasi antena *microstrip* pada tabel 5.15 dapat diketahui bahwa:

- Bentuk pola radiasi yang dimilikinya adalah linier.
- *Axial ratio* yang dimilikinya semakin besar, kecuali pada dimensi $1\lambda_0 \times 0,6\lambda_0$ (9.375 mm^2) *axial ratio* menurun.
- *Axial ratio* yang paling maksimal terjadi pada antena yang memiliki *ground plane* dengan dimensi $0,8\lambda_0 \times 0,6\lambda_0$ (7.500 mm^2) yaitu sebesar 72,5889957378 dB.

Pengaruh dimensi *ground plane* pada kondisi panjang dimensi *ground plane* yang berubah-ubah dengan dan lebar dimensi *ground plane* yang tetap ditunjukkan pada grafik 5.19.

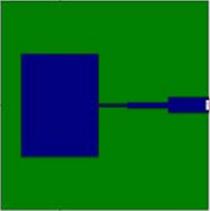
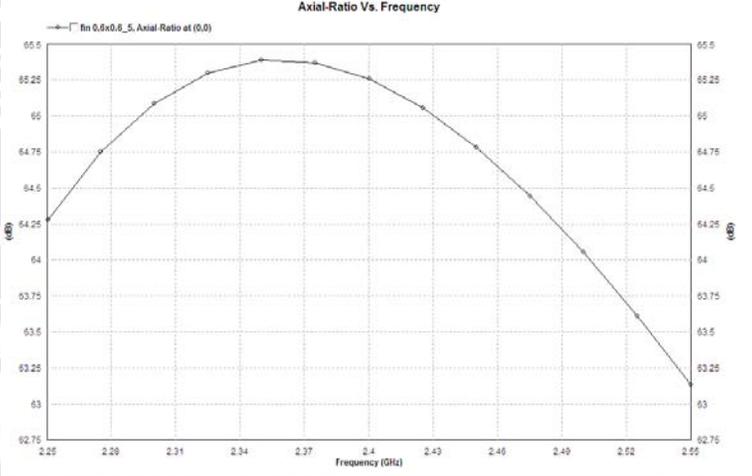


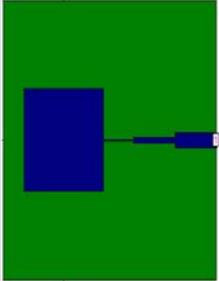
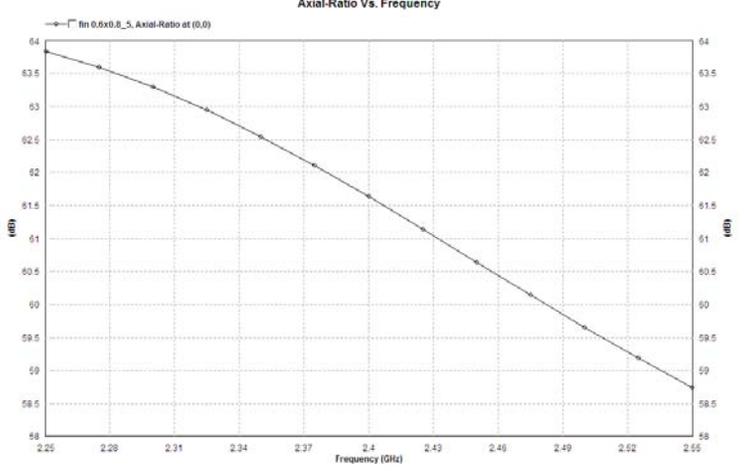
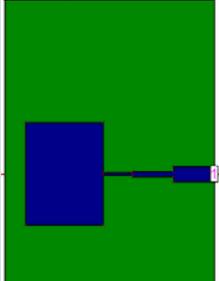
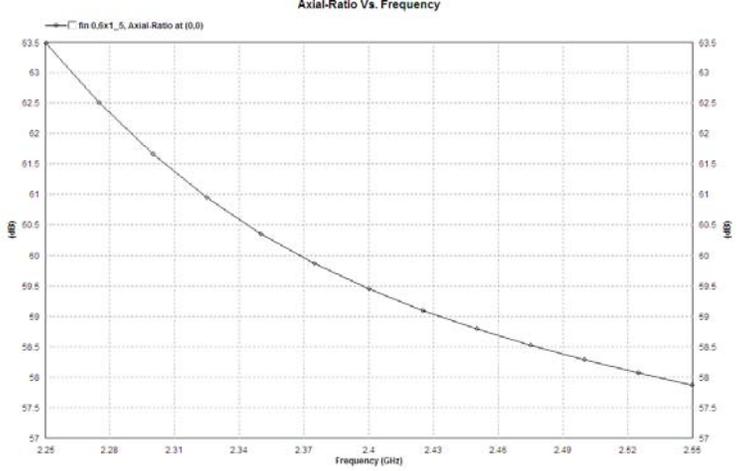
Grafik 5.19 Grafik hubungan *axial ratio* antena *microstrip* dengan dengan luas *ground plane* pada kondisi panjang dimensi *ground plane* yang berubah-ubah dengan dan lebar dimensi *ground plane* yang tetap pada frekuensi 2,4 GHz

(Sumber : Simulasi)

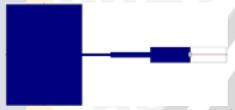
Tabel 5.16 Tabulasi Hasil Simulasi Pengaruh Dimensi *Ground Plane* terhadap *Gain*

Ket: Dengan bentuk *ground plane* adalah persegi panjang (*rectangular*) dan variabel panjang (p) tetap dan lebar (l) berubah pada arah tertentu

No.	Bentuk Antena <i>Microstrip Rectangular Patch</i> dengan Konfigurasi <i>Ground Plane</i>	Tabel <i>Axial Ratio</i>	Grafik <i>Axial Ratio</i>	<i>Axial Ratio</i> (dB)																												
1.	 <p>Ukuran (p x l) = $0,6 \lambda_0 \times 0,6 \lambda$ = $5,625 \text{ mm}^2$</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Freq [GHz]</th> <th><i>Axial Ratio</i> [dB]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>2.25</td><td>64.2792649746</td></tr> <tr><td>2.275</td><td>64.7502347040</td></tr> <tr><td>2.3</td><td>65.0862739661</td></tr> <tr><td>2.325</td><td>65.2950350792</td></tr> <tr><td>2.35</td><td>65.3854368387</td></tr> <tr><td>2.375</td><td>65.3681307459</td></tr> <tr><td>2.4</td><td>65.2542053932</td></tr> <tr><td>2.425</td><td>65.0548118629</td></tr> <tr><td>2.45</td><td>64.7810613020</td></tr> <tr><td>2.475</td><td>64.4433540784</td></tr> <tr><td>2.5</td><td>64.0510995781</td></tr> <tr><td>2.525</td><td>63.6125726543</td></tr> <tr><td>2.55</td><td>63.1346651902</td></tr> </tbody> </table>	Freq [GHz]	<i>Axial Ratio</i> [dB]	2.25	64.2792649746	2.275	64.7502347040	2.3	65.0862739661	2.325	65.2950350792	2.35	65.3854368387	2.375	65.3681307459	2.4	65.2542053932	2.425	65.0548118629	2.45	64.7810613020	2.475	64.4433540784	2.5	64.0510995781	2.525	63.6125726543	2.55	63.1346651902		<p>65,2542053932</p> <p>Bentuk Polarisasi: Linier</p>
Freq [GHz]	<i>Axial Ratio</i> [dB]																															
2.25	64.2792649746																															
2.275	64.7502347040																															
2.3	65.0862739661																															
2.325	65.2950350792																															
2.35	65.3854368387																															
2.375	65.3681307459																															
2.4	65.2542053932																															
2.425	65.0548118629																															
2.45	64.7810613020																															
2.475	64.4433540784																															
2.5	64.0510995781																															
2.525	63.6125726543																															
2.55	63.1346651902																															

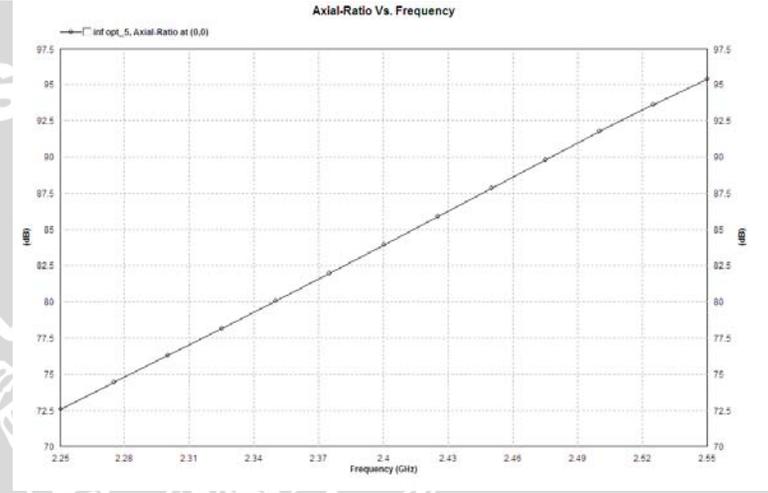
<p>2.</p>	 <p>Ukuran (p x l) = $0,6 \lambda_0 \times 0,8 \lambda_0$ = 7.500 mm^2</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Freq [GHz]</th> <th>Axial Ratio [dB]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>2.25</td><td>63.8339017528</td></tr> <tr><td>2.275</td><td>63.5914102758</td></tr> <tr><td>2.3</td><td>63.2935173237</td></tr> <tr><td>2.325</td><td>62.9419248684</td></tr> <tr><td>2.35</td><td>62.5419948170</td></tr> <tr><td>2.375</td><td>62.1010891907</td></tr> <tr><td>2.4</td><td>61.6287694391</td></tr> <tr><td>2.425</td><td>61.1362914791</td></tr> <tr><td>2.45</td><td>60.6353870154</td></tr> <tr><td>2.475</td><td>60.1372094366</td></tr> <tr><td>2.5</td><td>59.6510467223</td></tr> <tr><td>2.525</td><td>59.1840419400</td></tr> <tr><td>2.55</td><td>58.7399869211</td></tr> </tbody> </table>	Freq [GHz]	Axial Ratio [dB]	2.25	63.8339017528	2.275	63.5914102758	2.3	63.2935173237	2.325	62.9419248684	2.35	62.5419948170	2.375	62.1010891907	2.4	61.6287694391	2.425	61.1362914791	2.45	60.6353870154	2.475	60.1372094366	2.5	59.6510467223	2.525	59.1840419400	2.55	58.7399869211		<p>61,6287694391</p> <p>Bentuk Polarisasi: Linier</p>
Freq [GHz]	Axial Ratio [dB]																															
2.25	63.8339017528																															
2.275	63.5914102758																															
2.3	63.2935173237																															
2.325	62.9419248684																															
2.35	62.5419948170																															
2.375	62.1010891907																															
2.4	61.6287694391																															
2.425	61.1362914791																															
2.45	60.6353870154																															
2.475	60.1372094366																															
2.5	59.6510467223																															
2.525	59.1840419400																															
2.55	58.7399869211																															
<p>3.</p>	 <p>Ukuran (p x l) = $0,6 \lambda_0 \times 1 \lambda_0$ = 9.375 mm^2</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Freq [GHz]</th> <th>Axial Ratio [dB]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>2.25</td><td>63.4706123407</td></tr> <tr><td>2.275</td><td>62.4951111991</td></tr> <tr><td>2.3</td><td>61.6544871669</td></tr> <tr><td>2.325</td><td>60.9447837638</td></tr> <tr><td>2.35</td><td>60.3521879494</td></tr> <tr><td>2.375</td><td>59.8591444553</td></tr> <tr><td>2.4</td><td>59.4463958164</td></tr> <tr><td>2.425</td><td>59.0964549419</td></tr> <tr><td>2.45</td><td>58.7950100356</td></tr> <tr><td>2.475</td><td>58.5300204690</td></tr> <tr><td>2.5</td><td>58.2925684341</td></tr> <tr><td>2.525</td><td>58.0759815417</td></tr> <tr><td>2.55</td><td>57.8754422197</td></tr> </tbody> </table>	Freq [GHz]	Axial Ratio [dB]	2.25	63.4706123407	2.275	62.4951111991	2.3	61.6544871669	2.325	60.9447837638	2.35	60.3521879494	2.375	59.8591444553	2.4	59.4463958164	2.425	59.0964549419	2.45	58.7950100356	2.475	58.5300204690	2.5	58.2925684341	2.525	58.0759815417	2.55	57.8754422197		<p>59,4463958164</p> <p>Bentuk Polarisasi: Linier</p>
Freq [GHz]	Axial Ratio [dB]																															
2.25	63.4706123407																															
2.275	62.4951111991																															
2.3	61.6544871669																															
2.325	60.9447837638																															
2.35	60.3521879494																															
2.375	59.8591444553																															
2.4	59.4463958164																															
2.425	59.0964549419																															
2.45	58.7950100356																															
2.475	58.5300204690																															
2.5	58.2925684341																															
2.525	58.0759815417																															
2.55	57.8754422197																															

4.



Ukuran (p x l) = *infinite*
= ~ mm²

Freq [GHz]	Axial Ratio [dB]
2.25	72.5876600021
2.275	74.4319520153
2.3	76.2878462054
2.325	78.1602885972
2.35	80.0529811920
2.375	81.9679703342
2.4	83.9052955048
2.425	85.8628857145
2.45	87.8329908771
2.475	89.8019741188
2.5	91.7453317782
2.525	93.6248072412
2.55	95.3843815955



83,9052955048

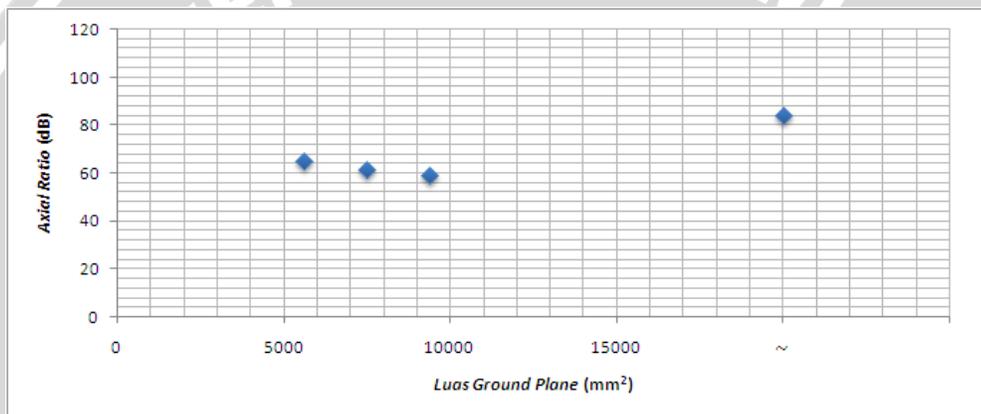
Bentuk
Polarisasi:
linier

(Sumber: Simulasi)

Berdasarkan hasil analisis perhitungan polarisasi antenna *microstrip* pada tabel 5.16 dapat diketahui bahwa:

- Bentuk pola radiasi yang dimilikinya adalah linier.
- *Axial ratio* yang dimilikinya semakin kecil.
- *Axial ratio* yang paling maksimal terjadi pada antenna yang memiliki *ground plane* dengan dimensi $0,6\lambda_0 \times 0,6\lambda_0$ (5.625 mm^2) yaitu sebesar 65,2542053932 dB.

Pengaruh dimensi *ground plane* pada kondisi panjang dimensi *ground plane* yang tetap dengan lebar dimensi *ground plane* yang berubah-ubah ditunjukkan pada grafik 5.20.



Grafik 5.20 Grafik hubungan *axial ratio* antenna *microstrip* dengan dengan luas *ground plane* pada kondisi panjang dimensi *ground plane* yang tetap dengan lebar dimensi *ground plane* yang berubah-ubah pada frekuensi 2,4 GHz

(Sumber : Simulasi)

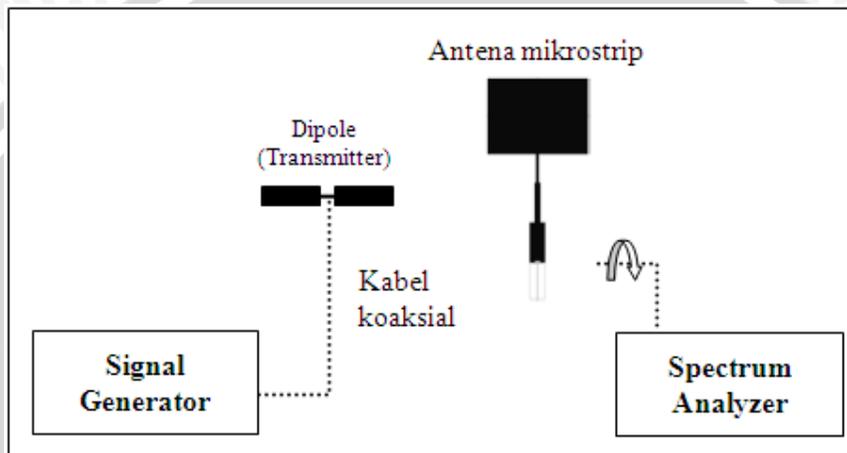
5.5.2.2 Pengukuran

5.5.2.2.1 Alat-Aat yang Digunakan

1. *Signal Generator FR 3413* 250 kHz - 3 GHz *Aeroflex*.
2. *Spectrum Analyzer GSP-827* 2,7 GHz *Gw INSTEK*
3. Satu buah antenna standar *dipole sleeve* $\lambda/2$
4. Antena uji (antena *microstrip* dengan *finite ground plane* $1 \lambda_0 \times 1 \lambda_0$)
5. Kabel koaksial RG-58A/U
6. Konektor tipe N *Female*
7. Dua buah tiang penyangga dengan skala sudut putar

5.5.2.2 Prosedur Pengukuran

1. Memasang antenna *dipole sleeve $\lambda/2$* sebagai antenna pemancar dengan menghubungkannya ke *Signal Generator* menggunakan kabel koaksial RG-58A/U
2. Memasang antenna uji sebagai antenna penerima dengan menghubungkannya ke *Spectrum Analyzer* menggunakan kabel koaksial RG-58A/U, seperti ditunjukkan pada gambar 5.4.



Gambar 5.7 Rangkaian pengukuran polarisasi antenna
(Sumber : Pengukuran)

3. Memposisikan antenna pemancar sejajar dengan antenna uji, kemudian mengatur *Signal Generator* pada frekuensi 2400 MHz.
4. Memutar antenna pemancar (antenna *dipole sleeve $\lambda/2$*) pada sumbu horizontal antenna, dari 0° sampai 360° dengan interval 10° , dan mencatat nilai daya yang ditunjukkan oleh *Spectrum Analyzer* pada tiap-tiap interval pemutaran.

5.5.2.2.3 Hasil Pengukuran

Berdasarkan hasil pengukuran polarisasi yang dilakukan, maka diperoleh nilai daya yang diterima oleh antenna uji (*Antena Microstrip Rectangular Patch*), setiap antenna pemancar diputar 10° pada sumbu horisontal. Nilai daya yang diterima tersebut kemudian dinormalisasi, sehingga data hasil pengukuran dapat diubah ke dalam bentuk diagram polar. Data hasil pengukuran polarisasi pada frekuensi 2,4 GHz terlihat dalam tabel 5.17.

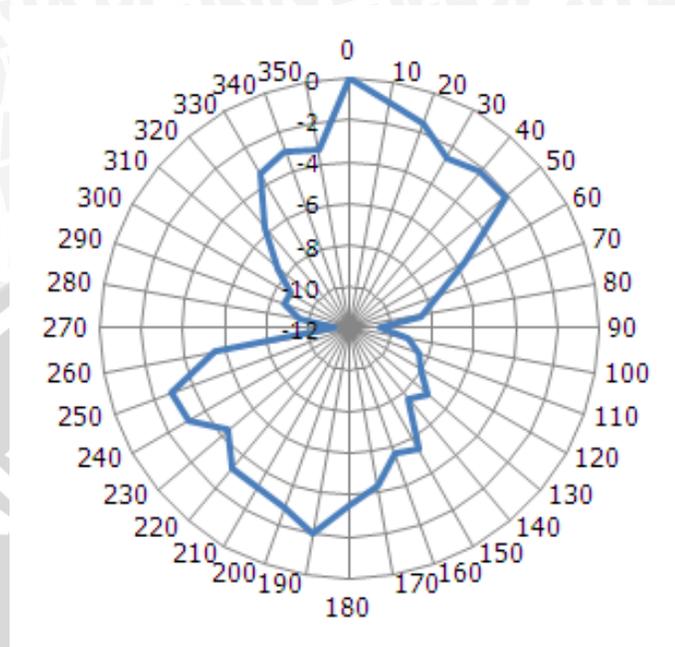
Tabel 5.17 Hasil pengukuran polarisasi antena *microstrip* dengan *finite ground plane* $1 \lambda_0 \times 1 \lambda_0$

No.	Sudut (°)	Daya yang terukur (dBm)	Normalisasi (dB)
1	0	-64.9	0
2	10	-65.9	-1
3	20	-66.5	-1.6
4	30	-67.5	-2.6
5	40	-67.1	-2.2
6	50	-67.1	-2.2
7	60	-70.5	-5.6
8	70	-72.3	-7.4
9	80	-73.4	-8.5
10	90	-75.4	-10.5
11	100	-74	-9.1
12	110	-73.3	-8.4
13	120	-72.9	-8
14	130	-72	-7.1
15	140	-72.5	-7.6
16	150	-70.2	-5.3
17	160	-70.5	-5.6
18	170	-69.2	-4.3
19	180	-68.4	-3.5
20	190	-66.9	-2
21	200	-67.7	-2.8
22	210	-68.1	-3.2
23	220	-68.1	-3.2
24	230	-69.3	-4.4
25	240	-68	-3.1
26	250	-67.8	-2.9
27	260	-70.3	-5.4
28	270	-76.2	-11.3
29	280	-74.5	-9.6
30	290	-73.6	-8.7
31	300	-73.6	-8.7
32	310	-72.4	-7.5
33	320	-70.6	-5.7
34	330	-68.3	-3.4
35	340	-67.9	-3
36	350	-68.2	-3.3
37	360	-64.9	0

(Sumber : Pengukuran)

Berdasarkan data hasil pengukuran polarisasi dalam tabel 5.17, dengan mengubah data nilai daya yang telah dinormalisasi ke dalam bentuk diagram polar, maka dapat diketahui bentuk polarisasi antena yang diuji (Antena

Microstrip Rectangular Patch) tersebut. Bentuk polarisasi antenna yang diuji pada frekuensi 2,4 GHz dapat dilihat dalam gambar 5.8.



Gambar 5.8 Polarisasi antenna *microstrip* dengan *finite ground plane* $1 \lambda_0 \times 1 \lambda_0$

(Sumber : Pengukuran)

Berdasarkan gambar 5.8 tampak bahwa bentuk polarisasi Antena *Microstrip Rectangular Patch* hasil pembuatan adalah menyerupai bentuk linier. Oleh sebab itu, maka antenna ini dapat digolongkan sebagai antenna yang berpolarisasi linier.

Nilai *axial ratio* antenna *microstrip rectangular patch* untuk tiap – tiap besar *groundplane* tidak sama. Pada frekuensi perencanaan antenna yaitu 2,4 GHz antenna yang memiliki *ground plane* dengan dimensi $1 \lambda_0 \times 1 \lambda_0$ (15.625 mm^2) memiliki nilai *axial ratio* yaitu sebesar 10,5 dB.

5.5.3 Analisis Hasil Perhitungan

Berdasarkan hasil analisis perhitungan pola radiasi antenna *microstrip* di atas dapat diketahui bahwa:

1. Bentuk polarisasi yang dimilikinya adalah linier.
2. *Axial ratio* pada polarisasi antenna *microstrip* dipengaruhi oleh dimensi *ground plane*, diantaranya:

- Pada kondisi panjang dan lebar dimensi *ground plane* yang berubah-ubah, *axial ratio* yang dimilikinya semakin besar.
 - Pada kondisi panjang dimensi *ground plane* berubah-ubah dengan lebar dimensi *ground plane* tetap, *axial ratio* yang dimilikinya semakin besar kecuali pada dimensi $1\lambda_0 \times 0,6\lambda_0$ (9.375 mm^2) *axial ratio* menurun.
 - Pada kondisi panjang dimensi *ground plane* tetap dengan lebar dimensi *ground plane* berubah-ubah, *axial ratio* yang dimilikinya semakin kecil.
3. *Axial ratio* antena *microstrip rectangular patch* dengan dimensi $1\lambda_0 \times 1\lambda_0$ (15.625 mm^2) hasil pengukuran lebih kecil dari *bandwidth* hasil simulasi yang hanya sebesar 10,5 dB.

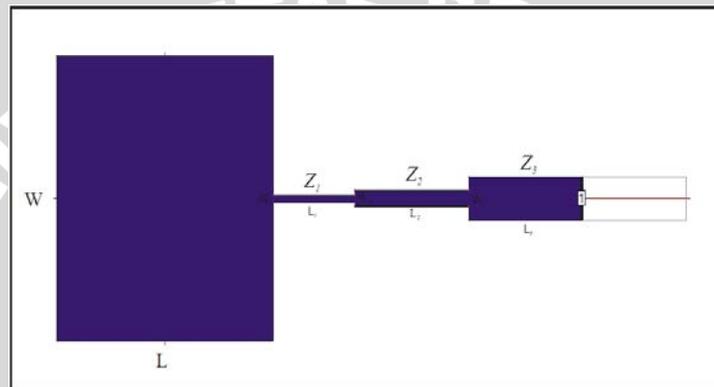


BAB VI PENUTUP

6.1 Kesimpulan

Dari hasil simulasi dan analisa diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Berdasarkan hasil perancangan dan pembuatan, antenna mikrostrip *rectangular patch* dengan *finite ground plane* ini dibuat dengan menggunakan bahan FR-4 dengan nilai Konstanta dielektrik (ϵ_r) = 4,6



Gambar 6.1 Antena *microstrip rectangular patch* dengan *infinite ground plane*
(Sumber : Perencanaan)

Elemen Peradiasi :

$$W = 36,8 \text{ mm} \quad W_1 = 0,9 \text{ mm} \quad W_2 = 2 \text{ mm} \quad W_3 = 5,622 \text{ mm}$$

$$L = 27,8 \text{ mm} \quad L_1 = 10,57 \text{ mm} \quad L_2 = 14,57 \text{ mm} \quad L_3 = 14,57 \text{ mm}$$

Ground Plane ($\lambda_0 = 125 \text{ mm}$) :

$$0,6 \lambda_0 = 0,6 \times 125 = 75 \text{ mm}$$

$$0,8 \lambda_0 = 0,8 \times 125 = 100 \text{ mm}$$

$$1 \lambda_0 = 1 \times 125 = 125 \text{ mm}$$

2. Nilai *bandwidth* antenna *microstrip* dipengaruhi oleh dimensi *ground plane*, diantaranya:

- Pada kondisi panjang dan lebar dimensi *ground plane* yang berubah-ubah, *bandwidth* yang dimilikinya semakin besar.

- Pada kondisi panjang dimensi *ground plane* berubah-ubah dengan lebar dimensi *ground plane* tetap, *bandwidth* yang dimilikinya semakin besar kecuali pada dimensi $1\lambda_0 \times 0,6\lambda_0$ (9.375 mm^2) nilai *bandwidth* menurun.
- Pada kondisi panjang dimensi *ground plane* tetap dengan lebar dimensi *ground plane* berubah-ubah, *bandwidth* yang dimilikinya semakin kecil kecuali pada dimensi $0,6\lambda_0 \times 1\lambda_0$ (9.375 mm^2) nilai *bandwidth* meningkat.

Bandwidth antenna *microstrip rectangular patch* dengan dimensi $1\lambda_0 \times 1\lambda_0$ (15.625 mm^2) hasil pengukuran lebih besar dari *bandwidth* hasil simulasi yang hanya sebesar 58,32 MHz.

Antena mengalami pergeseran frekuensi resonansi.

3. Nilai *gain* antenna *microstrip* dipengaruhi oleh dimensi *ground plane*, diantaranya:

- Pada kondisi panjang dan lebar dimensi *ground plane* yang berubah-ubah, *gain* yang dimilikinya semakin besar.
- Pada kondisi panjang dimensi *ground plane* berubah-ubah dengan lebar dimensi *ground plane* tetap, *gain* yang dimilikinya semakin kecil.
- Pada kondisi panjang dimensi *ground plane* tetap dengan lebar dimensi *ground plane* berubah-ubah, *gain* yang semakin kecil kecuali pada dimensi $0,6\lambda_0 \times 1\lambda_0$ (9.375 mm^2) nilai *gain* meningkat.

Gain antenna *microstrip rectangular patch* dengan dimensi $1\lambda_0 \times 1\lambda_0$ (15.625 mm^2) hasil pengukuran lebih kecil dari *gain* hasil simulasi yang hanya sebesar 2,6559808720 dBi.

4. Bentuk pola radiasi antenna *microstrip* tidak dipengaruhi oleh dimensi *ground plane*, bentuk pola radiasi yang dimilikinya adalah *unidirectional*.

Nilai *beamwidth* pada pola radiasi antenna *microstrip* dipengaruhi oleh dimensi *ground plane*, diantaranya:

- Pada kondisi panjang dan lebar dimensi *ground plane* yang berubah-ubah, *beamwidth* yang dimilikinya semakin besar.
- Pada kondisi panjang dimensi *ground plane* berubah-ubah dengan lebar dimensi *ground plane* tetap, *beamwidth* yang dimilikinya semakin besar

kecuali pada dimensi $1\lambda_0 \times 0,6\lambda_0$ (9.375 mm^2) nilai *beamwidth* pada pola radiasi vertikal menurun.

- Pada kondisi panjang dimensi *ground plane* tetap dengan lebar dimensi *ground plane* berubah-ubah, *beamwidth* yang dimilikinya semakin kecil kecuali pada dimensi $0,6\lambda_0 \times 1\lambda_0$ (9.375 mm^2) nilai *beamwidth* meningkat.

Nilai *front to back ratio* (F/B) pada pola radiasi antenna *microstrip* dipengaruhi oleh dimensi *ground plane*, diantaranya:

- Pada kondisi panjang dan lebar dimensi *ground plane* yang berubah-ubah, *front to back ratio* (F/B) pada pola radiasi horisontal yang dimilikinya semakin besar sedangkan pada *front to back ratio* (F/B) pada pola radiasi vertikal yang dimilikinya semakin kecil.
- Pada kondisi panjang dimensi *ground plane* berubah-ubah dengan lebar dimensi *ground plane* tetap, *front to back ratio* (F/B) pada pola horisontal yang dimilikinya semakin besar kecuali pada pola vertikal pada dimensi $1\lambda_0 \times 0,6\lambda_0$ (9.375 mm^2) nilai *front to back ratio*(F/B) menurun sedangkan *front to back ratio*(F/B) pada pola vertikal yang dimilikinya semakin kecil.
- Pada kondisi panjang dimensi *ground plane* tetap dengan lebar dimensi *ground plane* berubah-ubah, *front to back ratio* (F/B) yang dimilikinya semakin kecil.

Beamwidth dan *Front to Back Ratio* (F/B) antenna *microstrip rectangular patch* dengan dimensi $1\lambda_0 \times 1\lambda_0$ (15.625 mm^2) baik pada pola radiasi horisontal maupun vertikal hasil pengukuran lebih kecil dari *beamwidth* dan *Front to Back Ratio* (F/B) hasil simulasi.

Munculnya *minor lobe* pada pancaran radiasi *unidirectional* dan pada bidang E-plane terjadi pergeseran sudut nilai maksimum *main lobe*

5. Bentuk polarisasi antenna *microstrip* tidak dipengaruhi oleh dimensi *ground plane*, bentuk polarisasi yang dimilikinya adalah linier.

Axial ratio pada polarisasi antenna *microstrip* dipengaruhi oleh dimensi *ground plane*, diantaranya:

- Pada kondisi panjang dan lebar dimensi *ground plane* yang berubah-ubah, *axial ratio* yang dimilikinya semakin besar.
- Pada kondisi panjang dimensi *ground plane* berubah-ubah dengan lebar dimensi *ground plane* tetap, *axial ratio* yang dimilikinya semakin besar kecuali pada dimensi $1\lambda_0 \times 0,6\lambda_0$ (9.375 mm^2) *axial ratio* menurun.
- Pada kondisi panjang dimensi *ground plane* tetap dengan lebar dimensi *ground plane* berubah-ubah, *axial ratio* yang dimilikinya semakin kecil.

Axial ratio antena *microstrip rectangular patch* dengan dimensi $1\lambda_0 \times 1\lambda_0$ (15.625 mm^2) hasil pengukuran lebih kecil dari *bandwidth* hasil simulasi yang hanya sebesar 10,5 dB.

5.2 Saran

Ada beberapa hal yang perlu diperhatikan untuk menganalisis pengaruh *finite ground plane* pada antena *microstrip rectangular patch* ini dikemudian hari yaitu :

1. Mengingat proses pembuatan antena *microstrip* ini masih menggunakan cara manual maka diperlukan mesin yang dapat diatur kecepatan, tekanan, dimensi, dan ketebalannya agar didapat hasil dengan ketelitian yang lebih tinggi.
2. Untuk mencapai hasil yang lebih optimal ada baiknya untuk mengkaji sudut antar saluran transmisi pada antena *microstrip* ini sehingga memberikan hasil yang lebih baik.
3. Perlu dikaji bentuk antena *microstrip* yang lain baik dari jenis *software* simulator, banyak elemen, tata letak, maupun bentuk *ground planenya*, misalnya diamond, dan segitiga.
4. Ketelitian dalam proses pembuatan antena tersebut, sehingga ketepatan hasil pengukuran serta penguatan antena dapat diperoleh sesuai perencanaan. Oleh karena itu diperlukan alat ukur yang lebih teliti agar dimensi yang diinginkan dapat terpenuhi dan menghasilkan koefisien yang lebih kecil sehingga daya yang dipancarkan dapat diterima secara maksimal.

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.
- Stutzman, Warren L. and G. A. Thiele. 1981. *Antenna Theory and Design*. John Willey and Son, Inc. New York.
- Nakar, Punit S. 2004. *Design of a Compact Microstrip Patch Antenna for use in Wireless/Cellular Devices*. The Florida State University. Thesis.
- Herrera, Juan M. 1999. *Micropatch Antenna Array*. T.A Lee Romsey
- Liao, S Y. 1987. *Microwave Circuit Analysis and Amplifier Design, 2nd Edition*. Souders College Publishing, New York.
- Lagerqvist, Johan. 2002. *Design and Analysis of an Electrically Steerable Microstrip Antenna for Ground to Air Use*. Lulea University of Technology. Thesis
- Eko S, Astoto. 2004. *Perencanaan dan Pembuatan Antena Microstrip Rectangular Delapan Elemen pada Frekuensi 925 MHz*. Skripsi, Fakultas Teknik Univesitas Brawijaya, Malang.
- Vaudon, Patrick., Thierry Aubreton, Phelippe D. and B. Jecko. 1992. *Influence of the Ground Plane Structure on The Radiation Pattern of Microstrip Antenna*. Journal IEEE, *Institute of Electronic and Electrical Engineering* 1993.
- Noghalian, S. and L. Shafai. 1998. *Control Microstrip Antenna Radiation Characteristic by Ground Plane Size and Shape*. Journal IEEE, 1998.
- Huang, J. 2003. *Practical Design of Microstrip Arrays and Reflectarrays*. Antennas and Propagation Symposium and USNC/CNC/URSI North American Radio Science Meeting.
- Sumantyo, Josaphat Tetuko Sri, K. Ito, David D., T. Tanaka, Teruo O. and Hiroyuki Y. 2004. *Numerical Analisys of Ground Plane Size Effects on Patch Array Antenna Characteristics for Mobile Satellite Communications*. John Wiley & Sons, Ltd.
- Mak, C. L., Y. L. Chow and K.M. Luk. 2003. *Finite Ground Plane Effect of a Microstrip Patch Antenna: a CAD Formula of Impedance Perturbation by Synthetic Asymptote and GTD*. Antennas Propagation Journal IEEE, 2003.

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

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

Anonymous. <http://www.zeland.com>

Anonymous. <http://www.mentor.com>



Lampiran 1

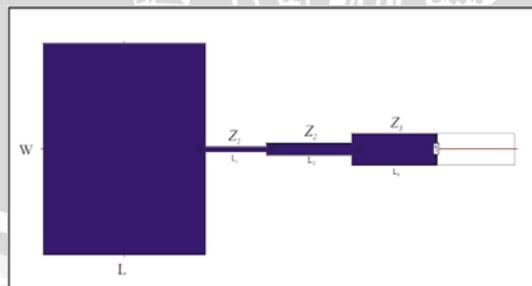
LANGKAH-LANGKAH SIMULASI

Dalam penyelesaian skripsi ini digunakan simulator IE3D dari Zeland Incorporation untuk merancang antenna dan mensimulasikan parameter-parameter dari antenna hasil rancangan. Lebih jauh lagi IE3D dapat melakukan optimasi, visualisasi arus dan perhitungan pola radiasi disamping simulasi. Dalam perancangan ada beberapa langkah yang harus dilakukan.

Tahap 1 Pemodelan Elemen Peradiasi

Bentuk elemen peradiasi yang akan disimulasikan adalah seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Untuk membuat geometri antenna kita menggunakan MGrid. Parameter dasar dari antenna mikrostrip adalah sebagai berikut

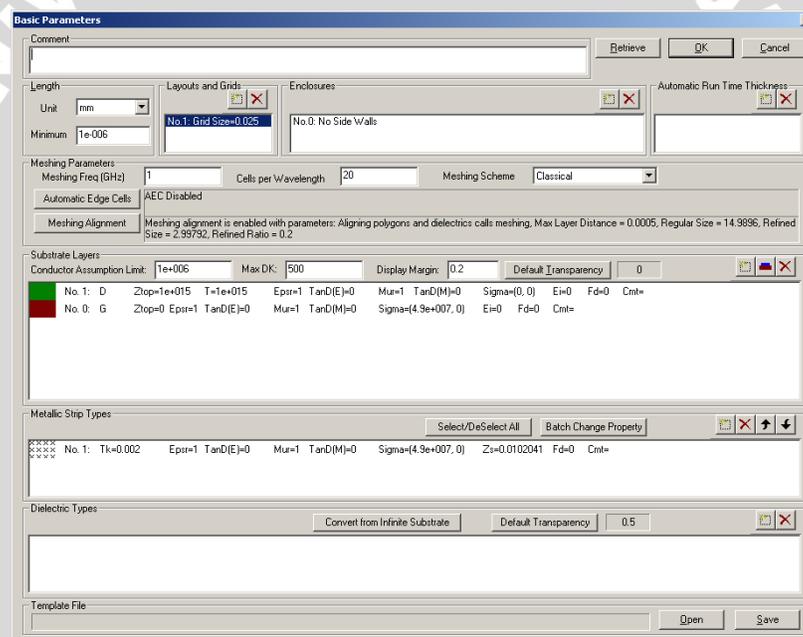
Bahan Epoxy fiberglass – FR 4	
Konstanta dielektrik (ϵ_r)	= 4.6
Ketebalan lapisan dielektrik (h)	= 1.6 mm
<i>Loss tangent</i>	= 0.018
Bahan pelapis substrat (konduktor) tembaga	
Ketebalan bahan konduktor (t)	= 0.0001 m
Konduktifitas tembaga (σ)	= 5.80×10^7 mho m^{-1}
Frekuensi kerja (f_r)	= 2400 MHz
Impedansi karakteristik saluran	= 50Ω



Gambar 1 Elemen peradiasi

(Sumber: Simulasi)

- Step 1 Buka **Zeland Program Manager 12.0**. Jalankan IE3D → MGrid. Pilih File→New command. MGrid akan menunjukkan *Basic Parameter*. Pada bagian *length group*, pilih unit sebagai “mm”. Pada *meshing parameter group* ubah frekuensi tertinggi (Fmax) menjadi 4 GHz dan *Cell per wavelength* menjadi 20. Pada substrate layer secara default tersedia dua layer yaitu layer *dielektrik* dan layer *ground*. Pada layer *ground* ganti nilai konduktivitasnya menjadi 5.80×10^7 mho m^{-1} (sesuai bahan konduktor yang dipilih). Kemudian tambahkan layer baru, pilih “*insert new substrate*”, masukkan “*Top surface, Ztop*” 1.6 mm, Konstanta Dielektrik, *Epsr* = 4.6. dan *loss tangent* 0.018. kemudian pilih OK untuk memasukkannya. MGrid siap untuk membuat geometri.



Gambar 2 Basic parameter

(Sumber: Simulasi)

Catatan: pendefinisian parameter ditentukan berdasarkan spesifikasi substrat dan konduktor yang dipilih.

- Step 2 Untuk membuat geometri pilih Entity→Rectangle. MGrid akan memberikan parameter (X,Y,Z) = (0, 0, 16). Masukkan panjang (L) = 27,8 dan lebar (W) = 36,8. Pilih Ok untuk meneruskannya.
- Step 3 Tekan “*shift*” dan pilih vertek 1 dan 2 pada Gambar 3.a. Pilih Adv Edit→Continue Straight Path. Masukkan parameter Path Length = 10,57, Path

Start Width = Path End Width = 0,9. Pilih OK dan MGrid akan membuat *inset feed line* sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3.b.

Ulangi Step 3 dengan memasukkan parameter berikut ini:

Pada vertek 3 dan 4,

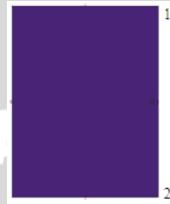
$$W = 2 \text{ mm}$$

$$L = 14,57 \text{ mm}$$

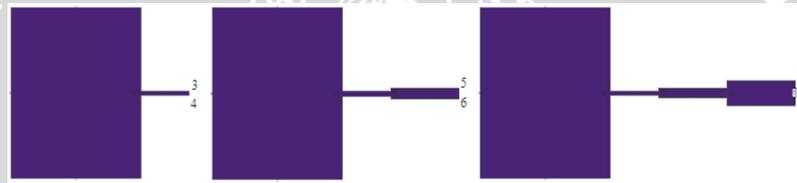
Pada vertek 5 dan 6,

$$W = 5,622 \text{ m}$$

$$L = 14,57 \text{ mm}$$



(a) Rectangular patch



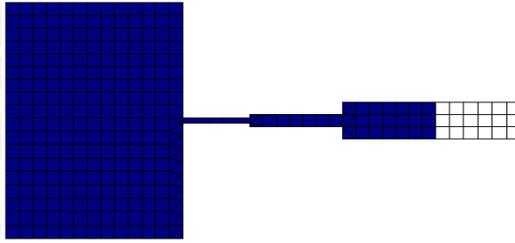
(b) Dengan *inset* dan *feed line*

Gambar 3 Bentuk struktur pada beberapa langkah

(Sumber: Simulasi)

Step 4 Pilih Port → Port for Edge Group. Pilih *Advanced Extention for the De-Embedding scheme*. Tandai *Auto Adjustment*. Kemudian pilih OK untuk menerima nilai *default*. Tekan shift dan pilih vertices 7 dan 8 (Gambar 3.b) untuk menentukan *port*. Pilih Port→Exit Port untuk keluar dari *port mode*. Simpan dan struktur siap disimulasikan.

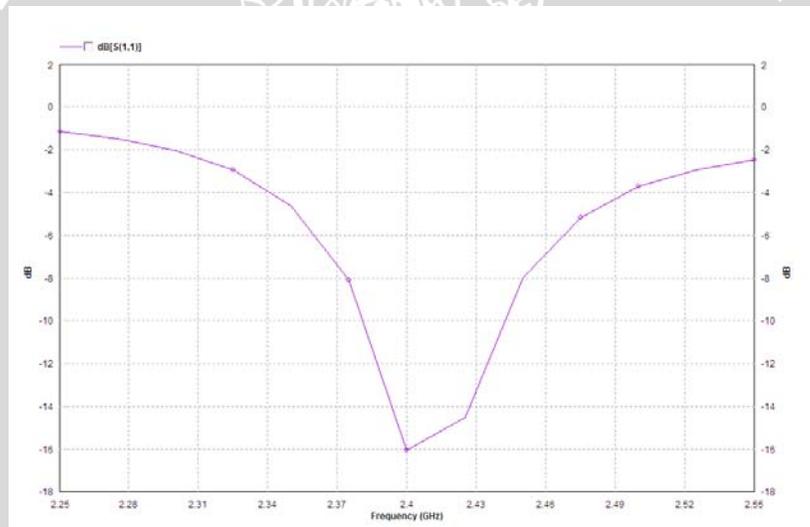
Step 6 Untuk melihat *mesh* dari antena pilih proses → *meshing*. Kita bisa memilih skema klasik atau kontemporer. Pilih OK untuk melanjutkan. Keluaran ditunjukkan Gambar 5.



Gambar 4 Meshing struktur

(Sumber: Simulasi)

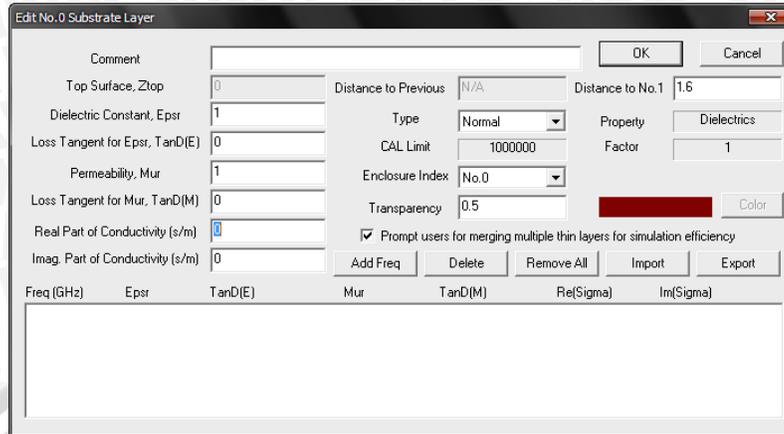
Step 7 Pilih *process* → *simulate*. Kemudian akan muncul kotak dialog *simulation setup*. Masukkan frekuensi, *start freq* = 2.25 GHz, *End freq* = 2.55 GHz dan *number of freq* = 13. Kemudian pilih OK untuk melakukan simulasi. Simulasi membutuhkan waktu beberapa menit, setelah simulasi selesai akan muncul MODUA yang akan menampilkan hasil simulasi (Gambar 5)

Gambar 5 Hasil simulasi S_{11} elemen peradisi

(Sumber: Simulasi)

Tahap 2 Pemodelan *Ground Plane*

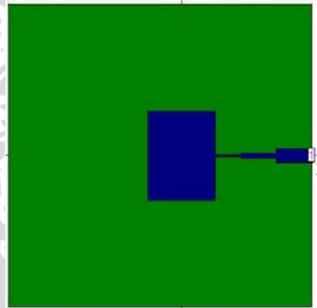
- Step 1 Pilih *param* → *basic parameter*, untuk menghapus *ground plane* yang *infinite* dari lapisan substrat.
- Step 2 Pada layer *ground* ganti nilai konduktivitasnya menjadi 0 mho m^{-1} . kemudian pilih OK untuk memasukkannya. MGrid siap untuk membuat *ground plane*.



Gambar 6 kotak dialog layer ground plane

(Sumber: Simulasi)

- Step 3 Untuk membuat *ground plane* dengan dimensi $1\lambda_0 \times 1\lambda_0$ pilih Entity \rightarrow Rectangle. Masukkan parameter (X,Y,Z) = (-8.89, 0, 0), panjang (L) = 125 dan lebar (W) = 125. Pilih Ok untuk meneruskannya.
- Step 4 Pilih *port* \rightarrow *delete all port*, untuk menghapus semua port.
- Step 5 Tekan “*shift*” dan pilih vertek 1 dan 2 pada Gambar 7. Pilih *adv edit* \rightarrow *build via connection on edges*, untuk membangun koneksi antara saluran transmisi dengan *ground plane*. Pilih OK untuk meneruskan.



Gambar 7 Antena *microstrip rectangular patch* dengan *finite ground plane*

(Sumber : Simulasi)

- Step 6 Simulasikan hasil perencanaan seperti yang telah disebutkan sebelumnya.

Lampiran 2

DOKUMENTASI PENGUKURAN



Gambar 8 Tampak depan antenna *Microstrip Rectangular Patch* dengan *Finite Ground Plane* $1\lambda_0 \times 1\lambda_0$ hasil fabrikasi



Gambar 9 Tampak depan antenna *Microstrip Rectangular Patch* dengan *Finite Ground Plane* $1\lambda_0 \times 1\lambda_0$ hasil fabrikasi



Gambar 10 *Spectrum Analyzer GSP-827 1,5 GHz-2,7 GHz Gwinstek*



Gambar 11 *Signal Generator FR 3413 250kHz – 3 GHz Aeroflex*



Gambar 10 Antena yang terhubung dengan *Spectrum Analyzer* GSP-827
1,5 GHz-2,7 GHz Gwinstek



Gambar 11 Hasil Pengukuran S_{11} pada rentang 1,5 GHz – 2,7 GHz



Gambar 12 *Measurement site*



