



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**RANCANG BANGUN ANTENA MIKROSTRIP *SLOT*  
*TRIANGULAR ARRAY 8 ELEMEN* DENGAN PENCATUAN  
*MICROSTRIP FEED LINE* SECARA TIDAK LANGSUNG  
UNTUK APLIKASI CPE WIMAX**

**SKRIPSI**

**HERI RAHMADYANTO  
04 05 03 0435**

**DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA  
DESEMBER, 2009**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**RANCANG BANGUN ANTENA MIKROSTRIP *SLOT*  
*TRIANGULAR ARRAY 8 ELEMEN* DENGAN PENCATUAN  
*MICROSTRIP FEED LINE* SECARA TIDAK LANGSUNG  
UNTUK APLIKASI CPE WIMAX**

**SKRIPSI**

**Diajukan untuk melengkapi  
sebagian persyaratan menjadi sarjana teknik**

**HERI RAHMADYANTO  
04 05 03 0435**

**DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA  
DESEMBER, 2009**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Heri Rahmadyanto

NPM : 0405030435

Tanda Tangan :



Tanggal : 05 Desember 2009

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :  
Nama : Heri Rahmadyanto  
NPM : 0405030435  
Program Studi : Teknik Elektro  
Judul Skripsi : Rancang Bangun Antena Mikrostrip *Slot Triangular Array* 8 Elemen Dengan Pencatuan *Microstrip Feed Line* Secara Tidak Langsung Untuk Aplikasi CPE WiMAX.

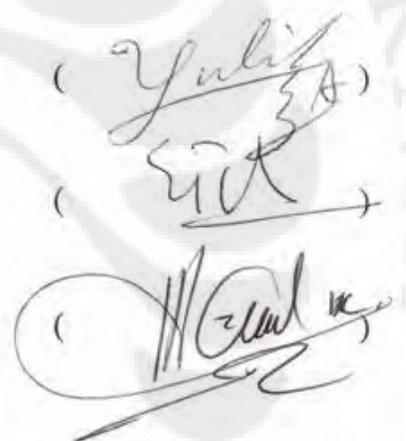
**Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk mata kuliah Skripsi pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia**

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. Ir. Fitri Yuli Zulkifli, M.Sc.

Penguji : Prof. Dr. Ir. Eko Tjipto Rahardjo M.Sc

Penguji : Dr. Ir. Muhammad Asvial, M.Eng



Ditetapkan di : Depok  
Tanggal : 7 Januari 2010

## KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi tugas mata kuliah Skripsi di Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada :

1. *Dr.Ir. Fitri Yuli Zulkifli, Msc*, selaku dosen pembimbing dan *Prof. Eko Tjipto Rahardjo*, selaku Ketua *Antena Propagation and Microwave Research Group* yang telah bersedia meluangkan waktu memberi pengarahan, diskusi, bimbingan serta menyetujui sebagai bagian dari penelitian pada *Antenna and Microwave Research Group (AMRG)* sehingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik
2. Orang tua dan keluarga yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral sehingga membuat saya selalu termotivasi, kuat serta mampu untuk menyelesaikan skripsi ini
3. Citra "Ciput" Purdiaswari yang telah sabar dan ikhlas menjaga semangat saya dan banyak memberi dukungan dalam penyusunan skripsi
4. Oki, Indra K, Aditya Inzani, M.Tajudin, Dandy F, Feri, Datong, Rinda, Mayang D, R.R Aditya, Nia dan rekan-rekan mahasiswa/i Teknik Elektro Angkatan 2005 yang telah banyak membantu dan mendukung saya.
5. Semua pihak yang telah membantu baik secara langsung maupun tidak langsung yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu.

Akhir kata, saya berharap Allah SWT membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, 05 Desember 2009



Penulis

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

---

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

Nama : Heri Rahmadyanto  
NPM : 0405030435  
Program Studi : Teknik Elektro  
Fakultas : Teknik  
Jenis karya : Skripsi

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

**RANCANG BANGUN ANTENA MIKROSTRIP *SLOT TRIANGULAR*  
ARRAY 8 ELEMEN DENGAN PENCATUAN *MICROSTRIP FEED LINE*  
SECARA TIDAK LANGSUNG UNTUK APLIKASI CPE WIMAX**

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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok  
Pada Tanggal : 07 Januari 2010  
Yang menyatakan



(Heri Rahmadyanto)

## ABSTRAK

Nama : Heri Rahmadyanto  
Program Studi : Teknik Elektro  
Judul : Rancang Bangun Antena Mikrostrip *Slot Triangular Array* 8 Elemen Dengan Pencatuan *Microstrip Feed Line* Secara Tidak Langsung Untuk Aplikasi CPE WiMAX  
Pembimbing : Dr. Fitri Yuli Zulkifli, ST, Msc.

WiMAX merupakan teknologi akses nirkabel pita lebar (*broadband wireless access*) yang mampu menjangkau area hingga puluhan kilometer serta mempunyai *bandwidth* yang lebar dan bit rate yang besar. Untuk menghubungkan antara sisi penyedia layanan dengan pelanggannya, maka aplikasi antena menjadi sangat penting. Supaya dapat diaplikasikan dalam sistem WiMAX dengan mudah, dibutuhkan jenis antena yang memiliki bentuk kompak, dimensi kecil, mudah untuk difabrikasi, mudah dikoneksikan dan diintegrasikan dengan divais elektronik lain. Antena mikrostrip merupakan jenis antena yang cocok digunakan untuk memenuhi kriteria ini.

Pada skripsi ini dirancang suatu antena mikrostrip *slot* segitiga *array* 8 elemen untuk aplikasi CPE WiMAX yang bekerja pada frekuensi 3,3 GHz (3,3-3,4 GHz) serta *gain*  $\leq 15$  dBi. Antena dirancang dengan menggunakan teknik pencatuan *Microstrip Feed Line* secara tidak langsung sedangkan untuk meningkatkan *gain* digunakan teknik antena susun (*array*).

Dari hasil pengukuran, nilai *impedance bandwidth* dari pengukuran antena adalah 490 MHz (3,19 – 3,68 GHz) atau sebesar 14,27 % terhadap frekuensi kerja antena (3,435 GHz) pada  $VSWR \leq 1,9$ . Pola radiasi yang dihasilkan adalah *Bidirectional* dan polarisasinya linear. *Gain* yang dihasilkan antena pada range frekuensi 3,3–3,4 GHz mencapai maksimum pada frekuensi 3,39 GHz sebesar 18,437 dBi.

Kata kunci: WiMAX, antena mikrostrip *slot*, *array*, pencatuan tidak langsung

## ABSTRACT

Name : Heri Rahmadyanto  
Study Program : Teknik Elektro  
Title : Eight Elements *Array* Triangular *Slot* Microstrip Antena  
With Undirect Microstrip Feed Line For CPE WiMAX  
Application  
Supervisor : Dr. Fitri Yuli Zulkifi, ST, Msc.

WiMAX is a broadband wireless access technology which can reach areas up to tens of kilometers and has a wide bandwidth and large bit rate. To connect between the service provider with customers, then the antenna application becomes very important. To be applied in a WiMAX system with ease, the antenna required has to have a compact shape, small dimensions, easy to be fabricated and easily connected and integrated with other electronic devices. Microstrip antenna is a suitable type of antenna used to meet this criterion.

In this final project, 8 Elements *Array* Triangular *Slot* Microstrip Antenna is designed for WiMAX application in 3,3 GHz (3,3-3,4 GHz) frequency band with  $\leq 15$  dBi *gain*. This antenna is designed with microstrip line feed and for higher *gain* it uses *array* technique.

From the measurements results, the value of the impedance bandwidth is 490 MHz (3.19 to 3.68 GHz) or 14.27% from the antenna operating frequency (3.435 GHz) at VSWR  $\leq 1.9$ . The radiation pattern of the antenna is bidirectional and it has linear polarization. At the 3.3-3.4 GHz frequency range, the antenna gain reaches its maximum at frequency 3.39 GHz of 18.437 dBi.

Key words : WiMAX, microstrip *slot* antena, *array*, undirect microstrip line feed

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS .....	ii
HALAMAN PENGESAHAN .....	iii
KATA PENGANTAR .....	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI .....	v
ABSTRAK .....	vi
ABSTRACT .....	vii
DAFTAR ISI .....	viii
DAFTAR GAMBAR .....	x
DAFTAR TABEL .....	xii
DAFTAR SINGKATAN .....	xiii
<b>1. PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Tujuan Penulisan .....	3
1.3. Batasan Masalah .....	4
1.4. Sistematika Penulisan .....	4
<b>2. ANTENA MIKROSTRIP .....</b>	<b>5</b>
2.1 Struktur Antena Mikrostrip .....	5
2.2 Metode <i>Cavity</i> untuk Analisa Antena Mikrostrip .....	7
2.3 Antena Mikrostrip <i>Slot</i> .....	10
2.4 Frekuensi Resonansi <i>Patch</i> Segitiga Sama Sisi .....	11
2.5 Antena <i>Wide Slot</i> Dengan Pencatuan <i>Microstrip Feed Line</i> .....	12
2.6 Saluran Mikrostrip ( <i>Microstrip Feed Line</i> ) .....	13
2.6.1 Perhitungan Lebar Saluran Mikrostrip ( <i>Microstrip Line</i> ) .....	14
2.6.2 Karakteristik Saluran Mikrostrip ( <i>Microstrip Line</i> ) untuk $W/h < 1$ .....	14
2.6.3 Karakteristik Saluran Mikrostrip ( <i>Microstrip Line</i> ) untuk $W/h > 1$ .....	14
2.7 Parameter Umum Antena Mikrostrip .....	15
2.7.1 Impedansi Masukan .....	15
2.7.2 VSWR (Voltage Standing Wave Ratio) .....	16
2.7.3 <i>Return Loss</i> .....	17
2.7.4 <i>Bandwidth</i> .....	17
2.7.5 Pola Radiasi .....	19
2.7.6 Penguatan (Gain) .....	20
2.7.7 Keterarahan (Directivity) .....	21
2.7.8 Polarisasi .....	22
2.8 Antena Mikrostrip <i>Array</i> .....	24
2.9 Impedance Matching .....	25
2.10 Power Divider .....	26
2.11 T-Junction 50 Ohm .....	27
<b>3. PERANCANGAN ANTENA DAN SIMULASI .....</b>	<b>27</b>
3.1 Pendahuluan .....	27
3.2 Perlengkapan Yang Digunakan .....	27
3.3 Diagram Alir Perancangan Antena .....	28
3.4 Menentukan Karakteristik Antena .....	29
3.5 Menentukan Jenis Subtrat yang Digunakan .....	30
3.6 Perancangan Dimensi <i>Slot</i> Segitiga Elemen Tunggal .....	31

3.7	Perancangan Lebar Saluran Pencatu .....	31
3.7.1	Perancangan Saluran Pencatu Mikrostrip 50 $\Omega$ .....	31
3.7.2	Perancangan Saluran Pencatu Mikrostrip 70,71 $\Omega$ .....	32
3.7.3	Perancangan Saluran Pencatu Mikrostrip 100 $\Omega$ .....	34
3.8	Simulasi Desain Antena Mikrostrip <i>Slot</i> Elemen Tunggal.....	35
3.8.1	Hasil Rancangan Awal.....	35
3.8.2	Hasil Simulasi Rancangan Awal.....	36
3.8.3	Karakterisasi Antena Elemen Tunggal .....	37
3.8.3.1	Karakterisasi Panjang Saluran Pencatu ( <i>l</i> ) .....	37
3.8.3.2	Karakterisasi Dimensi Substrat (Subs).....	38
3.8.3.3	Karakterisasi Sisi <i>Slot</i> Segitiga.....	40
3.8.4	Hasil Simulasi Elemen tunggal .....	40
3.9	Perancangan <i>Array Slot</i> Segitiga 2 Elemen .....	44
3.9.1	Pengaturan Jarak Antar Elemen .....	45
3.9.2	Karakterisasi Panjang Saluran Catu .....	46
3.9.3	Karakterisasi Dimensi <i>Slot</i> .....	47
3.9.4	Hasil Simulasi Antena 2 Elemen .....	48
3.10	Perancangan <i>Array Slot</i> Segitiga 8 Elemen .....	52
3.11	Prosedur Pengukuran Antena .....	58
3.11.1	Pengukuran Port Tunggal .....	58
3.11.2	Pengukuran Pola Radiasi .....	58
3.11.3	Pengukuran Gain Absolut.....	59
4.	HASIL PENGUKURAN DAN ANALISIS HASIL PENGUKURAN .....	60
4.1	Pengukuran Port Tunggal.....	60
4.1.1	Hasil Pengukuran Port Tunggal Antena Elemen Tunggal .....	60
4.1.2	Hasil Pengukuran Port Tunggal Antena 2 Elemen.....	63
4.1.3	Hasil Pengukuran Port Tunggal Antena <i>Array</i> 8 Elemen .....	66
4.2	Pengukuran Pola Radiasi.....	69
4.3	Pengukuran Gain .....	74
4.4	Analisis Hasil Pengukuran Port Tunggal .....	74
4.4.1	Antena Elemen Tunggal .....	74
4.4.2	Antena <i>Array</i> 2 Elemen .....	77
4.4.3	Antena <i>Array</i> 8 Elemen .....	79
4.5	Analisis Hasil Pengukuran Gain .....	81
4.6	Pengukuran <i>Axial ratio</i> .....	82
4.7	Analisis Kesalahan Umum .....	84
5.	<b>KESIMPULAN .....</b>	<b>88</b>
	DAFTAR ACUAN .....	89
	DAFTAR PUSTAKA.....	92
	LAMPIRAN-A PERATURAN DIRJEN POSTEL TENTANG PERSYARATAN TEKNIS ALAT DAN PERANGKAT TELEKOMUNIKASI ANTENA BWA .....	93
	LAMPIRAN-B DATA SIMULASI.....	100
	LAMPIRAN-C DATA HASIL PENGUKURAN .....	104

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Contoh Aplikasi CPE WiMAX [6] .....	2
Gambar 2.1	Bentuk Umum Antena Mikrostrip Beserta Variasi Elemen Peradiasinya[5] .....	5
Gambar 2.2	Beberapa Kategori Umum Antena Mikrostrip[7] .....	7
Gambar 2.3	<i>Charge Distribution</i> dan <i>Current Density</i> pada <i>Patch</i> Mikrostrip... 9	
Gambar 2.4	Antena Mikrostrip Slot yang Dicatu dengan Saluran Mikrostrip Line Secara (a) Short Circuit dan (b) Open Circuit Stub[7] .....	13
Gambar 2.5	Geometri Saluran Mikrostrip .....	14
Gambar 2.6	Rentang Frekuensi yang Menjadi Bandwidth[7] .....	18
Gambar 2.7	Pola Radiasi Directional [11] .....	20
Gambar 2.8	Polarisasi Linier[21].....	22
Gambar 2.9	Polarisasi Melingkar[21].....	23
Gambar 2.10	Polarisasi Elips[21] .....	23
Gambar 2.11	Antena <i>Array</i> [11] .....	25
Gambar 2.12	Pemberian Transformator $\lambda/4$ Untuk Memperoleh Impedance Matching .....	26
Gambar 2.13	N-Way Wilkinson Combiner .....	27
Gambar 2.14	<i>T-Junction</i> 50 Ohm .....	27
Gambar 3.1	Diagram Alir Perancangan <i>Slot</i> Antenna.....	29
Gambar 3.2	Tampilan Program PCAAD Untuk Mencari Lebar Catu Agar Mempunyai Impedansi 50 Ohm.....	32
Gambar 3.3	Perancangan T-Junction Impedansi 70,711 $\Omega$ .....	33
Gambar 3.4	Tampilan Program PCAAD Untuk Mencari Lebar Catu Agar Mempunyai Impedansi 70,711 Ohm.....	33
Gambar 3.5	Tampilan Program PCAAD Untuk Mencari Lebar Catu Agar Mempunyai Impedansi 100 Ohm.....	34
Gambar 3.6	Variasi Letak Pencatu Untuk Memperoleh Kondisi Sepadan [23] 35	
Gambar 3.7	Hasil Rancangan Awal Antena Single Elemen Berdasarkan Dasar Teori.....	36
Gambar 3.8	<i>Return Loss</i> Simulasi Awal.....	36
Gambar 3.9	Grafik <i>Return Loss</i> Pada Iterasi Feed Elemen Tunggal .....	38
Gambar 3.10	Grafik <i>Return Loss</i> Setelah Merubah Dimensi Substrat Antena Elemen Tunggal .....	39
Gambar 3.11	Grafik <i>Return Loss</i> Setelah Memvariasikan <i>Slot</i> Dengan <i>l</i> Tetap..40	
Gambar 3.12	Geometri Hasil Perancangan <i>Slot</i> Elemen Tunggal.....	41
Gambar 3.13	Hasil Simulasi <i>Return Loss</i> Elemen Tunggal.....	41
Gambar 3.14	Hasil Simulasi <i>VSWR</i> Elemen Tunggal.....	42
Gambar 3.15	Hasil Simulasi Pola Radiasi Elemen Tunggal.....	42
Gambar 3.16	Tampak 3 Dimensi Hasil Simulasi Pola Radiasi .....	43
Gambar 3.17	Desain Antena Dilihat dari Sisi <i>Slot</i> Peradiasi .....	45
Gambar 3.18	Grafik <i>Return Loss</i> Antena <i>Array</i> 2 Elemen Dengan Beda <i>l1</i> dan <i>l2</i> .....	47
Gambar 3.19	Grafik <i>Return Loss</i> Antena <i>Array</i> 2 Elemen Berdasarkan Variasi <i>Slot</i> .....	48
Gambar 3.20	Geometri Hasil Perancangan <i>Slot</i> <i>Array</i> 2 Elemen.....	48
Gambar 3.21	Hasil Simulasi <i>Return Loss</i> 2 Elemen.....	49

Gambar 3.22 Hasil Simulasi Vswr 2 Elemen .....	50
Gambar 3.23 Hasil Simulasi Pola Radiasi 2 Elemen .....	50
Gambar 3.24 Tampak 3 Dimensi Hasil Simulasi Pola Radiasi Antena <i>Slot Array</i> 2 Elemen.....	51
Gambar 3.25 Rancangan Akhir Antena <i>Array</i> 8 Elemen.....	53
Gambar 3.26 Hasil Simulasi Return Loss 8 Elemen.....	54
Gambar 3.27 Hasil Simulasi Vswr 8 Elemen .....	55
Gambar 3.28 Hasil Simulasi Pola Radiasi 8 Elemen .....	55
Gambar 3.29 Gambaran Pola Radiasi Antena <i>Slot Array</i> 8 Elemen Berdasarkan Hasil Simulasi.....	56
Gambar 3.30 Konfigurasi Pengukuran Port Tunggal.....	58
Gambar 3.31 Rangkaian Peralatan Pada Pengukuran Pola Radiasi.....	59
Gambar 4.1 Antena Hasil Fabrikasi.....	62
Gambar 4.2 Grafik <i>Return Loss</i> Hasil Pengukuran Antena Elemen Tunggal ....	63
Gambar 4.3 Grafik VSWR Hasil Pengukuran Antena Elemen Tunggal .....	63
Gambar 4.4 Grafik Impedansi Masukan Hasil Pengukuran Antena Elemen Tunggal.....	64
Gambar 4.5 Grafik <i>Return Loss</i> Hasil Pengukuran Antena <i>Array</i> 2 Elemen .....	65
Gambar 4.6 Grafik VSWR Hasil Pengukuran Antena <i>Array</i> 2 Elemen .....	66
Gambar 4.7 Grafik Impedansi Masukan Hasil Pengukuran Antena <i>Array</i> 2 Elemen.....	66
Gambar 4.8 Grafik <i>Return Loss</i> Hasil Pengukuran Antena <i>Array</i> 8 Elemen .....	68
Gambar 4.9 Grafik VSWR Hasil Pengukuran Antena <i>Array</i> 8 Elemen .....	68
Gambar 4.10 Grafik Impedansi Masukan Hasil Pengukuran Antena <i>Array</i> 8 Elemen.....	69
Gambar 4.11 Grafik Plot Medan-E Dan Medan-H Antena 8 Elemen Pada Frekuensi 3,35 GHz (a) Hasil Pengukuran (b) Hasil Simulasi.....	72
Gambar 4.12 Hasil Pengukuran Karakteristik Cross-Polarization Antena 8 Elemen Pada Frekuensi 3,35 GHz (a) E-co vs E-Cross (b) H-Co vs H-Cross .....	74
Gambar 4.13 Perbandingan Medan-Co Hasil Simulasi Dengan Pengukuran (a) E-Co Simulasi vs E-Co Ukur (b) H-Co Simulasi vs H-Co Ukur.....	75
Gambar 4.14 Perbandingan <i>Return loss</i> Hasil Simulasi Dengan Hasil Pengukuran Antena Elemen Tunggal .....	76
Gambar 4.15 Perbandingan VSWR Hasil Simulasi Dengan Hasil Pengukuran Antena Elemen Tunggal .....	77
Gambar 4.16 Perbandingan <i>Return Loss</i> Hasil Simulasi Dengan Hasil Pengukuran Antena <i>Array</i> 2 Elemen .....	79
Gambar 4.17 Perbandingan VSWR Hasil Simulasi Dengan Hasil Pengukuran Antena <i>Array</i> 2 Elemen .....	79
Gambar 4.18 Perbandingan <i>Return Loss</i> Hasil Simulasi Dengan Hasil Pengukuran Antena <i>Array</i> 8 Elemen .....	81
Gambar 4.19 Perbandingan VSWR Hasil Simulasi Dengan Hasil Pengukuran Antena <i>Array</i> 8 Elemen .....	81
Gambar 4.20 Grafik <i>Gain</i> Pada Antena 8 Elemen.....	83
Gambar 4.21 Grafik <i>Return loss</i> Antena <i>Array</i> 8 Elemen pada 3,3-3,4 GHz .....	85

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan Antara Microstrip Patch Dan <i>Slot</i> [7] .....	10
Tabel 3.1 Spesifikasi Substrat Yang Digunakan.....	30
Tabel 3.2 Dimensi Antena Hasil Rancangan Berdasarkan Teori .....	36
Tabel 3.3 Dimensi Antena Hasil Karakterisasi.....	41
Tabel 3.4 Tabel Keterangan Parameter Dimensi Antena Array 2 Elemen yang Akan Digunakan Pada Saat Karakterisasi Antena.....	45
Tabel 3.5 Nilai Return Loss Antena <i>Array</i> 2 Elemen Dengan Beda L1 Dan L2...47	47
Tabel 3.6 Dimensi Antena Array 2 Elemen Berdasarkan Desain Akhir Hasil Karakterisasi .....	49
Tabel 3.7 Dimensi Antena Hasil Akhir Simulasi <i>Array</i> 8 Elemen .....	54
Tabel 3.8 Rekap Hasil Simulasi.....	57
Tabel 4.1 Hasil Pengukuran Port Tunggal.....	70
Tabel 4.2 Perolehan Gain Antena 8 Elemen Dari Data Pengukuran Dengan Kombinasi 1-2, 2-3, Dan 1-3 .....	76
Tabel 4.3 Perbandingan Hasil Simulasi Dengan Pengukuran Port Tunggal Antena Elemen Tunggal.....	78
Tabel 4.4 Perbandingan Hasil Simulasi Dengan Pengukuran Port Tunggal Antena <i>Array</i> 2 Elemen.....	80
Tabel 4.5 Perbandingan Hasil Simulasi Dengan Pengukuran Port Tunggal Antena <i>Array</i> 8 Elemen.....	83

**DAFTAR SINGKATAN**

- a. BWA : *Broadband Wireless Access*
- b. CPE : *Customer Premises Equipment*
- c. dB : *Decibell*
- d. dBi : *Decibell Isotropic*
- e. Mbps : *Mega byte per second*
- f. GHz : *Giga Hertz*
- g. N : *Jenis konektor*
- h. RF : *Radio Frequency*
- i. SMA : *Jenis konektor*
- j. BS : *Base Station*
- k. SS : *Subscriber Station*
- l. VSWR : *Voltage Standing Wave Ratio*
- m. XPD : *Cross Polarization Discrimination*

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Peningkatan permintaan yang sangat pesat akan jasa internet di Indonesia belakangan ini telah ditunjang oleh peningkatan jumlah penjualan perangkat komputer, di sisi lain, penyedia jasa internet juga dituntut untuk dapat menyiapkan jumlah kapasitas bandwidth yang memadai yang ditunjang dengan teknologi dan kecepatan yang tinggi serta kemudahan dalam akses dan jangkauan yang lebih luas. Oleh karena itu, pemerintah Indonesia mencanangkan menggelar jasa pelayanan internet yang berbasis frekuensi, seperti WiMAX, di tahun 2009 ini [1].

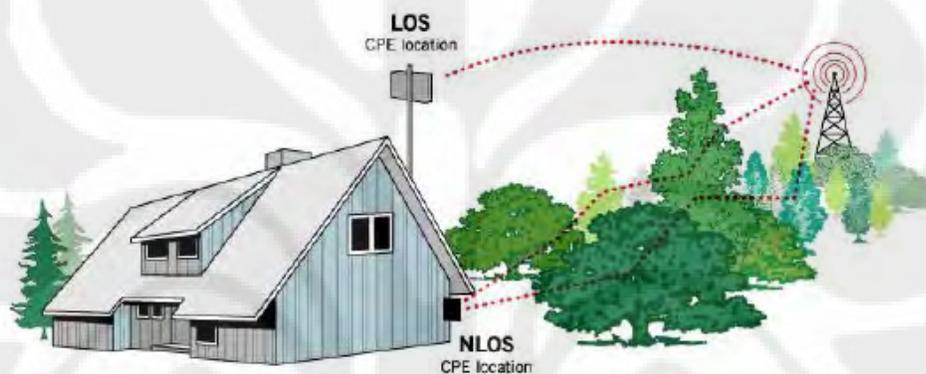
WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*) merupakan teknologi yang menawarkan jasa telekomunikasi dengan *bandwidth* yang lebar dan *bit rate* yang besar. Teknologi ini juga mampu menyediakan berbagai aplikasi meliputi suara, video dan data dengan kecepatan yang tinggi hingga mencapai 80 Mbps [2].

Di Indonesia, teknologi WiMAX sudah mulai diimplementasikan dan berpotensi untuk menggantikan banyak teknologi yang digunakan pada infrastruktur telekomunikasi wireless saat ini. Berdasarkan peraturan Departemen Komunikasi dan Informatika (Depkominfo) yang dipublikasikan melalui Siaran Pers No. 51/PIH/KOMINFO/1/2009 pada Januari 2009, pita frekuensi yang akan digunakan untuk teknologi WiMAX di Indonesia adalah 2.3 GHz (2.3 s.d 2.4 GHz) dan 3.3 GHz (3.3 s.d 3.4 GHz) [3]. Kemudian melalui Siaran Pers No. 162/PIH/KOMINFO/7/2009 tentang Keputusan Menteri Komunikasi dan Informatika nomor 237/KEP/M.KOMINFO/07/2009 tanggal 27 Juli 2009, telah diumumkan pemenang tender penyelenggara jaringan tetap lokal berbasis Packet Switched untuk keperluan Pita Lebar Nirkabel di Indonesia [1].

Hal ini mengindikasikan bahwa perkembangan komunikasi nirkabel di Indonesia sedang bergerak cepat. Oleh karena itu, perlu dikembangkan riset-riset unggulan dalam negeri terutama dalam hal perangkat pendukung WiMAX supaya industri WiMAX di Indonesia dapat bebas dari ketergantungan terhadap vendor

asing dan dapat memenuhi ketentuan tentang penyertaan industri manufaktur nasional dalam ketentuan penggunaan produk Base Station dan Customer Station dengan Tingkat Komponen Dalam Negeri (TKDN) minimal 40% dan 30% [4].

Untuk mengakses jaringan WiMAX, maka setiap perangkat yang dimiliki Customer Station harus dilengkapi peralatan yang disebut dengan *Customer Premises Equipment* (CPE). Perangkat CPE tersusun atas komponen sistem radio yang terdiri atas antena, *filter*, *mixer*, *amplifier* dan alat *modulator/demodulator* [5]. Dengan demikian, aplikasi antena menjadi sangat penting.



**Gambar 1.1** Contoh Aplikasi CPE WiMAX [6]

Gambar 1.1 memperlihatkan contoh aplikasi perangkat CPE pada sisi customer. Agar dapat diintegrasikan pada perangkat CPE dengan mudah, maka dibutuhkan suatu struktur antena yang memiliki desain kompak dan memiliki performa yang baik seperti *low-profile*, berukuran kecil serta memiliki biaya produksi yang rendah. Antena mikrostrip dapat memenuhi persyaratan tersebut.

Antena mikrostrip memiliki beberapa keuntungan, yaitu : bentuk kompak, dimensi kecil, mudah untuk difabrikasi, mudah dikoneksikan dan dapat diintegrasikan dengan divais elektronik lain (IC, rangkaian aktif, rangkaian pasif, dan lain-lain) atau *Microwave Integrated Circuits (MICs)*, dan radiasi samping (*fringing effect*) yang rendah. Akan tetapi jenis antena ini memiliki beberapa kelemahan, di antaranya : *gain* rendah, efisiensi rendah, timbul gelombang permukaan, dan *bandwidth* rendah [7].

Untuk dapat mendukung teknologi WiMAX, maka dibutuhkan

karakteristik antena mikrostrip dengan bandwidth yang lebar. Salah satu desain antena mikrostrip yang mampu menghasilkan bandwidth yang lebar adalah antena mikrostrip *slot* [7]. Penelitian tentang antena mikrostrip *slot* untuk aplikasi WiMAX telah dibahas pada [8], [9] dan [10]. *Slot* peradiasi dengan geometri Koch Fractal, dicatu menggunakan teknik *Co-Planar Waveguide* (CPW) yang diberi *slot* bentuk U dapat menghasilkan *impedance bandwidth* dari 2.38 sampai 3.95 GHz dan 4.95–6.05 GHz sehingga dapat diaplikasikan pada 2.4/5.2/5.8 GHz WLAN dan 2.5/3.5/5.5 GHz WiMAX. Antena ini memiliki pola radiasi *omnidirectional* dengan gain sebesar 2 dBi [8]. Pada [9], antena memiliki bentuk *slot* L yang didesain dengan menyisipkan “strip pengganggu” pada *slot*nya. Strip ini berfungsi *me-reject* frekuensi kerja yang tidak diinginkan sehingga antena ini dapat bekerja pada range frekuensi WiMAX. Hal ini dilakukan karena antena *slot* memiliki karakteristik dapat menghasilkan bandwidth yang sangat lebar. Sedangkan antena pada [10] menggunakan *slot* berbentuk persegi yang dicatu menggunakan *Microstrip Line Feed* pada salah satu sudutnya dengan penambahan sepasang strip parasit diletakkan di samping pencatunya. Antena ini bekerja pada range frekuensi 2130-6170 MHz, *impedance bandwidth* sebesar 4040 MHz (97,35%), memiliki pola radiasi *bidirectional* seperti antena *slot* pada umumnya dan gain maksimum yang dihasilkan bervariasi sebesar 4-6 dBi pada range 2,3-5,8 GHz.

Pada skripsi ini, dirancang antena mikrostrip *slot* dengan bentuk *slot* segitiga yang bekerja pada frekuensi kerja WiMAX di 3,3 GHz (3,3-3,4 GHz) sesuai dengan syarat dan ketentuan yang telah ditentukan oleh Dirjen Postel (**Lampiran A**). Untuk memperoleh gain yang sesuai dengan ketentuan dari Dirjen Postel, maka dilakukan metode susun atau merancang antena menggunakan teknik *array* [7].

## 1.2. Tujuan Penulisan

Tujuan dari skripsi ini adalah melakukan rancang bangun antena mikrostrip *slot* dengan bentuk *slot* segitiga yang disusun secara *array* sebanyak 8 elemen dengan pencatuan *microstrip feed line* secara tidak langsung untuk aplikasi CPE (*Costumer Premise Equipment*) pada sistem WiMAX sesuai dengan

parameter elektrik tertentu pada rancangan peraturan Dirjen Postel Indonesia (**Lampiran-A**). Pada rentang frekuensi 3,3 GHz (3,3-2,4 GHz) antena diharapkan mempunyai  $VSWR \leq 1,9$  atau  $return\ loss \leq -10,16$  dB. Teknik *array* digunakan agar antena menghasilkan  $gain \leq 15$  dBi.

### 1.3. Batasan Masalah

Permasalahan yang akan dibahas pada skripsi ini dibatasi pada rancangan bangun antena mikrostrip *slot* dengan bentuk *slot* segitiga yang disusun secara *array* sebanyak *array* 8 elemen dengan pencatuan *microstrip feed line* secara tidak langsung yang diharapkan dapat memenuhi kriteria parameter elektrik dari *subscriber station* pada (**Lampiran-A**) meliputi *frequency range*, *gain*, impedansi, VSWR, dan jenis konektor.

### 1.4. Sistematika Penulisan

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

#### **Bab 1 Pendahuluan**

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

#### **Bab 2 Antena Mikrostrip**

Bagian ini akan berisi tentang bahasan teori dasar mengenai antena mikrostrip khususnya antena mikrostrip *slot* segitiga, teknik pencatuan, parameter umum antena, *array* antena dan T-junction.

#### **Bab 3 Perancangan Antena dan Simulasi**

Bagian ini memberikan penjelasan mengenai perlengkapan yang dibutuhkan dalam perancangan, prosedur perancangan serta hasil simulasi dan analisis hasil dari simulasi yang telah dilakukan.

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

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

#### **Bab 5 Kesimpulan**

Bab ini berisi kesimpulan dari keseluruhan isi skripsi.

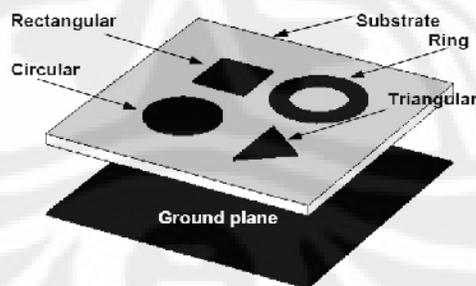
## BAB 2

### ANTENA MIKROSTRIP

#### 2.1 Struktur Antena Mikrostrip

Antena merupakan komponen yang penting dalam sistem komunikasi nirkabel dan strukturnya didesain untuk meradiasikan dan menerima gelombang elektromagnetik secara efektif. Berdasarkan definisi standar dari IEEE, antena merupakan alat/divais yang digunakan untuk meradiasi atau menerima gelombang radio (elektromagnetik). Dengan kata lain, antena merupakan struktur transisi antara ruang bebas (*free space*) dan sebuah alat pengarah yang mengkonversi gelombang elektromagnetik menjadi arus listrik maupun sebaliknya[11].

Antena mikrostrip adalah salah satu jenis antena yang mempunyai kelebihan dalam hal bentuknya yang sederhana, ringan dan dapat dibuat sesuai kebutuhan. Penggunaan antena mikrostrip sangat cocok untuk aplikasi-aplikasi yang membutuhkan antena yang *compact* seperti yang telah diaplikasikan pada pesawat terbang, pesawat ruang angkasa, satelit, dan peluru kendali. Secara umum, antena mikrostrip dalam bentuknya yang paling sederhana terdiri dari 3 elemen, yaitu: elemen peradiasi (*radiator*), substrat, dan elemen pentanahan (*ground*) seperti pada Gambar 2.1[11].



Gambar 2.2 Bentuk Umum Antena Mikrostrip Beserta Variasi Elemen Peradiasinya [5]

Antena mikrostrip ini mempunyai beberapa keuntungan apabila dibandingkan dengan antena lain, diantaranya [7]:

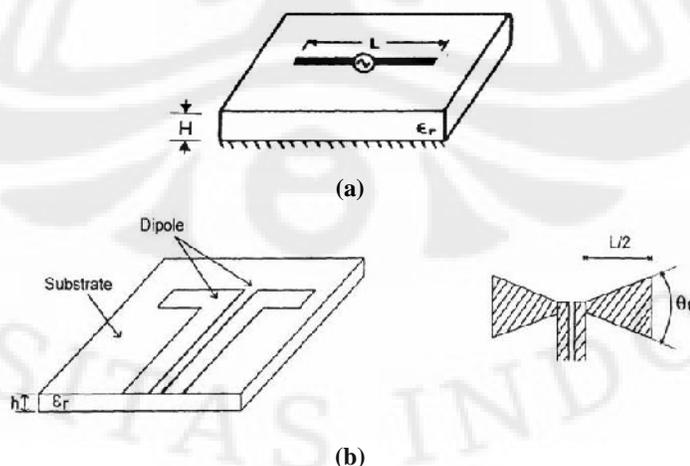
1. Low profile (mempunyai ukuran yang kecil dan ringan)
2. Mudah difabrikasi dan tidak memakan biaya yang besar

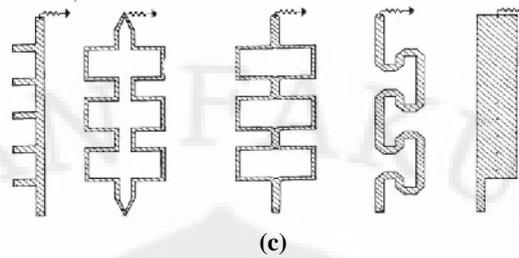
3. Dapat berdiri dengan kuat ketika diletakkan pada benda yang *rigid*
4. Polarisasi linier dan sirkular mudah didapat hanya dengan *feeding* yang sederhana
5. Dapat digunakan untuk aplikasi *dual polarisasi*, *dual frekuensi* maupun *triple frekuensi band*
6. *Feed line* dan *matching network* dapat difabrikasi langsung dengan struktur antenna.

Akan tetapi selain kelebihan-kelebihan yang telah disebutkan diatas, antenna mikrostrip juga memiliki beberapa kekurangan, yaitu[7]:

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

Antena mikrostrip dapat dibagi menjadi 4 bentuk dasar yaitu: antenna Mikrostrip *Patch*, Mikrostrip *Dipole*, Mikrostrip *Slot* dan antenna Mikrostrip *Travelling Wave*. Beberapa jenis antenna tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.2.





Gambar 3.2 Beberapa Kategori Umum Antena Mikrostrip[7]. (a) *Microstrip Slot Antenna* (b) *Microstrip Dipole Antenna* (c) *Microstrip Travelling-Wave Antenna*

Ciri dari jenis *Microstrip Patch Antena* yaitu memiliki *patch* peradiasi pada satu bagian sisinya dan bidang pentanahan pada sisi lainnya seperti terlihat pada Gambar 2.1. Oleh karena itu, jenis antena ini hanya sanggup meradiasikan gelombang elektromagnetik pada salah satu sisinya (*half space radiation*). Jenis *Printed Slot Antena* (Mikrostrip Slot Antena) sanggup meradiasikan gelombang elektromagnetik dalam dua arah (*bidirectional*), meskipun dapat dirancang untuk bekerja dalam satu arah (*unidirectional*). Secara umum, Mikrostrip Slot Antenna memiliki perbedaan fisik pada bagian elemen peradiasinya yang diberi celah (*slot*) seperti pada Gambar 2.2 (a). Antena jenis *Microstrip Dipole*, seperti terlihat pada Gambar 2.2 (b), ciri fisik yang terlihat adalah pada elemen peradiasi. Elemen peradiasinya memiliki lebar tidak lebih dari  $0,05 \lambda$  dan terkadang tidak memiliki elemen pentanahan pada salah satu sisinya. Untuk jenis *Microstrip Travelling-Wave Antenna*, Gambar 2.2 (c), memiliki bentuk untaian konduktor yang berulang secara periodik.

## 2.2 Metode Cavity untuk Analisa Antena Mikrostrip

Ada beberapa macam metode yang dapat digunakan untuk menganalisa antena mikrostrip. Beberapa diantaranya yaitu Model Saluran Transmisi, Model *Cavity*, Model Momen dan Persamaan Integral, serta Model Persamaan Differensial[7]. Masing-masing metode tersebut memiliki kelebihan dan kekurangan.

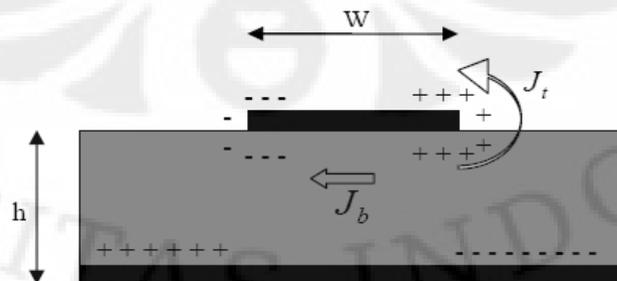
Pada Model Saluran Transmisi, gambaran secara fisik terlihat bagus dan tidak membutuhkan perhitungan yang rumit, hanya saja hasil perhitungannya tidak akurat sebagai bentuk representasi dari antena mikrostrip. Selain itu metode ini hanya cocok digunakan untuk jenis *patch* berbentuk segi empat (*rectangular*)[7]. Sedangkan pada Model *Cavity*, perhitungannya lebih rumit

dibandingkan dengan Model Saluran Transmisi[7], akan tetapi hasil yang didapatkan lebih akurat dan gambaran secara fisik terlihat lebih baik.

Lain halnya dengan Model Momen dan Persamaan Integral, yang memiliki gambaran fisik yang tidak terlalu baik serta perhitungan yang rumit, akan tetapi hasilnya menunjukkan tingkat keakuratan yang cukup tinggi[7]. Metode yang lebih dikenal pada Model Persamaan Diferensial yaitu FDTD dan FEM. Jenis metode ini menuntut kepada perhitungan yang rumit, akan tetapi lebih baik daripada metode yang lain karena hasilnya sudah dalam bentuk representasi lingkungan luar yang sebenarnya[7].

Analisa yang digunakan pada skripsi ini menggunakan metode *Cavity*. Metode ini merepresentasikan ruang antara *patch* dengan bidang pentanahan sebagai *cavity* yang dibatasi oleh *electric conductors* (pada bidang atas dan bawah) dan dinding magnetik (pada sisi-sisinya)[7].

Ketika *patch* mikrostrip diberi energi gelombang elektromagnetik, akan timbul distribusi muatan pada bagian permukaan atas dan bawah *patch*, serta bagian permukaan atas bidang pentanahan. Distribusi muatannya dikendalikan oleh dua mekanisme, yaitu *attractive* dan *repulsive*[7]. Mekanisme *attractive* mengendalikan distribusi muatan pada bagian diantara *patch* dengan bidang pentanahan, atau dengan kata lain mengatur konsentrasi distribusi muatan di bagian bawah *patch*. Sedangkan Mekanisme *repulsive* mengendalikan distribusi muatan dibagian bawah *patch*, yang memberikan aksi untuk menekan sebagian muatan dari bagian bawah *patch* menuju ke sekeliling pinggiran *patch* dan terakhir sampai pada bagian atas *patch* peradiasi. Proses berpindah-pindahnya muatan ini menimbulkan kerapatan arus (*current densities*) dibagian atas ( $J_t$ ) dan bawah ( $J_b$ ) *patch*, seperti pada Gambar 2.3.



Gambar 2.4 Charge distribution dan current density pada *patch* mikrostrip

Seiring dengan semakin kecilnya nilai *height-to-weight ratio*( $h/W$ ), maka mekanisme *attractive* menjadi yang dominan, sehingga mengakibatkan jumlah arus yang mengalir dari bawah *patch* lalu ke pinggir dan berakhir pada bagian atas *patch* semakin berkurang[7]. Jika arus tersebut semakin berkurang dan bernilai nol, maka tidak akan timbul medan magnet tangensial pada sisi-sisi *patch*, sehingga tidak akan ada gelombang elektromagnetik yang diradiasikan, atau dengan kata lain sisi-sisi *patch* menjadi dinding magnetik sempurna. Kejadian ini tidak diharapkan, karenanya sekecil apapun *height-to-weight ratio*, dengan metode *Cavity* diharapkan masih ada arus yang mengalir ke permukaan atas *patch*. Ketika timbul arus ini, maka pada bagian sisi *patch* akan timbul medan tambahan yang dapat dianalisa sebagai perluasan *patch* peradiasi[7].

Metode *Cavity* timbul dengan kenyataan yang ada bahwa ketebalan dari substrat jauh lebih kecil jika dibandingkan dengan panjang gelombang ( $h \ll \lambda$ ). Dari asumsi tersebut, maka dapat ditinjau sebagai berikut[12]:

1. Medan elektrik  $\mathbf{E}$  hanya memiliki komponen  $\hat{z}$  dan medan magnetik hanya memiliki komponen melintang dalam daerah yang dibatasi antara *patch* peradiasi dengan bidang pentanahan.
2. Medan pada ruang *cavity* tidak berubah terhadap  $\hat{z}$
3. Karena arus elektrik dalam mikrostrip tidak boleh memiliki komponen normal terhadap tepi, berdasarkan persamaan Maxwell maka komponen tangensial dari  $\mathbf{H}$  sepanjang tepi dapat diabaikan.

Dengan adanya tinjauan seperti diatas, maka Persamaan *Maxwell*[13] untuk daerah diantara *patch* peradiasi dengan bidang pentanahan yaitu:

$$\nabla \times \bar{\mathbf{E}} = -j\omega\mu_0 \bar{\mathbf{H}} \quad (2.1)$$

$$\nabla \times \bar{\mathbf{H}} = -j\omega\varepsilon \bar{\mathbf{E}} + \bar{\mathbf{J}} \quad (2.2)$$

$$\nabla \cdot \bar{\mathbf{E}} = \zeta / \varepsilon \quad (2.3)$$

$$\nabla \cdot \bar{\mathbf{H}} = 0 \quad (2.4)$$

Dimana  $\varepsilon$  adalah permitivitas substrat, sedangkan  $\mu_0$  adalah permeabilitas substrat yang besarnya diasumsikan sama dengan permeabilitas udara. Rapat arus  $\mathbf{J}$  tergantung dari sistem pencatutan yang biasanya berupa *coaxial* atau saluran mikrostrip (*microstrip line*).

### 2.3 Antena Mikrostrip Slot

Konsep dari antena mikrostrip *slot* berkembang dari antena *patch* yang dieksitasi oleh saluran *strip line* lalu bagian *patch* dilepaskan dan akhirnya saluran catu akan meradiasikan langsung ke bidang pentanahan melalui *slot*. Tabel 2.1 menunjukkan perbandingan antara jenis antena mikrostrip *slot* dengan antena mikrostrip *patch*. Kelebihan utama yang dimiliki oleh jenis antena *slot* adalah bandwidth yang dihasilkan lebih lebar. Antena mikrostrip *slot* juga memungkinkan kinerja antena pada polarisasi melingkar. Kekurangan dari jenis antena ini adalah kemungkinan pola radiasi yang terjadi pada dua arah (*bidirectional*). Akan tetapi kelemahan ini dapat ditanggulangi dengan penggunaan metal *reflector* yang di taruh di salah satu sisi *slot*. Selain itu, penelitian pada antena *slot* masih lebih sedikit dibandingkan dengan antena jenis *patch* sehingga literatur yang mendukung penelitian antena *slot* cukup sulit. Penentuan dari ukuran *slot* sampai saat ini masih sulit untuk diprediksi, tetapi persyaratan yang dapat digunakan adalah panjang *slot* sekurangnya harus lebih besar dari pada lebar saluran catu yang digunakan[14].

Tabel 2.1 Perbandingan Antara Microstrip Patch Dan *Slot*[7]

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

#### 2.4 Frekuensi Resonansi *Patch* Segitiga Sama Sisi

Untuk menentukan dimensi awal dari *slot* segitiga yang akan

disimulasikan, maka digunakan rumus perhitungan frekuensi resonansi untuk *patch* segitiga pada antena mikrostrip *patch* seperti pada Persamaan 2.5. Frekuensi resonansi untuk antena mikrostrip dengan *patch* segitiga samasisi sesuai dengan rumus:

$$f_{mn} = \frac{ck_{mn}}{2\pi\sqrt{\epsilon_r}} = \frac{2c}{3a\sqrt{\epsilon_r}} \sqrt{m^2 + mn + n^2} \quad (2.5)$$

dimana  $c$  = kecepatan cahaya ( $3 \cdot 10^8$  m/s)

$\epsilon_r$  = konstanta relatif dielektrik

$a$  = panjang segitiga sama sisi

Subskrip  $mn$  mengacu pada mode  $TM_{mn}$ , sehingga bila  $TM_{10}$ , frekuensi resonansi pada Persamaan 2.5 dapat disederhanakan menjadi:

$$f_{10} = \frac{2c}{3a_e\sqrt{\epsilon_r}} \quad (2.6)$$

dimana :

$$a_e = a \left[ 1 + 2.199 \frac{h}{a} - 12.853 \frac{h}{a\sqrt{\epsilon_r}} + 16.436 \frac{h}{a\epsilon_r} + 6.182 \left(\frac{h}{a}\right)^2 - 9.802 \frac{1}{\sqrt{\epsilon_r}} \left(\frac{h}{a}\right)^2 \right]$$

$h$  = tebal substrat

$a_e$  = merupakan panjang sisi segitiga akibat adanya efek medan limpahan (*fringing field*)

## 2.5 Antena Wide Slot Dengan Pencatuan Microstrip Feed Line

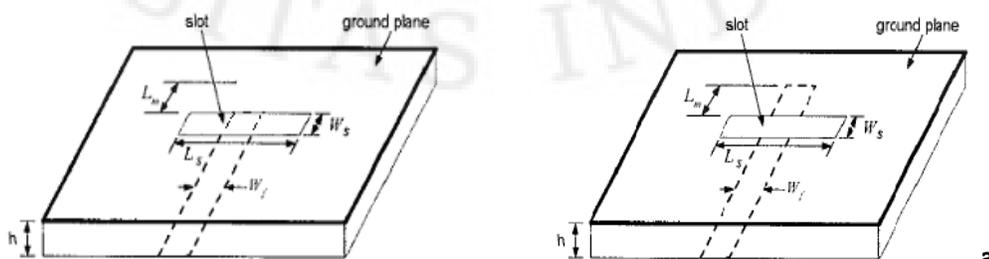
Untuk menghubungkan antara elemen peradiasi antena dengan saluran transmisi, diperlukan sebuah saluran catu yang terintegrasi pada dimensi antena sehingga impedansi antara elemen peradiasi dan saluran transmisi saling *matching*. Pemilihan *feeding* untuk antena mikrostrip didasarkan pada beberapa faktor. Pertimbangan yang utama adalah transfer daya yang efisien antara struktur peradiasi dengan struktur *feeding* sehingga tercapai *matching impedance* yang baik diantara keduanya. Selain itu, kemudahan dalam mendesain dan fabrikasi juga sangat penting.

Pada dasarnya teknik pencatuan pada antena mikrostrip dapat dibagi menjadi dua, yaitu teknik pencatuan yang terhubung secara langsung dan teknik

pencatuan tidak langsung. Pada pencatuan terhubung secara langsung, daya dari RF dicatu secara langsung pada elemen peradiasi menggunakan saluran mikrostrip. Sedangkan pada pencatuan secara tidak langsung, medan EM digunakan untuk mentransfer daya antara saluran mikrostrip dan elemen peradiasi. Teknik pencatuan secara langsung lebih sederhana tetapi mempunyai kelemahan yakni lebar pitanya (*bandwidth*) sempit dan sangat sulit mengimplementasikannya dalam bentuk *array*. Sedangkan pada teknik pencatuan secara tidak langsung tidak ada kontak langsung antara antenna dan saluran pencatunya sehingga proses penyepadanan (*matching*) antenna mikrostrip dengan saluran pencatu dapat dilakukan secara terpisah sehingga dapat meningkatkan *bandwidth* dan mengurangi penyolderan[15].

Beberapa macam teknik pencatuan yang banyak digunakan antara lain *coaxial feed*, *microstrip (coplanar) feed*, *proximity coupled microstrip feed*, *aperture-coupled microstrip feed* dan *coplanar waveguide feed* [15]. *Coaxial feed* dan *Microstrip (coplanar) feed* merupakan contoh dari teknik pencatuan terhubung secara langsung, sedangkan *aperture-coupled microstrip feed* dan *coplanar waveguide feed* termasuk pada teknik pencatuan tidak langsung.

Penelitian dari *slot* antenna telah dilakukan oleh beberapa ahli[7], [14], [16], [17], seperti A.S Abdallah, Liu Yuan dan Y.E Mohammed pada tahun 2004[14]. Pada antenna mikrostrip *slot*, digunakan teknik pencatuan *microstrip line feed* atau saluran mikrostrip yang mencatu secara tidak langsung ke bidang pentanahan (*ground*) yang telah dibuat celah (*slot*). Arus yang diberikan pada mikrostrip line akan mengeksitasi melalui *slot* yang dibuat pada bidang pentanahan. Bentuk dari pencatuan *microstrip line* dibagi menjadi dua seperti yang terlihat pada Gambar 2.4, yaitu *Short Circuited* dan *Open Circuited*. *Short Circuited* adalah bila ujung dari mikrostrip line berhenti pada ujung dari *slot* sedangkan *Open Circuit* stub terdapat panjang tambahan yang melebihi *slot* yang dicatu.



Rancang bangun..., Heri Rahmadyanto, FT UI, 2009

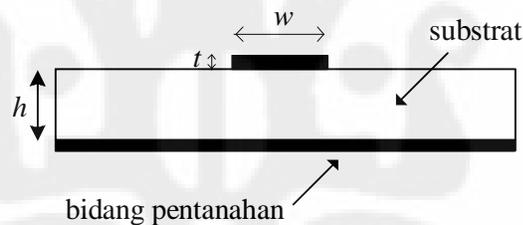
Gambar 2.5 Antena Mikrostrip Slot yang Dicatu dengan Saluran Mikrostrip Line Secara (a) Short

(a) (b)

## 2.6 Saluran Mikrostrip (*Microstrip Feed Line*)

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

Geometri saluran pencatu mikrostrip ditunjukkan pada Gambar 2.5. Pada *microstrip feed slot antenna*, terdapat saluran catu yang akan meradiasikan gelombang elektromagnetik ke bidang pentanahan yang telah diberi *slot*.



Gambar 2.6 Geometri Saluran Mikrostrip

### 2.6.1 Perhitungan Lebar Saluran Mikrostrip (*Microstrip Line*)

Lebar saluran mikrostrip ( $W$ ) tergantung dari impedansi karakteristik ( $Z_0$ ) yang diinginkan. Adapun rumus untuk menghitung lebar saluran mikrostrip diberikan oleh Persamaan 2.7 di bawah ini [18].

$$W = \frac{2h}{\pi} \left\{ B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} \left[ \ln(B - 1) + 0,39 - \frac{0,61}{\epsilon_r} \right] \right\} \quad (2.7)$$

Dengan  $\epsilon_r$  adalah konstanta dielektrik relatif dan :

$$A = \frac{Z_0}{60} \left\{ \frac{\epsilon_r + 1}{2} \right\}^{1/2} + \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1} \left\{ 0,23 + \frac{0,11}{\epsilon_r} \right\} \quad (2.8)$$

$$B = \frac{60\pi^2}{Z_0\sqrt{\epsilon_r}} \quad (2.9)$$

### 2.6.2 Karakteristik Saluran Mikrostrip (Microstrip Line) untuk $W/h < 1$

Konstanta dielektrik efektif ( $\epsilon_{eff}$ )

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[ \frac{1}{\sqrt{1 + 12h/W}} + 0,04 \left( 1 - \frac{W}{h} \right)^2 \right] \quad (2.10)$$

Dan karakteristik impedansi

$$Z_0 = \frac{60}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \ln \left( \frac{8h}{W} + \frac{W}{4h} \right) \quad (2.11)$$

### 2.6.3 Karakteristik Saluran Mikrostrip (Microstrip Line) untuk $W/h > 1$

Konstanta dielektrik efektif ( $\epsilon_{eff}$ )

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[ \frac{1}{\sqrt{1 + 12h/W}} \right] \quad (2.12)$$

Dan karakteristik impedansi

$$Z_0 = \frac{120\pi / \sqrt{\epsilon_{eff}}}{W/h + 1,393 + 2/3 \ln(W/h + 1,44)} \quad (2.13)$$

Dengan memasukkan ketebalan substrat dan lebar saluran catu antenna yang dirancang maka akan dapat diketahui impedansi masukan pada saluran transmisi. Kedua parameter ini merupakan faktor utama dalam penentuan *matching* dari saluran transmisi ke saluran catu antenna.

## 2.7 Parameter Umum Antena Mikrostrip

### 2.7.1 Impedansi Masukan

Impedansi masukan didefinisikan sebagai impedansi sebuah antenna pada terminal masukan, sebagai perbandingan antara besarnya tegangan terhadap

arusnya[19]. Impedansi dari sebuah antena dirumuskan:

$$Z_A = R_A + jX_A \quad (2.14)$$

dengan  $Z_A$  adalah impedansi antena,  $R_A$  adalah resistansi antena dan  $X_A$  reaktansi antena. Bagian resistansi masukan terbagi lagi menjadi dua, yaitu resistansi radiasi ( $R_r$ ) dan *loss resistance* ( $R_L$ ).

$$R_A = R_r + R_L \quad (2.15)$$

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

### 2.7.2 VSWR (Voltage Standing Wave Ratio)

VSWR adalah perbandingan antara amplitudo gelombang berdiri (*standing wave*) maksimum ( $|V|_{\max}$ ) dengan minimum ( $|V|_{\min}$ ). Pada saluran transmisi ada dua komponen gelombang tegangan, yaitu tegangan yang dikirimkan ( $V_0^+$ ) dan tegangan yang direfleksikan ( $V_0^-$ ) [14]. Perbandingan antara tegangan yang direfleksikan dengan tegangan yang dikirimkan disebut sebagai koefisien refleksi tegangan ( $\Gamma$ )[20]:

$$\Gamma = \frac{V_0^-}{V_0^+} = \frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2} \quad (2.16)$$

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

Koefisien refleksi tegangan ( $\Gamma$ ) memiliki nilai kompleks, yang merepresentasikan besarnya magnitudo dan fasa dari refleksi. Untuk beberapa kasus yang sederhana, ketika bagian imajiner dari  $\Gamma$  adalah nol, maka:

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

Rumus untuk mencari nilai VSWR adalah[7]:

$$S = \frac{\left| \tilde{V} \right|_{\max}}{\left| \tilde{V} \right|_{\min}} = \frac{1+|\Gamma|}{1-|\Gamma|} \quad (2.17)$$

Kondisi yang paling baik adalah ketika VSWR bernilai 1 ( $S=1$ ) yang berarti tidak ada refleksi ketika saluran dalam keadaan *matching* sempurna. Nilai parameter ini menjadi salah satu acuan untuk melihat apakah antenna sudah dapat bekerja pada frekuensi yang diharapkan atau tidak. Pada skripsi ini, antenna dibuat untuk dapat bekerja di range frekuensi 3,3-3,4 GHz dengan nilai VSWR  $\leq 1,9$ . Selain itu, antenna yang dibuat diharapkan pula dapat bekerja pada range frekuensi yang telah disebutkan di atas pada VSWR  $\leq 1,5$ .

### 2.7.3 Return Loss

*Return Loss* adalah perbandingan antara amplitudo dari gelombang yang direfleksikan terhadap amplitudo gelombang yang dikirimkan. *Return Loss* dapat terjadi akibat adanya diskontinuitas diantara saluran transmisi dengan impedansi masukan beban (antena). *Return Loss* juga dapat dideskripsikan sebagai besarnya peningkatan amplitudo dari energi yang direfleksikan dibanding dengan energi yang terkirim. Sebagai contoh, sebuah divais memiliki *return loss* sebesar 5dB, maka energi yang terefleksikan sebesar 5dB dari yang seharusnya. Setiap rangkaian gelombang mikro yang memiliki diskontinuitas (*mismatched*), besarnya *return loss* bervariasi tergantung pada frekuensi.

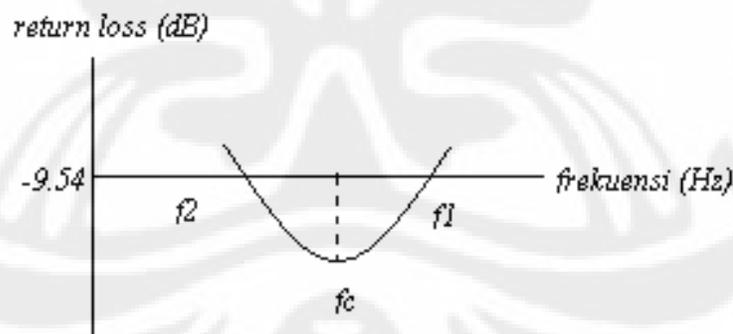
*Return Loss* diekspresikan dalam satuan dB. Didalam saluran transmisi, besarnya *return loss* dirumuskan dalam persamaan dibawah, dimana  $Z_1$  adalah impedansi yang menuju sumber (*source*) dan  $Z_2$  adalah impedansi yang menuju beban (*load*).

$$\text{Return Loss} = 20 \log_{10} \Gamma = 20 \log_{10} \left| \frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2} \right| \quad (2.18)$$

Nilai parameter ini menjadi salah satu acuan untuk melihat apakah antenna sudah dapat bekerja pada frekuensi yang diharapkan atau tidak. Pada skripsi ini, antenna dibuat untuk dapat bekerja di range frekuensi 3,3-3,4 GHz dengan nilai return loss  $\leq 10,16$  dB. Selain itu, antenna yang dibuat diharapkan pula dapat bekerja pada range frekuensi yang telah disebutkan di atas pada return loss  $\leq 13,98$  dB.

#### 2.7.4 Bandwidth

*Bandwidth* dari sebuah antenna didefinisikan sebagai jarak dari frekuensi-frekuensi dimana performa (karakteristik-karakteristik) dari antenna sesuai dengan standar yang ditetapkan. *Bandwidth* suatu antenna juga dapat didefinisikan sebagai rentang frekuensi di mana kinerja antenna yang berhubungan dengan beberapa karakteristik (seperti impedansi masukan, pola, *beamwidth*, polarisasi, *gain*, efisiensi, VSWR, *return loss*) memenuhi spesifikasi standar [7]. Pada Gambar 2.6 dapat dilihat bandwidth berdasarkan *return loss*, yaitu rentang frekuensi saat nilai *return loss*  $\leq -9,54$  dB atau VSWR  $\leq 2$  dB.



Gambar 2.7 Rentang Frekuensi yang Menjadi *Bandwidth*[7]

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

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

Dengan  $f_h$  = frekuensi tertinggi dalam *band* (GHz)  
 $f_l$  = frekuensi terendah dalam *band* (GHz)  
 $f_c$  = frekuensi tengah dalam *band* (GHz),

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

Ada beberapa jenis *bandwidth* di antaranya:

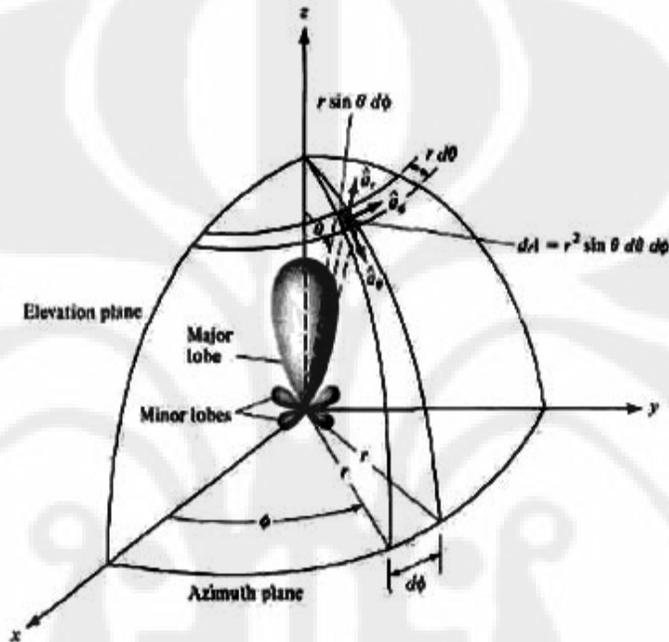
- a. *Impedance bandwidth*, yaitu rentang frekuensi di mana elemen peradiasi antenna berada pada keadaan *matching* dengan saluran pencatu. Hal ini terjadi karena impedansi dari elemen antenna bervariasi nilainya tergantung dari nilai frekuensi. Pada skripsi ini, antenna yang dibuat diharapkan memiliki *Impedance bandwidth* minimal 100 MHz di range frekuensi 3,3-3,4 GHz dengan nilai return loss  $\leq 10,16$  dB atau VSWR  $\leq 1,9$  dB..
- b. *Pattern bandwidth*, yaitu rentang frekuensi di mana *beamwidth*, *sidelobe*, atau *gain*, yang bervariasi menurut frekuensi memenuhi nilai tertentu. Nilai tersebut harus ditentukan pada awal perancangan antenna agar nilai *bandwidth* dapat dicari

### 2.7.5 Pola Radiasi

Pola radiasi antenna didefinisikan sebagai fungsi matematik atau sebuah representasi grafik dari radiasi antenna sebagai sebuah fungsi dari koordinat ruang[11].

- Pola Isotropik  
Antena isotropik didefinisikan sebagai sebuah antenna tanpa rugi-rugi secara hipotesis yang mempunyai radiasi sama besar ke setiap arah.
- Pola Directional  
Antena yang mempunyai pola radiasi atau pola menerima gelombang elektromagnetik yang lebih efektif pada arah-arah tertentu saja. Salah satu contoh antenna directional adalah antenna dengan pola omnidirectional.
- Pola radiasi lobe (cuping)  
Bagian-bagian dari pola radiasi ditunjukkan sebagai cuping-cuping yang bisa diklasifikasikan menjadi *main* (utama), *side* (samping) dan *back* (belakang).

*Main lobe* ialah lobe/cuping radiasi yang memiliki arah radiasi maksimum. *Side lobe* ialah lobe/cuping selain main lobe sedangkan *back lobe* ialah lobe yang arahnya berlawanan 180 dengan mainlobe. *Side lobe* dan *back lobe* merupakan minor lobe yang keberadaannya tidak diharapkan.



Gambar 2.8 Pola Radiasi Directional [11]

### 2.7.6 Penguatan (Gain)

Ada dua jenis parameter penguatan (*Gain*) yaitu *absolute gain* dan *relative gain*[11]. *Absolute gain* pada sebuah antena didefinisikan sebagai perbandingan antara intensitas pada arah tertentu dengan intensitas radiasi yang diperoleh jika daya yang diterima oleh antena teradiasi secara isotropik. Intensitas radiasi yang berhubungan dengan daya yang diradiasikan secara isotropik sama dengan daya yang diterima oleh antena ( $P_{in}$ ) dibagi dengan  $4\pi$ . *Absolute gain* ini dapat dihitung dengan rumus[11]:

$$gain = 4\pi \frac{U(\theta, \phi)}{P_{in}} \quad (2.20)$$

Selain *absolute gain* juga ada *relative gain*. *Relative gain* didefinisikan sebagai perbandingan antara perolehan daya pada sebuah arah dengan perolehan daya pada antena referensi pada arah yang direferensikan juga. Daya masukan

harus sama di antara kedua antenna itu. Akan tetapi, antenna referensi merupakan sumber isotropik yang *lossless* ( $P_{in}(lossless)$ ). Secara rumus dapat dihubungkan sebagai berikut[11]:

$$G = \frac{4\pi U(\theta, \phi)}{P_{in}(lossless)} \quad (2.21)$$

### 2.7.7 Keterarahan (Directivity)

Keterarahan dari sebuah antenna didefinisikan sebagai perbandingan (rasio) intensitas radiasi sebuah antenna pada arah tertentu dengan intensitas radiasi rata-rata pada semua arah. Intensitas radiasi rata-rata sama dengan jumlah daya yang diradiasikan oleh antenna dibagi dengan  $4\pi$ . Dengan demikian, keterarahan dapat dihitung dengan menggunakan rumus seperti pada Persamaan 2.22 berikut ini:

$$D = \frac{U}{U_0} = \frac{4\pi U}{P_{rad}} \quad (2.22)$$

Jika arah tidak ditentukan, keterarahan terjadi pada intensitas radiasi maksimum yang didapat dengan rumus seperti pada Persamaan 2.23:

$$D_{max} = D_0 = \frac{U_{max}}{U_0} = \frac{4\pi U_{max}}{P_{rad}} \quad (2.23)$$

Di mana :

$D$  = keterarahan

$D_0$  = keterarahan maksimum

$U$  = intensitas radiasi

$U_{max}$  = intensitas radiasi maksimum

$U_0$  = intensitas radiasi pada sumber isotropik

$P_{rad}$  = daya total radiasi

*Directivity* biasanya dinyatakan dalam dB, yaitu  $10 \log D_0$  dB. Dimana  $D_0$  merupakan *Maximum Directivity* dari sebuah antenna. *Directivity* sebuah antenna isotropis adalah 1, karena daya yang diradiasikan ke segala arah sama.

Untuk antena yang lain, *directivity* akan selalu lebih dari satu, dan ini adalah *figure of merit relatif* yang memberikan sebuah indikasi karakteristik pengarah antena dibandingkan dengan karakteristik pengarah antena isotropis.

### 2.7.8 Polarisasi

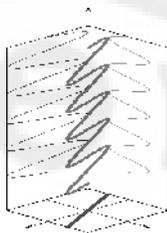
Polarisasi antena adalah polarisasi dari gelombang yang ditransmisikan oleh antena. Jika arah tidak ditentukan maka polarisasi merupakan polarisasi pada arah *gain* maksimum[11]. Pada prakteknya, polarisasi dari energi yang teradiasi bervariasi dengan arah dari tengah antena, sehingga bagian lain dari pola radiasi mempunyai polarisasi yang berbeda.

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

Polarisasi dapat diklasifikasikan sebagai *linear* (linier), *circular* (melingkar), atau *elliptical* (elips). Polarisasi linier (Gambar 2.8) terjadi jika suatu gelombang yang berubah menurut waktu pada suatu titik di ruang memiliki vektor medan elektrik (atau magnet) pada titik tersebut selalu berorientasi pada garis lurus yang sama pada setiap waktu[11].

Hal ini dapat terjadi jika vektor (elektrik maupun magnet) memenuhi:

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



Gambar 2.9 Polarisasi Linier[21]

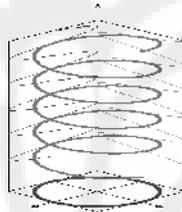
Polarisasi melingkar (Gambar 2.9) terjadi jika suatu gelombang yang berubah menurut waktu pada suatu titik memiliki vektor medan elektrik (atau

magnet) pada titik tersebut berada pada jalur lingkaran sebagai fungsi waktu[11].

Kondisi yang harus dipenuhi untuk mencapai jenis polarisasi ini adalah :

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

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

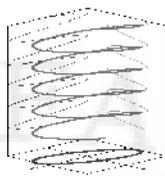


Gambar 2.10 Polarisasi Melingkar[21]

Polarisasi elips (Gambar 2.10) terjadi ketika gelombang yang berubah menurut waktu memiliki vektor medan (elektrik atau magnet) berada pada jalur kedudukan elips pada ruang[11].

Kondisi yang harus dipenuhi untuk mendapatkan polarisasi ini adalah :

- Medan harus mempunyai dua komponen linier ortogonal
- Kedua komponen tersebut harus berada pada magnitudo yang sama atau berbeda
- Jika kedua komponen tersebut tidak berada pada magnitudo yang sama, perbedaan fasa waktu antara kedua komponen tersebut harus tidak bernilai  $0^{\circ}$  atau kelipatan  $180^{\circ}$  (karena akan menjadi linier). Jika kedua komponen berada pada magnitudo yang sama maka perbedaan fasa di antara kedua komponen tersebut harus tidak merupakan kelipatan ganjil dari  $90^{\circ}$  (karena akan menjadi lingkaran).



Gambar 2.11 Polarisasi Elips[21]

## 2.8 Antena Mikrostrip Array

Umumnya antena mikrostrip dengan *patch* elemen tunggal memiliki pola radiasi yang sangat lebar, dan menghasilkan keterarahan dan perolehan *gain* yang kurang baik. Sedangkan pada beberapa aplikasinya diperlukan antena dengan keterarahan yang baik dan perolehan (*gain*) yang tinggi[11]. Untuk memenuhi kebutuhan karakteristik tersebut, maka antena mikrostrip disusun dengan beberapa konfigurasi. Susunan antena ini sering disebut sebagai antena susun (*array*).

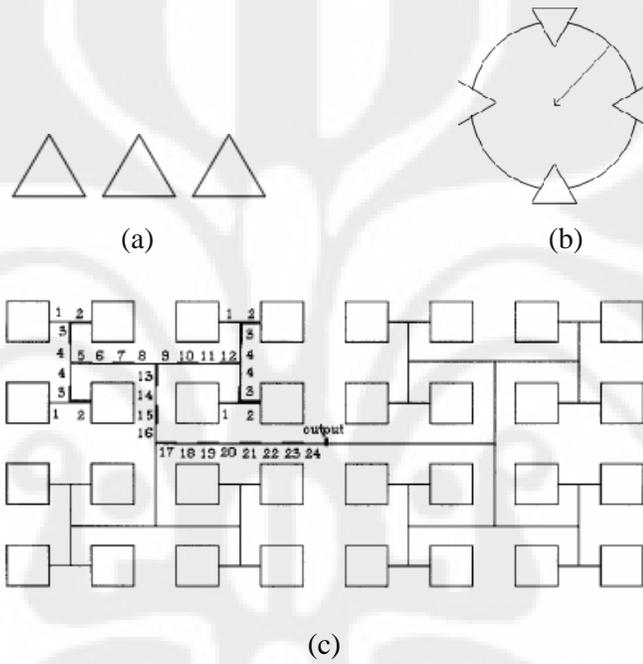
Antena *array* adalah susunan dari beberapa antena yang identik. Dalam antena mikrostrip *patch*, yang disusun secara *array* adalah bagian *patch*. Sedangkan untuk antena *slot*, yang disusun secara *array* adalah bagian *slot*. Medan total dari antena *array* ditentukan oleh penjumlahan vektor dari medan yang diradiasikan oleh elemen tunggal. Untuk membentuk pola yang memiliki keterarahan tertentu, diperlukan medan dari setiap elemen *array* berinterferensi secara konstruktif pada arah yang diinginkan dan berinterferensi secara destruktif pada arah yang lain.

Pada antena *array* dengan elemen yang identik, terdapat lima parameter yang dapat digunakan untuk membentuk pola antena, yaitu[11]:

- a. Konfigurasi geometri (linier, melingkar, *rectangular*, *spherical*, dll)
- b. Pemindahan relatif antara elemen
- c. Amplitudo eksitasi dari setiap elemen
- d. Fasa eksitasi dari setiap elemen
- e. Pola relatif dari setiap elemen

Ada beberapa macam konfigurasi antena *array*, di antaranya : *linear*, *planar*, dan *circular*. Antena *array linear* adalah *array* dengan titik pusat elemen *array* berada pada satu garis lurus. Antena *array planar* adalah *array* dengan

susunan elemen membentuk sebuah area yang berbentuk kotak (ditunjukkan pada Gambar 2.11). Antena *array circular* adalah *array* dengan susunan elemen terletak pada suatu lingkaran dengan radius tertentu. Masing-masing konfigurasi memiliki keuntungan, misalnya *linear array* memiliki kelebihan dalam perhitungan yang tidak terlalu rumit, sedangkan *planar array* memiliki kelebihan dalam pengaturan dan pengendalian arah pola radiasi.

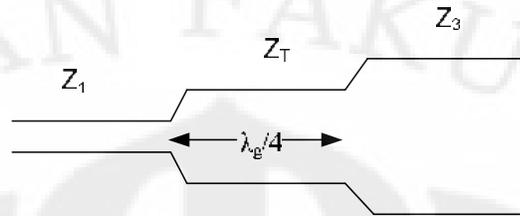


(a) Linear (b) Circular (c) Planar 4 X 4  
Gambar 2.12 Antena Array[11]

## 2.9 Impedance Matching

Perancangan suatu antena tidak terlepas dari penyesuaian impedansi (*impedance matching*). Suatu jalur transmisi dikatakan *matching* apabila karakteristik impedansi  $Z_1 = Z_2$ , atau dengan kata lain tidak ada refleksi yang terjadi pada ujung saluran beban.  $Z_1$  merupakan impedansi beban. Beban dapat berupa antena atau rangkaian lain yang mempunyai impedansi ekuivalen  $Z_1$ .  $Z_2$  merupakan karakteristik impedansi suatu saluran transmisi dan biasanya bernilai 50 ohm. Saat kondisi *matching* saluran transmisi dapat mentransfer daya secara sempurna dan daya yang hilang pada saluran minimum serta dapat mengurangi *amplitude and phase errors*[22].

Untuk mencapai kondisi *matching*, dapat dilakukan dengan cara menambahkan transformator  $\lambda/4$ , pemberian *single stub*, dan *double stub*.



Gambar 2.13 Pemberian Transformator  $\lambda/4$  Untuk Memperoleh *Impedance Matching*

Transformator  $\lambda/4$  adalah suatu teknik *impedance matching* dengan cara memberikan saluran transmisi dengan impedansi  $Z_T$  di antara dua saluran transmisi yang tidak *match* seperti pada Gambar 2.12. Panjang saluran transmisi transformator  $\lambda/4$  ini adalah sebesar  $l = \frac{1}{4} \lambda_g$  dengan  $\lambda_g$  merupakan panjang gelombang pada bahan dielektrik yang besarnya dapat dihitung pada Persamaan 2.24.

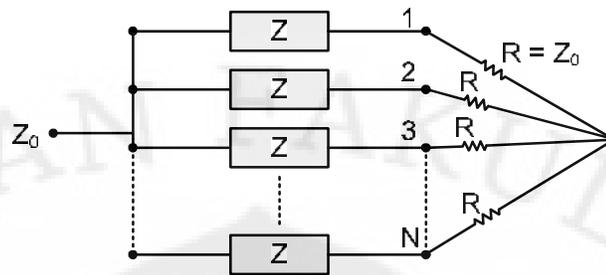
$$\lambda_g = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (2.24)$$

dimana  $\lambda_0$  adalah panjang gelombang pada ruang bebas. Nilai impedansi  $Z_T$  dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 2.25.

$$Z_T = \sqrt{Z_1 Z_3} \quad (2.25)$$

## 2.10 Power Divider

Salah satu teknik yang dapat mendukung *impedance matching* pada saluran transmisi khususnya untuk antena mikrostrip *array* adalah *power divider* (*combiner*). Dalam hal ini, Metoda *Wilkinson* merupakan teknik yang umum digunakan [22]. Gambar 2.13 memperlihatkan *power divider* Metoda *Wilkinson*.



Gambar 2.14 N-Way Wilkinson Combiner

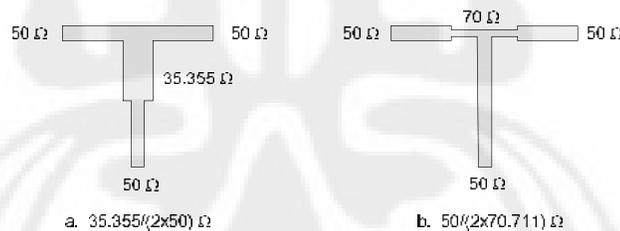
Pada Metoda *Wilkinson*, nilai impedansi  $Z$  diberikan dengan Persamaan 2.26 berikut.

$$Z = Z_0 \sqrt{N} \quad (2.26)$$

dimana  $N$  adalah jumlah titik pencabangan.

### 2.11 T-Junction 50 Ohm

*T-junction* merupakan sebuah teknik *power divider* yang umum digunakan pada konfigurasi antena *array* [22]. Terdapat dua jenis *T-junction 50 Ohm* yang dapat digunakan sebagai *power divider* seperti ditunjukkan pada Gambar 2.14.



Gambar 2.15 T-Junction 50 Ohm

Dari Gambar 2.14 dapat dilihat untuk mendapatkan impedansi input 50 ohm dari saluran 50 ohm dapat menggunakan sebuah transformasi sehingga dapat meminimalisasi jumlah transformasi.

## BAB 3

### PERANCANGAN ANTENA DAN SIMULASI

#### Pendahuluan

Pada skripsi ini akan dirancang antena mikrostrip *slot triangular array* 8 elemen untuk mendapatkan karakteristik antena yang telah ditentukan. Jenis antena mikrostrip yang dirancang adalah antena mikrostrip *slot* dengan *slot* berbentuk segitiga dan teknik pencatuan secara tidak langsung menggunakan Saluran Mikrostrip (*Microstrip Line Feed*). Keuntungan rancangan ini adalah desain yang sederhana dan mudah proses fabrikasinya serta dapat menghasilkan *bandwidth* yang lebar sehingga mampu memenuhi spesifikasi yang dibutuhkan.

Ada beberapa tahapan dalam perancangan antena ini, di antaranya adalah penentuan spesifikasi substrat yang akan digunakan, penentuan dimensi antena, penentuan dimensi saluran pencatu, serta penentuan teknik *array*. Sebelum merancang antena mikrostrip *array* linear 8 elemen, tentukan terlebih dahulu antena mikrostrip *array* linear 2 elemen. Proses tersebut adalah untuk memudahkan proses *matching* antena yang lebih sederhana. *Matching* antena sangat tergantung pada letak dan parameter pencatu antena. Hasil rancangan tersebut kemudian disimulasikan dengan menggunakan perangkat lunak *HFSS V 11.1.1*.

#### Perlengkapan Yang Digunakan

Perancangan antena ini menggunakan perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*). Perangkat keras digunakan untuk fabrikasi dan pengukuran antena, sedangkan perangkat lunak digunakan untuk melakukan simulasi dan untuk mengetahui karakteristik atau kinerja antena yang dirancang.

Perangkat keras yang digunakan dalam perancangan antena mikrostrip antara lain :

1. Substrat dielektrik *FR4-Epoxy*, sebagai substrat antena.
2. *Network Analyzer Hewlett Packard 8753E* (30 kHz - 6 GHz)

Alat ini dapat digunakan untuk pengukuran *port* tunggal (mengukur *VSWR*, frekuensi resonansi, impedansi masukan, *return Loss*, dan *bandwidth*) dan *port* ganda (mengukur pola radiasi dan *gain*).

3. *Power Meter Anritsu ML83A* untuk membaca daya keluaran dari antena dan *network analyzer*.
4. *Power Sensor Anritsu MA72B* untuk mengukur daya keluaran dari antena dan *network analyzer*.
5. *Connector SMA 50 ohm*.
6. Kabel *Coaxial50 ohm*.

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

1. *Ansoft HFSS versi 11.1.1*.

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

2. *PCAAD 5.0*

Perangkat lunak ini digunakan untuk menentukan lebar saluran mikrostrip, impedansi karakteristik, konstanta dielektrik efektif ( $\xi_{eff}$ ), direktivitas, redaman, dan *gain*.

3. *Microsoft Visio 2003*

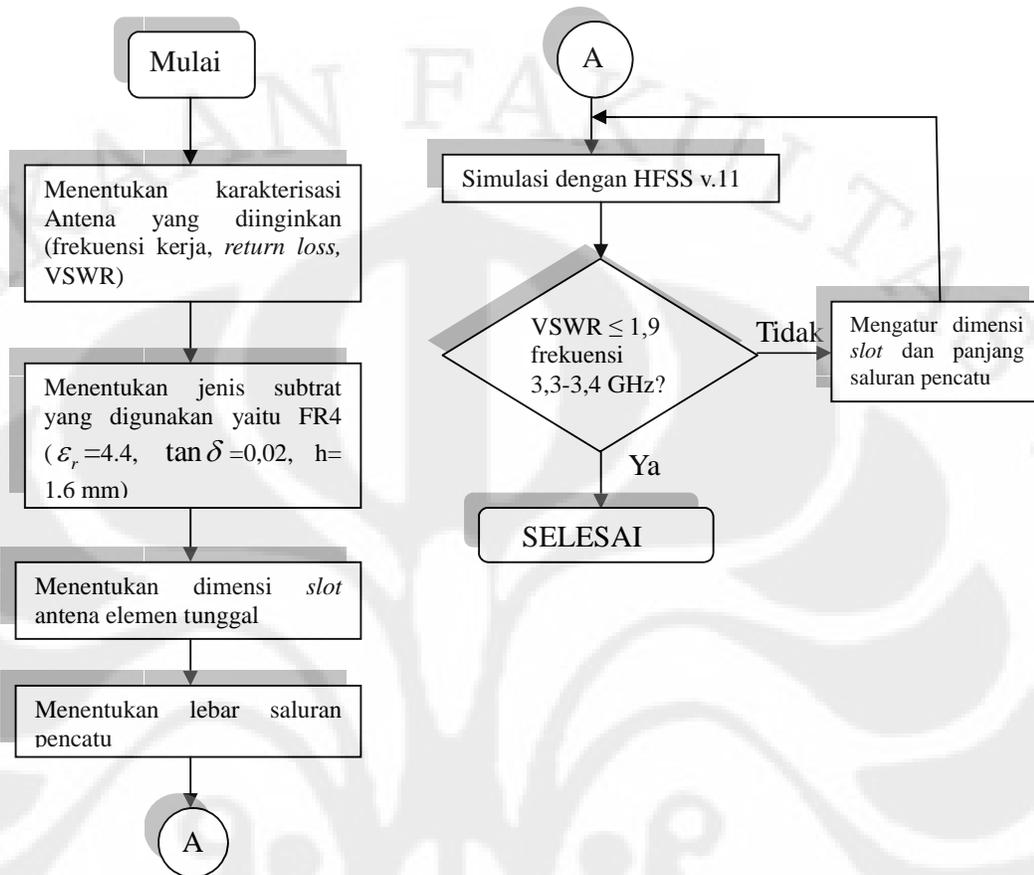
Perangkat lunak ini digunakan untuk melakukan visualisasi desain perancangan.

4. *Microsoft Excel 2007*

Perangkat lunak ini digunakan untuk mengolah data dengan persamaan matematis.

### **Diagram Alir Perancangan Antena**

Dalam merancang antena diperlukan tahapan-tahapan untuk membantu dalam proses perancangan. Gambar 3.1 merupakan Gambar diagram alir dari perancangan antena pada skripsi ini.



Gambar 3.16 Diagram Alir Perancangan Slot Antena

### Menentukan Karakteristik Antena

Tahapan perancangan antenna pertama kali adalah menentukan karakteristik antenna yang diinginkan, karakteristik antenna yang dimaksud yaitu frekuensi kerja, *Impedance Bandwidth*, *return loss* / VSWR, dan gain. Berdasarkan keputusan Dirjen postel tentang spesifikasi minimum Persyaratan Teknis Alat dan Perangkat Telekomunikasi antenna Subscriber BWA WiMAX, maka diharapkan antenna hasil rancangan memenuhi beberapa parameter elektrik yang meliputi:

1. Frekuensi kerja : 3,3 GHz (3,3-3,4 GHz)
2. Impedansi terminal : 50 Ω koaksial konektor SMA
3. *Impedance Bandwidth* : 100 MHz
4. VSWR : ≤ 1,9
5. Gain : ≤ 15 dBi

Pada rancangan antenna ini, diharapkan antenna mampu bekerja pada

frekuensi 3,3-3,4 Ghz. Hal ini berarti, frekuensi resonansinya adalah 3,3-3,4 Ghz dengan frekuensi tengah 3,35 Ghz. Frekuensi tengah resonansi ini, selanjutnya akan menjadi nilai parameter frekuensi dalam menentukan parameter-parameter lainnya seperti dimensi *Slot* dan lebar saluran pencatu.

### Menentukan Jenis Subtrat Yang Digunakan

Subtrat merupakan bahan dielektrik yang memiliki nilai konstanta dielektrik ( $\epsilon_r$ ), dielectric loss tangent ( $\tan \delta$ ) dan ketebalan (h) tertentu. Ketiga nilai tersebut mempengaruhi frekuensi kerja, *bandwidth*, dan juga efisiensi dari antenna yang akan dibuat. Semakin kecil konstanta dielektrik, maka ukuran elemen peradiasi dan saluran pencatu mikrostrip yang dibutuhkan akan semakin luas, karena ukuran elemen peradiasi dan saluran mikrostrip berbanding terbalik dengan konstanta dielektrik. Ketebalan substrat jauh lebih besar daripada ketebalan konduktor metal peradiasi. Semakin tebal substrat maka *bandwidth* akan semakin meningkat, tetapi berpengaruh terhadap timbulnya gelombang permukaan (*surface wave*)[7][11]. Begitu juga sebaliknya, semakin kecil tebal substrat maka efek gelombang permukaan semakin kecil sehingga diharapkan dapat meningkatkan kinerja antenna seperti gain, efisiensi, dan *bandwidth*.

Dalam pemilihan jenis substrat sangat dibutuhkan pengetahuan tentang spesifikasi umum dari susbtrat tersebut, kualitasnya, ketersediannya dan yang tidak kalah penting adalah harga atau biaya yang harus dikeluarkan untuk mendapatkannya. Semua parameter tersebut akan mempengaruhi nilai jual ketika akan difabrikasi secara massal untuk dipasarkan. Pada skripsi ini digunakan substrat FR4 (evoksi) dengan ketebalan 1,6 mm dengan spesifikasi pada Tabel 3.1.

Tabel 3.2 Spesifikasi Subtrat Yang Digunakan

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

### Perancangan Dimensi *Slot* Segitiga Elemen Tunggal

Setelah didapatkan spesifikasi mengenai substrat yang digunakan, dilakukan perancangan *Slot* peradiasi antenna mikrostrip. Antena yang dirancang di sini akan bekerja pada frekuensi 3,3 GHz (3,3-3,4 GHz) dengan frekuensi tengah 3,35 GHz. Merancang *Slot* pada antenna mikrostrip *Slot* sama halnya seperti merancang *patch* pada antenna mikrostrip *patch* dengan dimensi yang sama. *Slot* antenna yang dirancang berbentuk segitiga sama sisi, panjang sisi segitiga sama sisi (a) dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 2.5.

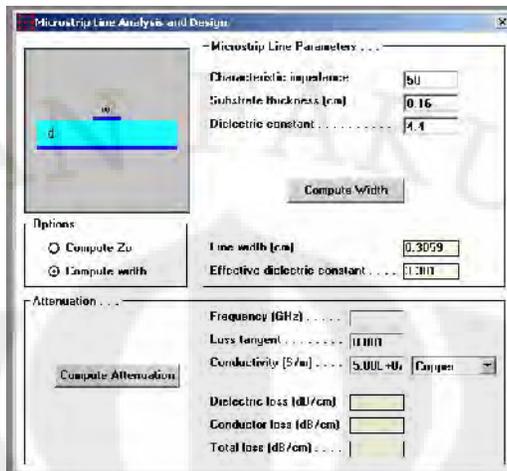
$$f_{10} = \frac{2c}{3a_e \sqrt{\epsilon_r}}, a = \frac{2c}{3f_{10} \sqrt{\epsilon_r}} = 0,02843 \text{ m} = 28,43 \text{ mm}$$

### Perancangan Lebar Saluran Pencatu

Teori mengenai saluran pencatu mikrostrip telah dijelaskan pada subbab 2.6 dalam perancangan antenna mikrostrip *array* linear 8 elemen menggunakan tiga buah impedansi saluran pencatu yaitu : 50  $\Omega$ , 70.71  $\Omega$  dan 100  $\Omega$ .

#### 3.7.1 Perancangan Saluran Pencatu Mikrostrip 50 $\Omega$

Pencatuan yang digunakan pada antenna yang dirancang pada skripsi ini adalah menggunakan teknik pencatuan *microstrip feed line* secara tidak langsung. Pada saat pengukuran antenna elemen tunggal, pencatu antenna mikrostrip akan dihubungkan dengan konektor SMA 50  $\Omega$ . Dengan demikian dalam perancangan pencatu antenna mikrostrip perlu impedansi masukan ( $Z_{in}$ ) 50  $\Omega$ . Nilai tersebut bisa didapatkan dengan mengatur lebar dari saluran pencatu. Untuk mendapatkan besar lebar dari saluran pencatu yang menghasilkan nilai impedansi 50 ohm dapat dicari dengan menggunakan perangkat lunak PCAAAD 5.0. Tampilan dari program PCAAAD untuk mencari lebar saluran agar mempunyai impedansi 50 ohm dapat dilihat pada Gambar 3.2

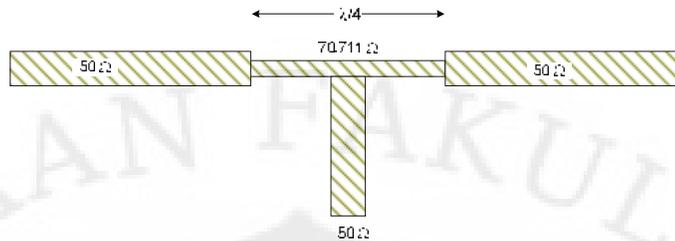


Gambar 3.17 Tampilan Program Pcaad Untuk Mencari Lebar Catu Agar Mempunyai Impedansi 50 Ohm

Dengan memasukkan karakteristik impedansi yang diinginkan dan parameter-parameter substrat yang digunakan, maka program ini akan secara otomatis menampilkan besar lebar dari saluran pencatu agar menghasilkan nilai impedansi yang diinginkan. Pada PCAAD ini didapatkan nilai untuk menghasilkan nilai impedansi 50 dengan menggunakan nilai parameter substrat yang digunakan dalam perancangan ini, dibutuhkan lebar saluran pencatu sebesar 3,059 mm. Sedangkan untuk panjang saluran pencatu pada desain awal ini akan digunakan bentuk pencatuan *microstrip line short circuited*.

### 3.7.2 Perancangan Saluran Pencatu Mikrostrip 70,71 $\Omega$

Pada hasil rancangan elemen tunggal diketahui bahwa saluran pencatu yang digunakan adalah 50 ohm. Untuk merancang antenna 2 elemennya, dibutuhkan *T-junction* 50 ohm yang berfungsi sebagai *power divider*. Teori tentang *T-junction* telah dibahas pada subbab 2.11. Pada penelitian ini *T-junction* yang digunakan adalah yang memiliki impedansi 70,71 ohm. Impedansi 70,71 ohm tersebut berfungsi sebagai transformator  $\lambda/4$ .

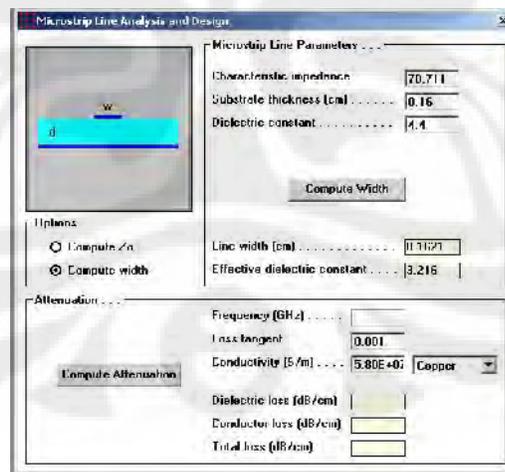


Gambar 3.18 Perancangan T-Junction Impedansi 70,711 Ω

Transformator  $\lambda/4$  adalah suatu teknik *impedance matching* dengan cara memberikan saluran transmisi dengan impedansi  $Z_T$  di antara dua saluran transmisi yang tidak *match*. Saluran pencatu mikrostrip 70,71 Ω merupakan transformator  $\lambda/4$  antara saluran pencatu 100 Ω dan 50 Ω. Nilai impedansi transformator  $\lambda/4$  ini diperoleh dari persamaan 2.25, sebagai berikut :

$$Z_T = \sqrt{Z_1 \times Z_3} = \sqrt{50 \times 100} = 70,71 \text{ ohm}$$

Lebar saluran pencatu mikrostrip 70,71 Ω dapat dicari dengan menggunakan perangkat lunak PCAA 5.0. Tampilan dari program PCAA untuk mencari lebar catu agar mempunyai impedansi 70,71 ohm dapat dilihat pada Gambar 3.4.



Gambar 3.19 Tampilan Program Pcaad Untuk Mencari Lebar Catu Agar Mempunyai Impedansi 70,71 Ohm

Selain mendapatkan lebar saluran pencatu mikrostrip 70,71 Ω juga diperoleh konstanta dielektrik efektif ( $\xi_{\text{eff}}$ ) senilai 3,216. konstanta dielektrik ini

digunakan untuk menghitung panjang pencatu saluran mikrostrip 70,7  $\Omega$  sesuai dengan persamaan 2-24.

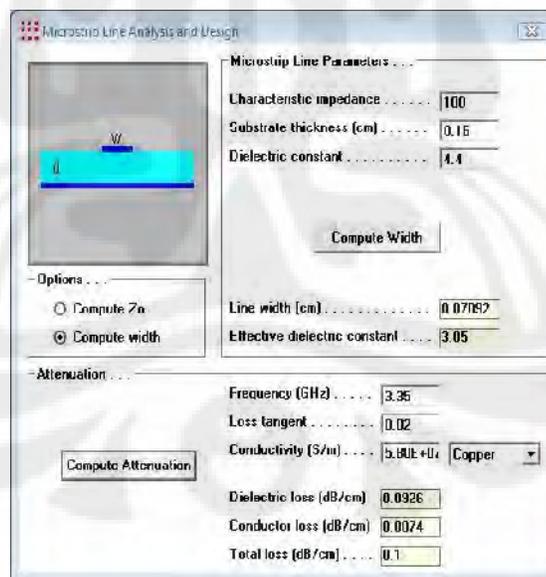
$$\begin{aligned}\lambda_g &= \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \\ &= \frac{89,55}{\sqrt{3,216}} = 49,94 \text{ mm}\end{aligned}$$

Sehingga diperoleh panjang saluran pencatu mikrostrip 70,7  $\Omega$  adalah

$$\begin{aligned}l &= \frac{\lambda_g}{4} \\ &= \frac{49,94}{4} = 12,48 \text{ mm}\end{aligned}$$

### 3.7.3 Perancangan Saluran Pencatu Mikrostrip 100 $\Omega$

Saluran pencatu 100 ohm dibutuhkan saat merancang antenna *array* 8 elemen. Untuk mendapatkan besar lebar dari saluran pencatu yang menghasilkan nilai impedansi 100 ohm dapat dicari dengan menggunakan perangkat lunak PCAAD 5.0. Tampilan dari program PCAAD untuk mencari lebar catu agar mempunyai impedansi 100 ohm dapat dilihat pada Gambar 3.5.



Gambar 3.20 Tampilan Program Pcaad Untuk Mencari Lebar Catu Agar Mempunyai Impedansi 100 Ohm

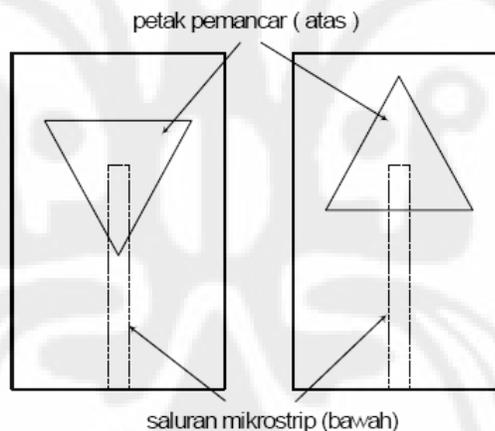
Dengan memasukkan karakteristik impedansi yang diinginkan dan parameter-parameter substrat yang digunakan, maka program PCAAD secara

otomatis menampilkan besar lebar dari saluran pencatu agar menghasilkan nilai impedansi yang diinginkan. Dari langkah ini, diperoleh lebar saluran pencatu sebesar 0,07 mm sedangkan panjang dari saluran pencatu ini disesuaikan dengan jarak antar elemen dan dimensi substrat yang tersedia atau telah ditentukan.

### Simulasi Desain Antena Mikrostrip *Slot* Elemen Tunggal

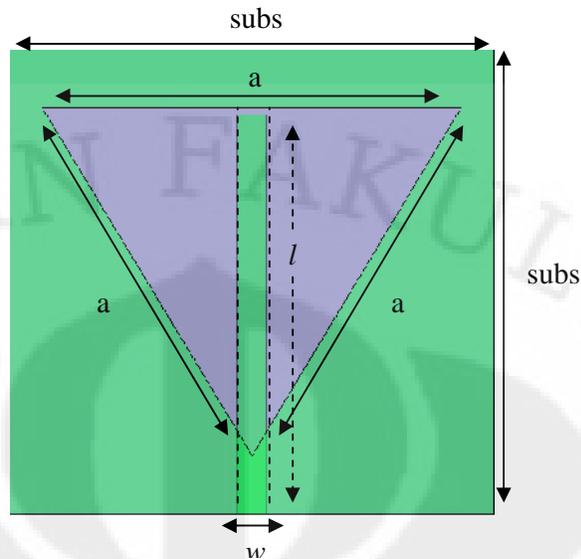
#### 3.8.1. Hasil rancangan awal

Selain menentukan parameter-parameter yang telah kita bahas pada subbab-subbab sebelumnya, perlu juga ditentukan letak titik pencatu yang tepat. Ada dua cara untuk mencari letak titik pencatu yang terbaik, yaitu antena segitiga dicatu dari salah satu sudutnya atau dari salah satu sisinya, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.6[23]. Berdasarkan [23], ternyata kesepadanan (*matching*) diperoleh pada saat antena segitiga dicatu dari salah satu sudutnya.



Gambar 3.21 Variasi Letak Pencatu Untuk Memperoleh Kondisi Sepadan [23]

Seperti yang terlihat pada Gambar 3.6, antena mikrostrip *slot* yang didesain pada skripsi ini merupakan antena mikrostrip yang dibuat dengan menggunakan satu buah substrat FR4-Epoxy yang bisa di-*etching* pada kedua sisinya. Pencatu dan *slot* berada di dua sisi yang berbeda sehingga pada desain antena ini proses pencatuan dilakukan secara tidak langsung. *Slot* dapat digambarkan sebagai sebuah lapisan *ground* pada suatu struktur antena mikrostrip *patch* yang diberi lubang/*slot* dengan cara meng-*etching* bagian *slot* ini. Gambar 3.7 merupakan gambar desain antena bila dilihat dari atas (sisi *slot*).



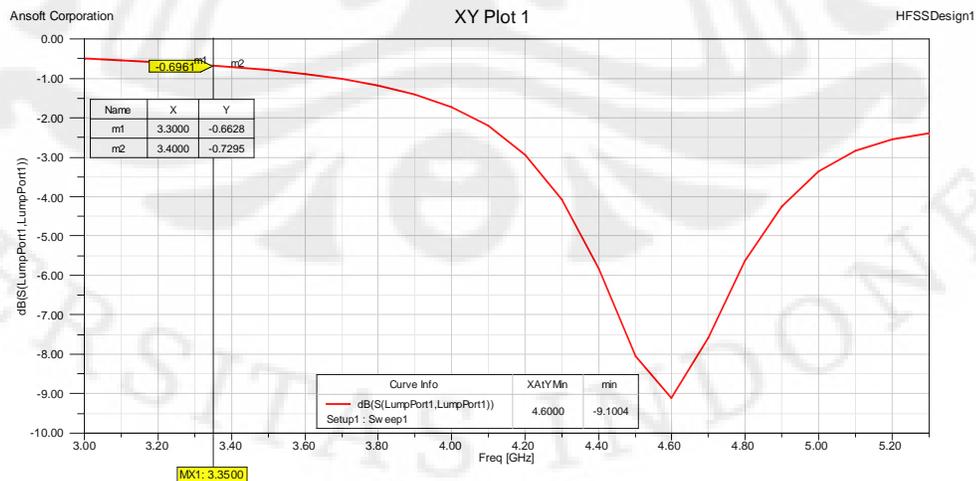
Gambar 3.22 Hasil Rancangan Awal Antena Single Elemen Berdasarkan Dasar Teori

Tabel 3.3 Dimensi Antena Hasil Rancangan Berdasarkan Teori

Parameter	Ukuran (mm)
Sisi dimensi <i>slot</i> segitiga ( <i>a</i> )	28,43
Ukuran dimensi substrat ( <i>subs</i> )	35x35
Lebar Pencatu ( <i>w</i> )	3,06
Panjang Pencatu ( <i>l</i> )	28,91

### 3.8.2. Hasil Simulasi Rancangan Awal

Pada tahap ini, hasil rancangan disimulasikan dengan perangkat lunak *HFSS v 11.1.1*. Gambar 3.8 menunjukkan grafik *return loss* hasil simulasi awal yang merupakan hasil rancangan berdasarkan perhitungan teori yang ukurannya telah dijabarkan pada keterangan di Gambar 3.7.



Gambar 3.23 Return Loss Simulasi Awal

Dari Gambar 3.8 dapat dilihat bahwa frekuensi kerja yang diinginkan bergeser ke frekuensi 4,6 GHz dengan nilai *return Loss* yang diperoleh sebesar -9,1004 dB. Hasil ini sangat jauh dari frekuensi yang diharapkan yaitu 3,35 GHz. Adapun dari hasil simulasi desain awal antenna ini, telah diberikan penanda (*marker*) untuk range frekuensi yang diinginkan. Untuk frekuensi 3,3 GHz yang telah diberi tanda *marker 1* (m1), diperoleh *return loss* sebesar -0,6628 dB, pada frekuensi tengah 3,35 GHz *X marker* (yang diberi warna kuning) sebesar -0,6961 dB dan pada frekuensi 3,4 GHz *marker 2* (m2) sebesar -0,7295 dB.

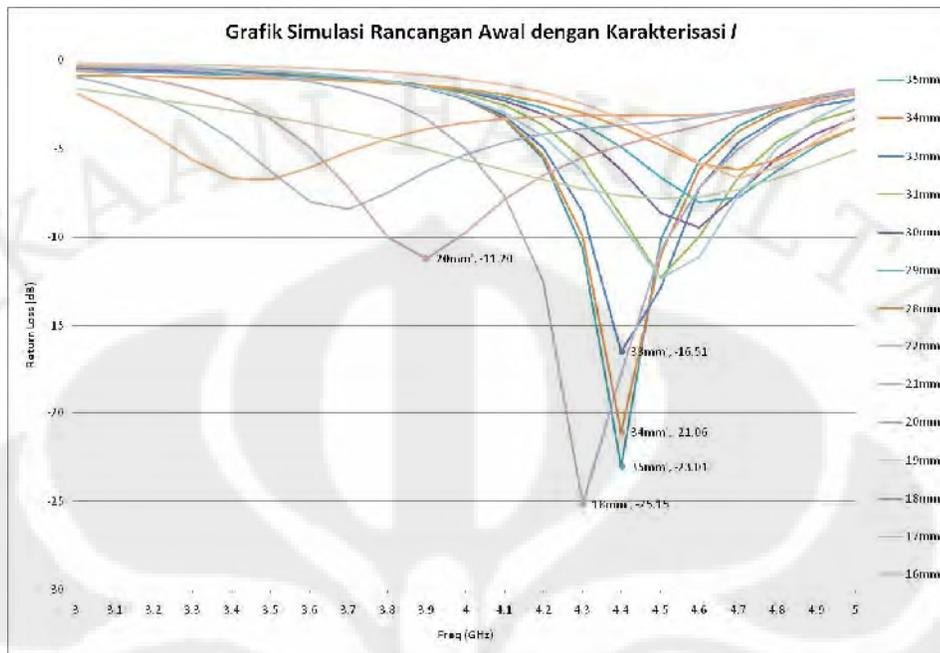
Hal tersebut dapat disebabkan oleh ketidaksesuaian antara perhitungan dimensi *slot* segitiga yang digunakan dengan teknik pencatuan *Microstrip Feed Line*. Oleh karena itu, untuk mendapatkan rancangan yang optimal perlu dilakukan pengkarakterisasian antenna.

### 3.8.3. Karakterisasi Antena Elemen Tunggal

Berdasarkan dasar teori antenna mikrostrip pada umumnya, untuk menggeser frekuensi kerja dari 4,6 GHz menjadi 3,35 GHz adalah dengan memperbesar dimensi *patch* antenna, karena dimensi antenna berbanding terbalik dengan frekuensi kerjanya. Dengan demikian, untuk menggeser frekuensi kerja yang pada antenna mikrostrip *slot*, akan dilakukan karakterisasi dimensi *slot* (*a*). Teknik pencatuan yang digunakan adalah *Microstrip Feed Line* sehingga terdapat parameter lain yang dapat dimodifikasi untuk mendapatkan karakteristik yang diinginkan yaitu panjang saluran pencatu (*l*). Dengan demikian parameter yang memungkinkan untuk digunakan pada pengkarakterisasian ini adalah dimensi *slot*(*a*) dan panjang saluran pencatu (*l*).

#### 3.8.3.1. Karakterisasi Panjang Saluran Pencatu (*l*)

Gambar 3.9 memperlihatkan karakteristik dari rancangan antenna dengan mengubah hanya panjang saluran pencatu sedangkan parameter lainnya tetap. Variasi panjang saluran pencatu yang dibuat adalah mulai dari 1 mm hingga 35 mm dengan kenaikan 1 mm dan parameter yang tetap adalah dimensi *slot* (*a* = 28.43 mm). Data terlampir pada **Lampiran B.1** nomer 1.



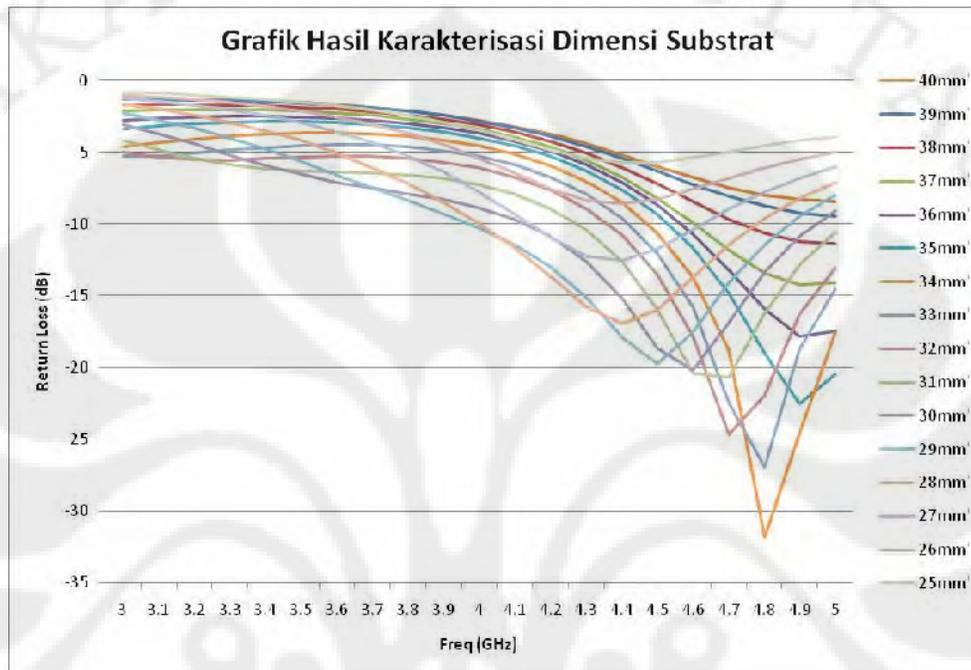
Gambar 3.24 Grafik *Return Loss* Pada Iterasi *Feed* Elemen Tunggal

Berdasarkan hasil simulasi, nilai return loss dibawah -10,16 dB ( $VSWR \leq 1,9$ ) didapatkan pada  $l = 17, 18, 20, 31, 33\text{mm} - 35\text{mm}$  sedangkan frekuensi resonansi rata-rata masih berada di atas 4 GHz. Dengan demikian, karakterisasi pada simulasi kali ini belum mencapai hasil yang diinginkan. Namun, dari hasil ini dapat disimpulkan bahwa karakterisasi pada panjang *feed* ( $l$ ) mempengaruhi *matching impedance* dan menentukan dalam mengetahui frekuensi resonansi dari antenna.

### 3.8.3.2. Karakterisasi Dimensi Substrat (subs)

Karakterisasi dimensi substrat yang dilakukan tidak bertujuan untuk menggeser frekuensi kerja antenna. Perubahan nilai frekuensi kerja yang didapatkan dari hasil simulasi berdasarkan teori membutuhkan karakterisasi bentuk *slot* sehingga dimensi keseluruhan antenna dapat menjadi lebih besar karena untuk menggeser frekuensi kerja antenna menjadi lebih kecil, maka dimensi *slot* harus diperbesar. Mengetahui pengaruh perubahan dimensi substrat terhadap pergeseran frekuensi merupakan ‘produk sampingan’ dari hasil simulasi pada karakterisasi ini. Pada karakterisasi kali ini, dimensi substrat yang semula berukuran  $(35 \times 35) \text{ mm}^2$  diperbesar menjadi  $(50 \times 50) \text{ mm}^2$ . Gambar 3.10

menunjukkan hasil simulasi dari perubahan dimensi substrat sedangkan parameter lainnya seperti dimensi *slot* dan lebar saluran pencatu dibuat tetap. Data hasil simulasi dapat dilihat pada **Lampiran B.1** nomer 2.

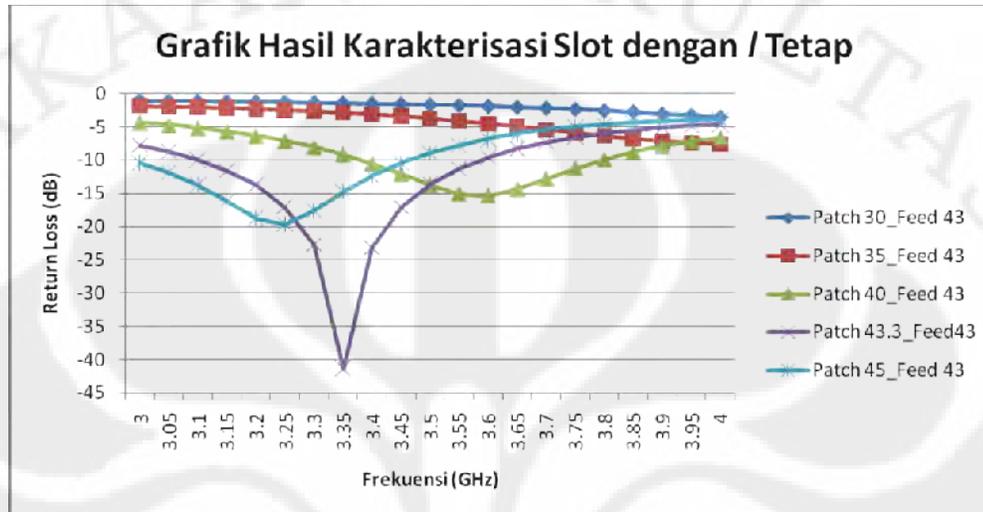


Gambar 3.25 Grafik *Return Loss* Setelah Merubah Dimensi Substrat Antena Elemen Tunggal

Berdasarkan data hasil simulasi, diketahui bahwa return loss dibawah -10,16 dB ( $VSWR \leq 1,9$ ) didapatkan pada panjang Feed 27 mm - 39 mm yang beresonansi di frekuensi 4,2 GHz – 5 GHz. Nilai return loss terbaik diperoleh pada panjang Feed 34mm dan memiliki frekuensi tengah di 4,8 GHz. Dengan demikian, karakterisasi pada simulasi kali ini belum mencapai hasil yang diinginkan. Karakterisasi pada panjang *feed* ( $l$ ) mempengaruhi *matching impedance* dan menentukan dalam mengetahui frekuensi resonansi dari antena. Bila dibandingkan dengan karakterisasi sebelumnya, maka hasil karakterisasi dimensi substrat kali ini tidak memperlihatkan perbedaan yang signifikan. Nilai return loss terbaik yang diperoleh pada frekuensi yang lebih besar dapat disebabkan karena dimensi *slot* ( $a$ ) yang relative menjadi lebih kecil terhadap dimensi ground (subs) sebagai akibat dari perubahan dimensi substrat.

### 3.8.3.3. Karakterisasi Sisi *Slot* Segitiga

Gambar 3.11 memperlihatkan sebuah pengkarakterisasian dari rancangan antenna dengan mengubah ukuran dimensi *slot*, sedangkan parameter lainnya tetap.



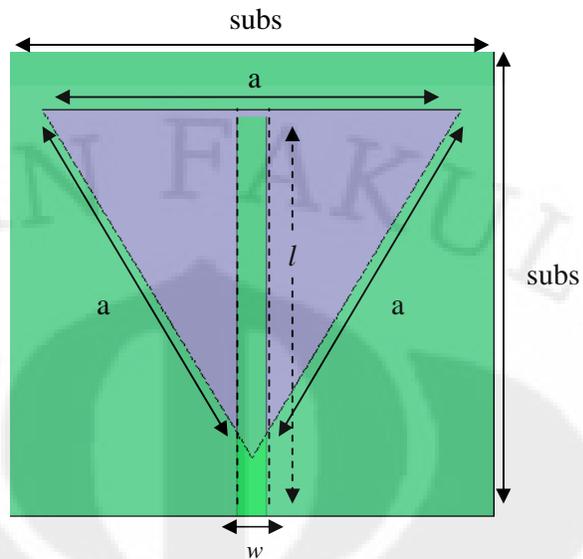
Gambar 3.26 Grafik *Return Loss* Setelah Memvariasikan *Slot* Dengan *l* Tetap

Variasi sisi *slot* ( $a$ ) yang dibuat adalah 30 mm, 35 mm, 40 mm dan 45 mm. Data hasil simulasi dapat dilihat pada **Lampiran B.1** nomer 3 s.d. 7. Parameter yang tetap adalah panjang saluran pencatu ( $l = 43\text{mm}$ ), lebar saluran pencatu ( $w=3,06\text{mm}$ ), dimensi substrat ( $subs=50\times 50\text{mm}$ ). Dari Gambar 3.11 tersebut dapat diamati bahwa dengan memperbesar sisi *slot* maka frekuensi kerja dari antenna menjadi lebih kecil, demikian pula untuk sebaliknya.

### 3.8.4. Hasil Simulasi Elemen tunggal

Gambar 3.12 merupakan geometri hasil rancangan akhir setelah pengkarakterisasian, yaitu dengan sisi *slot* ( $a$ ) 43,3 mm, panjang saluran pencatu ( $l$ ) sebesar 43 mm dan lebar saluran pencatu ( $w$ ) sebesar 3,06 mm dengan dimensi substrat sebesar 50x50mm.

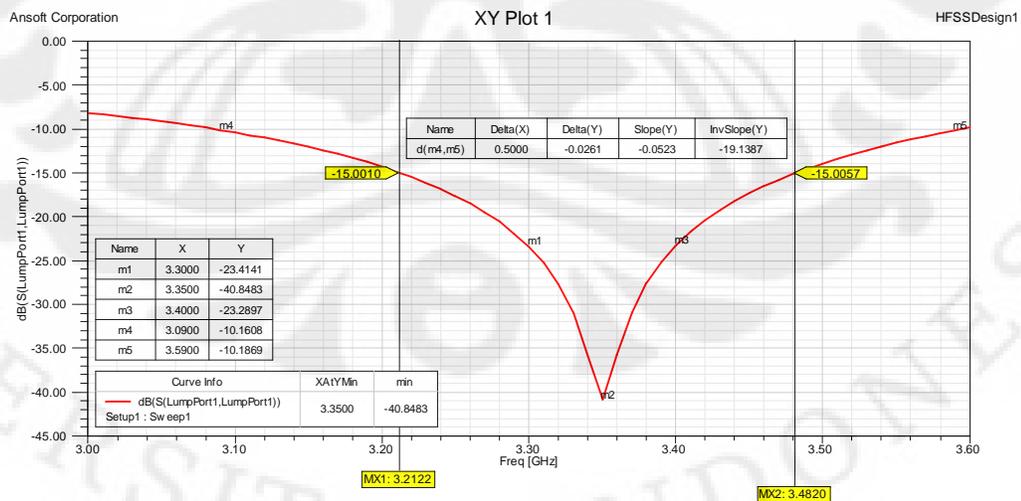
Dengan mengetahui beberapa karakteristik dari antenna yang dirancang, maka dapat membantu mempermudah memperoleh rancangan yang optimal. Pengamatan pada parameter *return Loss*, VSWR, dan pola radiasi dari hasil simulasi elemen tunggal ditunjukkan pada Gambar 3.13, 3.14, 3.15 dan 3.16.



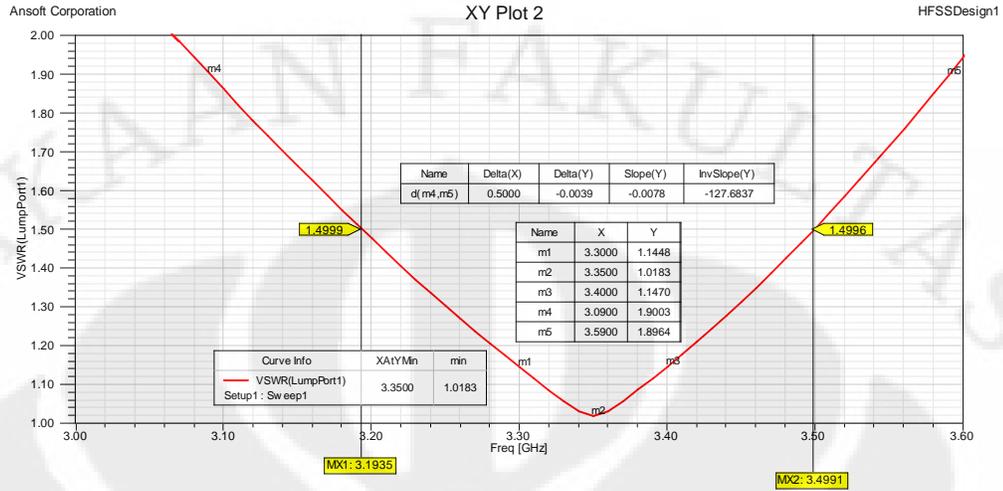
Gambar 3.27 Geometri Hasil Perancangan Slot Elemen Tunggal

Tabel 3.4 Dimensi Antena Hasil Karakterisasi

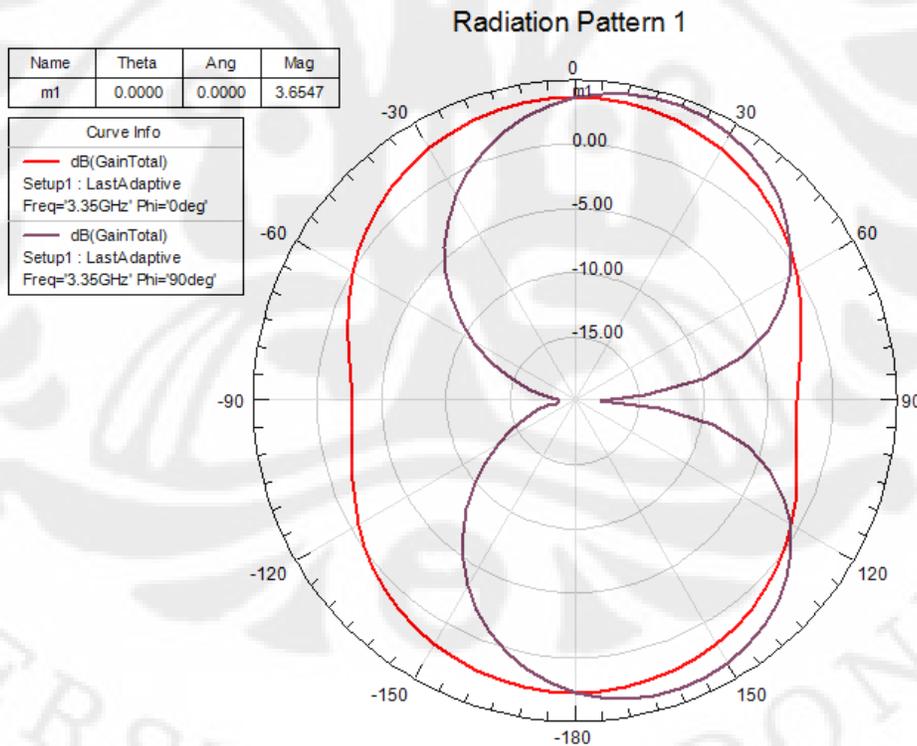
Parameter	Ukuran (mm)
Sisi dimensi slot segitiga (a)	43,3
Ukuran dimensi substrat (subs)	50x50
Lebar Pencatu (w)	3,06
Panjang Pencatu (l)	43



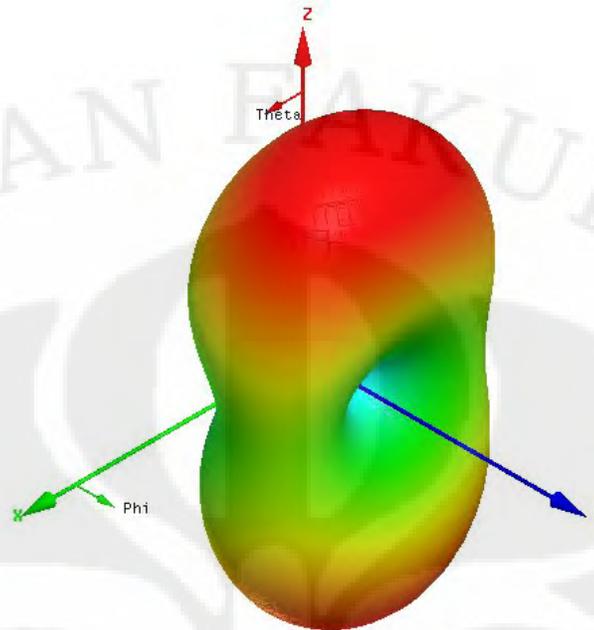
Gambar 3.28 Hasil Simulasi Return Loss Elemen Tunggal



Gambar 3.29 Hasil Simulasi VSWR Elemen Tunggal



Gambar 3.30 Hasil Simulasi Pola Radiasi Elemen Tunggal



Gambar 3.31 Tampak 3 Dimensi Hasil Simulasi Pola Radiasi

Gambar 3.13 dan Gambar 3.14 memperlihatkan *impedance bandwidth*. Dari Gambar tersebut dapat terlihat bahwa pada nilai return loss dibawah  $-10,16$  dB ( $VSWR \leq 1,9$ ) *impedance bandwidth* antena berada pada rentang  $3,09$  GHz sampai dengan  $3,59$  GHz. Sedangkan pada nilai return loss dibawah  $-13,98$  dB ( $VSWR \leq 1,5$ ) *impedance bandwidth* antena berada pada rentang  $3,1935$  GHz sampai dengan  $3,4991$  GHz.

Berdasarkan Gambar 3.13 dan 3.14, dapat dilihat bahwa nilai *return Loss* yang diperoleh pada frekuensi  $3,3$  GHz dan  $3,4$  GHz masing-masing adalah  $-23,4141$  dB dan  $-23,2897$  dB dan pada frekuensi tengahnya ( $3,35$ ) GHz diperoleh  $-40,8483$  dB. Sedangkan nilai *VSWR* yang diperoleh pada frekuensi  $3,3$  GHz dan  $3,4$  GHz masing-masing adalah  $1,1448$  dan  $1,1470$ . Pada frekuensi tengahnya nilai *VSWR* yang diperoleh mencapai  $1,0183$ .

Dari data-data yang telah dipaparkan di atas, diketahui bahwa pada rentang frekuensi  $3,3$ - $3,4$  GHz, rancangan antena elemen tunggal mampu bekerja pada nilai  $VSWR \leq 1,2$ . Nilai ini telah memenuhi kebutuhan yang ingin dicapai yaitu pada nilai  $VSWR \leq 1,9$  atau *return Loss*  $\leq -10,16$  dB. Adapun *bandwidth* yang dicapai pada nilai  $VSWR \leq 1,9$  adalah:

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

$$\text{bandwidth} = \frac{3.59 - 3.09}{3.34} \times 100\%$$

$$\text{bandwidth} = 14.97\% (500 \text{ MHz})$$

Sedangkan *bandwidth* yang dicapai pada nilai  $\text{VSWR} \leq 1,5$  adalah:

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

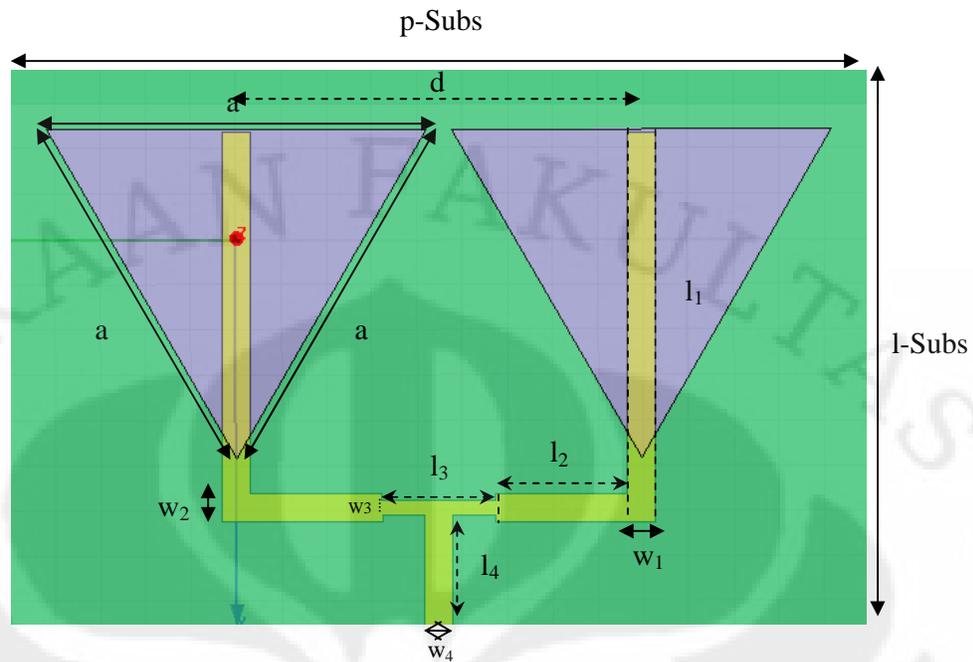
$$\text{bandwidth} = \frac{3.4991 - 3.1935}{3.3463} \times 100\%$$

$$\text{bandwidth} = 9.13\% (305,6 \text{ MHz})$$

Gambar 3.15 dan 3.16 adalah hasil simulasi pola radiasi yang diperoleh untuk antenna elemen tunggal. Dari Gambar tersebut terlihat bahwa pola radiasi yang dihasilkan adalah *Bidirectional* dan memiliki *magnitude* tertinggi sebesar 3,6547 dB berada pada sudut  $0^\circ$ .

### **Perancangan *Array Slot Segitiga 2 Elemen***

Antena *slot array* 2 elemen yang akan dirancang didesain berdasarkan karakterisasi final elemen tunggal, yaitu dengan dimensi sisi *Slot* segitiga ( $a = 43,3\text{mm}$ ), panjang *feed* ( $l = 43 \text{ mm}$ ) dan dengan menggunakan *T-junction* dengan impedansi 70,71 ohm. Beberapa parameter lainnya seperti jarak antara elemen dan variasi panjang pencatu akan dikarakterisasi kembali pada subbab ini. Gambar 3.17 merupakan desain antenna *array* 2 elemen dilihat dari sisi elemen peradiasinya. Keterangan dari tiap penamaan parameter pada rancangan *slot array* 2 elemen ini diberikan pada Tabel 3.4.



Gambar 3.32 Desain Antena Dilihat dari Sisi Slot Peradiasi

Tabel 3.5 Tabel Keterangan Parameter Dimensi Antena Array 2 Elemen yang Akan Digunakan Pada Saat Karakterisasi Antena

Parameter	Keterangan
(a)	Sisi dimensi slot segitiga
(p-sub)	Ukuran dimensi panjang substrat
(l-sub)	Ukuran dimensi lebar substrat
(d)	Jarak Antar Elemen
(w1, w2 & w4)	Lebar Pencatu 50 Ω
(l1 & l4)	Panjang Pencatu 50 Ω vertical
(l2)	Panjang Pencatu 50 Ω horizontal
(w3)	Lebar Pencatu 70,71 Ω
(l3)	Panjang Pencatu 70,71 Ω

### 3.9.1. Pengaturan Jarak Antar Elemen

Jarak antar elemen dalam perancangan antenna mikrostrip *array* perlu diatur agar elemen yang berdekatan tidak saling tumpang tindih dan tidak mengurangi kinerja antenna. Elemen disusun secara linear horizontal dan jarak antar elemen diukur dari titik pusat elemen ke titik pusat elemen yang berdekatan. *Slot* yang dipakai dalam penelitian ini memiliki dimensi sisi segitiga (a) 43.3 mm (sama sisi).

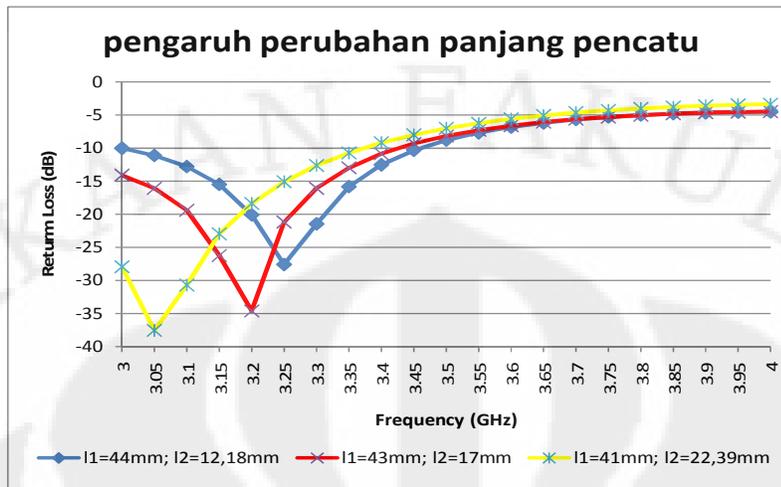
Pada penelitian, ini telah dilakukan pengujian dengan mengambil beberapa jarak antar elemen yaitu dari  $0,5 \lambda$  sampai  $0,9 \lambda$  yang diperlihatkan pada **Lampiran B.2.1**. Dari beberapa hasil pengujian, didapatkan jarak antar elemen yang paling optimal adalah sekitar  $0,5 \lambda$ . Dalam perhitungan jarak antar elemen (d), frekuensi yang digunakan adalah 3,35 GHz.

$$\begin{aligned} d &= \frac{\lambda}{2} \\ &= \frac{c}{2f} \\ &= \frac{3 \times 10^8}{2 \times 3,35 \times 10^9} \\ &= 44,78 \text{ mm} \end{aligned}$$

Hasil di atas merupakan jarak antar elemen yang diukur dari titik pusat elemen ke titik pusat elemen yang berdekatan. Jarak antar elemen diatur untuk mendapatkan hasil yang lebih optimal yaitu untuk meningkatkan *magnitude* hasil simulasi pola radiasi agar lebih besar dari yang dihasilkan pada rancangan elemen tunggal. Peningkatan *magnitude* tersebut mengindikasikan adanya peningkatan *gain* dari antenna.

### 3.9.2. Karakterisasi Panjang Saluran Catu

Setelah menentukan jarak antar elemen yaitu  $d = 0,5 \lambda$  (dengan dimensi antenna  $94 \times 61$  mm, sisi *slot* segitiga 43,3 mm, Lebar Feed = 3,06 mm, dan Lebar T-Junction = 1,6 mm, Panjang T-Junction = 12,48 mm), tahapan selanjutnya adalah melakukan karakterisasi terhadap panjang saluran pencatu untuk *array* 2 elemen. Karakterisasi dilakukan dengan mengubah panjang saluran pencatu di 11 dan 12 (panjang pada 11 divariasikan setiap nilai panjang 12 tertentu). Nilai 11 divariasikan di sekitar tepi *slot* paling ujung, hal ini dilakukan agar didapatkan hasil simulasi yang memenuhi dasar teori yang ada, yaitu menggunakan salah satu bentuk dari pencatuan *microstrip line* yang dalam hal ini adalah *short circuited*. Dari beberapa iterasi, didapatkan karakterisasi yang hampir diinginkan. Data hasil simulasi dapat dilihat pada **Lampiran B.2.2** dan grafik *Return Loss* diperlihatkan pada Gambar 3.18.



Gambar 3.33 Grafik *Return Loss* Antena Array 2 Elemen Dengan Beda  $l_1$  dan  $l_2$

Untuk melihat lebih detail dari perubahan nilai *return Loss* di beberapa frekuensi utama dapat dilihat pada Tabel 3.5 di bawah ini.

Tabel 3.6 Nilai *Return Loss* Antena Array 2 Elemen Dengan Beda  $L_1$  Dan  $L_2$

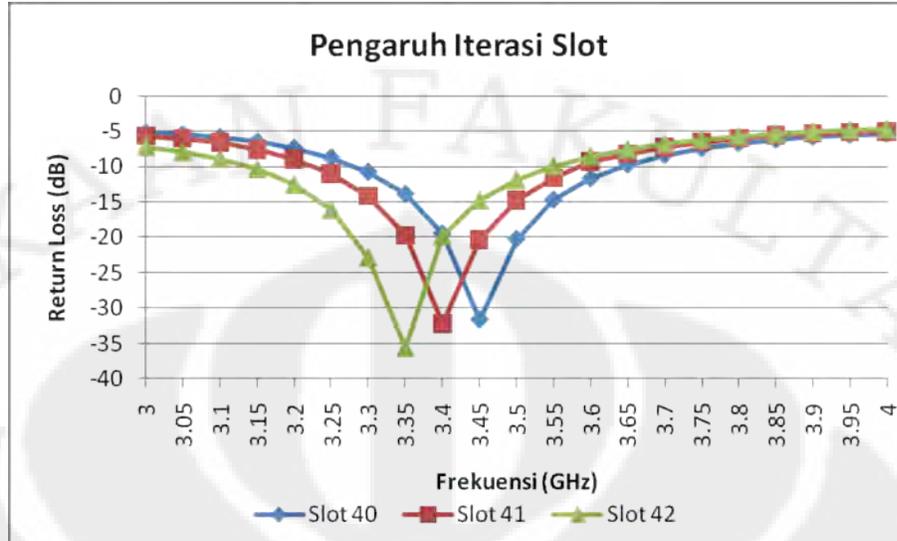
Frekuensi (GHz)	<i>Return Loss</i> (dB)		
	$L_1 = 44$ mm $L_2 = 12.18$ mm	$L_1 = 43$ mm $L_2 = 17$ mm	$L_1 = 41$ mm $L_2 = 22.39$ mm
3,3	-21.338	- 20.813	- 20.1
3,35	-16.548	- 19.454	- 21,395
3,4	-13.198	- 15.654	- 17.678

### 3.9.3. Karakterisasi Dimensi *Slot*

Karakterisasi yang dilakukan terhadap beberapa parameter yang telah dijelaskan pada subbab-subbab sebelumnya tidak menghasilkan karakteristik frekuensi kerja antena yang diinginkan. Untuk dapat menggeser frekuensi kerja antena *array* 2 elemen, masih ada satu parameter yang dapat karakterisasi yaitu dimensi *slot* peradiasi.

Variasi dimensi *slot* yang ingin diamati adalah 42 mm, 41 mm dan 40 mm. Hasil simulasi variasi *slot* tersebut ditunjukkan oleh Gambar 3.19. Berdasarkan gambar, diperoleh nilai dimensi *slot* yang optimal adalah pada ukuran sisi *slot* segitiga 42 mm. Data hasil simulasi dapat dilihat pada **Lampiran B2.3.**

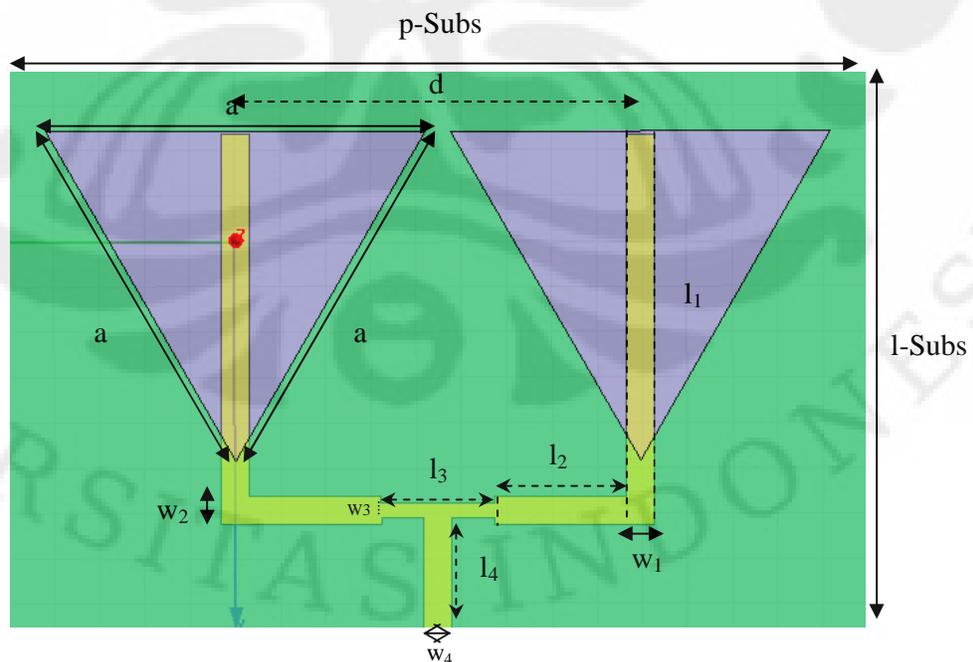
### B2.3.



Gambar 3.34 Grafik Return Loss Antena Array 2 Elemen Berdasarkan Variasi Slot

### 3.9.4. Hasil Simulasi Antena 2 Elemen

Dengan mengetahui beberapa karakteristik dari antenna yang dirancang, maka dapat membantu mempermudah memperoleh rancangan yang optimal. Gambar 3.20 merupakan desain akhir antenna *array* 2 elemen dilihat dari sisi elemen peradiasinya. Ukuran dari tiap parameter pada rancangan akhir *slot array* 2 elemen ini diberikan pada Tabel 3.6.

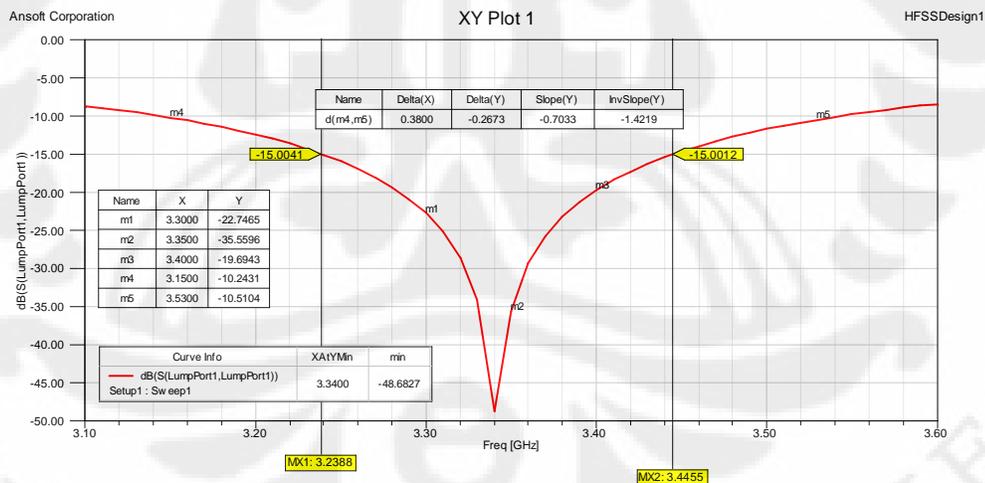


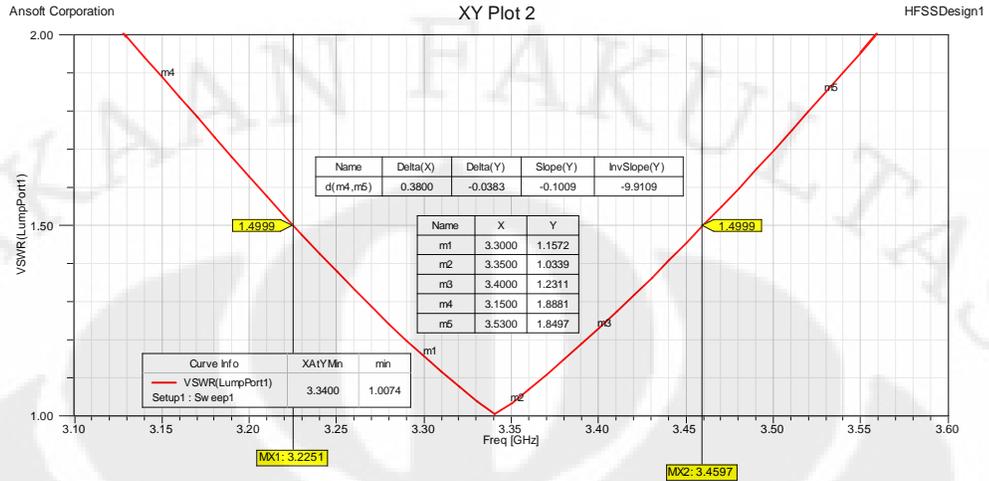
Gambar 3.35 Geometri Hasil Perancangan Slot Array 2 Elemen

Tabel 3.7 Dimensi Antena *Array* 2 Elemen Berdasarkan Desain Akhir Hasil Karakterisasi

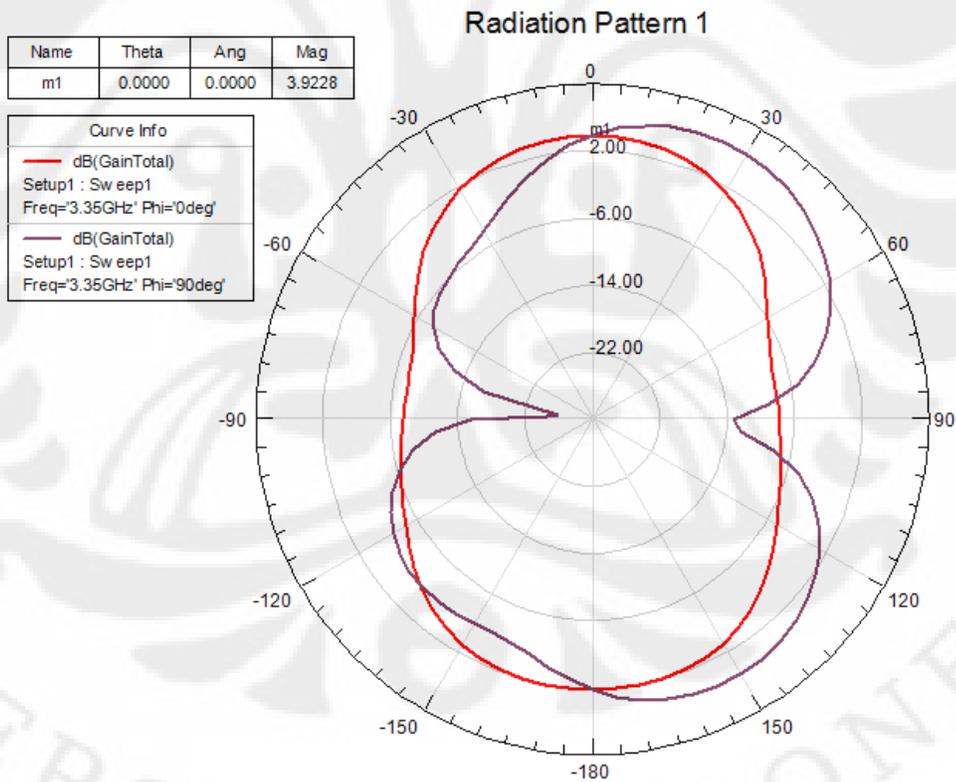
Parameter	Ukuran (mm)
Sisi dimensi <i>slot</i> segitiga (a)	42
Ukuran dimensi panjang substrat (p-subst)	94,78
Ukuran dimensi lebar substrat (l-subst)	61,45
Jarak Antar Elemen (d)	44,78
Lebar Pencatu 50 $\Omega$ ( $w_1$ , $w_2$ & $w_4$ )	3,06
Panjang Pencatu 50 $\Omega$ vertikal ( $l_1$ & $l_4$ )	43; 12,18
Panjang Pencatu 50 $\Omega$ horizontal ( $l_2$ )	14,61
Lebar Pencatu 70,71 $\Omega$ ( $w_3$ )	0,16
Panjang Pencatu 70,71 $\Omega$ ( $l_3$ )	12,48

Pengamatan pada parameter *return Loss*, *VSWR*, dan pola radiasi dari hasil simulasi *array* 2 elemen yang diperoleh optimal diberikan pada Gambar 3.21, 3.22, 3.23 dan 3.24. Hasil simulasi yang optimum ini didapatkan dengan melakukan iterasi terhadap kombinasi berbagai nilai parameter dimensi *Slot* dan panjang saluran pencatu.

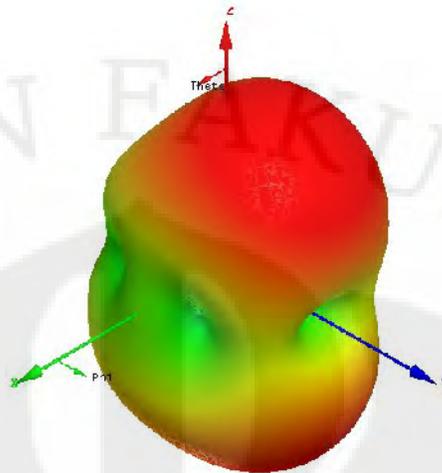
Gambar 3.36 Hasil Simulasi *Return Loss* 2 Elemen



Gambar 3.37 Hasil Simulasi Vswr 2 Elemen



Gambar 3.38 Hasil Simulasi Pola Radiasi 2 Elemen



Gambar 3.39 Tampak 3 Dimensi Hasil Simulasi Pola Radiasi Antena *Slot Array* 2 Elemen

Gambar 3.21 dan Gambar 3.22 memperlihatkan *impedance bandwidth* pada antena *array* 2 elemen. Dari Gambar tersebut dapat terlihat bahwa pada nilai *return loss* dibawah -10,16 dB ( $VSWR \leq 1,9$ ) *impedance bandwidth* antena berada pada rentang 3,15 GHz sampai dengan 3,53 GHz. Sedangkan pada nilai *return loss* dibawah -13,98 dB ( $VSWR \leq 1,5$ ) *impedance bandwidth* antena berada pada rentang 3,23 GHz sampai dengan 3,45 GHz.

Berdasarkan Gambar 3.21 dan 3.22, dapat dilihat bahwa nilai *return loss* yang diperoleh pada frekuensi 3,3 GHz dan 3,4 GHz masing-masing adalah -22,75 dB dan -19,69 dB dan pada frekuensi tengahnya (3,35) GHz diperoleh -35,56 dB. Sedangkan nilai *VSWR* yang diperoleh pada frekuensi 3,3 GHz dan 3,4 GHz masing-masing adalah 1,1572 dan 1,2311. Pada frekuensi tengahnya nilai *VSWR* yang diperoleh mencapai 1,0339.

Frekuensi puncak yang diperoleh pada simulasi ini berada pada frekuensi 3,34 GHz. Pada frekuensi ini, diperoleh *return loss* sebesar -48,6827 dB sedangkan nilai *VSWR* yang diperoleh mencapai 1,0074.

Dari data-data yang telah dipaparkan di atas, diketahui bahwa pada rentang frekuensi 3,3-3,4 GHz, rancangan antena *array* 2 elemen mampu bekerja pada nilai  $VSWR \leq 1,3$  dengan. Nilai ini telah memenuhi kebutuhan yang ingin dicapai yaitu pada nilai  $VSWR \leq 1,9$  atau *return Loss*  $\leq -10,16$  dB. Adapun *bandwidth* yang dicapai pada nilai  $VSWR \leq 1,9$  adalah:

$$\begin{aligned} \cdot \text{bandwidth} &= \frac{f_2 - f_1}{f_c} \times 100\% \\ \text{bandwidth} &= \frac{3.53 - 3.15}{3.34} \times 100\% \\ \text{bandwidth} &= 11.38\% (380 \text{ MHz}) \end{aligned}$$

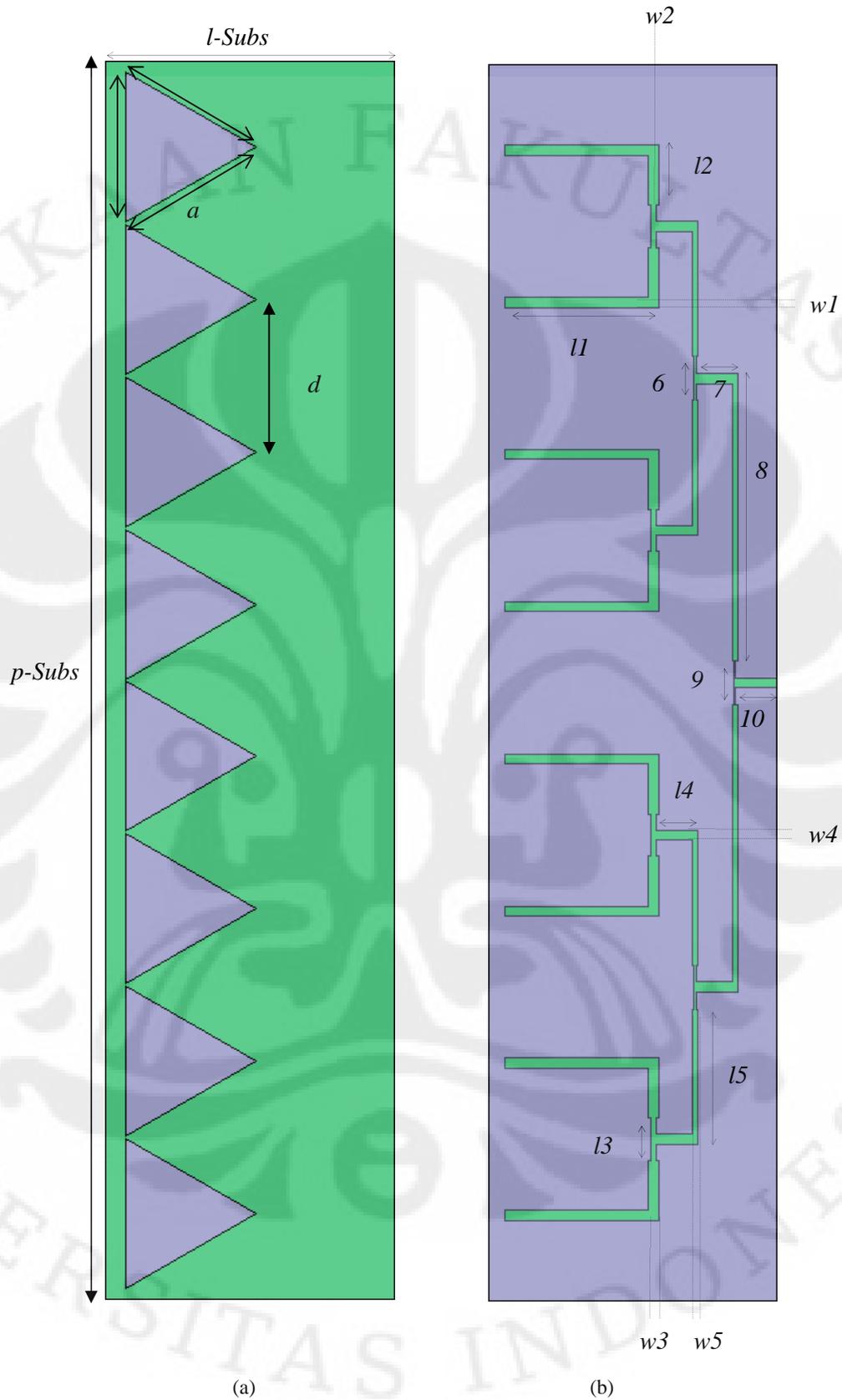
Sedangkan *bandwidth* yang dicapai pada nilai  $\text{VSWR} \leq 1,5$  adalah:

$$\begin{aligned} \cdot \text{bandwidth} &= \frac{f_2 - f_1}{f_c} \times 100\% \\ \text{bandwidth} &= \frac{3.4597 - 3.2251}{3.3424} \times 100\% \\ \text{bandwidth} &= 7.02\% (234,6 \text{ MHz}) \end{aligned}$$

Pada Gambar 3.23 dan 3.24 dapat dilihat hasil simulasi pola radiasi yang diperoleh untuk *array* 2 elemen. Dari Gambar tersebut terlihat bahwa pola radiasi yang dihasilkan adalah *Bidirectional* dengan *magnitude* tertinggi sebesar 3,9228 dB berada pada sudut  $0^\circ$ .

### Perancangan *Array Slot* Segitiga 8 Elemen

Antena *array* 8 elemen merupakan pengembangan dari *array* 2 elemen yang dikarakterisasi panjang pencatu dan dimensi *slot*-nya. Jarak antar elemen tidak berubah, yaitu sebesar  $0,5 \lambda$ . Pertama-tama dimensi *slot* dikarakterisasi untuk mendapatkan range frekuensi resonans yang diinginkan kemudian pada dimensi *slot* yang optimal tersebut dikarakterisasi panjang pencatunya. Dimensi *slot* divariasikan ukurannya antara 42-44 mm dan didapatkan dimensi *slot* optimal yaitu pada 44 mm. Setelah itu dilakukan karakterisasi panjang pencatu ( $l$ ) antara 43-45 mm dan didapatkan panjang pencatu ( $l$ ) yang optimal pada 45 mm. Gambar 3.25 merupakan rancangan akhir dari antena *array* 8 elemen. Gambar 3.25(a) adalah desain akhir antena *array* 8 elemen bila dilihat dari atas/sisi *slot* sedangkan Gambar 3.25(b) adalah desain akhir antena *array* 8 elemen bila dilihat dari bawah/sisi pencatu. Ukuran dari tiap parameter pada rancangan akhir *slot array* 8 elemen ini diberikan pada Tabel 3.7 sedangkan data hasil karakterisasi dapat dilihat pada **Lampiran B2.4**

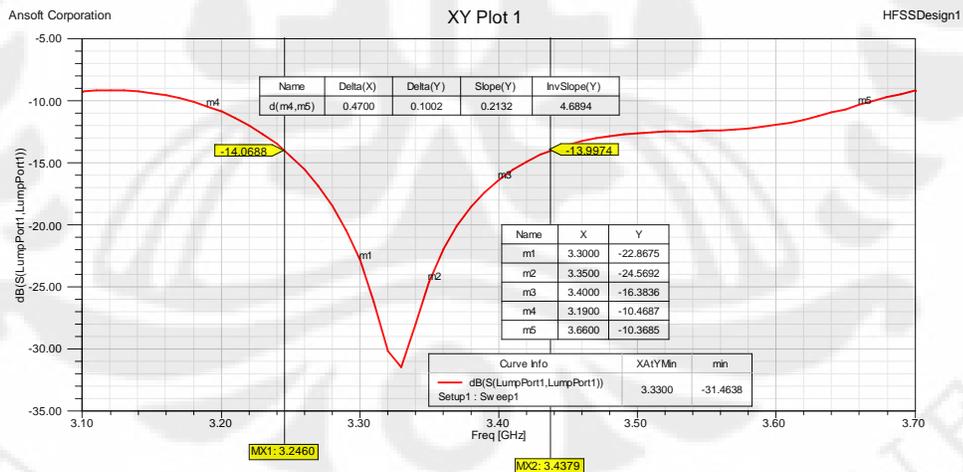


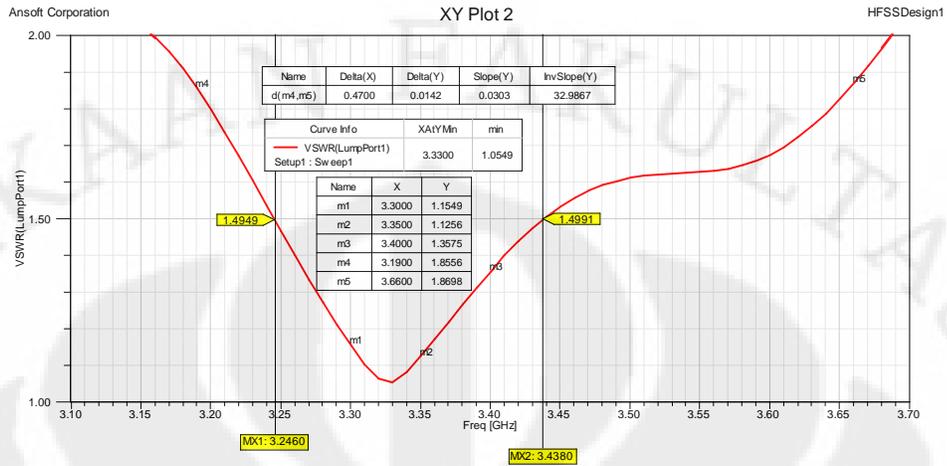
Gambar 3.40 Rancangan Akhir Antena Array 8 Elemen (a) Dilihat dari Atas/Sisi Slot (b) Dilihat dari Bawah/Sisi Pencatu

Tabel 3.8 Dimensi Antena Hasil Akhir Simulasi *Array* 8 Elemen

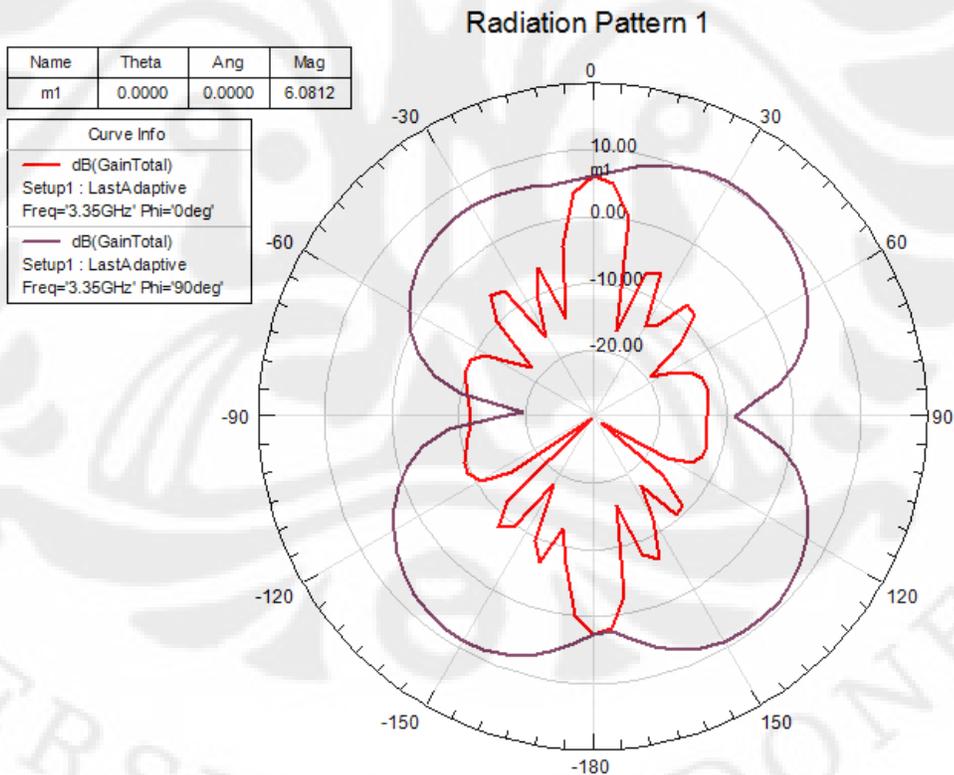
Parameter	Ukuran (mm)
Sisi dimensi <i>slot</i> segitiga (a)	43,3
Ukuran dimensi panjang substrat (p-subst)	94,78
Ukuran dimensi lebar substrat (l-subst)	61,45
Jarak Antar Elemen (d)	44,78
Lebar Pencatu 50 $\Omega$ ( $w1 = w2 = w4 = w7 = w10$ )	3,06
Panjang Pencatu 50 $\Omega$ ( $l1, l2, l4 = l7 = l10$ )	45; 14,61; 12,18;
Lebar Pencatu 70,71 $\Omega$ ( $w3 = w6 = w9$ )	0,16
Panjang Pencatu 70,71 $\Omega$ ( $l3 = l6 = l9$ )	12,48
Lebar Pencatu 100 $\Omega$ ( $w5 = w8$ )	0,07
Panjang Pencatu 100 $\Omega$ ( $l5, l8$ )	38,65; 81,63

Pengamatan pada parameter *return Loss*, VSWR, dan pola radiasi dari hasil simulasi *array* 8 elemen yang diperoleh optimal diberikan pada Gambar 3.26, 3.27, 3.28 dan 3.29. Hasil simulasi yang optimum ini didapatkan dengan melakukan iterasi terhadap kombinasi berbagai nilai parameter dimensi *Slot* dan panjang saluran pencatu.

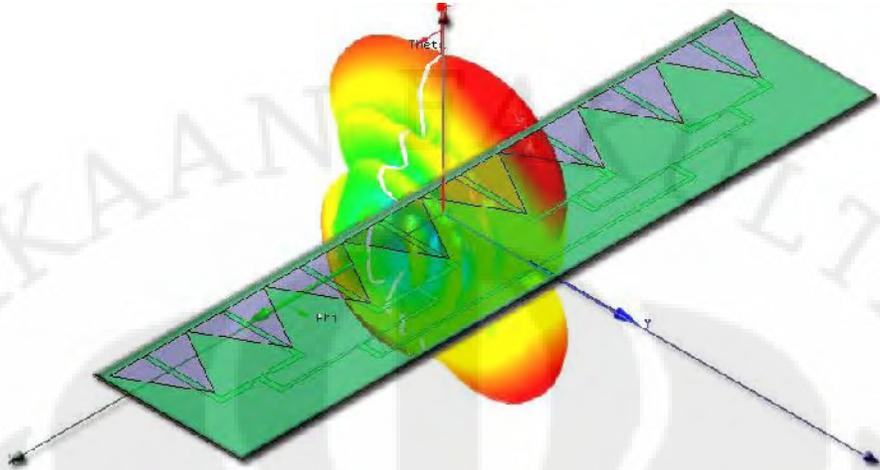
Gambar 3.41 Hasil Simulasi *Return Loss* 8 Elemen



Gambar 3.42 Hasil Simulasi Vswr 8 Elemen



Gambar 3.43 Hasil Simulasi Pola Radiasi 8 Elemen



Gambar 3.44 Gambaran Pola Radiasi Antena *Slot Array* 8 Elemen Berdasarkan Hasil Simulasi

Gambar 3.26 dan Gambar 3.27 memperlihatkan *impedance bandwidth* pada antenna *array* 8 elemen. Dari Gambar tersebut dapat terlihat bahwa pada nilai return loss dibawah -10,16 dB ( $VSWR \leq 1,9$ ) *impedance bandwidth* antenna berada pada rentang 3,19 GHz sampai dengan 3,66 GHz. Sedangkan pada nilai return loss dibawah -13,98 dB ( $VSWR \leq 1,5$ ) *impedance bandwidth* antenna berada pada rentang 3,246 GHz sampai dengan 3,4379 GHz.

Berdasarkan Gambar 3.26 dan 3.27, dapat dilihat bahwa nilai *return Loss* yang diperoleh pada frekuensi 3,3 GHz dan 3,4 GHz masing-masing adalah -22,8675 dB dan -16,3836 dB dan pada frekuensi tengahnya (3,35) GHz diperoleh -24,5692 dB. Sedangkan nilai *VSWR* yang diperoleh pada frekuensi 3,3 GHz dan 3,4 GHz masing-masing adalah 1,1549 dan 1,3575. Pada frekuensi tengahnya nilai *VSWR* yang diperoleh sebesar 1,1256.

Frekuensi puncak yang diperoleh pada simulasi ini berada pada frekuensi 3,33 GHz. Pada frekuensi ini, diperoleh return loss sebesar -31,4638 dB sedangkan nilai *VSWR* yang diperoleh mencapai 1,0549.

Dari data-data yang telah dipaparkan di atas, diketahui bahwa pada rentang frekuensi 3,3-3,4 GHz, rancangan antenna *array* 8 elemen mampu bekerja pada nilai  $VSWR \leq 1,4$  dengan. Nilai ini telah memenuhi kebutuhan yang ingin dicapai yaitu pada nilai  $VSWR \leq 1,9$  atau *return Loss*  $\leq -10,16$  dB. Adapun *bandwidth* yang dicapai pada nilai  $VSWR \leq 1,9$  adalah:

$$\begin{aligned} \cdot \text{bandwidth} &= \frac{f_2 - f_1}{f_c} \times 100\% \\ \text{bandwidth} &= \frac{3.66 - 3.19}{3.425} \times 100\% \\ \text{bandwidth} &= 13.72\% (470 \text{ MHz}) \end{aligned}$$

Sedangkan *bandwidth* yang dicapai pada nilai  $VSWR \leq 1,5$  adalah:

$$\begin{aligned} \text{bandwidth} &= \frac{f_2 - f_1}{f_c} \times 100\% . \\ \text{bandwidth} &= \frac{3.4379 - 3.246}{3.34195} \times 100\% \\ \text{bandwidth} &= 5.74\% (191,9 \text{ MHz}) \end{aligned}$$

Pada Gambar 3.28 dan 3.29 dapat dilihat bahwa hasil simulasi pola radiasi yang diperoleh untuk *array* 8 elemen adalah *Bidirectional*. Berdasarkan gambar tersebut, maka *magnitude* tertinggi sebesar 6.0812 dB berada pada sudut  $0^\circ$ . Hasil simulasi dituliskan kembali pada Tabel 3.8.

Tabel 3.9 Rekap Hasil Simulasi

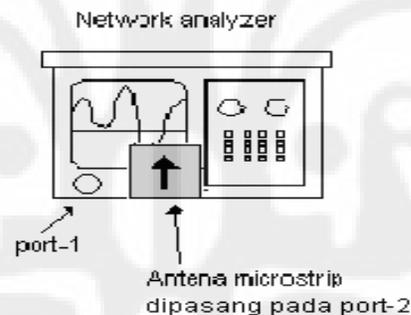
Parameter	1 Elemen	2 Elemen	8 Elemen
Range Frekuensi pada $VSWR \leq 1,9$	3,09 – 3,59 GHz	3,15 – 3,53 GHz	3,19 – 3,66 GHz
<i>Impedance Bandwidth</i>	14,97% (500 MHz)	11,38% (380 MHz)	13,72% (470 MHz)
Range Frekuensi pada $VSWR \leq 1,5$	3,1935 – 3,4991 GHz	3,23 – 3,45 GHz	3,246 – 3,4379 GHz
<i>Impedance Bandwidth</i>	9,13% (305,6 MHz)	7,02% (234,6 MHz)	5,74% (191,9 MHz)
<i>Return loss &amp; VSWR</i> pada 3,3 GHz	RL = -23,4141 dB	RL = -22,75 dB	RL = -22,8675 dB
	VSWR = 1,1448	VSWR = 1,1572	VSWR = 1,1549
<i>Return loss &amp; VSWR</i> pada 3,4 GHz	RL = -23,2897 dB	RL = -19,69 dB	RL = -16,3836 dB
	VSWR = 1,147	VSWR = 1,2311	VSWR = 1,3575
<i>Return loss minimum</i>	-40,8483 dB (pada $f = 3,35$ GHz)	-48,6827 dB (pada $f = 3,34$ GHz)	-31,4638 dB (pada $f = 3,33$ GHz)
VSWR minimum	1,0183	1,0074	1,0549

### Prosedur Pengukuran Antena

Pengukuran dilakukan di ruang *Anechoic Chamber*. Ruangan ini bersifat menyerap gelombang elektromagnetik yang dapat mengurangi pengaruh pantulan dan interferensi gelombang terhadap hasil pengukuran antena.

#### 3.11.1 Pengukuran Port Tunggal

Pengukuran port tunggal adalah pengukuran tanpa melibatkan antena yang lain. Pada pengukuran port tunggal ini, antena yang telah difabrikasi diukur dengan menggunakan *Network Analyzer*. Antena dipasang pada salah satu *port*, *port 1* atau *port 2*, kemudian ditentukan dengan format pengukuran  $S_{11}$  atau  $S_{22}$  dengan memanggil *register* yang telah dikalibrasi sebelumnya. Parameter-parameter yang dapat diketahui dari hasil pengukuran *port* tunggal ini antara lain *VSWR*, *return Loss*, frekuensi resonansi, *bandwidth*, dan impedansi masukan. Konfigurasi pengukuran *port* tunggal dapat dilihat pada Gambar 3.30.



Gambar 3.45 Konfigurasi Pengukuran *Port* Tunggal

#### 3.11.2 Pengukuran Pola Radiasi

Pola radiasi merupakan visualisasi radiasi dan penerimaan antena dalam koordinat sumbu. Medan radiasi antena terdiri dari medan jauh (*far field*) dan medan dekat (*near-field*). Secara umum pola radiasi digambarkan pada daerah medan jauh karena distribusi medan angular tidak tergantung pada besarnya jarak antar antena. Jarak minimum medan jauh antara antena pengirim dan antena penerima dinyatakan sebagai berikut:

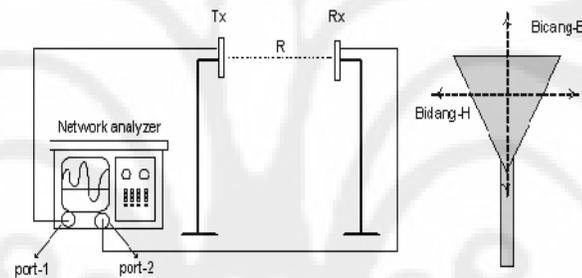
$$r_{\min} = \frac{2D^2}{\lambda} \dots\dots\dots (3.1)$$

dimana:  $r_{\min}$  = jarak minimum pemancar dengan penerima (cm)

$D$  = dimensi terbesar dari antenna (cm)

$\lambda$  = panjang gelombang (cm)

Dimensi terbesar dari antenna yang ingin diukur adalah sebesar  $D = 36,3$  cm dan panjang gelombang pada frekuensi 3,35 GHz adalah  $\lambda = 8,955$  cm maka diperoleh jarak minimum  $r_{min} = 294,13$  cm. Pada pengukuran digunakan jarak pisah sejauh 300 cm. Format pengukuran digunakan parameter  $S_{12}$  yang artinya antenna pemancar di *port* 2 dan antenna penerima di *port* 1. Antenna pemancar menggunakan antenna yang memiliki frekuensi kerja yang sama dengan antenna hasil perancangan. Konfigurasi peralatan dan orientasi arah bidang-E dan bidang-H selama proses pengukuran adalah seperti Gambar 3.31.



Gambar 3.46 Rangkaian Peralatan Pada Pengukuran Pola Radiasi

Pengukuran pola radiasi dilakukan di dalam ruangan *anechoic chamber* yang dindingnya bersifat menyerap gelombang elektromagnet, untuk mengurangi pantulan dan interferensi. Jarak pisah harus memenuhi jarak minimum untuk mengatur medan jauh. Alat ukur *network analyzer* diatur untuk melakukan pengukuran parameter  $S_{21}$ . Sudut penerimaan antenna penerima diubah-ubah dari  $0^\circ$  hingga  $360^\circ$  dengan interval  $10^\circ$  untuk bidang-E dan bidang-H. Pengukuran dilakukan pada frekuensi puncak dari antenna.

### 3.11.3 Pengukuran Gain Absolut

Pengukuran antenna yang tidak kalah pentingnya adalah pengukuran *gain*. Secara umum terdapat dua metode yang dapat digunakan untuk mengukur *gain* dari elemen peradiasi elektromagnetik, yaitu *absolute-gain* dan *gain-transfer*. Dalam skripsi ini akan digunakan pengukuran dengan metode *absolute-gain* dengan menggunakan metode tiga-antenna.

Konfigurasi pengukuran *gain* adalah seperti yang terlihat pada Gambar 3.31 Kedua buah antenna diletakkan pada arah berkas utama pola radiasi, dengan memperhatikan pada jarak minimum pengukuran medan jauh. Karena menggunakan metode tiga antenna, maka terdapat 3 kemungkinan pasangan antenna pengirim dan penerima, yaitu:

1. Antena pengirim 1 dan penerima 2
2. Antena pengirim 1 dan penerima 3
3. Antena pengirim 2 dan penerima 3

Metode tiga antenna tidak memperhitungkan apakah antenna tersebut sebagai pengirim atau penerima. Dalam hal ini yang perlu diperhitungkan adalah pasangan kombinasi antenna.

Perhitungan *gain* ini didasarkan pada persamaan *Friis*. Secara umum persamaan *Friis* dinyatakan pada Persamaan 3.2 sebagai berikut (dalam dB):

$$(G_{ot})_{dB} + (G_{or})_{dB} = 20 \log_{10} \left( \frac{4\pi R}{\lambda} \right) + 10 \log_{10} \left( \frac{Pr}{Pt} \right) \dots\dots\dots (3.2)$$

Sehingga ketiga persamaan untuk masing-masing kombinasi adalah:

- a. kombinasi 1-2

$$(G_1)_{dB} + (G_2)_{dB} = 20 \log_{10} \left( \frac{4\pi R}{\lambda} \right) + 10 \log_{10} \left( \frac{Pr_2}{Pt_1} \right) \dots\dots\dots (3.3)$$

- b. kombinasi 1-3

$$(G_1)_{dB} + (G_3)_{dB} = 20 \log_{10} \left( \frac{4\pi R}{\lambda} \right) + 10 \log_{10} \left( \frac{Pr_3}{Pt_1} \right) \dots\dots\dots (3.4)$$

- c. kombinasi 2-3

$$(G_2)_{dB} + (G_3)_{dB} = 20 \log_{10} \left( \frac{4\pi R}{\lambda} \right) + 10 \log_{10} \left( \frac{Pr_3}{Pt_2} \right) \dots\dots\dots (3.5)$$

**dimana:**

- G = *gain* absolut (dB);
- R = jarak pisah antara antenna pemancar dan penerima (meter);
- $\lambda$  = panjang gelombang pada frekuensi yang digunakan (meter);
- $P_t$  = daya pengirim (Watt);
- $P_r$  = daya penerimaan (Watt).

Ketiga persamaan di atas dapat dituliskan sebagai:

$$G_1(\text{dB}) + G_2(\text{dB}) = A \dots\dots\dots(3.6)$$

$$G_1(\text{dB}) + G_3(\text{dB}) = B \dots\dots\dots(3.7)$$

$$G_2(\text{dB}) + G_3(\text{dB}) = C \dots\dots\dots(3.8)$$

Dengan demikian penyelesaian untuk ketiga persamaan di atas adalah:

$$G_1(\text{dB}) = \frac{1}{2}(A + B - C) \dots\dots\dots(3.9)$$

$$G_2(\text{dB}) = \frac{1}{2}(A - B + C) \dots\dots\dots(3.10)$$

$$G_3(\text{dB}) = \frac{1}{2}(-A + B + C) \dots\dots\dots(3.11)$$

Hal-hal yang harus diperhatikan dalam pengukuran *gain* antena untuk mengurangi terjadinya kesalahan pengukuran adalah:

1. Antena pengirim dan penerima saling berhadapan pada berkas maksimumnya,
2. Antena memenuhi kriteria medan jauh,
3. Semua komponen dalam kondisi *matching*

## BAB 4

### HASIL PENGUKURAN DAN ANALISIS HASIL PENGUKURAN

Setelah desain antena selesai dibuat dan disimulasikan dengan menggunakan perangkat lunak *HFSS v.11*, antena kemudian difabrikasi. Hasil fabrikasi antena terlihat seperti pada Gambar 4.1. Setelah itu, antena hasil fabrikasi diukur pada ruang *anechoic chamber* (ruang anti gema) dengan metode pengukuran seperti yang dijelaskan pada sub-bab 3.7. Ada 5 parameter antena yang diukur pada penelitian ini, yaitu *return loss*, *VSWR*, impedansi masukan, pola radiasi, dan *gain*. Kelima parameter tersebut dibagi ke dalam 3 kelompok pengukuran, yaitu pengukuran *port* tunggal (untuk mengukur *return loss*, *VSWR*, dan impedansi masukan), pengukuran *port* ganda (untuk mengukur pola radiasi), dan pengukuran *gain* dengan metoda 3 antena.



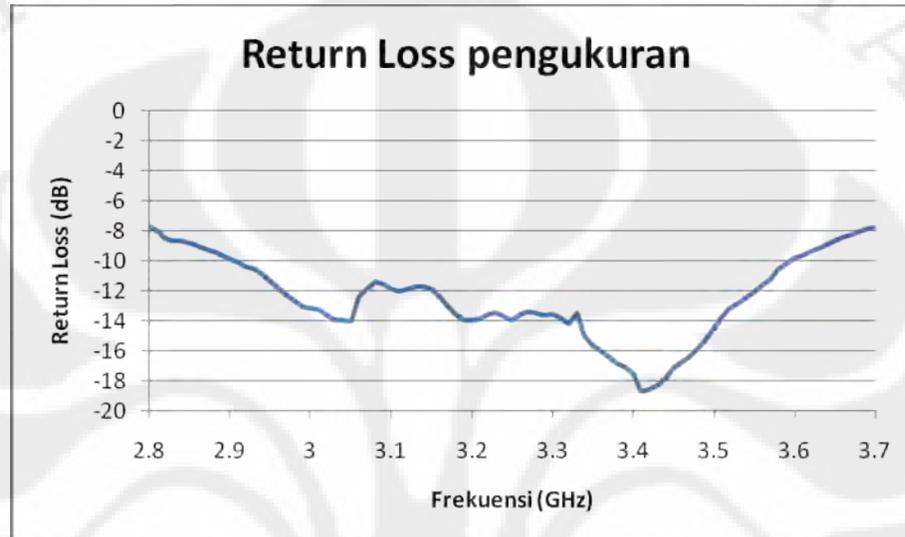
Gambar 4.47 Antena Hasil Fabrikasi

#### 4.1 Pengukuran *Port* Tunggal

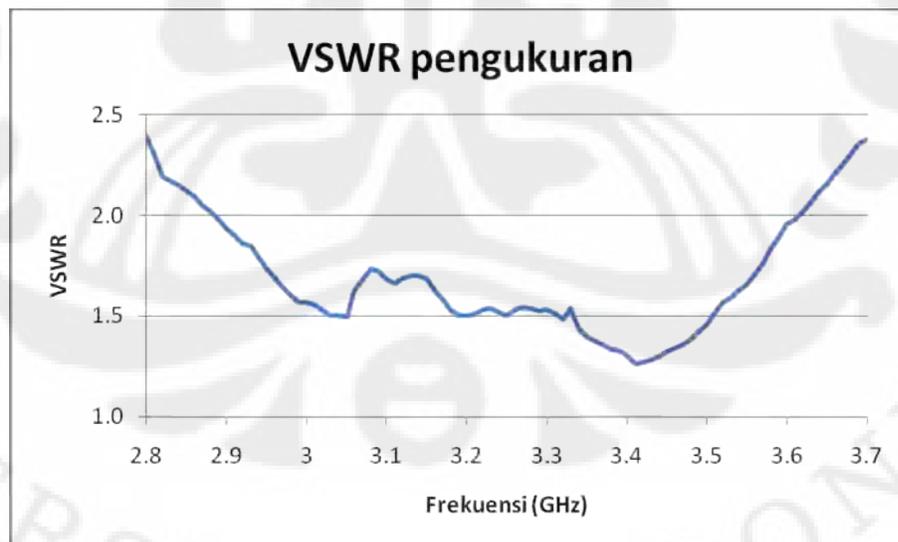
Pengukuran *port* tunggal hanya menggunakan antena yang diukur, tanpa melibatkan antena yang lain. Antena yang telah difabrikasi dapat diukur dengan menggunakan *Network Analyzer*. Antena dapat diukur dengan menggunakan format  $S_{11}$  atau  $S_{22}$ . Format  $S_{11}$  digunakan jika antena dipasang pada *port* 1, sedangkan format  $S_{22}$  digunakan jika antena dipasang pada *port* 2. Parameter-parameter yang dapat diketahui dari hasil pengukuran *port* tunggal antara lain *VSWR*, *return loss*, dan impedansi masukan.

#### 4.1.1 Hasil Pengukuran *Port* Tunggal Antena Elemen Tunggal

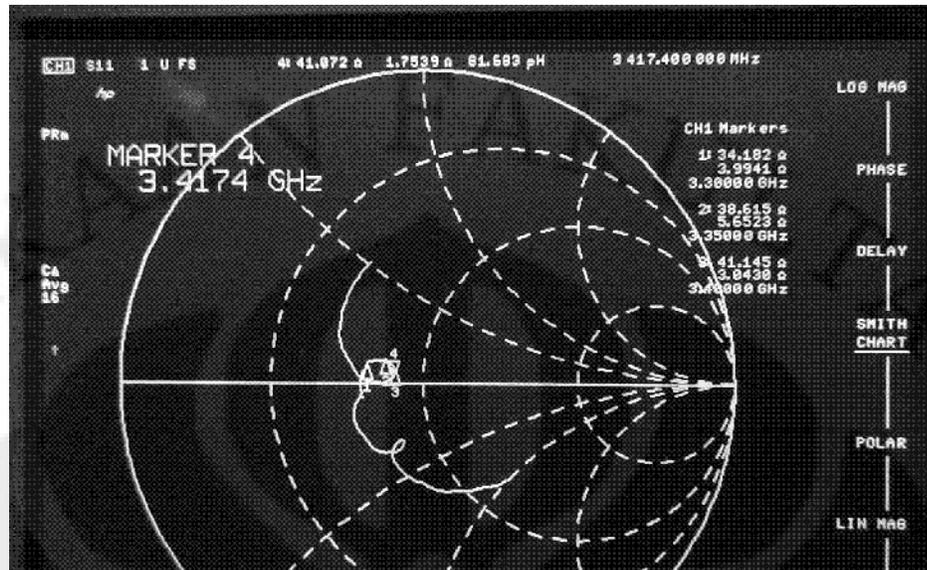
Hasil pengukuran *port* tunggal terhadap antena elemen tunggal berupa grafik *return loss*, *VSWR*, dan *Smith Chart* impedansi masukan dapat dilihat pada Gambar 4.2, 4.3, dan 4.4 secara berurutan.



Gambar 4.48 Grafik *Return loss* Hasil Pengukuran Antena Elemen Tunggal



Gambar 4.49 Grafik *VSWR* Hasil Pengukuran Antena Elemen Tunggal



Gambar 4.50 Grafik Impedansi Masukan Hasil Pengukuran Antena Elemen Tunggal

Gambar 4.2 dan Gambar 4.3 memperlihatkan *impedance bandwidth*. Dari gambar tersebut dapat terlihat bahwa pada nilai *Return loss*  $\leq -10,16$  dB ( $VSWR \leq 1,9$ ) diperoleh pada frekuensi dari 2,92 GHz sampai 3,59 GHz. Sedangkan pada nilai *return loss* dibawah  $-13,98$  dB ( $VSWR \leq 1,5$ ) berada pada rentang 3,32 GHz sampai dengan 3,5 GHz.

Nilai *return loss* yang diperoleh pada frekuensi 3,3 GHz dan 3,4 GHz masing-masing adalah  $-13,56$  dB dan  $-17,55$  dB dengan nilai *return loss* terendah yang diperoleh adalah  $-18,65$  dB pada frekuensi 3,41 GHz. Adapun nilai VSWR yang diperoleh pada frekuensi 3,3 GHz dan 3,4 GHz masing-masing adalah 1,53 dan 1,31 dengan nilai VSWR terendah mencapai 1,27 pada frekuensi 3,41 GHz.

Gambar 4.4 menunjukkan impedansi masukan antenna pada rentang frekuensi 3,3 GHz – 3,4 GHz. Pada frekuensi 3,3; 3,35 dan 3,4GHz, impedansi masukan yang terbaca pada *Smith Chart* berturut-turut adalah sebesar  $34,18+3,99j$   $\Omega$ ;  $38,62+5,65j$   $\Omega$ ;  $41,15+3,04j$   $\Omega$ . Impedansi masukan terbaik berada pada frekuensi 3,4174 GHz dengan nilai impedansi masukan sebesar  $41,07 + 1,75j$   $\Omega$  sedangkan grafik *return loss* menunjukkan bahwa tingkat matching terbaik pada frekuensi 3,41 GHz. Adanya perbedaan nilai frekuensi ini dapat disebabkan karena adanya fluktuasi tingkat kematchingan antenna yang terbaca pada *Network Analyzer* sehingga nilai *return loss* maupun impedansi masukan pada saat pengukuran tidak selalu sama.

Dari hasil pengukuran ini dapat diketahui bahwa antenna mengalami pergeseran frekuensi sekitar 85 MHz, yaitu dari frekuensi tengah hasil simulasi sebesar 3,34 GHz menjadi 3,255 GHz. Namun demikian, rancangan antenna elemen tunggal mampu bekerja pada range frekuensi 3,3 GHz – 3,4 GHz di nilai  $VSWR \leq 1,9$  atau  $Return\ loss \leq -10,16$  dB. Adapun *bandwidth* yang dicapai pada nilai  $VSWR \leq 1,9$  adalah:

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

$$bandwidth = \frac{3.59 - 2.92}{3.255} \times 100\%$$

$$bandwidth = 20,58\% (670 \text{ MHz})$$

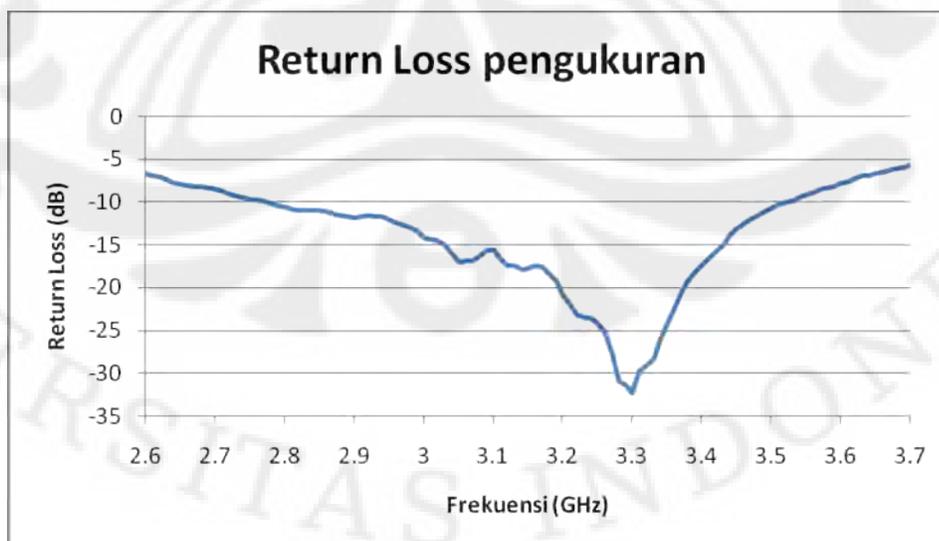
Sedangkan *bandwidth* yang dicapai pada nilai  $VSWR \leq 1,5$  adalah:

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

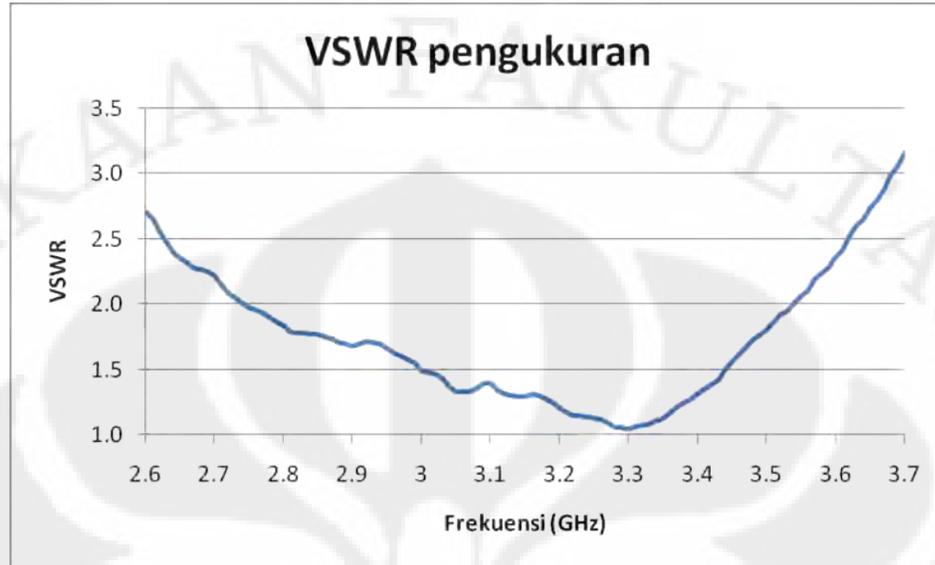
$$bandwidth = \frac{3.5 - 3.32}{3.41} \times 100\%$$

$$bandwidth = 5.28\% (180 \text{ MHz})$$

#### 4.1.2 Hasil Pengukuran *Port* Tunggal Antena 2 Elemen



Gambar 4.51 Grafik *Return loss* Hasil Pengukuran Antena Array 2 Elemen



Gambar 4.52 Grafik VSWR Hasil Pengukuran Antena *Array* 2 Elemen



Gambar 4.53 Grafik Impedansi Masukan Hasil Pengukuran Antena *Array* 2 Elemen

Hasil pengukuran *port* tunggal terhadap antena *array* 2 elemen berupa grafik *return loss*, VSWR, dan *Smith Chart* impedansi masukan dapat dilihat pada Gambar 4.5, 4.6, dan 4.7 secara berurutan. Gambar 4.5 dan Gambar 4.6 memperlihatkan *impedance bandwidth*. Dari gambar tersebut dapat terlihat bahwa pada nilai *Return loss*  $\leq -10,16$  dB (VSWR  $\leq 1,9$ ) diperoleh pada frekuensi dari

2,79 GHz sampai 3,51 GHz. Sedangkan pada nilai *return loss* dibawah -13,98 dB ( $VSWR \leq 1,5$ ) berada pada rentang 3 GHz sampai dengan 3,44 GHz.

Nilai *return loss* yang diperoleh pada frekuensi 3,3 GHz dan 3,4 GHz masing-masing adalah -32,35 dB dan -17,32 dB dengan nilai *return loss* terendah yang diperoleh adalah -32,35 dB pada frekuensi 3,3 GHz. Adapun nilai  $VSWR$  yang diperoleh pada frekuensi 3,3 GHz dan 3,4 GHz masing-masing adalah 1,05 dan 1,32 dengan nilai  $VSWR$  terendah mencapai 1,05 pada frekuensi 3,3 GHz.

Gambar 4.7 menunjukkan impedansi masukan antenna pada rentang frekuensi 3,3 GHz – 3,4 GHz. Pada frekuensi 3,3; 3,35 dan 3,4GHz, impedansi masukan yang terbaca pada *Smith Chart* berturut-turut adalah sebesar  $57,83+1,16j \Omega$ ;  $57,73+6,81j \Omega$ ;  $64,98+12,97j \Omega$ . Impedansi masukan terbaik berada pada frekuensi 3,3 GHz dengan nilai impedansi masukan sebesar  $57,83+1,16j \Omega$  sama dengan grafik *return loss* yang menunjukkan tingkat matching terbaik pada frekuensi 3,3 GHz.

Dari hasil pengukuran ini dapat diketahui bahwa antenna mengalami pergeseran frekuensi sekitar 135 MHz, yaitu dari frekuensi tengah hasil simulasi sebesar 3,34 GHz menjadi 3,205 GHz. Namun demikian, rancangan antenna elemen tunggal mampu bekerja pada range frekuensi 3,3 GHz – 3,4 GHz di nilai  $VSWR \leq 1,9$  atau *Return loss*  $\leq -10,16$  dB. Adapun *bandwidth* yang dicapai pada nilai  $VSWR \leq 1,9$  adalah:

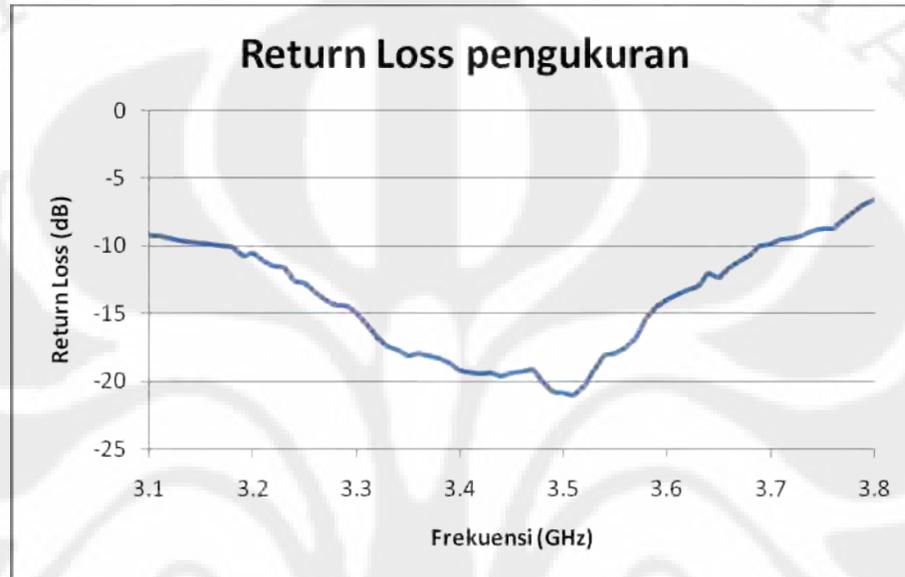
$$\begin{aligned} \text{bandwidth} &= \frac{f_2 - f_1}{f_c} \times 100\% \\ \text{bandwidth} &= \frac{3.51 - 2.79}{3.15} \times 100\% \\ \text{bandwidth} &= 22,86 \% (720\text{MHz}) \end{aligned}$$

Sedangkan *bandwidth* yang dicapai pada nilai  $VSWR \leq 1,5$  adalah:

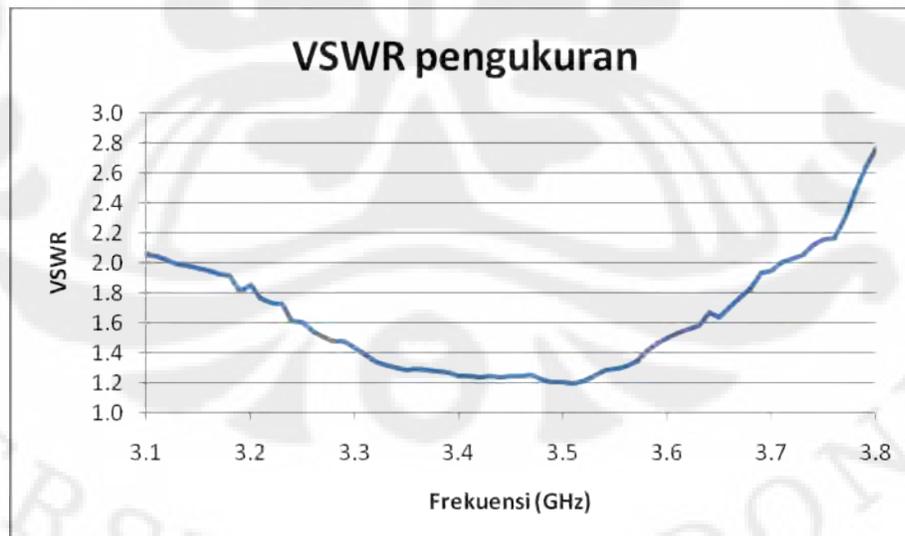
$$\begin{aligned} \text{bandwidth} &= \frac{f_2 - f_1}{f_c} \times 100\% \\ \text{bandwidth} &= \frac{3.44 - 3}{3.22} \times 100\% \\ \text{bandwidth} &= 13.67\% (440\text{MHz}) \end{aligned}$$

#### 4.1.3 Hasil Pengukuran *Port Tunggal* Antena *array* 8 Elemen

Hasil pengukuran *port tunggal* terhadap antena *array* 8 elemen berupa grafik *return loss*, *VSWR*, dan *Smith Chart* impedansi masukan dapat dilihat pada Gambar 4.8, 4.9, dan 4.10 secara berurutan.



Gambar 4.54 Grafik *Return loss* Hasil Pengukuran Antena *Array* 8 Elemen



Gambar 4.55 Grafik *VSWR* Hasil Pengukuran Antena *Array* 8 Elemen



Gambar 4.56 Grafik Impedansi Masukan Hasil Pengukuran Antena Array 8 Elemen

Gambar 4.8 dan Gambar 4.9 memperlihatkan *impedance bandwidth*. Dari gambar tersebut dapat terlihat bahwa pada nilai *Return loss*  $\leq -10,16$  dB ( $VSWR \leq 1,9$ ) diperoleh pada frekuensi dari 3,19 GHz sampai 3,68 GHz. Sedangkan pada nilai *return loss* dibawah  $-13,98$  dB ( $VSWR \leq 1,5$ ) berada pada rentang 3,28 GHz sampai dengan 3,6 GHz.

Nilai *return loss* yang diperoleh pada frekuensi 3,3 GHz dan 3,4 GHz masing-masing adalah  $-14,89$  dB dan  $-19,17$  dB dengan nilai *return loss* terendah yang diperoleh adalah  $-21,07$  dB pada frekuensi 3,51 GHz. Adapun nilai  $VSWR$  yang diperoleh pada frekuensi 3,3 GHz dan 3,4 GHz masing-masing adalah 1,44 dan 1,25 dengan nilai  $VSWR$  terendah mencapai 1,19 pada frekuensi 3,51 GHz.

Gambar 4.10 menunjukkan impedansi masukan antenna pada rentang frekuensi 3,3 GHz – 3,4 GHz. Pada frekuensi 3,3; 3,35 dan 3,4GHz, impedansi masukan yang terbaca pada *Smith Chart* berturut-turut adalah sebesar  $42,1 + 11,29 j \Omega$ ;  $58,70 + 16,29 j \Omega$ ;  $69,8 + 1,43j \Omega$ . Impedansi masukan terbaik berada pada frekuensi 3,5 GHz dengan nilai impedansi masukan sebesar  $50,22 + 0,5j\Omega$  sedangkan grafik *return loss* menunjukkan bahwa tingkat matching terbaik pada frekuensi 3,51 GHz. Adanya perbedaan nilai frekuensi ini dapat disebabkan karena adanya fluktuasi tingkat kematchingan antenna yang terbaca pada *Network Analyzer* sehingga nilai *return loss* maupun impedansi masukan pada saat pengukuran tidak selalu sama.

Dari hasil pengukuran ini dapat diketahui bahwa antenna mengalami pergeseran frekuensi sekitar 30 MHz, yaitu dari frekuensi tengah hasil simulasi sebesar 3,425 GHz menjadi 3,395 GHz. Namun demikian, rancangan antenna elemen tunggal mampu bekerja pada range frekuensi 3,3 GHz – 3,4 GHz di nilai  $VSWR \leq 1,9$  atau  $Return\ loss \leq -10,16$  dB. Adapun *bandwidth* yang dicapai pada nilai  $VSWR \leq 1,9$  adalah:

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

$$bandwidth = \frac{3.68 - 3.19}{3.435} \times 100\%$$

$$bandwidth = 14,27\% (490\text{ MHz})$$

Sedangkan *bandwidth* yang dicapai pada nilai  $VSWR \leq 1,5$  adalah:

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

$$bandwidth = \frac{3.6 - 3.28}{3.44} \times 100\%$$

$$bandwidth = 9,3\% (320\text{ MHz})$$

Hasil pengukuran *port* tunggal ini dituliskan kembali pada Tabel 4.1

Tabel 4.10 Hasil Pengukuran *Port* Tunggal

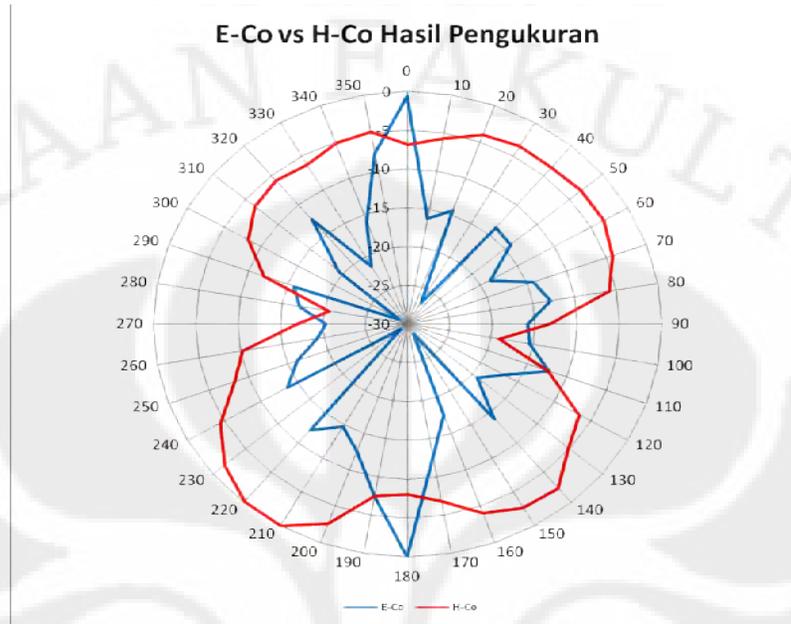
Parameter	1 Elemen	2 Elemen	8 Elemen
Range Frekuensi pada $VSWR \leq 1,9$	2,92 – 3,59 GHz	2,79 – 3,51 GHz	3,19 – 3,68 GHz
<i>Impedance Bandwidth</i>	20,58% (670 MHz)	22,86% (720 MHz)	14,27% (490 MHz)
Range Frekuensi pada $VSWR \leq 1,5$	3,32 – 3,5 GHz	3 – 3,44 GHz	3,28 – 3,6 GHz
<i>Impedance Bandwidth</i>	5,28% (180 MHz)	13,67% (440 MHz)	9,3% (320 MHz)
<i>Return loss</i> & <i>VSWR</i> pada 3,3 GHz	RL = -13,56 dB	RL = -32,35 dB	RL = -14,89 dB
	VSWR = 1,5313	VSWR = 1,05	VSWR = 1,44
<i>Return loss</i> & <i>VSWR</i> pada 3,4 GHz	RL = -17,55 dB	RL = -17,32 dB	RL = -19,17 dB
	VSWR = 1,3057	VSWR = 1,32	VSWR = 1,25
<i>Return loss</i> minimum	-18,65 dB (pada f = 3,41 GHz)	-32,35 dB (pada f = 3,3 GHz)	-21,07 dB (pada f = 3,51 GHz)
<i>VSWR</i> minimum	1,2645	1,05	1,19

## 4.2 Pengukuran Pola Radiasi

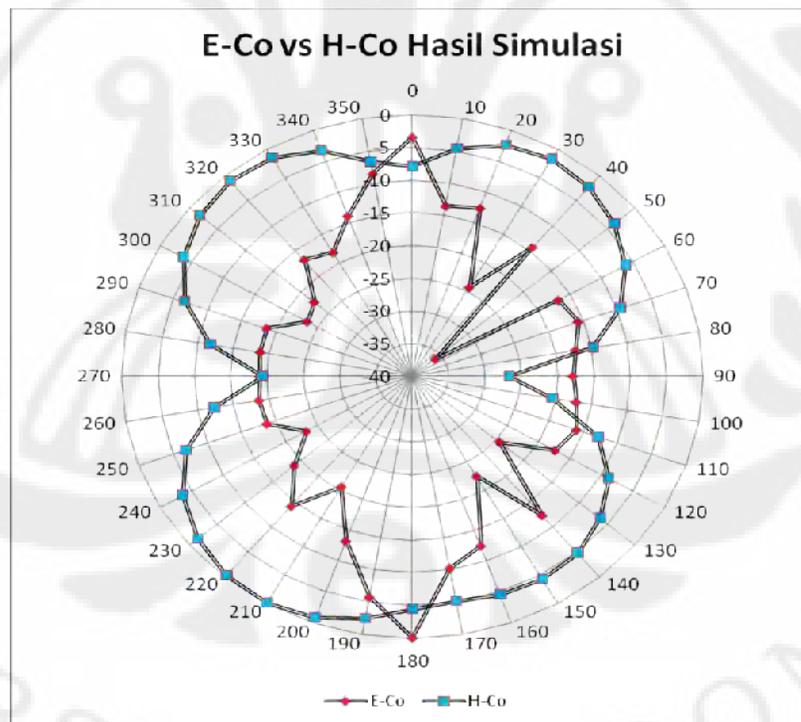
Pengukuran pola radiasi menggunakan *port 1* dan *port 2* pada *Network Analyzer*. *Port 2* dihubungkan ke antena pemancar menggunakan kabel penyambung sedangkan *port 1* dihubungkan dengan antena penerima juga menggunakan kabel penyambung. Kabel penyambung yang digunakan di sini juga harus memiliki impedansi karakteristik 50 ohm, sehingga tidak terjadi refleksi tegangan pada kabel penyambung ini. Antena pemancar dan penerima dipisahkan pada jarak 240 cm, yaitu jarak maksimal yang digunakan pada saat melakukan pengukuran di ruang chamber.

Setelah menentukan jarak antar antena dan antena telah dihubungkan ke port *Network Analyzer* (format S12) menggunakan kabel koaksial, kemudian antena penerima diputar dari posisi sudut  $0^{\circ}$  –  $360^{\circ}$  dengan interval  $10^{\circ}$ . Pola radiasi diukur pada dua bidang yang saling tegak lurus yaitu bidang E dan bidang H untuk mendapatkan gambaran bentuk radiasi dalam ruang. Data hasil pengukuran pola radiasi antena mikrostrip *slot array* 8 elemen ini dapat dilihat pada **Lampiran C2**. Data yang telah dirata-ratakan tersebut kemudian dinormalisasikan terhadap nilai rata-rata yang maksimum. Hasil normalisasi selanjutnya di-plot ke dalam grafik *radar*. Pengolahan data ini dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak *Microsoft Excel 2007*. Gambar 4.11, 4.12 dan 4.13 memperlihatkan karakteristik pola radiasi antena *array* 8 elemen.

Gambar 4.11 menunjukkan plot medan-E dan medan-H antena 8 elemen pada frekuensi 3,35 GHz. Gambar 4.11 (a) adalah plot medan-E dan medan-H hasil pengukuran, sedangkan Gambar 4.11 (b) adalah plot medan-E dan medan-H dari simulasi. Terlihat bahwa pola radiasi yang terbentuk dari hasil pengukuran tidak jauh berbeda bila dibandingkan dengan pola radiasi hasil simulasi. Pada kedua grafik di atas, pola radiasi maksimum (*main lobe*) untuk medan-E tercapai pada sudut  $180^{\circ}$  sedangkan untuk medan-H pada sudut  $210^{\circ}$  yang ditandai dengan normalisasi sebesar 0. Hasil pengukuran dapat dilihat pada **Lampiran C2.1** dan **C2.3**. Sesuai dengan acuan [7], jenis pola radiasi antena mikrostrip slot array 8 elemen yang dibuat adalah *Bidirectional*, yang meradiasikan gelombangnya pada dua arah berlawanan. Hanya saja, pada hasil pengukuran ini, magnitude pada kedua arah tersebut tidak sama.



(a)



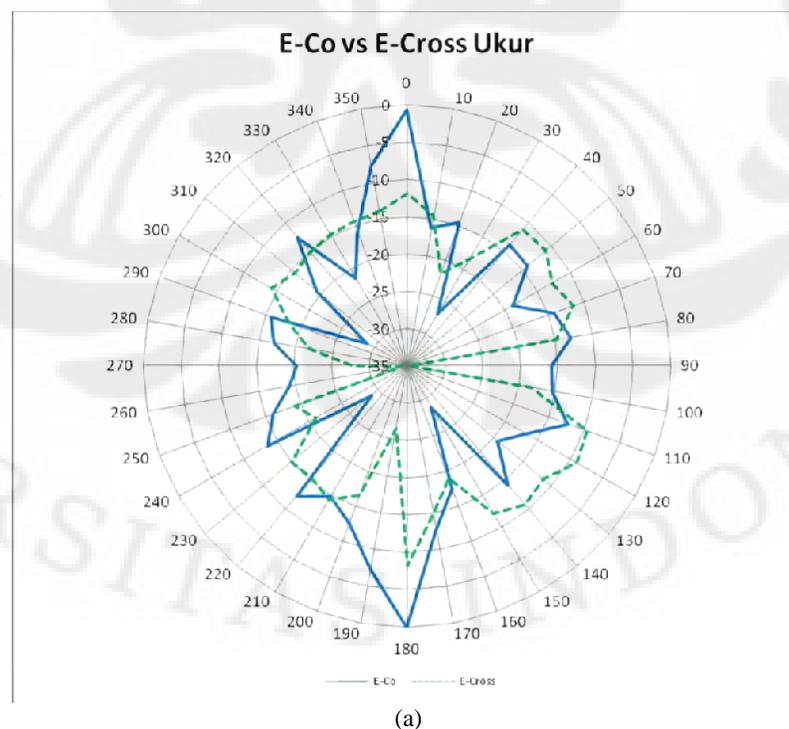
(b)

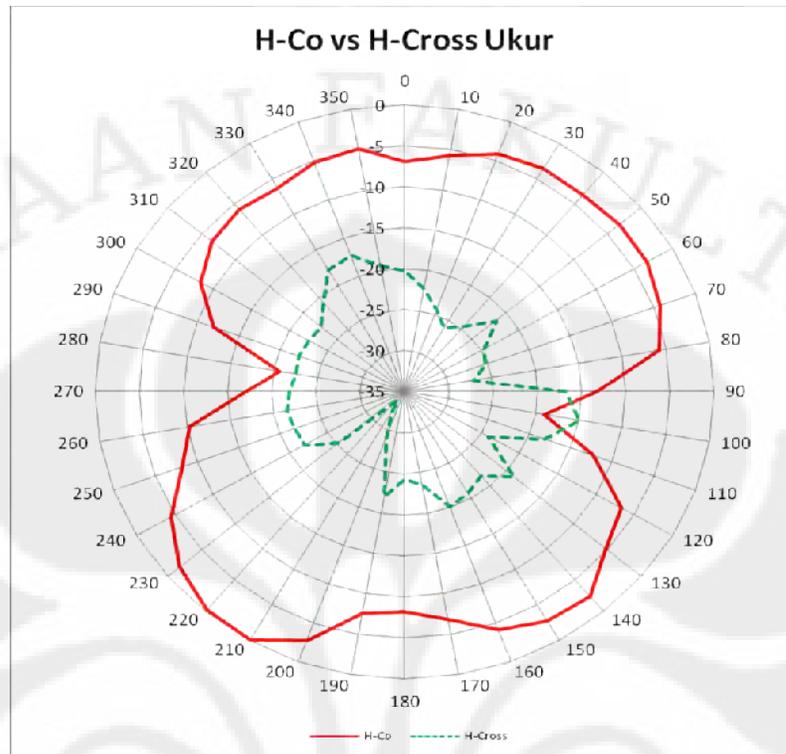
Gambar 4.57 Grafik Plot Medan-E Dan Medan-H Antena 8 Elemen Pada Frekuensi 3,35 GHz (a) Hasil Pengukuran (b) Hasil Simulasi

Gambar 4.12 menunjukkan hasil pengukuran karakteristik *cross-*

*polarization* antenna 8 elemen pada frekuensi 3,35 GHz. Gambar 4.12 (a) adalah plot E-Co terhadap E-Cross, sedangkan Gambar 4.12 (b) adalah plot dari H-Co terhadap H-Cross. Dari kedua plot ini, akan ditentukan besarnya XPD (*Cross Polarization Discrimination*). XPD merupakan perbandingan antara radiasi maksimum co-polar dengan minimum cross-polar. Ketika antenna menerima sinyal yang dikirimkan oleh antenna lain pada medan yang saling tegak lurus, kekuatan sinyal efektif dikurangi oleh beberapa dB. Supaya antenna yang dibuat dapat diaplikasikan pada sistem CPE WiMAX sesuai dengan persyaratan yang telah ditentukan oleh Dirjen Postel, maka diharapkan antenna yang dibuat memiliki XPD minimum 20 dB.

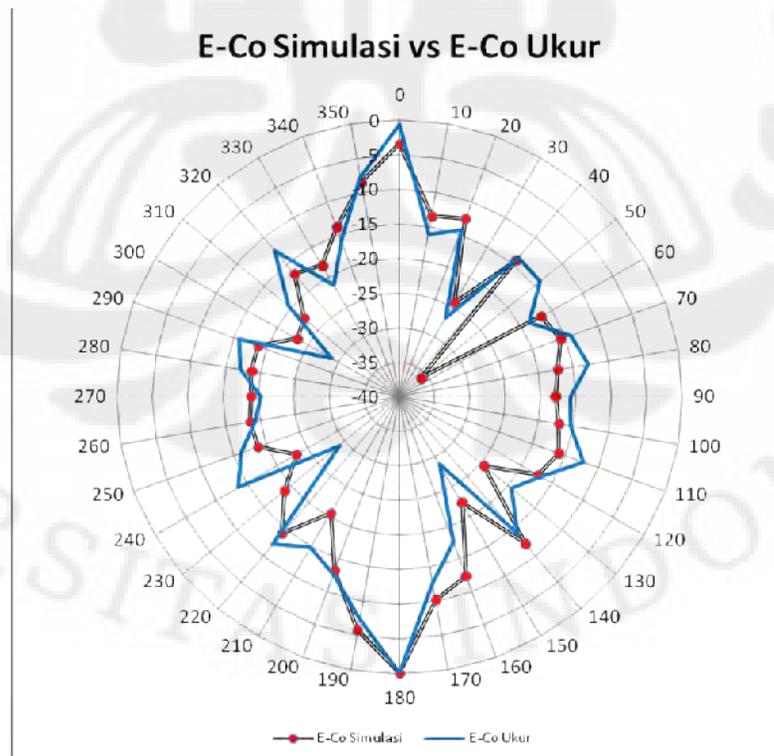
Untuk bidang E pada antenna ini, medan E-Co memiliki magnitude maksimum sebesar -46,36 dB sedangkan pada E-Crossnya memiliki magnitude minimum sebesar -81,12 dB seperti terlihat pada **Lampiran C2.2**. Berdasarkan data ini, maka diperoleh nilai XPD sebesar 34,76 dB. Untuk bidang H, medan H-Co memiliki magnitude maksimum sebesar -31,43 dB sedangkan pada H-Crossnya memiliki magnitude minimum sebesar -65,12 dB seperti terlihat pada **Lampiran C2.4**. Berdasarkan data ini, maka diperoleh nilai XPD sebesar 33,69 dB. Dengan demikian, maka antenna ini telah memenuhi parameter XPD yang telah ditentukan oleh Dirjen Postel.



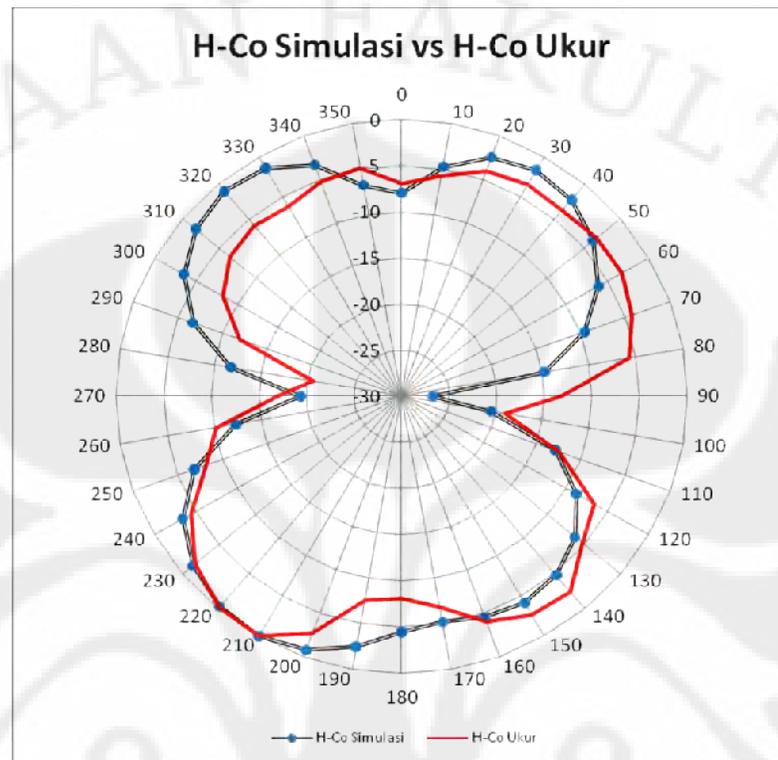


(b)

Gambar 4.58 Hasil Pengukuran Karakteristik *Cross-Polarization* Antena 8 Elemen Pada Frekuensi 3,35 GHz (a) E-co vs E-Cross (b) H-Co vs H-Cross



(a)



(b)

Gambar 4.59 Perbandingan Medan-Co Hasil Simulasi Dengan Pengukuran (a) E-Co Simulasi vs E-Co Ukur (b) H-Co Simulasi vs H-Co Ukur

Gambar 4.13 memperlihatkan perbandingan medan-co hasil simulasi dengan pengukuran. Gambar 4.13 (a) menunjukkan perbandingan E-co simulasi dengan E-co hasil pengukuran sedangkan Gambar 4.13 (b) menunjukkan perbandingan H-co simulasi dengan H-co hasil pengukuran. Dari gambar tersebut, terlihat bahwa plot hasil pengukuran tidak jauh berbeda dengan hasil simulasi.

### 4.3 Pengukuran Gain

Pengukuran *gain* menggunakan *network analyzer* dan *power meter*. *Network analyzer* digunakan untuk menghasilkan gelombang dengan frekuensi 3,3 – 3,4 GHz. *Power meter* digunakan untuk mengukur daya pengirim dan penerima. Antena yang diukur yaitu antena 8 elemen, 2 elemen dan antena dipole dengan range frekuensi 3,3-3,4 GHz pada  $VSWR \leq 1,9$  (Lampiran C.3). Hasil pengukuran dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.11 Perolehan *Gain* Antena 8 Elemen Dari Data Pengukuran Dengan Kombinasi 1-2, 2-3, dan 1-3

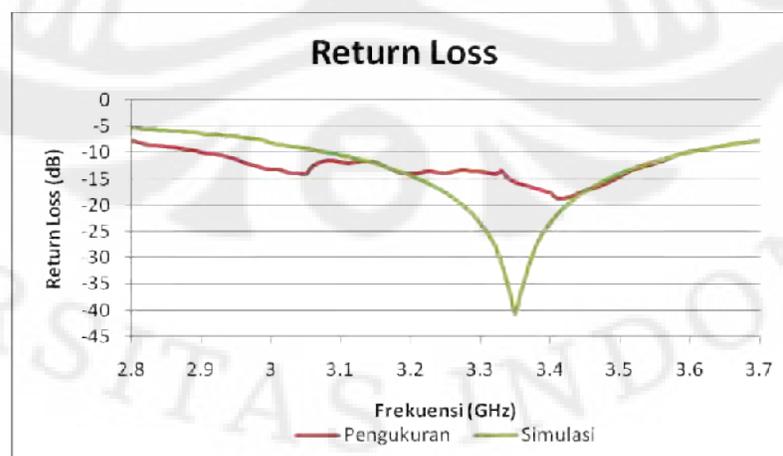
Frekuensi (GHz)	Gain (dBi)
3.3	16.111
3.31	16.179
3.32	16.515
3.33	17.056
3.34	17.711
3.35	17.862
3.36	17.591
3.37	17.369
3.38	18.353
3.39	18.437
3.4	18.403

Dari Tabel 4.2 di atas terlihat bahwa nilai *gain* yang diperoleh antena 8 elemen pada range frekuensi 3,3-3,4 GHz sebesar 16,111 – 18,437 dBi dan mencapai nilai maksimum sebesar 18,437 dBi pada frekuensi 3,39 GHz.

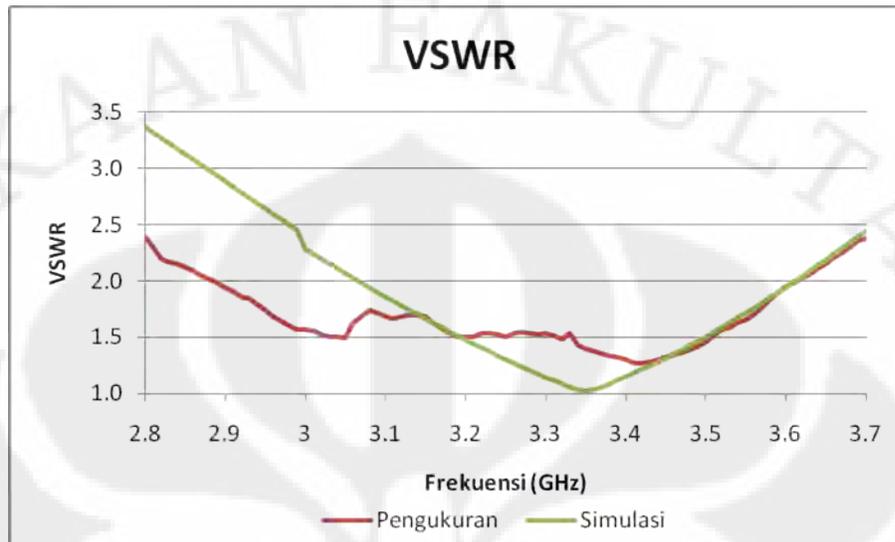
#### 4.4 Analisis Hasil Pengukuran *Port* Tunggal

##### 4.4.1 Antena Elemen Tunggal

Dari hasil pengukuran *port* tunggal antena elemen tunggal terdapat 2 parameter yang dianalisis, yaitu parameter *return loss* dan VSWR. Gambar 4.14 dan 4.15 secara berurutan digambarkan grafik perbandingan *return loss* dan VSWR antara hasil simulasi dengan hasil pengukuran.



Gambar 4.60 Perbandingan *Return loss* Hasil Simulasi Dengan Hasil Pengukuran Antena Elemen Tunggal



Gambar 4.61 Perbandingan VSWR Hasil Simulasi Dengan Hasil Pengukuran Antena Elemen Tunggal

Telah dipaparkan sebelumnya bahwa *Impedance bandwidth* pada  $VSWR \leq 1,9$  hasil simulasi adalah 3,09 – 3,59 GHz (500 MHz). Sedangkan *impedance bandwidth* pada  $VSWR \leq 1,9$  hasil pengukuran adalah 2,92 - 3,59 GHz (670 MHz). Pada nilai  $VSWR \leq 1,5$ , hasil simulasi menunjukkan bahwa antena bekerja pada range frekuensi 3,1935 GHz sampai dengan 3,4991 GHz. Sedangkan range frekuensi pada  $VSWR \leq 1,5$  hasil pengukuran adalah 3,32 – 3,5 GHz.

Dari Gambar 4.14 dan 4.15 dapat dilihat pergeseran *impedance bandwidth* dan frekuensi kerja antena hasil simulasi dengan hasil pengukuran. Namun demikian, fabrikasi antena elemen tunggal ini telah memenuhi kebutuhan yang diinginkan yaitu mampu bekerja pada rentang frekuensi 3,3 – 3,4 GHz (100 MHz) dengan nilai  $VSWR \leq 1,9$ .

Frekuensi tengah pada simulasi adalah 3,34 GHz dengan nilai *return loss* dan VSWR minimum masing-masing adalah -40,8483 dB dan 1,02 di frekuensi 3,35 GHz. Sedangkan frekuensi tengah hasil pengukuran adalah 3,255 GHz dengan *return loss* dan VSWR minimum masing-masing adalah -21,73 dB dan 1,179 di frekuensi 3,41 GHz. Dari perbedaan frekuensi tengah ini dapat dihitung kesalahan (galat) relatifnya sebagai berikut.

$$Error = \left| \frac{f_{percobaan} - f_{simulasi}}{f_{simulasi}} \right| \times 100\%$$

$$\left| \frac{3.255 - 3.34}{3.34} \right| \times 100\% = 2,55\%$$

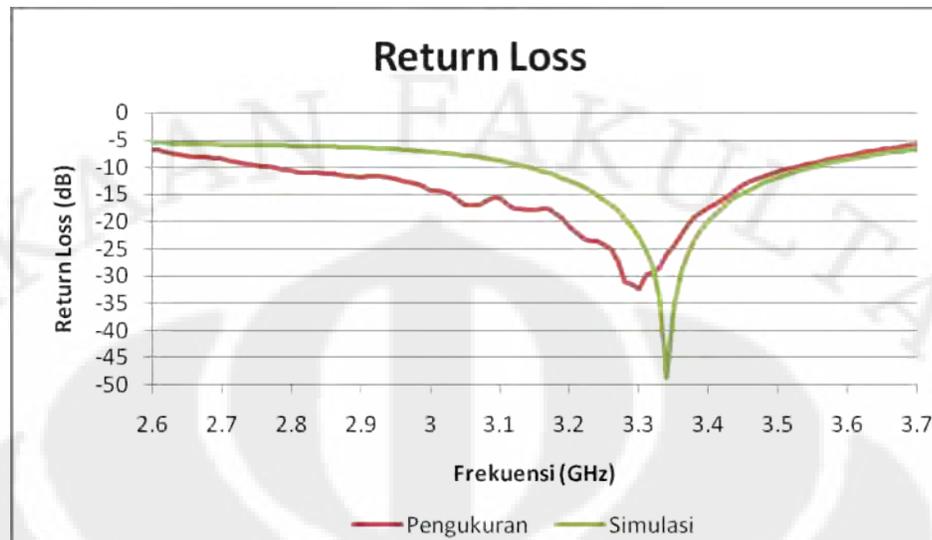
Perbandingan antara hasil simulasi dengan hasil pengukuran antenna elemen tunggal dituliskan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.12 Perbandingan Hasil Simulasi Dengan Pengukuran *Port* Tunggal Antena Elemen Tunggal

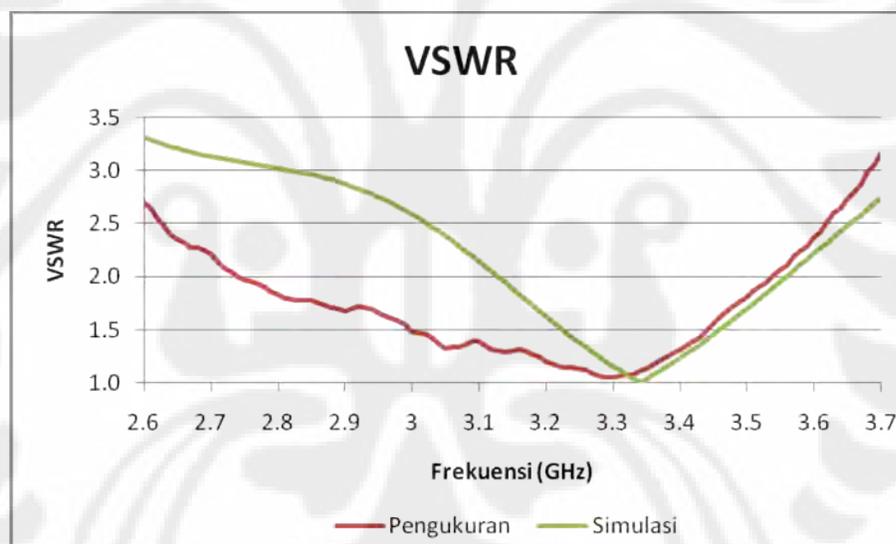
Parameter	Hasil Simulasi	Hasil Pengukuran
Range Frekuensi pada $VSWR \leq 1,9$	3,09 – 3,59 GHz	2,92 – 3,59 GHz
<i>Impedance Bandwidth</i>	14,97% (500 MHz)	20,58% (670 MHz)
Range Frekuensi pada $VSWR \leq 1,5$	3,1935 – 3,4991 GHz	3,32 – 3,5 GHz
<i>Impedance Bandwidth</i>	9,13% (305,6 MHz)	5,28% (180 MHz)
<i>Return loss</i> & $VSWR$ pada 3,3 GHz	RL = -23,4141 dB	RL = -13,56 dB
	$VSWR = 1,1448$	$VSWR = 1,5313$
<i>Return loss</i> & $VSWR$ pada 3,4 GHz	RL = -23,2897 dB	RL = -17,55 dB
	$VSWR = 1,147$	$VSWR = 1,3057$
<i>Return loss</i> minimum	-40,8483 dB (pada $f = 3,35$ GHz)	-18,65 dB (pada $f = 3,41$ GHz)
$VSWR$ minimum	1,0183	1,2645

#### 4.4.2 Antena Array 2 Elemen

Dari hasil pengukuran *port* tunggal antenna *slot array* 2 elemen terdapat 2 parameter yang dianalisis, yaitu parameter *return loss* dan  $VSWR$ . Gambar 4.16 dan 4.17 secara berurutan digambarkan grafik perbandingan *return loss* dan  $VSWR$  antara hasil simulasi dengan hasil pengukuran.



Gambar 4.62 Perbandingan *Return loss* Hasil Simulasi Dengan Hasil Pengukuran Antena *Array* 2 Elemen



Gambar 4.63 Perbandingan VSWR Hasil Simulasi Dengan Hasil Pengukuran Antena *Array* 2 Elemen

Berdasarkan Gambar 4.16 dan 4.17, *impedance bandwidth* pada  $VSWR \leq 1,9$  hasil simulasi adalah 3,15 – 3,53 GHz (380 MHz). Sedangkan *impedance bandwidth* pada  $VSWR \leq 1,9$  hasil pengukuran adalah 2,79 – 3,51 GHz (720 MHz). Pada nilai  $VSWR \leq 1,5$ , hasil simulasi menunjukkan bahwa antenna bekerja pada range frekuensi 3,23 – 3,45 GHz. Sedangkan range frekuensi pada  $VSWR \leq 1,5$  hasil pengukuran adalah 3 – 3,44 GHz.

Dari data-data yang telah disebutkan, maka fabrikasi antenna *array* 2 elemen ini telah mengalami pergeseran frekuensi. Namun demikian, fabrikasi

antena elemen tunggal ini telah memenuhi kebutuhan yang diinginkan yaitu mampu bekerja pada rentang frekuensi 3,3 – 3,4 GHz (100 MHz) dengan nilai  $VSWR \leq 1,9$ .

Frekuensi tengah pada simulasi adalah 3,34 GHz dengan nilai *return loss* dan *VSWR* minimum masing-masing adalah -48,6827 dB dan 1,0074. Sedangkan frekuensi tengah hasil pengukuran adalah 3,15 GHz dengan *return loss* dan *VSWR* minimum masing-masing adalah -40 dB dan 1,0202. Dari perbedaan frekuensi tengah ini dapat dihitung kesalahan (galat) relatifnya sebagai berikut.

$$Error = \left| \frac{f_{percobaan} - f_{simulasi}}{f_{simulasi}} \right| \times 100\%$$

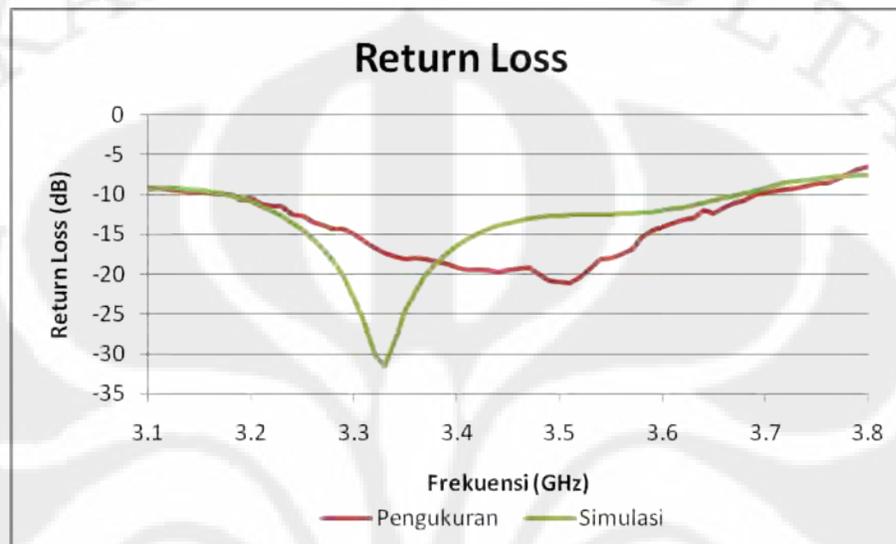
$$\left| \frac{3.15 - 3.34}{3.34} \right| \times 100\% = 5,69\%$$

Perbandingan antara hasil simulasi dengan hasil pengukuran antenna array 2 elemen dituliskan pada Tabel 4.4.

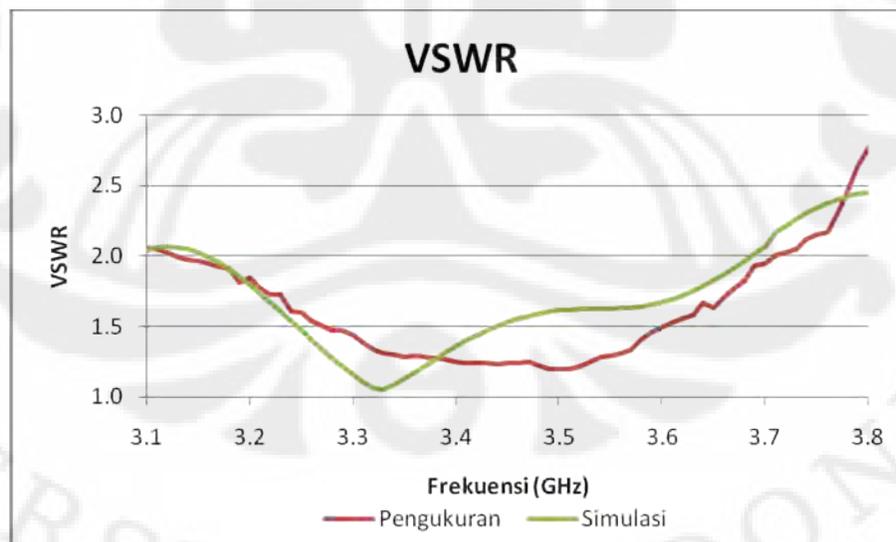
Tabel 4.13 Perbandingan Hasil Simulasi Dengan Pengukuran *Port* Tunggal Antena *Array* 2 Elemen

Parameter	Hasil Simulasi	Hasil Pengukuran
Range Frekuensi pada $VSWR \leq 1,9$	3,15 – 3,53 GHz	2,79 – 3,51 GHz
<i>Impedance Bandwidth</i>	11,38% (380 MHz)	22,86% (720 MHz)
Range Frekuensi pada $VSWR \leq 1,5$	3,23 – 3,45 GHz	3 – 3,44 GHz
<i>Impedance Bandwidth</i>	7,02% (234,6 MHz)	13,67% (440 MHz)
<i>Return loss &amp; VSWR</i> pada 3,3 GHz	RL = -22,75 dB	RL = -32,35 dB
	VSWR = 1,1572	VSWR = 1,05
<i>Return loss &amp; VSWR</i> pada 3,4 GHz	RL = -19,69 dB	RL = -17,32 dB
	VSWR = 1,2311	VSWR = 1,32
<i>Return loss</i> minimum	-48,6827 dB (pada $f = 3,34$ GHz)	-32,35 dB (pada $f = 3,3$ GHz)
VSWR minimum	1,0074	1,05

#### 4.4.3 Antena Array 8 Elemen



Gambar 4.64 Perbandingan *Return loss* Hasil Simulasi Dengan Hasil Pengukuran Antena Array 8 Elemen



Gambar 4.65 Perbandingan VSWR Hasil Simulasi Dengan Hasil Pengukuran Antena Array 8 Elemen

Dari hasil pengukuran *port* tunggal antenna *slot array* 8 elemen terdapat 2 parameter yang dianalisis, yaitu parameter *return loss* dan VSWR. Gambar 4.18 dan 4.19 secara berurutan digambarkan grafik perbandingan *return loss* dan VSWR antara hasil simulasi dengan hasil pengukuran.

Berdasarkan Gambar 4.18 dan 4.19, *impedance bandwidth* pada VSWR  $\leq 1,9$  hasil simulasi adalah 3,19 – 3,66 GHz (470 MHz). Sedangkan *impedance bandwidth* pada VSWR  $\leq 1,9$  hasil pengukuran adalah 3,19 – 3,68 GHz (490 MHz). Pada nilai VSWR  $\leq 1,5$ , hasil simulasi menunjukkan bahwa antenna bekerja pada range frekuensi 3,246 – 3,4379 GHz. Sedangkan range frekuensi pada VSWR  $\leq 1,5$  hasil pengukuran adalah 3,28 – 3,6 GHz.

Dari data-data yang telah disebutkan, maka fabrikasi antenna *array* 2 elemen ini telah mengalami pergeseran frekuensi. Namun demikian, fabrikasi antenna elemen tunggal ini telah memenuhi kebutuhan yang diinginkan yaitu mampu bekerja pada rentang frekuensi 3,3 – 3,4 GHz (100 MHz) dengan nilai VSWR  $\leq 1,9$ .

Frekuensi tengah pada simulasi adalah 3,425 GHz dengan nilai *return loss* dan VSWR minimum masing-masing adalah -31,4638 dB dan 1,0549 di frekuensi 3,3 GHz. Sedangkan frekuensi tengah hasil pengukuran adalah 3,435 GHz dengan *return loss* dan VSWR minimum masing-masing adalah -30,8 dB dan 1,06 di frekuensi 3,51 GHz. Dari perbedaan frekuensi tengah ini dapat dihitung kesalahan (galat) relatifnya sebagai berikut.

$$Error = \left| \frac{f_{percobaan} - f_{simulasi}}{f_{simulasi}} \right| \times 100\%$$

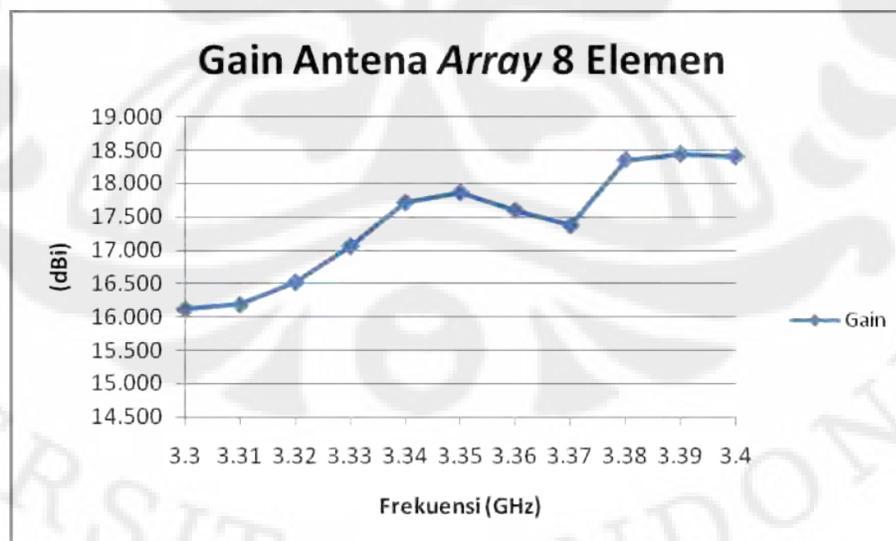
$$\left| \frac{3,435 - 3,425}{3,425} \right| \times 100\% = 0,29\%$$

Perbandingan antara hasil simulasi dengan hasil pengukuran antenna *array* 8 elemen dituliskan pada Tabel 4.5.

Tabel 4.14 Perbandingan Hasil Simulasi Dengan Pengukuran *Port* Tunggal Antena Array 8 Elemen

Parameter	Hasil Simulasi	Hasil Pengukuran
Range Frekuensi pada $VSWR \leq 1,9$	3,19 – 3,66 GHz	3,19 – 3,68 GHz
<i>Impedance Bandwidth</i>	13,72% (470 MHz)	14,27% (490 MHz)
Range Frekuensi pada $VSWR \leq 1,5$	3,246 – 3,4379 GHz	3,28 – 3,6 GHz
<i>Impedance Bandwidth</i>	5,74% (191,9 MHz)	9,3% (320 MHz)
<i>Return loss &amp; VSWR</i> pada 3,3 GHz	RL = -22,8675 dB	RL = -14,89 dB
	VSWR = 1,1549	VSWR = 1,44
<i>Return loss &amp; VSWR</i> pada 3,4 GHz	RL = -16,3836 dB	RL = -19,17 dB
	VSWR = 1,3575	VSWR = 1,25
<i>Return loss</i> minimum	-31,4638 dB (pada $f = 3,33$ GHz)	-21,07 dB (pada $f = 3,51$ GHz)
VSWR minimum	1,0549	1,19

#### 4.5. Analisis Hasil Pengukuran *Gain*



Gambar 4.66 Grafik *Gain* Pada Antena 8 Elemen

Dari Gambar 4.20 di atas terlihat bahwa nilai maksimum *gain* antena 8

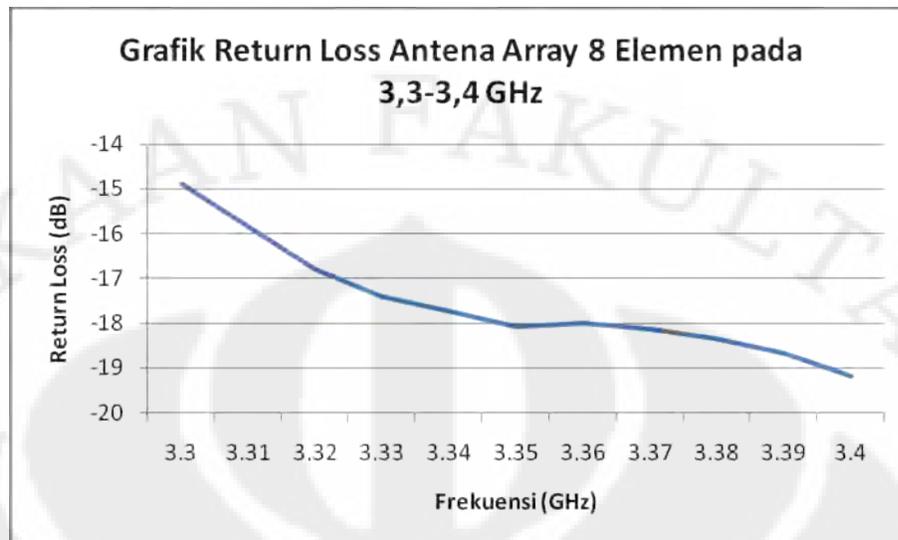
elemen pada range frekuensi 3,3–3,4 GHz adalah 18,437 dBi pada frekuensi 3,39 GHz. *Gain* dipengaruhi oleh nilai efisiensi, oleh karena itu rugi-rugi yang terjadi dapat mempengaruhi nilai *gain* antenna, salah satunya rugi-rugi akibat pemantulan atau *return loss*. Berdasarkan Gambar 4.20, dapat terlihat bahwa nilai *gain* cenderung semakin naik seiring dengan bertambahnya frekuensi, hal ini disebabkan karena pengaruh besarnya *return loss* pada antenna seperti diperlihatkan pada Gambar 4.21. Pada frekuensi rendah, nilai *return loss* lebih tinggi daripada saat frekuensi tinggi, sehingga akan berakibat pada daya yang tereksitasi dari antenna untuk frekuensi rendah akan lebih rendah daripada frekuensi tinggi.

Selain *return loss*, nilai *gain* juga dapat dipengaruhi oleh besaran frekuensi yang digunakan pada saat pengukuran. Hal ini sesuai dengan perhitungan *gain* berdasarkan pada persamaan Friis. Secara umum persamaan Friis dinyatakan dalam Persamaan 3.2 sebagai:

$$(G_{ot})_{dB} + (G_{or})_{dB} = 20 \log_{10} \left( \frac{4\pi R}{\lambda} \right) + 10 \log_{10} \left( \frac{P_r}{P_t} \right)$$

Dari rumus Persamaan 3.2 tersebut, dapat terlihat bahwa nilai *gain* pada saat pengukuran dipengaruhi oleh nilai panjang gelombang ( $\lambda$ ). Panjang gelombang ( $\lambda$ ) berbanding terbalik dengan nilai frekuensi ( $f$ ) sehingga nilai *gain* akan naik sebanding dengan kenaikan nilai frekuensi. Karena dipengaruhi juga oleh nilai *return loss*, maka kenaikan nilai *gain* ini akan mencapai maksimal pada batas frekuensi dengan nilai impedansi masukan terbaik.

Adanya perbedaan bahwa terdapat nilai *gain* yang menjadi lebih rendah pada range frekuensi 3,35 – 3,37 GHz dapat disebabkan karena adanya fluktuasi nilai yang terbaca pada *power meter* akibat adanya perubahan posisi atau kesepadanan (*matching*) yang berubah antara kedua antenna saat pengukuran. Selain itu, bila dilihat pada Gambar 4.20, grafik *return loss* antenna menunjukkan bahwa pada range frekuensi yang sama nilai *return loss* cenderung semakin turun dengan lambat. Hal ini juga dapat dilihat pada tampilan *return loss* antenna array 8 elemen pada Network Analyzer (**Lampiran C1.3**).

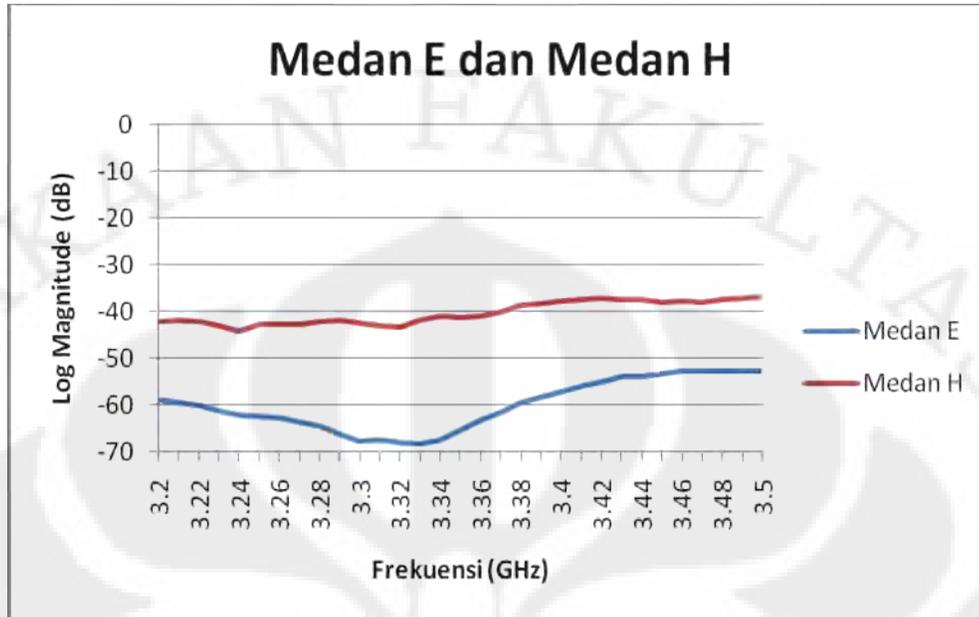


Gambar 4.67 Grafik *Return loss* Antena Array 8 Elemen pada 3,3-3,4 GHz

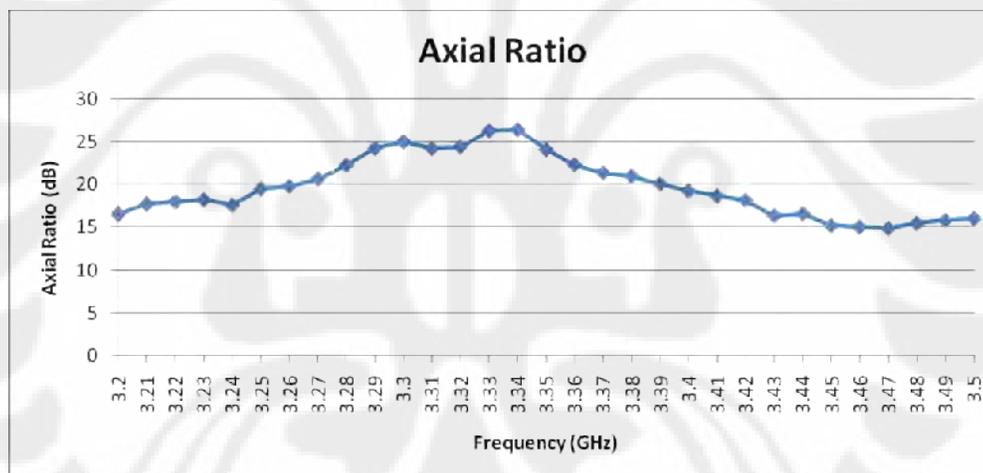
#### 4.6. Pengukuran *Axial ratio*

Pengukuran *axial ratio* dilakukan untuk mengetahui jenis polarisasi dari antena yang dibuat. Untuk antena yang mensyaratkan terjadinya polarisasi melingkar, maka *axial ratio* antena harus bernilai 1 (0 dB). Hal ini dikarenakan, besarnya *log magnitude* antara bidang E dan bidang H untuk rentang frekuensi tertentu adalah sama besar. Nilai *axial ratio* untuk polarisasi elips adalah  $> 1$  ( $> 0$  dB) sedangkan untuk polarisasi linear murni nilai *axial ratio*nya adalah tak terhingga karena salah satu dari 2 komponen medan yang saling tegak lurus harus bernilai nol. Namun, bila salah satu komponen medan relatif sangat besar dibandingkan dengan medan tegak lurusnya, maka dapat dikatakan bahwa polarisasi tersebut adalah linear meskipun tidak linear sempurna.

Pengukuran *axial ratio* menggunakan *Network Analyzer* HP8753E dengan format pengukuran  $S_{12}$ . Prosedur pengukuran hampir sama dengan pada saat mengukur pola radiasi, hanya saja tidak perlu penggunaan variasi sudut, akan tetapi yang diperlukan adalah variasi frekuensi. Daya yang diterima masing-masing bidang E dan bidang H diukur, lalu dibandingkan selisih diantara keduanya. Data pengukuran *axial ratio* secara lengkap dapat dilihat pada **Lampiran C4**. Gambar 4.23 memperlihatkan grafik hasil pengukuran *axial ratio* yang telah diolah menggunakan perangkat lunak *Microsoft Office Excel 2007*.



(a)



(b)

Gambar 4.23 (a) Grafik Perbandingan Medan Yang Diterima Pada Bidang E Dan Bidang H, (b) Grafik Log Magnitude *Axial ratio*

Dari Gambar 4.23, terlihat bahwa nilai *Axial ratio* bervariasi antara 14,942 – 26,443 pada range frekuensi 3,2 – 3,5 GHz. Nilai *Axial ratio* minimum (19,42) diperoleh pada frekuensi 3,47 GHz sedangkan Nilai *Axial ratio* maksimum (26,443) diperoleh pada frekuensi 3,34 GHz. Dengan demikian, karena antenna ini memiliki nilai *axial ratio*  $\gg 1$  ( $\gg 0$  dB), maka dapat dikatakan antenna yang dibuat memiliki jenis polarisasi linear (tidak sempurna).

#### 4.7. Analisis Kesalahan Umum

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

1. perancangan dengan *HFSS v.11* tidak memperhitungkan tebal tembaga dari substrat yang dipakai, tetapi kenyataannya tembaga pada substrat memiliki ketebalan walaupun kecil
2. bahan substrat memiliki nilai toleransi konstanta dielektrik substrat yaitu sekitar  $\epsilon_r = 4,4 \pm 0,02$  serta adanya nilai toleransi pada *loss tangent* substrat.
3. simulasi tidak memperhitungkan tingkat temperatur dan kelembapan udara, tetapi pada saat pengukuran temperatur dan tingkat kelembapan berpengaruh pada propagasi gelombang dan resistansi udara.
4. proses penyolderan konektor SMA dengan saluran pencatu mikrostrip yang kurang baik
5. adanya rugi-rugi pada kabel penghubung, *port* SMA, tembaga/konduktor pada substrat, konektor pada *network analyzer*, dan *power sensor*

## BAB 5

### KESIMPULAN

1. Antena mikrostrip slot *array* 8 elemen dengan pencatuan *microstrip feed line* yang dibuat mampu bekerja pada range frekuensi 3,19 – 3,68 GHz dengan *impedance bandwidth* pada  $VSWR \leq 1,9$  sebesar 490 MHz (14,27%). Sedangkan pada  $VSWR \leq 1,5$ , antena mampu bekerja pada range frekuensi 3,28 – 3,6 GHz dan memiliki *impedance bandwidth* sebesar 320 MHz (9,3%). Dengan demikian, antena telah memenuhi kebutuhan akan range frekuensi kerja yang diinginkan, yaitu bekerja pada range frekuensi 3,3 – 3,4 GHz pada  $VSWR \leq 1,9$  atau *return loss*  $\leq -10,16$  dB.
2. Gain yang didapat berdasarkan hasil pengukuran, nilai *gain* antena 8 elemen pada range frekuensi 3,3–3,4 GHz adalah 16,111 – 18,437 dBi dan mencapai nilai maksimum sebesar 18,437 dBi pada frekuensi 3,39 GHz.
3. Antena mikrostrip slot *array* 8 elemen dengan pencatuan *microstrip feed line* yang dibuat menghasilkan pola radiasi *Bidirectional*.
4. Nilai *cross polarization discrimination* (XPD) untuk medan E sebesar 34,76 dB sedangkan untuk medan H diperoleh nilai XPD sebesar 33,69 dB.
5. Antena mikrostrip slot *array* 8 elemen dengan pencatuan *microstrip feed line* yang dibuat memiliki jenis polarisasi linear dengan nilai *Axial ratio* bervariasi antara 14,942 – 26,443 pada range frekuensi 3,2 – 3,5 GHz.

## DAFTAR ACUAN

- [1] Agustian, Widi. "First Media Siap Dukung Internet dengan Wimax." Selasa, 18 Agustus 2009.  
<<http://techno.okezone.com/read/2009/08/18/54/249098/54/first-media-siap-dukung-internet-dengan-wimax>>
- [2] Gunawan Wibisono, Dwi H. G., *WiMAX, Teknologi BWA Kini dan Masa Depan*, (Bandung: Informatika, 2006).
- [3] Departemen Komunikasi dan Informatika - Republik Indonesia. Siaran Pers No. 51/PIH/KOMINFO/1/2009 tentang Penataan Pita Frekuensi Radio Untuk Keperluan Layanan Pita Lebar Nirkabel (Wireless Broadband). Broto, Gatot S. Dewa 22 Januari 2009.  
<<http://www.depkominfo.go.id/2009/01/22/siaran-pers-no-51pikhkominfo12009-tentang-penataan-pita-frekuensi-radio-untuk-keperluan-layanan-pita-lebar-nirkabel-wireless-broadband/>>
- [4] Departemen Komunikasi dan Informatika - Republik Indonesia. Siaran Pers No. 162/PIH/KOMINFO/7/2009 tentang Penetapan Pemenang Lelang Tender Seleksi Penyelenggaraan Jaringan Tetap Lokal Berbasis Packet Switched Yang Menggunakan Pita Frekuensi Radio 2.3 GHz Untuk Keperluan Layanan Pita Lebar Nirkabel (Wireless Broadband). Broto, Gatot S. Dewa. 31 Juli 2009.  
<<http://www.depkominfo.go.id/2009/07/31/siaran-pers-no-162pikhkominfo72009-tentang-penetapan-pemenang-lelang-tender-seleksi-penyelenggaraan-jaringan-tetap-lokal-berbasis-packet-switched-yang-menggunakan-pita-frekuensi-radio-23-ghz-untu/>>
- [5] Adel Bedair Abdel-Mooty Abdel-Rahman, *Design and Development of High Gain Wideband Microstrip Antena and DGS Filters Using Numerical Experimentation Approach*, Disertasi, University Magdeburg, 2005.
- [6] <http://www.srtelecom.com/uploads/File/whitepapers/WiMAX-LOS-and->

NLOS Technology.pdf

- [7] Garg, R., Bhartia, P, Bahl, I., dan Ittipiboon, A., “Microstrip Design Handbook”, Artech House Inc., Norwood, MA, 2001.
- [8] Krishna, D.D.; Gopikrishna, M.; Anandan, C.K.; Mohanan, P.; Vasudevan, K. CPW-Fed Koch Fractal Slot Antena for WLAN/WiMAX Applications. *Antenas and Wireless Propagation Letters, IEEE Volume 7*, 2008 Page(s):389 – 392.
- [9] Jen-Yea Jan; Liang-Chin Wang; Hua-Ming Chen. Microstrip-line-fed printed slot antena for the WiMAX operation. *Antenas and Propagation Society International Symposium, 2008. AP-S 2008. IEEE 5-11 July 2008* Page(s):1 – 4.
- [10] Wen-Shan Chen; Kuang-Yuan Ku. Band-Rejected Design of the Printed Open Slot Antena for WLAN/WiMAX Operation. *Antenas and Propagation, IEEE Transactions on Volume 56, Issue 4, April 2008* Page(s):1163 – 1169.
- [11] Constantine A. Balanis, *Antena Theory : Analysis and Design*, (USA: John Willey and Sons,1997).
- [12] Stutzman, W.L., dan Gary, A.T., “Antena Theory and Design”, 2nd edition, John Wiley & Sons, 1998.
- [13] Hirasawa, K. dan Haneishi, M., "Analysis, Design, and Measurement of Small and Low-Profile Antenas", Artech House, Norwood MA, 1992.
- [14] A.s Abdallah,Liu Yuan-an,Y.E Mohammed, “ Wide\_Band Slot Microstrip Antena” .IEEE 2004.
- [15] D. M. Pozar, “A review of bandwidth enhancement techniques for Microstrip antenas, In microstrip antenas,” *IEEE Press*, New York, 1995.

- [16] M. Kahrizi, T. K. Sarkar, and Z. A. Maricevic, "Analysis of a wide radiating slot in the ground plane of a microstrip line," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 41, pp. 29–37, 1993.
- [17] Jia-Yi Sze, "Bandwidth Enhancement of Microstrip Line Fed Printed Wide Slot Antena". IEEE vol 49, 2001
- [18] James J. R., Hall P. S., eds. "Handbook of Microstrip Antenas". Vol. I and II. Peter Pergrinus. IEEE. 1989.
- [19] Loong, K.H.W., "Design and Development of a 3x3 Element Microstrip Reflect Array for Spatial Power Combining", *The School of Computer Science & Electrical Engineering*, University of Queensland, 20<sup>th</sup> October 2000.
- [20] Devendra K. Misra, *Radio Frequency and Microwave Communication Circuits*, Wiley interscience, 2004.
- [21] Wikipedia, <http://en.wikipedia.org>. Diakses tanggal 20 November 2009.
- [22] David M. Pozar, *Microwave Engineering*, John Willey and Sons, 1997.
- [23] Surjati, Indra., Rahardjo, Eko Tjipto., dan Hartanto, Djoko., "Perancangan Pembangkitan Frekuensi Ganda Antena Mikrostrip Segitiga Sama Sisi Menggunakan Teknik Sambatan Elektromagnetik" ,*Makara Teknologi*, Vol. 9, No. 2, Nopember 2005: 78-86.

**DAFTAR PUSTAKA**

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

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

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

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

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



**LAMPIRAN-A**

PERATURAN DIRJEND POSTEL INDONESIA  
TENTANG PERSYARATAN TEKNIS ALAT DAN PERANGKAT  
TELEKOMUNIKASI ANTENA BWA

LAMPIRAN : PERATURAN DIREKTUR JENDERAL  
 POS DAN TELEKOMUNIKASI  
 NOMOR : /DIRJEN/ 2007  
 TANGGAL :

---

**PERSYARATAN TEKNIS  
 ) MODE TIME DIVISION DUPLEX (TDD) NOMADIC PADA PITA  
 FREKUENSI 2.3 GHz**

**BAB I  
 KETENTUAN UMUM**

**1 Ruang Lingkup**

Persyaratan teknis ini meliputi ruang lingkup, definisi, singkatan, karakteristik sistem, alat dan perangkat telekomunikasi Antena *Broadband Wireless Access Nomadic* pada pita frekuensi 2.3 GHz, yang selanjutnya disebut Antena BWA 23.

**2 Definisi**

Yang dimaksud dengan alat dan perangkat Antena BWA 23 dalam standar ini adalah bagian dari sistem komunikasi radio BWA 23 yang merupakan antarmuka antara sistem radio dan lingkungan eksternal yang bekerja pada pita frekuensi 2.300 – 2.390 MHz.

**3 Singkatan**

n.	BS	: <i>Base Station</i>
o.	BWA	: <i>Broadband Wireless Access</i>
p.	CPE	: <i>Customer Premises Equipment</i>
q.	dB	: <i>Decibell</i>
r.	dBi	: <i>Decibell Isotropic</i>
s.	dBm	: <i>Decibell Milliwatt</i>
t.	DC	: <i>Direct Current</i>
u.	EIRP	: <i>Effective Isotropically Radiated Power</i>
v.	Mbps	: <i>Mega byte per second</i>
w.	MHz	: <i>Mega Hertz</i>
x.	N	: Jenis konektor
y.	PMP	: <i>Point-to-Multi Point</i>
z.	PTP	: <i>Point-to-Point</i>
aa.	RF	: <i>Radio Frequency</i>
bb.	SMA	: Jenis konektor
cc.	SS	: <i>Subscriber Station</i>
dd.	TDD	: <i>Time Division Duplex</i>
ee.	VSWR	: <i>Voltage Standing Wave Ratio</i>

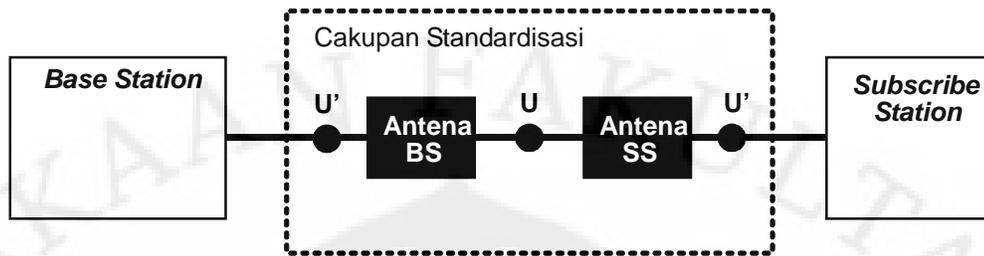
ff. XPD : *Cross Polarization Discrimination*

#### 4 Istilah

Untuk tujuan standarisasi ini beberapa istilah didefinisikan sebagai berikut :

- a. *Base Station* : Suatu set perangkat yang berfungsi untuk menyediakan konektivitas, manajemen dan kontrol terhadap SS.
- b. *Broadband* : Kemampuan untuk transfer data melebihi 1.5 Mbps dan atau menggunakan total bandwidth minimal 1 MHz.
- c. *Broadband Wireless Access* : Jaringan akses nirkabel pita lebar.
- d. *Daya Output* : Daya yang keluar dari perangkat pemancar.
- e. *CPE* : Perangkat terminasi jaringan di sisi pelanggan.
- f. *dBi* : *Gain* suatu antena terhadap antena isotropic sebagai referensi
- g. *EIRP* : Level daya terukur yang dipancarkan oleh antena
- h. *Jaringan BWA* : Kumpulan elemen jaringan akses nirkabel pita lebar yang terdiri dari BS dan SS
- i. *Nomadic* : Penerapan wireless access dimana lokasi terminal end user dapat berpindah tempat dan pada saat digunakan terminal end user tidak boleh bergerak
- j. *Subscriber Station* : Perangkat BWA yang berada di sisi pelanggan.
- k. *Telekomunikasi* : Setiap pemancaran, pengiriman, atau penerimaan tiap jenis tanda, gambar, suara dan informasi dalam bentuk apapun melalui sistem kawat, optik, radio atau sistem elektromagnetik lainnya.
- l. *XPD* : Perbandingan antara radiasi maksimum *co-polar* dengan minimum *cross-polar*

### 5 Model Referensi



### 6 Entitas Model

Berikut penjelasan dari entitas-entitas yang terdapat dalam model referensi.

#### BS

- Merupakan perangkat yang berfungsi sebagai pusat transmisi data.
- Berfungsi sebagai pusat koordinasi manajemen sumber daya (radio).

#### SS

- Merupakan perangkat terminasi jaringan di sisi pelanggan (CPE).
- Berfungsi sebagai sarana transmisi data pelanggan.

#### ANTENA BS DAN ANTENA SS

- Merupakan perangkat transmisi yang berfungsi mengubah energi elektrik menjadi gelombang radio elektromagnetik.

### 7 Titik Referensi

#### U

- *Radio Interface BWA.*

#### U'

- Titik referensi antara BS atau SS dengan antena.

## BAB II KARAKTERISTIK UMUM DAN OPERASIONAL

1. Sistem Antena BWA 23 mempunyai kemampuan untuk memungkinkan terselenggaranya komunikasi nirkabel pita lebar yang handal, baik untuk daerah urban, sub-urban maupun rural.
2. Antena BWA 23 diklasifikasikan berdasarkan pola radiasi menjadi,
  - *omni*
  - *directional*
  - *sectoral*

3. Antena BWA 23 diklasifikasikan berdasarkan aplikasi menjadi,
  - *Point-to-point* (PTP)
  - *Point-to-multipoint* (PMP)
4. Antena BWA 23 diklasifikasikan berdasarkan jenis perangkat BWA 23
  - Antena BS
  - Antena SS

### BAB III PERSYARATAN TEKNIS ALAT DAN PERANGKAT TELEKOMUNIKASI

#### 1 *Base Station*

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

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

## 2 Subscriber Station

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

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

## 3 Dokumentasi

Perangkat dilengkapi dokumentasi teknik mengenai petunjuk penggunaan dan spesifikasi yang terkait dalam bahasa Indonesia.

## **BAB IV PERSYARATAN PENGUJIAN**

### **1 Cara Pengambilan Contoh Uji**

Pengambilan perangkat yang diuji dilakukan menurut prosedur uji dengan jumlah sampel minimal 2 unit.

### **2 Cara Pengujian**

Tata-cara pengujian perangkat diatur dalam dokumen terpisah. Cara pengujian harus mampu memperlihatkan secara kualitatif dan kuantitatif bahwa perangkat yang diuji memenuhi persyaratan dalam standar ini.

### **3 Syarat Keselamatan dan Kesehatan**

Perangkat Antena BWA 23 ini harus dirancang bangun sedemikian rupa sehingga pemakai terlindungi dari gangguan listrik dan elektromagnetik.

### **4 Syarat Kompatibilitas Elektromagnetik**

Mengacu pada Standar CISPR-22 dan CISPR-24.

### **5 Syarat Penandaan**

Setiap Perangkat Antena BWA 23 wajib ditandai dengan memuat nama pabrik dan negara pembuat, merk / tipe dan nomor seri.

Ditetapkan di : JAKARTA  
Pada tanggal : \_\_\_\_\_

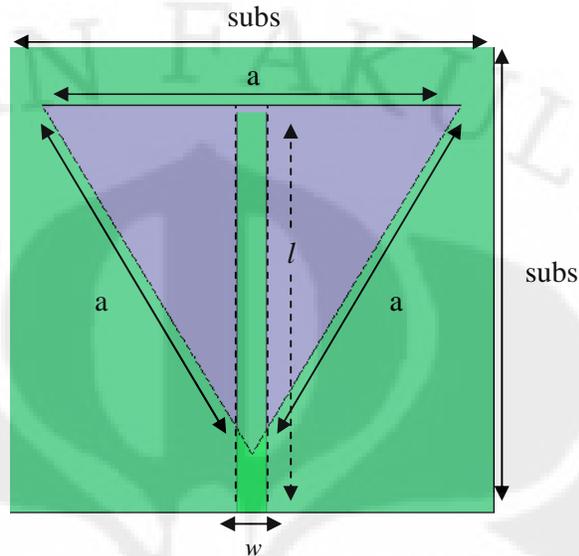
**DIREKTUR JENDERAL POS DAN TELEKOMUNIKASI**

**BASUKI YUSUF ISKANDAR**

**LAMPIRAN-B**

DATA SIMULASI

## B1. KARAKTERISTIK ANTENA ELEMEN TUNGGAL



Parameter	Ukuran (mm)
(a)	Sisi dimensi <i>slot</i> segitiga
(subs)	Ukuran dimensi substrat
(w)	Lebar Pencatu
(l)	Panjang Pencatu

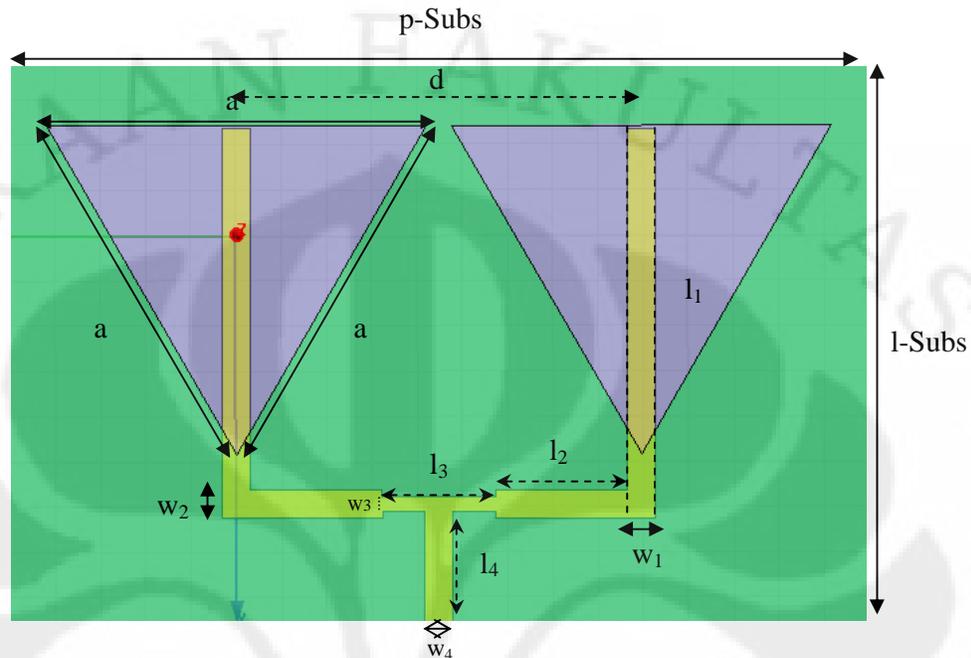
### B1.1. Rekap Hasil Karakterisasi Elemen Tunggal Dengan Perubahan Dimensi Substrat, Dimensi *Slot* dan Panjang Saluran Pencatu ( $L_f$ )

No	Dimensi Substrat (mm)	Dimensi slot (mm)	Panjang saluran pencatu (mm)	<i>Return loss</i> Minimum (dB)	VSWR minimum	Frekuensi (GHz)
1	35x35	28,43	16	-6.67	2.73	4,7
			17	-12.32	1.64	4,5
			18	-25.15	1.12	4,3
			19	-7.83	2.37	4,5
			20	-11.20	1.76	3,9
			21	-8.40	2.23	3,7
			22	-6.77	2.69	3,5
			28	-6.21	2.92	4,7
			29	-8.05	2.31	4,6
			30	-9.43	2.02	4,6
			31	-12.30	1.64	4,5
			32	-6.83	2.67	4,5

			33	-16.51	1.35	4,4
			34	-21.06	1.19	4,4
			35	-23.01	1.15	4,4
2	50x50	28,43	25	-5.68	3.16	4,4
			26	-8.54	2.19	4,4
			27	-12.57	1.62	4,4
			28	-16.97	1.33	4,4
			29	-19.73	1.23	4,5
			30	-20.16	1.22	4,6
			31	-20.67	1.20	4,7
			32	-24.69	1.12	4,7
			33	-26.94	1.09	4,8
			34	-31.91	1.05	4,8
			35	-22.56	1.16	4,9
			36	-17.83	1.29	4,9
			37	-14.20	1.48	4,9
			38	-11.34	1.74	5
			39	-9.43	2.02	5
			40	-8.44	2.22	5
			3	50x50	30	30
31	-18.37	1.27				4,36
32	-19.09	1.25				4,44
33	-23.00	1.15				4,5
34	-25.11	1.12				4,55
35	-48.13	1.01				4,62
4	50x50	35	35	-15.08	1.43	4
			36	-20.00	1.22	4,05
			37	-21.97	1.17	4,07
			38	-38.10	1.03	4,08
			39	-22.89	1.15	4,07
			40	-15.58	1.40	4,06
5	50x50	40	35	-10.83	1.81	3,5
			36	-11.26	1.75	3,5
			37	-12.49	1.62	3,6
			38	-13.88	1.51	3,6
			39	-16.35	1.36	3,6

		40	-21.46	1.18	3,6
		41	-27.82	1.08	3,6
		42	-23.53	1.14	3,6
		43	-12.17	1.65	3,6
		44	-15.36	1.41	3,6
		45	-8.92	2.12	3,5
6	45	42	-16.34	1.36	3,25
		43	-19.71	1.23	3,24
		44	-45.16	1.01	3,22
		45	-22.84	1.16	3,21
7	43,3	41	-15.73	1.39	3,37
		42	-21.41	1.19	3,37
		43	-41.40	1.02	3,35
		44	-17.93	1.29	3,33
		45	-15.43	1.41	3,31

## B2. KARAKTERISTIK ANTENA ARRAY 2 ELEMEN



Parameter	Keterangan
(a)	Sisi dimensi <i>slot</i> segitiga
(p-sub)	Ukuran dimensi panjang substrat
(l-sub)	Ukuran dimensi lebar substrat
(d)	Jarak Antar Elemen
( $w_1, w_2$ & $w_4$ )	Lebar Pencatu $50 \Omega$
( $l_1$ & $l_4$ )	Panjang Pencatu $50 \Omega$ vertical
( $l_2$ )	Panjang Pencatu $50 \Omega$ horizontal
( $w_3$ )	Lebar Pencatu $70,71 \Omega$
( $l_3$ )	Panjang Pencatu $70,71 \Omega$

### B2.1. Karakteristik *Array* 2 Elemen dengan Perubahan Jarak Antar Elemen (D) dengan Panjang Feed dan Dimensi *Slot* Tetap

Freq [GHz]	$0.5\lambda$	$0.7\lambda$	$0.9\lambda$
3	-11.26390018	-5.573861754	-14.81509455
3.05	-12.62133611	-6.922759933	-21.06879932
3.1	-14.78131367	-8.810775168	-16.68412301
3.15	-18.40558504	-11.01709439	-12.3147624
3.2	-25.02417183	-12.04562578	-9.949286457
3.25	-24.25361769	-10.63934265	-8.655951177

3.3	-17.36087356	-8.533149578	-8.004008338
3.35	-13.37914861	-6.852867964	-7.7820901
3.4	-10.8129089	-5.678863781	-7.871745445
3.45	-9.034127686	-4.886961722	-8.184885706
3.5	-7.749932048	-4.363971701	-8.61717052
3.55	-6.798064621	-4.031889306	-9.010047715
3.6	-6.079222588	-3.840772793	-9.158113821
3.65	-5.529336231	-3.759850791	-8.914850023
3.7	-5.105960432	-3.771121703	-8.315790792
3.75	-4.780679399	-3.865246863	-7.537568155
3.8	-4.534508848	-4.038983703	-6.7535487
3.85	-4.354969378	-4.293521346	-6.063803078
3.9	-4.234159019	-4.633226496	-5.505874926
3.95	-4.167449492	-5.064365926	-5.083838871
4	-4.152585741	-5.593331987	-4.788857975

**B2.2. Karakteristik Array 2 Elemen dengan Perubahan Panjang  $l_1$  dan  $l_2$   
Dengan Dimensi Slot Tetap**

Freq [GHz]	$l_1 = 44$ mm $l_2 = 12,18$ mm	$l_1 = 43$ mm $l_2 = 17$ mm	$l_1 = 41$ mm $l_2 = 22,39$ mm
3	-10.01915175	-14.11451032	-27.94710609
3.05	-11.11071126	-16.099451	-37.56248104
3.1	-12.80456024	-19.406458	-30.70405122
3.15	-15.48934137	-26.23515785	-22.955172
3.2	-20.10039773	-34.63099592	-18.35818167
3.25	-27.60695239	-21.19661275	-15.10375407
3.3	-21.46740198	-16.07793924	-12.64253493
3.35	-15.84009974	-12.98718631	-10.72623359
3.4	-12.52522934	-10.87269369	-9.211648028
3.45	-10.33212275	-9.341657605	-8.00314201
3.5	-8.786991145	-8.195365726	-7.031694652
3.55	-7.657120808	-7.316701128	-6.245753204
3.6	-6.810245076	-6.631095361	-5.606351736
3.65	-6.164782545	-6.089217491	-5.083970985
3.7	-5.668180362	-5.657775984	-4.656268721
3.75	-5.285871977	-5.314019759	-4.30636412
3.8	-4.994977236	-5.042233495	-4.021536142
3.85	-4.780411065	-4.83144267	-3.792250332
3.9	-4.632327123	-4.67390763	-3.611448913
3.95	-4.544345882	-4.564155305	-3.474052268
4	-4.512268967	-4.49838835	-3.376632574

### B2.3. Karakteristik Array 2 Elemen dengan Perubahan Dimensi Slot

Freq (GHz)	Slot 40 Feed 43mm'	Slot 41 Feed 43mm'	Slot 42 Feed 43mm'
3	-5.62	-6.67	-7.08
3.05	-5.82	-7.04	-7.76
3.1	-6.20	-7.65	-8.77
3.15	-6.80	-8.61	-10.24
3.2	-7.70	-10.04	-12.45
3.25	-9.03	-12.19	-15.96
3.3	-10.98	-15.53	-22.75
3.35	-13.89	-20.70	-35.56
3.4	-18.19	-22.27	-19.69
3.45	-21.36	-16.91	-14.65
3.5	-17.49	-13.14	-11.75
3.55	-13.63	-10.70	-9.82
3.6	-11.06	-8.74	-8.44
3.65	-9.29	-7.80	-7.42
3.7	-8.03	-6.91	-6.65
3.75	-7.12	-6.25	-6.05
3.8	-6.44	-5.75	-5.59
3.85	-5.94	-5.37	-5.22
3.9	-5.57	-5.10	-4.95
3.95	-5.30	-4.91	-4.74
4	-5.12	-4.79	-4.59

### B2.4. Karakterisasi Simulasi Array 8 Elemen

Freq [GHz]	Slot 42	Slot 43	Slot 44		
	43 mm	43 mm	43 mm	44 mm	45 mm
3	-14.70	-12.63	-11.48	-12.25	-14.42
3.01	-15.61	-12.69	-11.22	-11.89	-13.44
3.02	-16.39	-12.65	-10.96	-11.52	-12.59
3.03	-16.91	-12.52	-10.68	-11.15	-11.85
3.04	-17.07	-12.32	-10.41	-10.79	-11.23
3.05	-16.86	-12.08	-10.15	-10.46	-10.70
3.06	-16.36	-11.81	-9.91	-10.15	-10.27
3.07	-15.70	-11.53	-9.69	-9.87	-9.93
3.08	-14.98	-11.26	-9.51	-9.64	-9.65
3.09	-14.29	-11.00	-9.36	-9.44	-9.44

3.1	-13.65	-10.77	-9.24	-9.27	-9.30
3.11	-13.08	-10.58	-9.15	-9.15	-9.21
3.12	-12.58	-10.41	-9.10	-9.06	-9.17
3.13	-12.16	-10.29	-9.09	-9.01	-9.19
3.14	-11.81	-10.20	-9.11	-9.00	-9.27
3.15	-11.53	-10.15	-9.17	-9.01	-9.39
3.16	-11.31	-10.13	-9.26	-9.07	-9.57
3.17	-11.15	-10.16	-9.39	-9.16	-9.81
3.18	-11.05	-10.22	-9.56	-9.28	-10.11
3.19	-10.99	-10.32	-9.76	-9.44	-10.47
3.2	-10.99	-10.46	-10.01	-9.64	-10.90
3.21	-11.04	-10.65	-10.31	-9.87	-11.41
3.22	-11.13	-10.87	-10.65	-10.14	-12.00
3.23	-11.27	-11.14	-11.04	-10.45	-12.70
3.24	-11.45	-11.45	-11.48	-10.80	-13.50
3.25	-11.69	-11.82	-11.99	-11.20	-14.45
3.26	-11.97	-12.23	-12.56	-11.65	-15.55
3.27	-12.30	-12.70	-13.20	-12.14	-16.86
3.28	-12.68	-13.23	-13.92	-12.69	-18.44
3.29	-13.12	-13.82	-14.73	-13.29	-20.39
3.3	-13.62	-14.49	-15.63	-13.94	-22.87
3.31	-14.17	-15.23	-16.63	-14.66	-26.12
3.32	-14.80	-16.05	-17.75	-15.43	-30.12
3.33	-15.50	-16.98	-18.96	-16.26	-31.46
3.34	-16.28	-18.00	-20.24	-17.14	-27.98
3.35	-17.16	-19.14	-21.51	-18.05	-24.57
3.36	-18.14	-20.41	-22.58	-18.97	-22.02
3.37	-19.24	-21.80	-23.21	-19.85	-20.09
3.38	-20.50	-23.27	-23.21	-20.63	-18.58
3.39	-21.95	-24.74	-22.64	-21.23	-17.37
3.4	-23.66	-25.98	-21.73	-21.58	-16.38
3.41	-25.71	-26.65	-20.72	-21.65	-15.57
3.42	-28.31	-26.54	-19.73	-21.48	-14.91
3.43	-31.86	-25.79	-18.83	-21.12	-14.36
3.44	-37.62	-24.72	-18.01	-20.64	-13.90
3.45	-53.91	-23.61	-17.29	-20.11	-13.54
3.46	-39.61	-22.55	-16.65	-19.56	-13.24

3.47	-33.38	-21.58	-16.09	-19.02	-13.01
3.48	-29.87	-20.71	-15.59	-18.50	-12.83
3.49	-27.43	-19.92	-15.14	-18.00	-12.70
3.5	-25.56	-19.21	-14.72	-17.51	-12.61
3.51	-24.02	-18.54	-14.35	-17.04	-12.55
3.52	-22.71	-17.92	-13.99	-16.58	-12.51
3.53	-21.55	-17.32	-13.66	-16.12	-12.48
3.54	-20.50	-16.75	-13.33	-15.66	-12.46
3.55	-19.53	-16.19	-13.02	-15.20	-12.44
3.56	-18.63	-15.65	-12.70	-14.74	-12.40
3.57	-17.79	-15.11	-12.39	-14.27	-12.34
3.58	-16.98	-14.58	-12.07	-13.80	-12.25
3.59	-16.22	-14.06	-11.75	-13.34	-12.13
3.6	-15.49	-13.54	-11.43	-12.88	-11.97
3.61	-14.81	-13.04	-11.12	-12.42	-11.77
3.62	-14.15	-12.56	-10.80	-11.98	-11.53
3.63	-13.54	-12.09	-10.48	-11.55	-11.27
3.64	-12.95	-11.64	-10.17	-11.13	-10.98
3.65	-12.41	-11.21	-9.87	-10.73	-10.68
3.66	-11.89	-10.80	-9.58	-10.35	-10.37
3.67	-11.41	-10.41	-9.30	-9.99	-10.06
3.68	-10.96	-10.04	-9.03	-9.66	-9.75
3.69	-10.55	-9.70	-8.77	-9.34	-9.46
3.7	-10.16	-9.38	-8.53	-9.04	-9.18
3.71	-9.81	-9.09	-8.31	-8.77	-8.91
3.72	-9.48	-8.82	-8.10	-8.52	-8.67
3.73	-9.19	-8.57	-7.91	-8.29	-8.45
3.74	-8.92	-8.34	-7.73	-8.08	-8.25
3.75	-8.68	-8.14	-7.58	-7.90	-8.07
3.76	-8.46	-7.95	-7.44	-7.73	-7.92
3.77	-8.27	-7.79	-7.31	-7.58	-7.79
3.78	-8.10	-7.64	-7.20	-7.45	-7.69
3.79	-7.95	-7.52	-7.11	-7.34	-7.61
3.8	-7.83	-7.41	-7.04	-7.25	-7.56
3.81	-7.72	-7.33	-6.98	-7.17	-7.54
3.82	-7.64	-7.26	-6.94	-7.11	-7.54
3.83	-7.58	-7.21	-6.91	-7.07	-7.57
3.84	-7.54	-7.17	-6.91	-7.04	-7.62

3.85	-7.52	-7.16	-6.92	-7.04	-7.71
3.86	-7.52	-7.16	-6.95	-7.05	-7.83
3.87	-7.54	-7.18	-7.00	-7.07	-7.99
3.88	-7.58	-7.22	-7.06	-7.12	-8.18
3.89	-7.65	-7.28	-7.15	-7.18	-8.42
3.9	-7.74	-7.36	-7.26	-7.27	-8.70
3.91	-7.85	-7.47	-7.40	-7.37	-9.04
3.92	-7.99	-7.59	-7.56	-7.50	-9.43
3.93	-8.16	-7.74	-7.75	-7.65	-9.88
3.94	-8.36	-7.92	-7.97	-7.83	-10.40
3.95	-8.59	-8.12	-8.22	-8.03	-11.00
3.96	-8.86	-8.36	-8.51	-8.27	-11.67
3.97	-9.17	-8.63	-8.85	-8.54	-12.42
3.98	-9.53	-8.94	-9.23	-8.84	-13.24
3.99	-9.93	-9.30	-9.67	-9.20	-14.09
4	-10.39	-9.70	-10.16	-9.60	-14.92

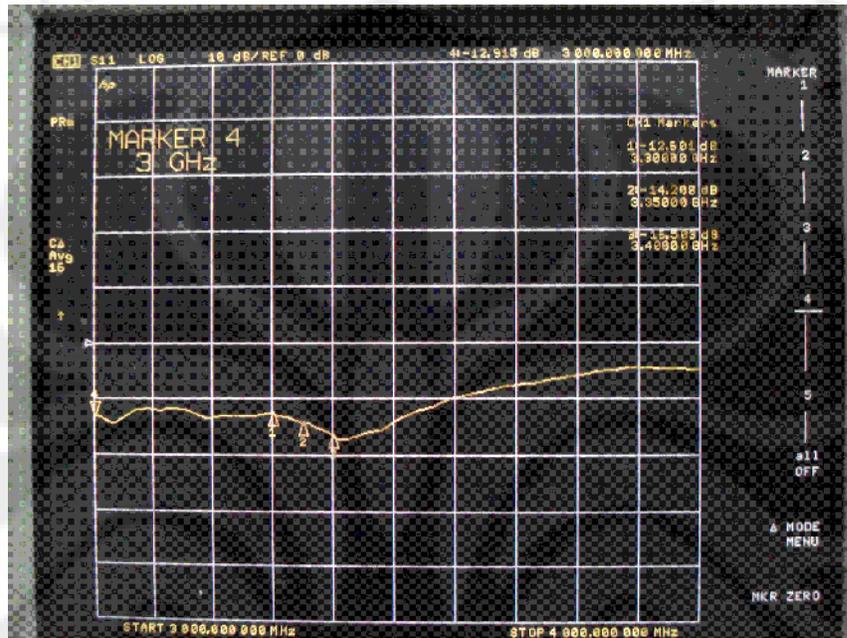


**LAMPIRAN-C**  
**DATA HASIL PENGUKURAN**

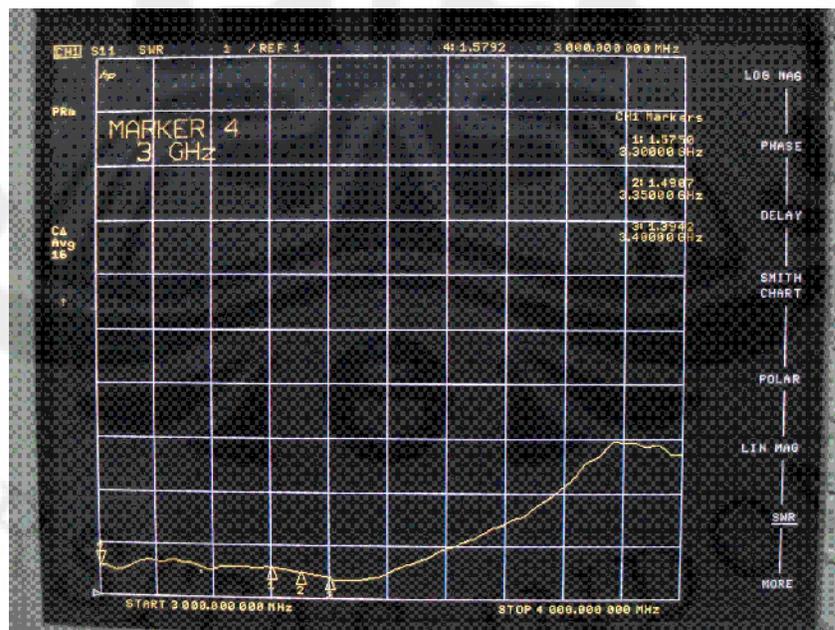
## C1. HASIL PENGUKURAN *PORT* TUNGGAL

### C1.1. ANTENA ELEMEN TUNGGAL

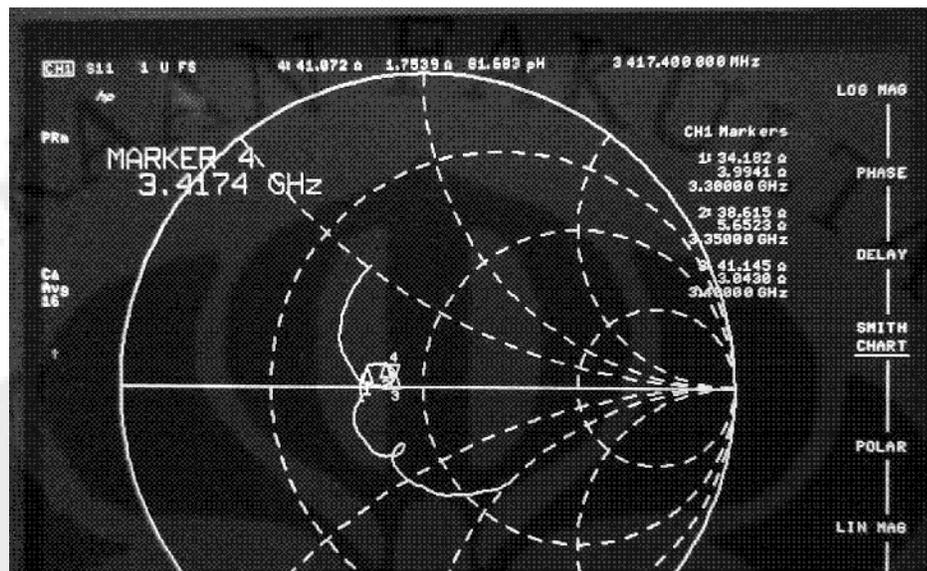
Tampilan *return loss* antenna elemen tunggal pada Network Analyzer :



Tampilan VSWR antenna elemen tunggal pada Network Analyzer :

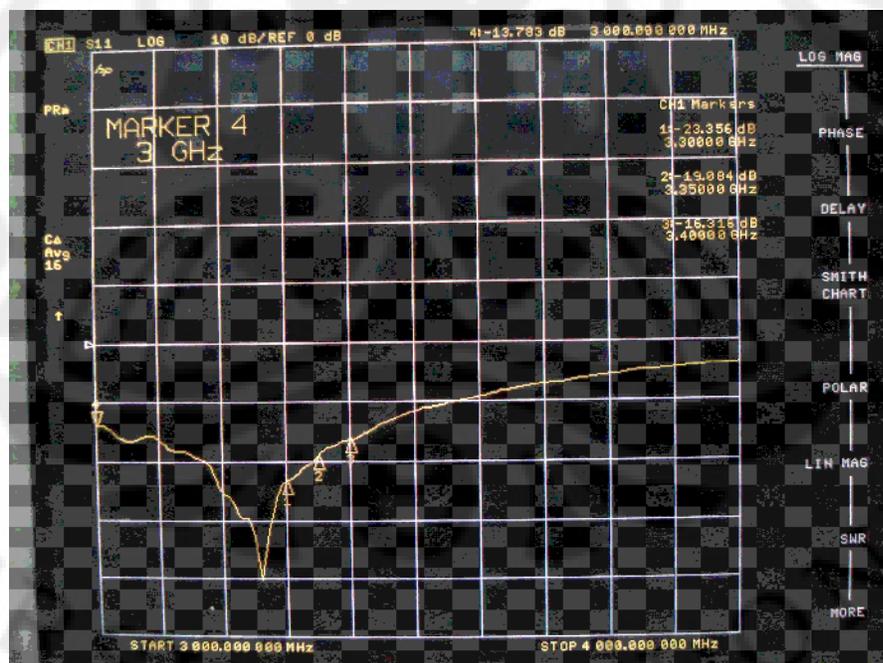


Tampilan impedansi masukan antenna elemen tunggal pada Network Analyzer :

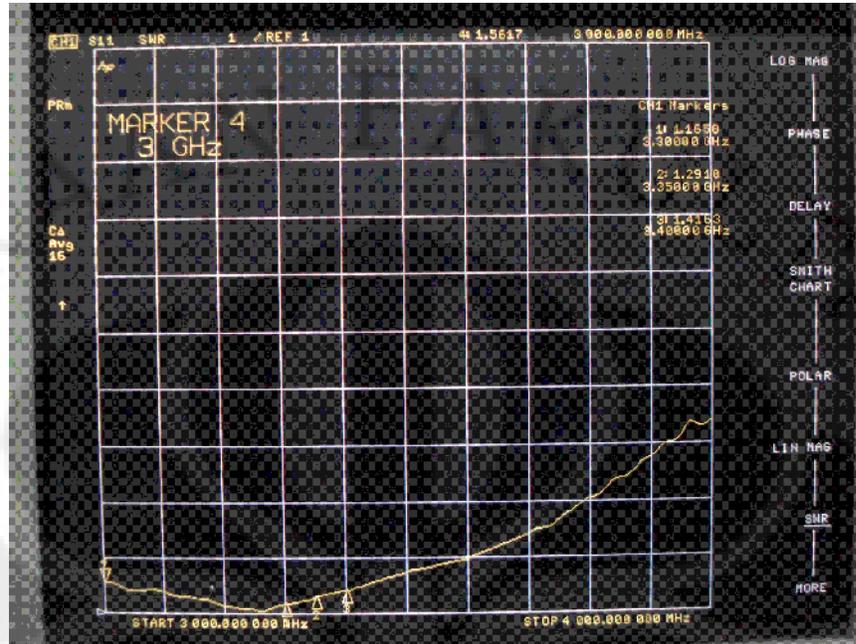


### C1.2. ANTENA ARRAY 2 ELEMEN

Tampilan *return loss* antenna *array* 2 elemen pada Network Analyzer :



Tampilan VSWR antenna *array* 2 elemen pada Network Analyzer :

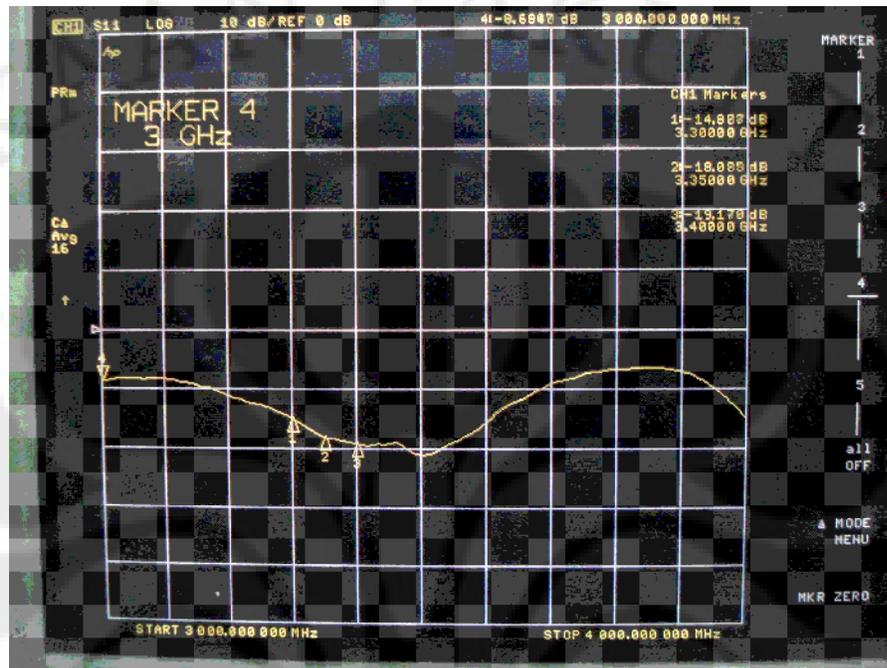


Tampilan impedansi masukan antenna *array* 2 elemen pada Network Analyzer :

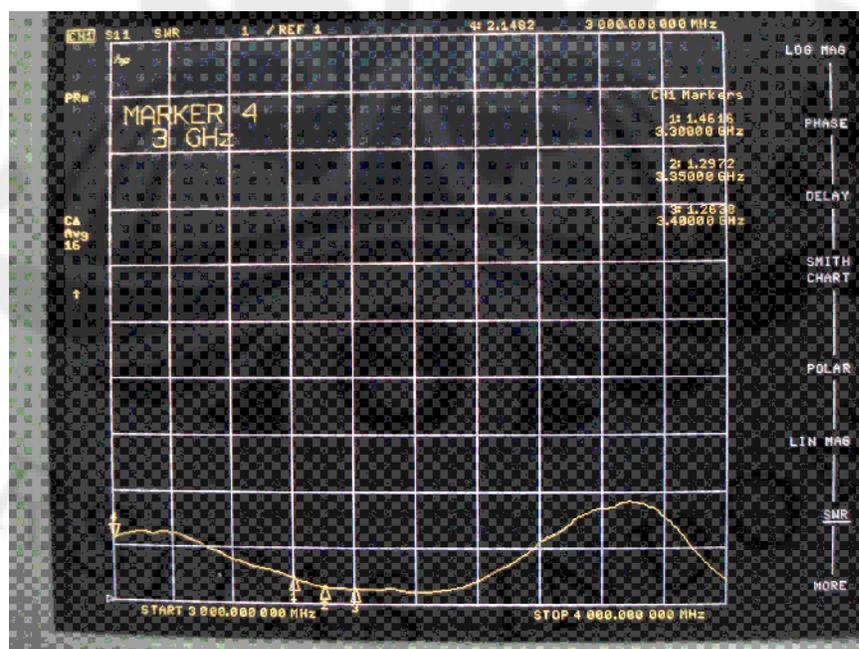


### C1.3. ANTENA ARRAY 8 ELEMEN

Tampilan *return loss* antenna array 8 elemen pada Network Analyzer :



Tampilan VSWR antenna array 8 elemen pada Network Analyzer :



Tampilan impedansi masukan antenna *array* 8 elemen pada Network Analyzer :



## C2. HASIL PENGUKURAN POLA RADIASI 8 Elemen

Intensitas Daya Relatif Antena *array* 8 Elemen Untuk Bidang E-Co & E-Cross

Sudut (°)	E-Co	
	Data (dB)	Normalisasi
0	-47.0245	-0.669
10	-62.582	-16.2265
20	-60.8465	-14.491
30	-73.214	-26.8585
40	-60.1165	-13.761
50	-60.42	-14.0645
60	-65.108	-18.7525
70	-60.5465	-14.191
80	-59.224	-12.8685
90	-62.179	-15.8235
100	-61.7295	-15.374
110	-58.6215	-12.266
120	-63.2625	-16.907
130	-65.6615	-19.306
140	-60.4585	-14.103
150	-74.963	-28.6075
160	-63.8955	-17.54
170	-59.0605	-12.705
180	-46.3555	0
190	-53.7905	-7.435
200	-58.953	-12.5975
210	-61.153	-14.7975
220	-58.553	-12.1975
230	-75.2605	-28.905
240	-60.0175	-13.662
250	-62.546	-16.1905
260	-65.537	-19.1815
270	-66.711	-20.3555
280	-63.414	-17.0585
290	-62.1665	-15.811
300	-75.2115	-28.856
310	-65.81	-19.4545
320	-58.8395	-12.484
330	-67.789	-21.4335
340	-62.3325	-15.977
350	-54.136	-7.7805
<b>NILAI MAKSIMUM</b>	<b>SUDUT 180</b>	<b>-46.3555</b>
<b>NILAI MINIMUM</b>	<b>SUDUT 230</b>	<b>-75.2605</b>

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

Intensitas Daya Relatif Antena *array* 8 Elemen Untuk **Bidang E-Co & E-Cross**

Sudut (°)	E-Cross	
	Data (dB)	Normalisasi
0	-58.278	-3.704
10	-61.011	-5.6405
20	-68.219	-13.645
30	-64.868	-10.294
40	-57.5845	-3.0105
50	-57.348	-2.774
60	-59.1805	-4.6065
70	-57.9525	-3.3785
80	-61.255	-6.681
90	-81.123	-26.549
100	-64.65	-10.076
110	-55.9685	-1.3945
120	-55.3705	-0.7965
130	-57.7095	-3.1355
140	-57.006	-2.432
150	-58.466	-3.892
160	-65.2765	-10.7025
170	-61.233	-6.659
180	-54.574	0
190	-72.8065	-18.2325
200	-62.8745	-8.3005
210	-60.64	-6.066
220	-61.7145	-5.44
230	-61.335	-5.67
240	-67.3755	-12.8015
250	-65.5125	-10.9385
260	-80.63	-26.056
270	-74.125	-19.551
280	-68.1705	-13.5965
290	-64.801	-10.227
300	-60.611	-5.286
310	-61.9235	-5.9725
320	-61.4295	-6.3325
330	-61.052	-5.2975
340	-60.8325	-5.652
350	-60.3585	-5.453
<b>NILAI MAKSIMUM</b>	<b>SUDUT 180</b>	<b>-54.574</b>
<b>NILAI MINIMUM</b>	<b>SUDUT 90</b>	<b>-81.123</b>

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

Intensitas Daya Relatif Antena Array 8 Elemen Untuk **Bidang H-Co & H-Cross**

Sudut (°)	H-Co	
	Data (dB)	Normalisasi
0	-38.3405	-6.911
10	-37.148	-5.7185
20	-35.4595	-4.03
30	-34.9315	-3.502
40	-35.0835	-3.654
50	-34.673	-3.2435
60	-34.682	-3.2525
70	-35.653	-4.2235
80	-37.182	-5.7525
90	-44.669	-13.2395
100	-50.3895	-18.96
110	-43.77	-12.3405
120	-38.033	-6.6035
130	-36.649	-5.2195
140	-33.79	-2.3605
150	-34.093	-2.6635
160	-35.486	-4.0565
170	-38.231	-6.8015
180	-39.5375	-8.108
190	-38.964	-7.5345
200	-34.0815	-2.652
210	-31.4295	0
220	-31.591	-0.1615
230	-33.1605	-1.731
240	-35.891	-4.4615
250	-39.6145	-8.185
260	-41.647	-10.2175
270	-48.365	-16.9355
280	-52.0275	-20.598
290	-43.3355	-11.906
300	-39.7105	-8.281
310	-37.853	-6.4235
320	-37.2815	-5.852
330	-37.695	-6.2655
340	-36.667	-5.2375
350	-36.2955	-4.866
<b>NILAI MAKSIMUM</b>	<b>SUDUT 210</b>	<b>-31.4295</b>
<b>NILAI MINIMUM</b>	<b>SUDUT 280</b>	<b>-52.0275</b>

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

Intensitas Daya Relatif Antena Array 8 Elemen Untuk **Bidang H-Co & H-Cross**

Sudut (°)	H-Cross	
	Data (dB)	Normalisasi
0	-51.6485	-5.306
10	-53.5655	-7.223
20	-55.8015	-9.459
30	-57.4365	-11.094
40	-55.8865	-9.544
50	-52.887	-6.5445
60	-56.0815	-9.739
70	-56.7245	-10.382
80	-58.4775	-12.135
90	-48.1195	-1.777
100	-46.3425	0
110	-49.6225	-3.28
120	-55.5005	-9.158
130	-50.3015	-3.959
140	-53.063	-6.7205
150	-52.125	-5.7825
160	-51.512	-5.1695
170	-54.9555	-8.613
180	-55.78	-9.4375
190	-53.416	-7.0735
200	-60.3235	-13.981
210	-63.427	-17.0845
220	-65.1145	-18.772
230	-56.834	-10.4915
240	-53.3945	-7.052
250	-53.2325	-6.89
260	-52.901	-6.5585
270	-53.3965	-7.054
280	-53.9275	-7.585
290	-53.7085	-7.366
300	-53.8715	-7.529
310	-54.063	-7.7205
320	-52.106	-5.7635
330	-49.169	-2.8265
340	-48.681	-2.3385
350	-50.7305	-4.388
<b>NILAI MAKSIMUM</b>	<b>SUDUT 100</b>	<b>-46.4325</b>
<b>NILAI MINIMUM</b>	<b>SUDUT 220</b>	<b>-65.1145</b>

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

### C3. DATA HASIL PENGUKURAN *GAIN*

Metode yang digunakan dalam pengukuran *gain* pada penelitian ini menggunakan metode kombinasi *gain* 3 antena. Antena-antena yang digunakan adalah sebagai berikut.:

$G_1$  = *Gain* antena mikrostrip *array* 8 elemen

$G_2$  = *Gain* antena mikrostrip *array* 2 elemen

$G_3$  = *Gain* antena Dipole

#### Data Pengukuran dengan kombinasi 1 – 2

KOMBINASI 1-2							
Frekuensi (GHz)	$\lambda$ (cm)	R (cm)	Daya Pemancar (mW)	Daya penerima ( $\mu$ W)			G1+G2 (dB)
				1	2	Rata-rata	
3.3	9.091	300	0.739	0.132	0.131	0.1315	14.857
3.31	9.063	300	0.739	0.143	0.146	0.1445	15.293
3.32	9.036	300	0.739	0.154	0.156	0.155	15.624
3.33	9.009	300	0.739	0.162	0.163	0.1625	15.855
3.34	8.982	300	0.739	0.176	0.177	0.1765	16.240
3.35	8.955	300	0.739	0.179	0.183	0.181	16.375
3.36	8.929	300	0.739	0.174	0.176	0.175	16.255
3.37	8.902	300	0.739	0.163	0.165	0.164	15.999
3.38	8.876	300	0.739	0.158	0.157	0.1575	15.849
3.39	8.850	300	0.739	0.144	0.147	0.1455	15.530
3.4	8.824	300	0.739	0.13	0.131	0.1305	15.083

#### Data Pengukuran dengan kombinasi 2 – 3

KOMBINASI 2-3							
Frekuensi (GHz)	$\lambda$ (cm)	R (cm)	Daya Pemancar (mW)	Daya penerima ( $\mu$ W)			G2+G3 (dB)
				1	2	Rata-rata	
3.3	9.091	37	0.739	0.236	0.238	0.237	-0.763
3.31	9.063	37	0.739	0.259	0.262	0.2605	-0.326
3.32	9.036	37	0.739	0.241	0.242	0.2415	-0.629
3.33	9.009	37	0.739	0.198	0.2	0.199	-1.443
3.34	8.982	37	0.739	0.163	0.164	0.1635	-2.271
3.35	8.955	37	0.739	0.152	0.151	0.1515	-2.576
3.36	8.929	37	0.739	0.149	0.15	0.1495	-2.607
3.37	8.902	37	0.739	0.139	0.138	0.1385	-2.914
3.38	8.876	37	0.739	0.0781	0.0785	0.0783	-5.365
3.39	8.850	37	0.739	0.0691	0.0627	0.0659	-6.088
3.4	8.824	37	0.739	0.0636	0.0547	0.05915	-6.532

### Data Pengukuran dengan kombinasi 1– 3

KOMBINASI 1-3							
Frekuensi (GHz)	$\lambda$ (cm)	R (cm)	Daya Pemancar (mW)	Daya penerima ( $\mu$ W)			G1+G3 (dB)
				1	2	Rata-rata	
3.3	9.091	300	0.739	0.0731	0.0729	0.073	12.301
3.31	9.063	300	0.739	0.0746	0.0752	0.0749	12.439
3.32	9.036	300	0.739	0.0749	0.0753	0.0751	12.477
3.33	9.009	300	0.739	0.0751	0.0755	0.0753	12.515
3.34	8.982	300	0.739	0.0766	0.0765	0.07655	12.612
3.35	8.955	300	0.739	0.0736	0.0738	0.0737	12.473
3.36	8.929	300	0.739	0.0661	0.0659	0.066	12.020
3.37	8.902	300	0.739	0.0585	0.0586	0.05855	11.526
3.38	8.876	300	0.739	0.0538	0.054	0.0539	11.192
3.39	8.850	300	0.739	0.0506	0.0509	0.05075	10.956
3.4	8.824	300	0.739	0.0498	0.0496	0.0497	10.891

### Perolehan *Gain* dari data pengukuran dengan kombinasi 1-2, 2-3, dan 1-3

Frekuensi (GHz)	Gain (dBi)		
	8 Elemen	2 Elemen	Dipole
3.3	16.11	3.05	0.49
3.31	16.18	3.41	0.56
3.32	16.51	3.41	0.26
3.33	17.06	3.10	-0.24
3.34	17.71	2.83	-0.80
3.35	17.86	2.81	-1.09
3.36	17.59	2.96	-1.27
3.37	17.37	2.93	-1.54
3.38	18.35	1.80	-2.86
3.39	18.44	1.39	-3.18
3.4	18.40	0.98	-3.21

#### C4. DATA HASIL PENGUKURAN AXIAL RATIO

Pengukuran *axial ratio* dilakukan dengan *network analyzer*. Antena pengirim dihubungkan ke port 1 dan antena penerima ke port 2 dengan format pengukuran  $S_{21}$ . Pengukuran *axial ratio* dilakukan dengan cara mengukur daya pada bidang E dan daya pada bidang H. Jenis polarisasinya dapat dilihat dari nilai *axial ratio* yang diperoleh dari selisih daya pada bidang E dan bidang H .

Freq (GHz)	Medan E (dB)	Medan H (dB)	Axial Ratio Pengukuran (dB)
3.2	-58.864	-42.297	16.567
3.21	-59.475	-41.717	17.758
3.22	-60.136	-42.094	18.042
3.23	-61.211	-42.951	18.26
3.24	-61.903	-44.292	17.611
3.25	-62.44	-42.912	19.528
3.26	-62.665	-42.837	19.828
3.27	-63.411	-42.735	20.676
3.28	-64.437	-42.139	22.298
3.29	-66.237	-41.973	24.264
3.3	-67.516	-42.484	25.032
3.31	-67.394	-43.141	24.253
3.32	-67.824	-43.381	24.443
3.33	-68.162	-41.873	26.289
3.34	-67.352	-40.909	26.443
3.35	-65.267	-41.136	24.131
3.36	-63.278	-40.926	22.352
3.37	-61.353	-39.965	21.388
3.38	-59.546	-38.555	20.991
3.39	-58.383	-38.287	20.096
3.4	-57.046	-37.749	19.297
3.41	-55.973	-37.284	18.689
3.42	-55.164	-36.971	18.193
3.43	-53.797	-37.396	16.401
3.44	-53.817	-37.182	16.635
3.45	-53.172	-37.913	15.259
3.46	-52.776	-37.677	15.099
3.47	-52.717	-37.775	14.942
3.48	-52.795	-37.284	15.511
3.49	-52.812	-36.946	15.866
3.5	-52.759	-36.688	16.071