



UNIVERSITAS INDONESIA

**RANCANG BANGUN ANTENA MIKROSTRIP
RECTANGULAR ARRAY 8 ELEMEN DENGAN PENCATUAN
ELECTROMAGNETICALLY COUPLED UNTUK APLIKASI
WIMAX**

SKRIPSI

ANDHIKA BAYU WIJAYA

04 05 03 0095

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



UNIVERSITAS INDONESIA

**RANCANG BANGUN ANTENA MIKROSTRIP
RECTANGULAR ARRAY 8 ELEMEN DENGAN PENCATUAN
ELECTROMAGNETICALLY COUPLED UNTUK APLIKASI
WIMAX**

SKRIPSI

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

ANDHIKA BAYU WIJAYA

04 05 03 0095

**DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA
JUNI, 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 : Andhika Bayu Wijaya

NPM : 0405030095

Tanda Tangan :

Tanggal : 16 Juni 2009



HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Andhika Bayu Wijaya
NPM : 0405030095
Program Studi : Teknik Elektro
Judul Skripsi : Rancang Bangun Antena Mikrostrip *Rectangular Array* 8 Elemen Dengan Pencatuan *Electromagnetically Coupled* Untuk Aplikasi 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 1 : Prof. Ir. Eko Tjipto Rahardjo, M.Sc, PhD. ()
Pembimbing 2 : Dr. Fitri Yuli Zulkifli, ST, M.Sc. ()
Penguji : Dr. Ir. Muhammad Asvial, M.Eng ()

Ditetapkan di : Depok
Tanggal : 25 Juni 2009

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT, karena atas berkata dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi tugas mata kuliah Skripsi di Departemen Teknik Elektro pada 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. Prof. Ir. Eko Tjipto Rahardjo, Msc, PhD, selaku dosen pembimbing pertama dan Dr. Ir. Fitri Yuli Zulkifi, M.Sc, selaku dosen pembimbing kedua yang telah bersedia meluangkan waktu untuk memberi pengarahan, diskusi, bimbingan, dan tempat untuk eksperimen serta menyetujui sebagai bagian dari penelitian pada *Antenna and Microwave Research Group (AMRG)* sehingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik
2. Rekan-rekan AMRG yang selalu mendorong untuk kemajuan riset.
3. Orang tua dan keluarga yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral
4. Sahabat yang telah banyak membantu saya dalam menyelesaikan skripsi ini

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

Depok, 16 Juni 2009

Penulis

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

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

Nama : Andhika Bayu Wijaya
NPM : 0405030095
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 *RECTANGULAR ARRAY* 8
ELEMEN DENGAN PENCATUAN *ELECTROMAGNETICALLY COUPLED*
UNTUK APLIKASI 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 : 16 Juni 2009
Yang menyatakan

(Andhika Bayu Wijaya)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR/UCAPAN TERIMA KASIH.....	iv
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH.....	v
ABSTRAK.....	vi
ABSTRACT.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL.....	xii
1. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan Penulisan.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Sistematika Penulisan.....	3
2. ANTENA MIKROSTRIP.....	4
2.1 Struktur Antena Mikrostrip.....	4
2.2 Mekanisme Radiasi Antena Mikrostrip.....	5
2.3 Model <i>Cavity</i>	7
2.4 Teknik Pencatuan.....	8
2.5 <i>Impedance Matching</i>	10
2.6 Parameter Umum Antena Mikrostrip.....	11
2.6.1 Impedansi Masukan.....	11
2.6.2 VSWR.....	12
2.6.3 <i>Return loss</i>	13
2.6.4 Polarisasi.....	13
2.6.5 <i>Bandwidth</i>	15
2.6.6 Keterarahan (<i>Directivity</i>).....	16
2.6.7 Penguatan (<i>Gain</i>).....	17
2.6.8 Pola radiasi.....	18
2.7 Antena Mikrostrip <i>Patch</i> Persegipanjang.....	19
2.8 Antena Mikrostrip <i>Array</i>	20
2.9 <i>Power Divider</i>	22
2.10 <i>T-Junction</i>	22
3. PERANCANGAN ANTENA DAN SIMULASI.....	23
3.1 Umum.....	23
3.2 Perlengkapan Yang Digunakan.....	23
3.3 Jenis Substrat Yang Digunakan.....	23
3.4 Perancangan <i>Patch</i> Segiempat Elemen Tunggal.....	24
3.4.1 Diagram Alir Perancangan Elemen Tunggal.....	24

3.4.2 Menentukan Karakteristik Antena.....	25
3.4.3 Perancangan dimensi <i>Patch</i> Segiempat Elemen Tunggal...	25
3.4.4 Perancangan Lebar Pencatu.....	25
3.4.5 Mensimulasikan Rancangan.....	26
3.4.6 Karakterisasi Antena Elemen Tunggal.....	27
3.4.7 Hasil Simulasi Elemen Tunggal.....	30
3.5 Perancangan <i>Array Patch</i> Segiempat 2 Elemen.....	33
3.5.1 Pengaturan Jarak Antarelemen.....	33
3.5.2 Perancangan <i>T-Junction</i>	33
3.5.3 Perancangan Lebar saluran Pencatu.....	33
3.5.4 Desain antena <i>Array</i> 2 Elemen.....	34
3.5.5 Karakterisasi Antena 2 Elemen.....	35
3.5.6 Hasil Simulasi Antena 2 Elemen.....	36
3.6 Perancangan <i>Array Patch</i> Segiempat 8 Elemen.....	38
3.6.1 Desain <i>Array Patch</i> 8 Elemen.....	38
3.6.2 Karakterisasi Antena <i>Array</i> 8 Elemen.....	39
3.6.3 Hasil Simulasi <i>Array Patch</i> 8 elemen.....	40
3.7 Prosedur Pengukuran Antena.....	42
3.7.1 Pengukuran Port Tunggal.....	42
3.7.2 Pengukuran Pola Radiasi.....	42
3.7.3 Pengukuran <i>Gain</i> Absolut.....	44
4. HASIL PENGUKURAN DAN ANALISA HASIL PENGUKURAN.	47
4.1 Hasil Pengukuran Parameter Antena.....	47
4.1.1 Pengukuran port Tunggal.....	47
4.1.1.1. Hasil Pengukuran <i>Port</i> Tunggal Antena Elemen Tunggal.....	47
4.1.1.2. Hasil Pengukuran <i>Port</i> Tunggal Antena <i>array</i> 2 Elemen.....	50
4.1.1.3. Hasil Pengukuran <i>Port</i> Tunggal Antena <i>array</i> 8 Elemen.....	52
4.1.2 Pengukuran Pola Radiasi.....	54
4.1.3 pengukuran <i>Gain</i>	57
4.2 Analisis Hasil Pengukuran.....	59
4.2.1 Analisis Hasil Pengukuran port Tungga.....	59
4.2.1.1 Antena Elemen Tunggal.....	59
4.2.1.2 Antena <i>Array</i> 2 Elemen.....	62
4.2.1.3 Antena <i>Array</i> 8 Elemen.....	63
4.2.2 Analisis Hasil Pengukuran <i>Gain</i>	64
4.2.2 Analisis Kesalahan Umum.....	65
5. KESIMPULAN.....	67
DAFTAR ACUAN.....	68
DAFTAR PUSTAKA.....	70
LAMPIRAN-A PERATURAN DIRJEND POSTEL INDONESIA TENTANG PERSYARATAN TEKNIS ALAT DAN PERANGKAT TELEKOMUNIKASI ANTENA BWA	71
LAMPIRAN-B DATA HASIL SIMULASI	78

LAMPIRAN-C DATA HASIL PENGUKURAN 90



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Antena Mikrostrip.....	4
Gambar 2.2. Distribusi muatan dan kerapatan arus [6].....	6
Gambar 2.3. Pencatuan <i>Electromagnetically coupled</i> [9].....	10
Gambar 2.4 Pemberian transformator $\lambda/4$ untuk memperoleh <i>matching impedance</i>	11
Gambar 2.5. Polarisasi Linier[4].....	14
Gambar 2.6. Polarisasi melingkar[4].....	14
Gambar 2.7. Polarisasi elips[4].....	15
Gambar 2.8. Rentang frekuensi yang menjadi <i>bandwidth</i>	20
Gambar 2.9. Pola radiasi <i>directional</i> [5].....	21
Gambar 2.10. Antena <i>array</i> [8].....	22
Gambar 2.11. <i>N-way Wilkinson combiner</i>	22
Gambar 2.12 <i>T-junction</i> 50 ohm.....	22
Gambar 3.1. Diagram alir perancangan antena patch elemen tunggal.....	24
Gambar 3.2. Tampilan program <i>TXLINE</i> untuk mencari lebar catu agar memiliki impedansi 50.....	26
Gambar 3.3. <i>Return loss</i> simulasi awal elemen tunggal.....	27
Gambar 3.4. Grafik <i>return loss</i> pada iterasi <i>feed</i> elemen tunggal.....	28
Gambar 3.5. Grafik <i>return loss</i> pada iterasi <i>patch</i> elemen tunggal.....	29
Gambar 3.6. Geometri hasil perancangan antena elemen tunggal.....	30
Gambar 3.7. Hasil simulasi <i>return loss</i> elemen tunggal.....	31
Gambar 3.8. Hasil simulasi VSWR elemen tunggal.....	31
Gambar 3.9. Hasil simulasi pola radiasi elemen tunggal.....	32
Gambar 3.10 Perancangan <i>T-junction</i> impedansi 70,711 Ω	33
Gambar 3.11. Tampilan program <i>TXLINE</i> untuk mencari lebar catu agar mempunyai impedansi 70,711 Ω	34
Gambar 3.12. Desain antena 2 elemen tampak atas.....	35
Gambar 3.13. Desain <i>feeding</i> antena 2 elemen.....	36
Gambar 3.14. Grafik <i>return loss</i> pada iterasi <i>patch array</i> 2 elemen.....	36
Gambar 3.15. Hasil simulasi <i>return loss</i> 2 elemen.....	37
Gambar 3.16. Hasil simulasi VSWR 2 elemen.....	38
Gambar 3.17. Hasil simulasi pola radiasi 2 elemen.....	39
Gambar 3.18. Rancangan pertama antena <i>array</i> 8 elemen.....	40
Gambar 3.19 Grafik <i>return loss</i> hasil optimasi panjang <i>patch</i> dan panjang saluran pencatu antena <i>array</i> 8 elemen.....	40
Gambar 3.20. Hasil simulasi antena <i>array</i> 8 elemen.....	41
Gambar 3.21. Konfigurasi pengukuran port tunggal.....	43
Gambar 3.22. Rangkaian peralatan pada pengukuran pola radiasi.....	44
Gambar 3.23. Rangkaian peralatan pada pengukuran <i>gain</i>	46
Gambar 4.1. Grafik <i>return loss</i> hasil pengukuran antena elemen tunggal.....	48
Gambar 4.2. Grafik VSWR hasil pengukuran antena elemen tunggal.....	48
Gambar 4.3. Grafik <i>smithchart</i> hasil pengukuran antena elemen tunggal.....	49
Gambar 4.4. Grafik <i>return loss</i> hasil pengukuran antena <i>array</i> 2 elemen.....	50
Gambar 4.5. Grafik VSWR hasil pengukuiran antena <i>array</i> 2 elemenl.....	50

Gambar 4.6. Grafik <i>smithchart</i> hasil pengukuran antena <i>array</i> 2 elemen.....	51
Gambar 4.7. Grafik <i>return loss</i> hasil pengukuran antena <i>array</i> 8 elemen.....	52
Gambar 4.8. Grafik <i>VSWR</i> hasil pengukuran antena <i>array</i> 8 elemen.. ..	52
Gambar 4.9. Grafik <i>smithchart</i> hasil pengukuran antena <i>array</i> 8 elemen.....	53
Gambar 4.10 Hasil pengukuran medan E dan medan H antena 8 elemen pada frekuensi 3,48 GHz.....	55
Gambar 4.11 Hasil pengukuran E-Co dan E-Cross antena 8 elemen pada frekuensi 3,48 GHz.....	56
Gambar 4.12 Hasil pengukuran H-Co dan H-Cross antena 8 elemen pada frekuensi 3,48 GHz.....	56
Gambar 4.13 Perbandingan <i>return loss</i> hasil simulasi dengan hasil pengukuran antena elemen tunggal.....	59
Gambar 4.14 Perbandingan <i>VSWR</i> hasil simulasi dengan hasil pengukuran antena elemen tunggal.....	60
Gambar 4.15 Perbandingan <i>return loss</i> hasil simulasi dengan hasil pengukuran antena <i>array</i> 2 elemen.....	61
Gambar 4.16 Perbandingan <i>VSWR</i> hasil simulasi dengan hasil pengukuran antena 2 elemen.....	62
Gambar 4.17 Perbandingan <i>return loss</i> hasil simulasi dengan hasil pengukuran antena 8 elemen.....	63
Gambar 4.18 Perbandingan <i>VSWR</i> hasil simulasi dengan hasil pengukuran antena 8 elemen.....	63
Gambar 4.19 Grafik <i>gain</i> antena 8 elemen.....	64



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1.	Perbandingan beberapa teknik pencatuan [8].....	17
Tabel 3.1.	Spesifikasi substrat yang digunakan.....	24
Tabel 3.2	Karakteristik saluran catu.....	35
Tabel 4.1	Hasil pengukuran port tunggal.....	54
Tabel 4.2	<i>Gain</i> Antena <i>array</i> 8 elemen Konfigurasi-1.....	58
Tabel 4.3	Perbandingan hasil simulasi dengan pengukuran antena elemen tunggal.....	61
Tabel 4.4	Perbandingan hasil simulasi dengan pengukuran antena 2 elemen..	62
Tabel 4.5	Perbandingan hasil simulasi dengan pengukuran antena 8 elemen...	64



ABSTRAK

Nama : Andhika Bayu Wijaya
Program Studi : Teknik Elektro
Judul : Rancang Bangun Antena Mikrostrip *Rectangular Array* 8 Elemen Untuk Aplikasi WiMAX
Pembimbing I : Prof.Ir. Eko Tjipto Rahardjo, Msc, PhD
Pembimbing II : Dr. Fitri Yuli Zulkifli, ST, Msc.

Antena mikrostrip memiliki beberapa keuntungan, di antaranya bentuk kompak, dimensi kecil, mudah untuk difabrikasi, mudah dikoneksikan dan diintegrasikan dengan divais elektronik lain. Oleh sebab itu antena mikrostrip sangat banyak diaplikasikan dalam dunia telekomunikasi, salah satunya dalam teknologi WiMAX. WiMAX merupakan teknologi akses nirkabel pita lebar (*broadband wireless access*) yang memiliki area hingga puluhan kilometer serta mempunyai *bandwidth* yang lebar dan bit rate yang besar.

Pada penelitian ini dirancang suatu antena mikrostrip *patch* segiempat *array* 8 elemen untuk aplikasi WiMAX yang bekerja pada frekuensi 3,3 GHz (3,3-3,4 GHz) serta $gain \geq 15$ dBi. Untuk memberikan *bandwidth* yang lebar antena mikrostrip yang dirancang menggunakan teknik pencatutan *electromagnetically coupled* sedangkan untuk meningkatkan *gain* digunakan teknik antena susun (*array*).

Dari hasil pengukuran, antena yang telah dirancang mampu bekerja pada rentang frekuensi 3,3-3,4 GHz. Nilai VSWR $\leq 1,9$ dapat dicapai pada rentang 3,25 GHz – 3,69 GHz. Gain tertinggi adalah 14,787 dB di frekuensi 3,58 GHz.

Kata kunci: Antena mikrostrip, WiMAX, *array*, *electromagnetically coupled*.

ABSTRACT

Name : Andhika Bayu Wijaya
Study Program : Teknik Elektro
Title : Design of 8 Elements Array Rectangular Patch Microstrip Antena With Electromagnetically Coupled For WiMAX Application
Supervisor I : Prof.Ir. Eko Tjipto Rahardjo, Msc, PhD
Supervisor II : Dr. Ir. Fitri Yuli Zulkifi, Msc.

Microstrip antenna has many advantages, such as compact, low profile, easy to fabricate and easy to be connected with other electronic device. These advantages makes microstrip antenna become very aplicable in telecommunication, especially for WiMAX technologies. WiMAX is a broadband wireless access technology that has coverage area up to ten kilometers with wide *bandwidth* and high bit rate.

In this research, a 8 Elements Array Rectangular Patch Microstrip Antenna is designed for WiMAX application in the 3.3 GHz band (3.3-3.4 GHz) with gain ≥ 15 dBi. To increase the *bandwidth*, the microstrip antenna is designed with electromagnetically coupled technique and for higher *gain* it uses the array technique.

From the measurement results, the antenna can work in 3.3-3.4 GHz frequency band. This is shown with the value of VSWR $\leq 1,9$ in 3,25-3,69 GHz (720 MHz). The highest gain is 14.787 dB at 3.58 GHz.

Key words : Microstrip antena, WiMAX, array, electromagnetically coupled.

BAB I PENDAHULUAN

1.1. LATAR BELAKANG

Antena kini merupakan bagian tak terpisahkan dari sistem komunikasi nirkabel. Sejalan dengan meningkatnya perkembangan komunikasi nirkabel maka kebutuhan akan antena kian berkembang. Saat ini kebanyakan sistem komunikasi nirkabel membutuhkan antena yang memiliki desain kompak namun memiliki performa yang baik seperti *low-profile*, *cost down*, dan ukuran yang kecil [1]. Antena mikrostrip dapat memenuhi persyaratan tersebut.

Dalam beberapa tahun terakhir *bandwidth* menjadi salah satu hal yang signifikan dalam komunikasi nirkabel. Dengan tujuan menyediakan *bandwidth* besar untuk aplikasi-aplikasi komunikasi nirkabel, maka desain *wideband* antena menjadi salah satu hal penting [2]. WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*) merupakan teknologi akses nirkabel pita lebar (*broadband wireless access*) yang mempunyai *bandwidth* yang lebar dan bit rate yang besar. WiMAX dicetuskan oleh WiMAX Forum yang di bentuk pada April 2001, untuk mempromosikan interoperabilitas dan penyesuaian standar IEEE 802.16, yang secara resmi bernama WirelessMAN [3].

WiMAX Forum menetapkan 2 band frekuensi utama pada certification profile untuk Fixed WiMAX (band 3.5 GHz dan 5.8 GHz), sementara untuk Mobile WiMAX ditetapkan 4 band frekuensi pada system profile release-1, yaitu band 2.3 GHz, 2.5 GHz, 3.3 GHz dan 3.5 GHz [4]. Secara umum terdapat beberapa alternatif frekuensi untuk teknologi WiMAX sesuai dengan peta frekuensi dunia. Dari alternatif tersebut band frekuensi 3,5 GHz menjadi frekuensi mayoritas Fixed WiMAX di beberapa negara, terutama untuk negara-negara di Eropa, Canada, Timur-Tengah, Australia dan sebagian Asia. Sementara frekuensi yang mayoritas digunakan untuk Mobile WiMAX adalah 2,5 GHz. Isu frekuensi Fixed WiMAX di band 3,3 GHz ternyata hanya muncul di negara-negara Asia. Hal ini terkait dengan penggunaan band 3,5 GHz untuk komunikasi satelit, demikian juga dengan di Indonesia [4].

Alokasi frekuensi kerja WiMAX yang digunakan pada antena yang dirancang ini adalah pada frekuensi 3,3 GHz (3,3-3,4 GHz). Alasan dipilihnya

frekuensi ini dikarenakan pada frekuensi 3,3 GHz adalah frekuensi yang umum dipakai di daerah asia. Selain itu *band* 3,5 GHz di Indonesia digunakan oleh satelit Telkom dan PSN untuk memberikan layanan IDR dan broadcast TV. Dengan demikian penggunaan secara bersama antara satelit dan wireless terrestrial (BWA) di frekuensi 3,5 GHz akan menimbulkan potensi interferensi terutama di sisi satelit.

Antena *Broadband* kini telah banyak dikembangkan. Beberapa contoh antena *broadband* diberikan pada [1-2][5-6]. Antena pada [1] menggunakan substrat FR4 dengan permitivitas relative 4,4. Pada antena ini terdapat slot *S-shaped* dan *inverted-L*. Antena ini bekerja pada 3 rentang frekuensi yaitu 2,4 GHz dengan *bandwidth* 13,4%, 3,7 GHz dengan *bandwidth* 14,4 %, dan pada frekuensi 5 GHz memiliki *bandwidth* 26,2 % dengan *return loss* ≤ -10 dB. Antena pada [2] menggunakan Slot belah ketupat pada substrat FR4 dengan tebal 1,6 mm dan permitivitas relative 4,4. Antena dengan ukuran 41,6 x 46,6 mm ini bekerja pada rentang frekuensi yang lebar, yaitu dari 2,305-5,825 GHz dengan *return loss* ≤ -10 dB. Antena pada [5] merupakan antena *rectangular patch*. Antena ini bekerja pada 2 rentang frekuensi yaitu 5,3 GHz dan 5,8 GHz, masing-masing dengan *return loss* -24,43 dB dan -27,864 dB. Antena pada [6] merupakan antena PFDA (*Planar Folded Dipole Antena*). Antena ini digunakan untuk aplikasi *Bluetooth*, W-LAN dan WiMAX.

Antena microstrip dapat dirancang bekerja dengan memenuhi beberapa karakteristik. Salah satunya adalah antena yang memiliki *gain* tinggi serta *bandwidth* yang lebar. Pada antena mikrostrip untuk menghasilkan *gain* yang tinggi dapat dilakukan dengan menyusun atau merancang antena *array* sedangkan untuk memiliki *bandwidth* yang lebar menggunakan substrat yang tebal. Untuk itulah dalam skripsi ini akan dibuat perancangan antena microstrip *array* dengan pencatuan *electromagnetically coupled* yang bekerja di frekuensi untuk alokasi WiMAX, yaitu pada frekuensi 3,3 GHz.

1.2. TUJUAN PENULISAN

Tujuan dari skripsi ini adalah melakukan analisa rancang bangun antena microstrip *array* 8 elemen yang dapat bekerja pada frekuensi 3,3 GHz (3.3-3.4 GHz) sehingga memiliki *Gain* ≥ 15 dBi. Pada rentang frekuensi yang telah

disebutkan diatas diharapkan mempunyai $VSWR \leq 1,9$ atau $return\ loss \leq -10,16$ dB.

1.3. BATASAN MASALAH

Permasalahan yang akan dibahas pada skripsi ini dibatasi pada penelitian antena mikrostrip yang memiliki *impedance bandwidth* (*return loss* dan *VSWR*) yang mencakup frekuensi kerja WiMAX 3,3 GHz.

1.4. SISTEMATIKA PENULISAN

Penulisan skripsi ini akan dibagi dalam lima 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 *patch* rectangular, metode *cavity*, teknik pencatuan, *array* antena dan *T-junction*.

Bab 3 Perancangan Antena dan Simulasi

Bagian ini memberikan penjelasan mengenai perlengkapan yang dibutuhkan dalam perancangan, substrat yang digunakan, penentuan dimensi antena, dan prosedur perancangan serta hasil simulasi dengan menggunakan *HFSS v.11* dan analisis hasil dari simulasi yang telah dilakukan. Pada bagian akhir membahas metode yang digunakan dalam melakukan pengukuran parameter antena

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

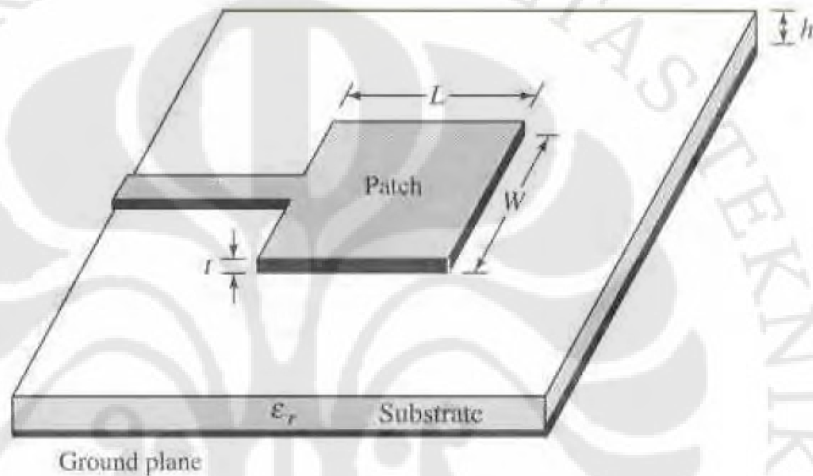
Bab ini berisi kesimpulan dari keseluruhan isi skripsi.

BAB II

ANTENA MIKROSTRIP

2.1. STRUKTUR ANTENA MIKROSTRIP

Antena mikrostrip adalah salah satu jenis antena, antena ini terdiri dari 3 elemen, yaitu: elemen peradiasi (*radiator*), substrat, dan elemen pentanahan (*ground*) seperti pada Gambar 2.1 [7].



Gambar 2.1. Antena mikrostrip [7]

Antena mikrostrip ini mempunyai beberapa keuntungan apabila dibandingkan dengan antena lainnya, yaitu diantaranya [8]:

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 di dapat 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 dipabrikasi langsung dengan struktur antena.

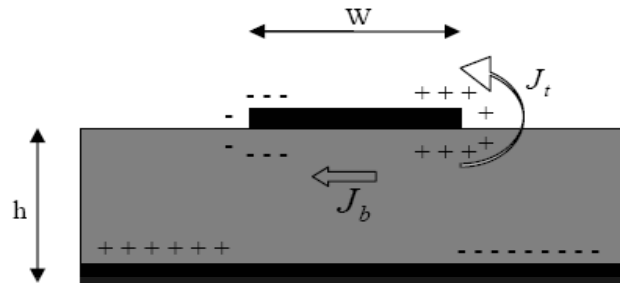
Akan tetapi selain kelebihan-kelebihan yang telah disebutkan diatas, antena mikrostrip juga memiliki beberapa kekurangan, yaitu [8]:

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

Elemen peradiasi berfungsi untuk meradiasikan gelombang listrik dan magnet. Elemen ini biasa disebut sebagai *radiator patch* dan terbentuk dari lapisan logam (*metal*) yang memiliki ketebalan (h) tertentu. Ada beberapa jenis *radiator patch* berdasarkan bentuknya, di antaranya *rectangular* (segi empat), segitiga, lingkaran, dll. Substrat merupakan bagian dielektrik yang membatasi elemen peradiasi dengan elemen pentanahan. Bagian ini memiliki nilai konstanta dielektrik (ϵ_r), faktor disipasi, dan ketebalan (h) tertentu. Ketiga nilai tersebut mempengaruhi frekuensi kerja, *bandwidth*, dan juga efisiensi dari antena yang akan dibuat. 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][8].

2.2 MEKANISME RADIASI ANTENA MIKROSTRIP

Radiasi dari sebuah saluran mikrostrip, sebuah struktur yang sama dengan antena mikrostrip dapat tereduksi jika menggunakan substrat yang tipis dan konstanta dielektrik yang tinggi. Di lain pihak, radiasi dari antena mikrostrip mendorong efisiensi radiasi yang lebih baik. Oleh karena itu, substrat yang tebal dengan permitivitas yang rendah umumnya digunakan dalam pembuatan antena mikrostrip. Radiasi dari sebuah antena mikrostrip dapat ditentukan dari distribusi medan antara *patch* peradiasi dan *ground plane* [8]. Dengan kata lain, radiasi pada antena mikrostrip dapat digambarkan sebagai bentuk distribusi arus permukaan (*surface current*) pada metal *patch*.



Gambar 2.2. Distribusi muatan dan kerapatan arus pada antenna mikrostrip [8]

Dari Gambar 2.2 dapat kita asumsikan sebuah *patch* antenna mikrostrip yang telah dihubungkan dengan sebuah sumber *microwave*. Pemberian daya pada *patch* akan menghasilkan sebuah distribusi muatan listrik pada permukaan atas dan bawah dari *patch*, muatan listrik tersebut sama baik kualitasnya dengan muatan pada *ground plane*. Distribusi muatan ini diatur dengan dua mekanisme yaitu mekanisme tarik menarik dan mekanisme tolak menolak. Gaya tolak menolak antara muatan di bawah *patch* peradiasi cenderung mendorong sebagian muatan di bawah *patch* mengelilingi tepi dari *patch* menuju permukaan *patch*. Pergerakan muatan ini menghasilkan hubungan kerapatan arus J_b dan J_t di bawah dan atas permukaan *patch* seperti ditunjukkan pada gambar di atas. Pada pembuatan antenna mikrostrip umumnya rasio h/w sangat kecil, oleh karena itu gaya tarik menarik diantara muatan mendominasi dan hampir sebagian konsentrasi muatan dan aliran arus terdapat di bawah *patch* peradiasi. Sejumlah kecil arus terdapat di bagian tepi dari *patch* mengalir menuju permukaan dari *patch* dan menghasilkan medan magnet yang lemah, tangensial terhadap tepi dari *patch*. Karena itu, dapat diambil pendekatan sederhana bahwa medan magnet tangensial adalah nol dan terdapat empat buah dinding magnet yang mengelilingi *patch* dari antenna mikrostrip. Asumsi ini memiliki validitas yang cukup baik untuk substrat yang tipis dengan konstanta dielektrik yang besar. Begitu juga, ketika substrat yang digunakan sangat tipis dibandingkan dengan panjang gelombang ($h \ll \lambda$) di dalam dielektrik, variasi medan sepanjang h (*height*) dapat dianggap konstan dan medan listrik mendekati normal pada permukaan *patch* [7][8].

2.3. MODEL CAVITY

Model *cavity* atau rongga telah banyak digunakan dalam menganalisa antena mikrostrip. Metode ini mengasumsikan bidang antara *ground plane* dan *patch* peradiasi antena sebagai sebuah resonator rongga. Pada metode ini bidang peradiasi dan *ground plane* diasumsikan sebagai dinding elektrik dan empat buah dinding vertikal diasumsikan sebagai dinding magnetik. Model *cavity* ini dapat digunakan untuk substrat yang tipis, dimana tebal substrat jauh lebih kecil dari pada panjang gelombang ($h \ll \lambda_0$). Model ini merupakan model pendekatan yang berprinsip pada impedansi masukan reaktif dan tidak meradiasikan daya [8].

Ketika antena mikrostrip diberikan energi, distribusi muatan dibentuk pada bagian atas dan bawah permukaan dari *patch* tersebut, dan juga pada bagian pentanahan (*ground*). Distribusi muatan dikendalikan oleh 2 (dua) mekanisme, yaitu : mekanisme atraktif dan mekanisme repulsif [7]. Mekanisme atraktif terjadi di antara muatan-muatan yang berlawanan pada bagian bawah *patch* dan bagian *ground* yang cenderung untuk mempertahankan konsentrasi muatan pada bagian bawah *patch*. Mekanisme repulsif terjadi di antara muatan-muatan pada bagian bawah permukaan *patch* yang memiliki kecenderungan untuk mendorong beberapa muatan dari bagian bawah *patch* ke bagian atasnya melalui ujung-ujung *patch* tersebut. Karena kebanyakan antena mikrostrip memiliki nilai rasio *height-to-width* yang kecil, mekanisme atraktif menjadi dominan dan kebanyakan konsentrasi muatan berada pada bagian bawah *patch*. Arus dalam jumlah yang kecil mengalir melalui ujung *patch* ke bagian atas permukaan *patch*. Aliran arus semakin kecil seiring dengan semakin mengecilnya nilai rasio *height-to-width*. Kedua jenis mekanisme ini diperlihatkan pada gambar 6 beserta kerapatan arusnya (J). Dapat diasumsikan bahwa besarnya arus yang mengalir ke atas permukaan *patch* adalah nol, sehingga tidak menyebabkan adanya medan magnet tangensial ke ujung *patch*. Hal ini menyebabkan keempat dinding samping menyerupai permukaan magnet konduksi yang sempurna sehingga tidak mengganggu medan magnetik sehingga menyebabkan distribusi medan elektrik tetap berada di bawah permukaan *patch*.

Berdasarkan dari asumsi model *cavity* ini adalah berdasarkan observasi dari substrat tipis ($h \ll \lambda_0$):

- a. Medan di dalam *patch* tidak bervariasi dengan z ($\partial/\partial z \equiv 0$) karena substrat sangat tipis ($h \ll \lambda_0$).
- b. Medan elektrik hanya muncul dalam arah z E_z saja, dan medan magnetis hanya ada komponen transversnya saja (H_x , dan H_y) di daerah yang dibatasi oleh *patch* dan bidang petanahan (*ground*). Observasi ini juga memperhatikan dinding listrik atas dan bawah.
- c. Arus listrik pada antena mikrostrip tidak memiliki komponen normal pada ujung metal atau tepi, yang mengakibatkan komponen tangensial dari \bar{H} , sepanjang tepi diabaikan, dan sekeliling dinding medan magnet digantikan dengan ($\partial E_z/\partial n = 0$).

Analisa pada model *cavity* ini juga menggunakan persamaan umum dari Maxwell. Persamaan Maxwell untuk daerah antara *patch* peradiasi dan *ground plane* adalah sebagai berikut [9]:

$$\nabla \times E = -j\omega\mu_o H \quad (2.1)$$

$$\nabla \times H = j\omega\epsilon E + J \quad (2.2)$$

$$\nabla \cdot E = \rho / \epsilon \quad (2.3)$$

$$\nabla \cdot H = 0 \quad (2.4)$$

ϵ merupakan permitivitas dari substrat, dimana $\epsilon = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r$ dan μ_o merupakan permeabilitas bahan tersebut. \bar{J} merupakan vektor kerapatan arus yang mengalir, sedangkan ρ merupakan rapat muatan.

2.4 TEKNIK PENCATUAN

Terdapat beberapa macam teknik pencatuan seperti pada Tabel 2.1, antara lain *coaxial feed*, *microstrip (coplanar) feed*, *proximity coupled microstrip feed*, *aperture-coupled microstrip feed* dan *coplanar waveguide feed*.

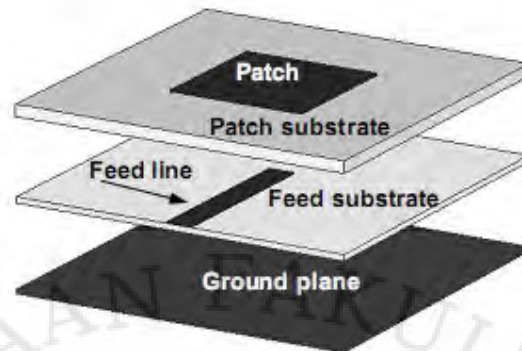
Pemilihan *feeding* untuk antena mikrostrip didasarkan pada beberapa faktor. Pertimbangan yang paling utama dalam pemilihan *feeding* ini adalah transfer daya yang efisien antara struktur peradiasi dengan struktur *feeding*, yaitu

tercapainya *matching impedance* yang baik diantara keduanya. Perbandingan dari beberapa jenis pencatuan dapat dilihat pada tabel

Tabel 2.1. Perbandingan beberapa teknik pencatuan [10]

Karakteristik	Microstrip line Feed	Coaxial Feed	Aperture coupled Feed	Proximity coupled Feed
Radiasi Feed	Banyak	Banyak	Sedikit	Minimum
Reliability	Sangat baik	Kurang karena pengaruh solder	Baik	Baik
Pabrikasi	Mudah	Diperlukan penyolderan dan pengeboran	Agak rumit	Agak Rumit
Matching Impedansi	Mudah	Mudah	Mudah	Mudah
Bandwidth	2 – 5 %	2 – 5 %	Dapat >10%	Dapat >10 %

Dari Tabel 2.1 dapat dilihat teknik *proximity coupling* atau yang lebih dikenal dengan *electromagnetically coupled* adalah salah satu teknik yang dapat menghasilkan *bandwidth* yang cukup lebar. Konfigurasi dari teknik pencatuan jenis ini adalah dengan menggunakan dua lapisan substrat. Pada substrat lapisan atas terdapat *patch* peradiasi dari antena, dan pada substrat lapisan ini tidak terdapat ground. Sedangkan pada substrat lapisan bawah terdapat line pencatu. Pada lapisan substrat bawah ini terdapat ground. Dengan menggunakan teknik pencatuan jenis ini maka elemen pencatu dan *patch* peradiasi akan terkopling secara elektromagnetik. Gambaran konfigurasi dari pencatuan ini dapat dilihat pada gambar 2.3.



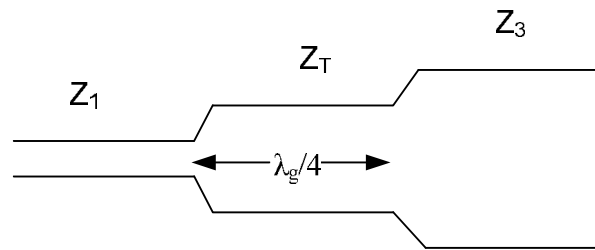
Gambar 2.3. Pencatuan electromagnetically coupled [11]

Dengan meletakkan *patch* peradiasi diatas dua lapisan substrat maka akan menyebabkan dihasilkannya bandwidth yang lebar. Hal ini dikarenakan dengan menggunakan dua lapisan maka ketebalan substrat yang digunakan menjadi lebih tebal. Teknik matching dari pencatuan jenis ini juga relatif mudah. Untuk *matching*-kan antena, hal yang perlu dilakukan cukup dengan mengubah-ubah panjang dari elemen pencatu atau dengan memberikan stub dan mengubah-ubah posisinya.

2.5 IMPEDANCE MATCHING

Perancangan suatu antena tidak terlepas dari penyesuaian impedansi (*impedance matching*). Suatu jalur transmisi dikatakan *matched* apabila karakteristik impedansi $Z_0 = Z_L$, atau dengan kata lain tidak ada refleksi yang terjadi pada ujung saluran beban. Z_0 merupakan karakteristik impedansi suatu saluran transmisi dan biasanya bernilai 50 ohm. Z_L merupakan impedansi beban. Beban dapat berupa antena atau rangkaian lain yang mempunyai impedansi ekuivalen Z_L . Saat kondisi matching saluran transmisi dapat mentransfer daya secara sempurna, dan daya yang hilang pada saluran minimum, serta dapat mengurangi *amplitude and phase errors* [12].

Metode pencatuan secara langsung sulit untuk mencapai kondisi *matching*. Oleh karena itu dibutuhkan suatu cara untuk mendapatkan kondisi yang *matching*, yaitu dengan cara menambahkan transformator $\lambda/4$, pemberian *single stub*, dan *double stub*.



Gambar 2.4. 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 2.4. Panjang saluran transmisi transformator $\lambda/4$ ini adalah sebesar $l = \frac{1}{4} \lambda_g$, di mana λ_g merupakan panjang gelombang pada bahan dielektrik yang besarnya dapat dihitung pada persamaan 2.5

$$\lambda_g = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad \text{.....(2.5)}$$

dimana λ_0 adalah panjang gelombang pada ruang bebas. Nilai impedansi Z_T dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.6.

$$Z_T = \sqrt{Z_1 Z_3} \quad \text{.....(2.6)}$$

2.6 PARAMETER UMUM ANTENA MIKROSTRIP

2.6.1. Impedansi Masukan

Impedansi *input* (Z_{in}) adalah impedansi pada terminal antenna atau rasio tegangan terhadap arus pada terminal atau perbandingan komponen-komponen bersesuaian dari medan elektrik terhadap medan magnetik pada sebuah titik. Impedansi masukan terdiri dari komponen *real* (R_{in}) dan komponen imajiner (X_{in}). Impedansi masukan dituliskan sebagai berikut :

$$Z_{in} = R_{in} + jX_{in} \quad (2.7)$$

Dimana: Z_{in} = impedansi antenna
 R_{in} = resistansi antenna
 X_{in} = reaktansi antenna

Kondisi *matching* terjadi ketika besar impedansi *input* antenna sama dengan besar impedansi karakteristik saluran transmisi. Dalam skripsi ini menggunakan impedansi input 50Ω .

2.6.2. 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^-) [9]. Perbandingan antara tegangan yang direfleksikan dengan tegangan yang dikirimkan disebut sebagai koefisien refleksi tegangan (Γ) [9]:

$$\Gamma = \frac{V_0^-}{V_0^+} = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} \quad \dots\dots(2.8)$$

Di mana Z_L adalah impedansi beban (*load*) dan Z_0 adalah impedansi saluran *lossless*.

Koefisien refleksi tegangan (Γ) memiliki nilai kompleks, yang merepresentasikan besarnya magnitudo dan fasa dari refleksi. Untuk beberapa kasus yang sederhana, ketika bagian imajiner dari Γ 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 [9]:

$$S = \frac{\left| \tilde{V} \right|_{max}}{\left| \tilde{V} \right|_{min}} = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \quad \dots\dots(2.9)$$

Kondisi yang paling baik adalah ketika VSWR bernilai 1 ($S=1$) yang berarti tidak ada refleksi ketika saluran dalam keadaan *matching* sempurna.

Namun kondisi ini pada praktiknya sulit untuk didapatkan. Oleh karena itu nilai standar VSWR yang diijinkan untuk fabrikasi antenna adalah $VSWR \leq 2$.

2.6.3. Return loss

Return loss adalah perbandingan antara amplitudo dari gelombang yang direfleksikan terhadap amplitudo gelombang yang dikirimkan. *Return loss* digambarkan sebagai peningkatan amplitudo dari gelombang yang direfleksikan (V_0^-) dibanding dengan gelombang yang dikirim (V_0^+). *Return loss* dapat terjadi akibat adanya diskontinuitas diantara saluran transmisi dengan impedansi masukan beban (antena). Pada rangkaian gelombang mikro yang memiliki diskontinuitas (*mismatched*), besarnya *return loss* bervariasi tergantung pada frekuensi [9].

$$\Gamma = \frac{V_0^-}{V_0^+} = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} \quad \dots\dots(2.10)$$

$$\text{return loss} = 20 \log_{10} |\Gamma| \quad \dots\dots(2.11)$$

Nilai *return loss* yang baik adalah di bawah -9,54 dB, sehingga dapat dikatakan nilai gelombang yang direfleksikan tidak terlalu besar dibandingkan dengan gelombang yang dikirimkan atau dengan kata lain, saluran transmisi sudah *matching*. Nilai parameter ini menjadi salah satu acuan untuk melihat apakah antenna sudah dapat bekerja pada frekuensi yang diharapkan atau tidak.

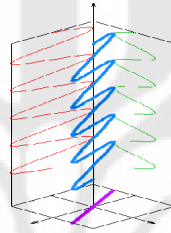
2.6.4. Polarisasi

Polarisasi antenna adalah polarisasi dari gelombang yang ditransmisikan oleh antenna. Jika arah tidak ditentukan maka polarisasi merupakan polarisasi pada arah *gain* maksimum [7]. Pada praktiknya, polarisasi dari energi yang teradiasi bervariasi dengan arah dari tengah antenna, sehingga bagian lain dari pola radiasi mempunyai polarisasi yang berbeda.

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

Polarisasi dapat diklasifikasikan sebagai *linear* (linier), *circular* (melingkar), atau *elliptical* (elips). Polarisasi linier (Gambar 2.5) 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 [7]. Hal ini dapat terjadi jika vektor (elektrik maupun magnet) memenuhi :

- a. hanya ada satu komponen, atau
- b. 2 komponen yang saling tegak lurus secara linier yang berada pada perbedaan fasa waktu atau 180° atau kelipatannya

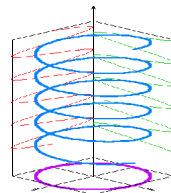


Gambar 2.5. Polarisasi linier [4]

Polarisasi melingkar (gambar 2.6) 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 [7]. Kondisi yang harus dipenuhi untuk mencapai jenis polarisasi ini adalah :

- a. Medan harus mempunyai 2 komponen yang saling tegak lurus linier
- b. Kedua komponen tersebut harus mempunyai magnitudo yang sama
- c. Kedua komponen tersebut harus memiliki perbedaan fasa waktu pada kelipatan ganjil 90° .

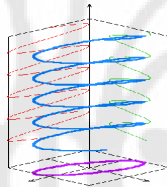
Polarisasi melingkar dibagi menjadi dua, yaitu *Left Hand Circular Polarization (LHCP)* dan *Right Hand Circular Polarization (RHCP)*. LHCP terjadi ketika $\delta = +\pi/2$, sebaliknya RHCP terjadi ketika $\delta = -\pi/2$



Gambar 2.6. Polarisasi melingkar [4]

Polarisasi elips (gambar 2.7) terjadi ketika gelombang yang berubah menurut waktu memiliki vektor medan (elektrik atau magnet) berada pada jalur kedudukan elips pada ruang [7]. Kondisi yang harus dipenuhi untuk mendapatkan polarisasi ini adalah :

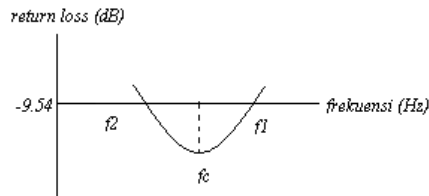
- medan harus mempunyai dua komponen linier ortogonal
- Kedua komponen tersebut harus berada pada magnitudo yang sama atau berbeda
- Jika kedua komponen tersebut tidak berada pada magnitudo yang sama, perbedaan fasa waktu antara kedua komponen tersebut harus tidak bernilai 0^0 atau kelipatan 180^0 (karena 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 90^0 (karena akan menjadi lingkaran).



Gambar 2.7. Polarisasi Elips [4]

2.6.5. *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 [8]. Pada Gambar 2.8 dapat dilihat *bandwidth* berdasarkan *return loss*, yaitu rentang frekuensi saat nilai *return loss* < -9,54 dB.



Gambar 2.8 Rentang frekuensi yang menjadi *bandwidth*

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

$$BW = \frac{f_h - f_l}{f_c} \times 100 \% \quad (2.12)$$

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 *patch* antena berada pada keadaan *matching* dengan saluran pencatu. Hal ini terjadi karena impedansi dari elemen antena bervariasi nilainya tergantung dari nilai frekuensi. Nilai *matching* ini dapat dilihat dari *return loss* dan VSWR. Nilai *return loss* dan VSWR yang masih dianggap baik adalah kurang dari -9,54 dB dan 2, secara berurutan
- 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 antena agar nilai *bandwidth* dapat dicari

2.6.6. Keterarahan (*Directivity*)

Keterarahan dari sebuah antena didefinisikan sebagai perbandingan (rasio) intensitas radiasi sebuah antena pada arah tertentu dengan intensitas radiasi rata-rata pada semua arah. Intensitas radiasi rata-rata sama dengan jumlah daya

yang diradiasikan oleh antena dibagi dengan 4π . Jika arah tidak ditentukan, arah intensitas radiasi maksimum merupakan arah yang dimaksud. Keterarahan ini dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut ini:

$$D = \frac{U}{U_0} = \frac{4\pi U}{P_{rad}} \quad \text{.....(2.13)}$$

Dan jika arah tidak ditentukan, keterarahan terjadi pada intensitas radiasi maksimum yang didapat dengan rumus:

$$D_{max} = D_0 = \frac{U_{max}}{U_0} = \frac{4\pi U_{max}}{P_{rad}} \quad \text{.....(2.14)}$$

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 antena. *Directivity* sebuah antena 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 pengarahan antena dibandingkan dengan karakteristik pengarahan antena isotropis.

2.6.7. Penguatan (*Gain*)

Ada dua jenis parameter penguatan (*Gain*) yaitu *absolute gain* dan *relative gain* [7]. *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 4π . *Absolute gain* ini dapat dihitung dengan rumus [7]:

$$gain = 4\pi \frac{U(\theta, \phi)}{P_{in}} \quad \dots\dots(2.15)$$

Selain *absolute gain* juga ada *relative gain*. *Relative gain* didefinisikan sebagai perbandingan antara perolehan daya pada sebuah arah dengan perolehan daya pada antenna referensi pada arah yang direferensikan juga. Daya masukan harus sama di antara kedua antenna itu. Akan tetapi, antenna referensi merupakan sumber isotropik yang *lossless* ($P_{in}(lossless)$). Secara rumus dapat dihubungkan sebagai berikut [7]:

$$G = \frac{4\pi U(\theta, \phi)}{P_{in}(lossless)} \quad \dots\dots(2.16)$$

Jika arah tidak ditentukan, maka perolehan daya biasanya diperoleh dari arah radiasi maksimum.

2.6.8. Pola Radiasi

Pola radiasi antenna didefinisikan sebagai fungsi matematik atau sebuah representasi grafik dari radiasi antenna sebagai sebuah fungsi dari koordinat ruang [7].

- Pola Isotropik

Antena isotropik didefinisikan sebagai sebuah antenna tanpa rugi-rugi secara hipotesis yang mempunyai radiasi sama besar ke setiap arah.

- Pola Directional

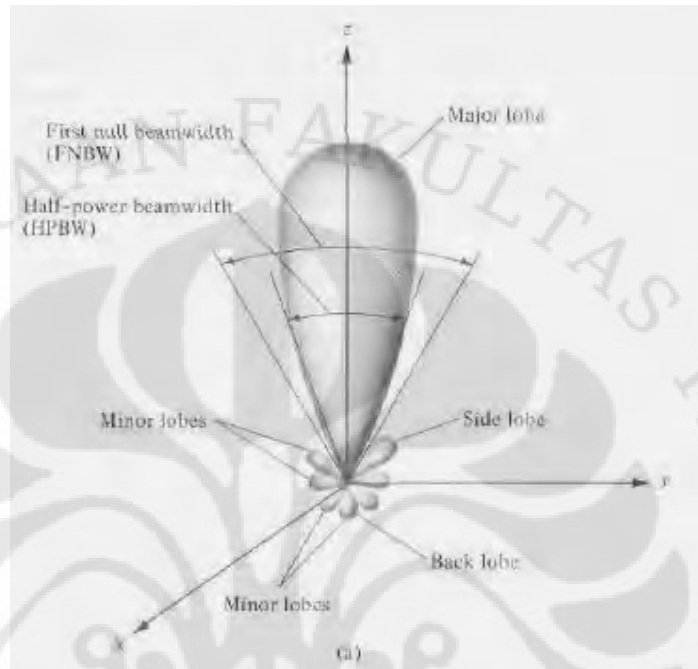
Antena yang mempunyai pola radiasi atau pola menerima gelombang elektromagnetik yang lebih efektif pada arah-arah tertentu saja. Salah satu contoh antenna directional adalah antenna dengan pola omnidirectional.

- Pola radiasi lobe (cuping)

Bagian-bagian dari pola radiasi ditunjukkan sebagai cuping-cuping yang bisa diklasifikasikan menjadi main(utama), side(samping), dan back(belakang) cuping (lobe).

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 merupakan minor lobe yang keberadaannya tidak diharapkan.



Gambar 2.9 pola radiasi directional [7]

2.7. ANTENA MIKROSTRIP *PATCH* PERSEGI PANJANG

Patch berbentuk persegi panjang merupakan bentuk yang paling umum digunakan dan mudah untuk dianalisa. Berikut adalah beberapa perhitungan yang digunakan untuk merancang antenna mikrostrip berbentuk persegi panjang:

Menentukan lebar *patch* (W) [7] :

$$W = \frac{c}{2f_0 \sqrt{\frac{(\epsilon_r + 1)}{2}}} \quad (2.17)$$

Dimana c adalah kecepatan cahaya di ruang bebas yaitu sebesar 3×10^8 m/det, f_0 adalah frekuensi kerja dari antenna, dan ϵ_r adalah konstanta dielektrik dari bahan substrat. Sedangkan untuk menentukan panjang *patch* (L) diperlukan parameter ΔL yang merupakan penambahan panjang dari L akibat adanya

fringing effect. Pertambahan panjang dari L (ΔL) tersebut dirumuskan dengan [7]:

$$\Delta L = 0.412h \frac{(\epsilon_{reff} + 0.3) \left(\frac{W}{h} + 0.264 \right)}{(\epsilon_{reff} - 0.258) \left(\frac{W}{h} + 0.8 \right)} \quad (2.18)$$

Dimana h merupakan tinggi substrat, dan ϵ_{reff} adalah konstanta dielektrik relatif yang dirumuskan sebagai [7]:

$$\epsilon_{reff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(\frac{1}{\sqrt{1 + 12h/W}} \right) \quad (2.19)$$

Dengan demikian panjang *patch* (L) diberikan oleh [7]:

$$L = L_{eff} - 2\Delta L \quad (2.20)$$

Dimana L_{eff} merupakan panjang *patch* efektif yang dapat dirumuskan dengan [7]:

$$L_{eff} = \frac{c}{2f_0 \sqrt{\epsilon_{reff}}} \quad (2.21)$$

2.8. ANTENA MIKROSTRIP ARRAY

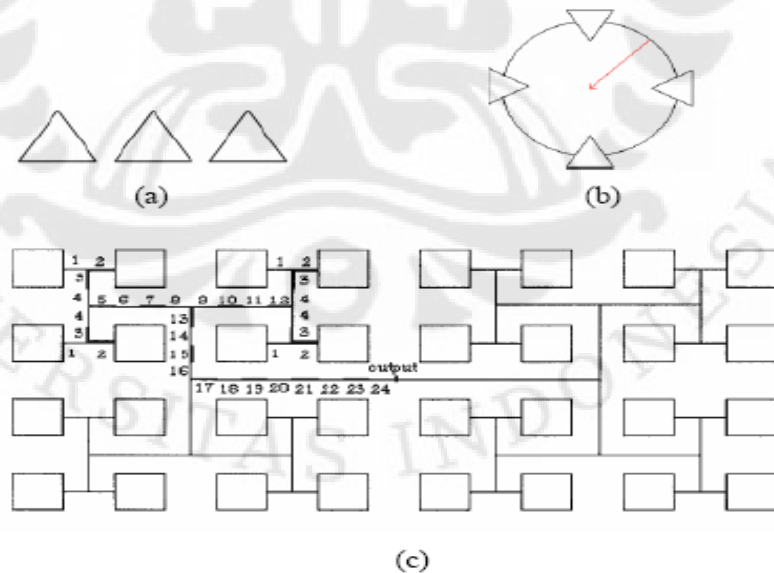
Umumnya antena mikrostrip dengan *patch* elemen tunggal memiliki pola radiasi yang sangat lebar, dan menghasilkan keterarahan dan perolehan (*gain*) yang kurang baik. Sedangkan pada beberapa aplikasinya diperlukan antena dengan keterarahan yang baik dan perolehan (*gain*) yang tinggi [7]. Untuk memenuhi 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*. 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 antenna *array* dengan elemen yang identik, terdapat lima parameter yang dapat digunakan untuk membentuk pola antenna, yaitu [7]:

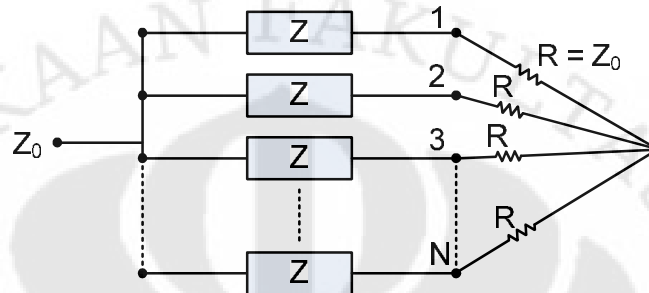
- konfigurasi geometri (linier, melingkar, *rectangular*, *spherical*, dll)
- pemindahan relatif antara elemen
- amplitudo eksitasi dari setiap elemen
- fasa eksitasi dari setiap elemen
- pola relatif dari setiap elemen

Ada beberapa macam konfigurasi antenna *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 *array* membentuk sebuah area yang berbentuk kotak (ditunjukkan pada gambar 2.10). Antena *array circular* adalah *array* dengan elemen *array* 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 2.10. Antena *array* [10]

2.9. POWER DIVIDER

Salah satu teknik yang dapat mendukung *impedance matching* pada saluran transmisi khususnya untuk antenna mikrostrip *array* adalah *power divider* (*combiner*). Dalam hal ini, metoda Wilkinson merupakan teknik yang umum digunakan [12]. Gambar 2.11 memperlihatkan *power divider* metoda Wilkinson.



Gambar 2.11. *N*-way Wilkinson combiner

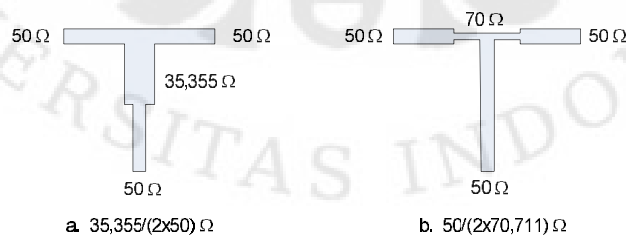
Pada metoda Wilkinson, nilai impedansi Z diberikan dengan Persamaan 2.23 berikut.

$$Z = Z_0 \sqrt{N} \quad (2.22)$$

dimana N adalah jumlah titik pencabangan.

2.10. T-JUNCTION 50 OHM

T-junction merupakan sebuah teknik *power divider* yang umum digunakan pada konfigurasi antenna *array* [12]. Terdapat dua jenis *T-junction 50 Ohm* yang dapat digunakan sebagai *power divider* seperti ditunjukkan pada Gambar 2.12.



Gambar 2.12. *T-junction* 50 ohm

Dari gambar 2.12 dapat dilihat untuk mendapatkan impedansi input 50 ohm dari saluran 50 ohm dapat menggunakan sebuah transformasi dengan meminimalisasi jumlah transformasi.

BAB 3

PERANCANGAN ANTENA DAN SIMULASI

3.1 UMUM

Pada skripsi ini akan dirancang antenna mikrostrip *Rectangular array* 8 elemen untuk mendapatkan karakteristik antenna yang telah ditentukan. Jenis antenna mikrostrip yang dirancang adalah antenna dengan *patch* berbentuk segiempat dengan teknik pencatutan *electromagnetically coupled*. Keuntungan rancangan ini adalah bentuk *patch* yang sederhana dan mudah proses fabrikasinya serta teknik pencatutan yang dapat menghasilkan *bandwidth* yang lebar sehingga mampu memenuhi spesifikasi yang dibutuhkan.

Ada beberapa tahapan dalam perancangan antenna ini, di antaranya adalah penentuan spesifikasi substrat yang akan digunakan, penentuan dimensi antenna, penentuan teknik *array*, serta penentuan dimensi saluran pencatu. Hasil rancangan tersebut kemudian disimulasikan dengan menggunakan perangkat lunak *HFSS V 11.1.1*.

3.2 PERLENGKAPAN YANG DIGUNAKAN

Perangkat lunak yang digunakan adalah :

- a. Perangkat lunak *HFSS v 11.1.1* untuk proses simulasi antenna yang sudah dirancang
- b. Perangkat lunak *Microsoft Visio 2003* untuk menggambar bentuk antenna
- c. *TXLine 2003*, digunakan untuk menentukan impedansi karakteristik dan lebar saluran dari saluran mikrostrip.

3.3 JENIS SUBTRAT YANG DIGUNAKAN

Dalam melakukan perancangan antenna, pertama kali ditentukan jenis substrat yang akan digunakan. Pada skripsi ini digunakan substrat FR4 (evoksi) dengan ketebalan 1,6 mm dengan spesifikasi pada tabel 3.1.

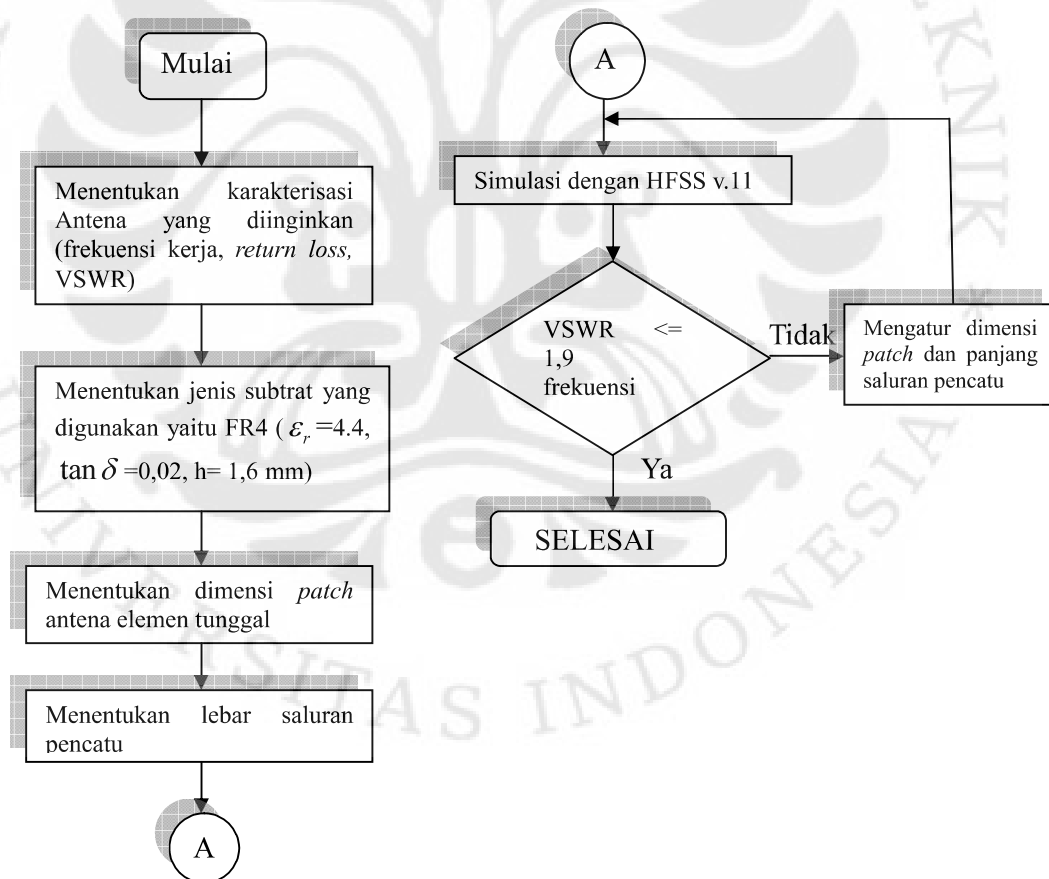
Tabel 3.1. Spesifikasi substrat yang digunakan

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

3.4 PERANCANGAN *PATCH* SEGIEMPAT ELEMEN TUNGGAL

3.4.1. Diagram Alir Perancangan Elemen Tunggal

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

Gambar 3.1. Diagram alir perancangan *patch* elemen tunggal

3.4.2. Menentukan Karakteristik Antena

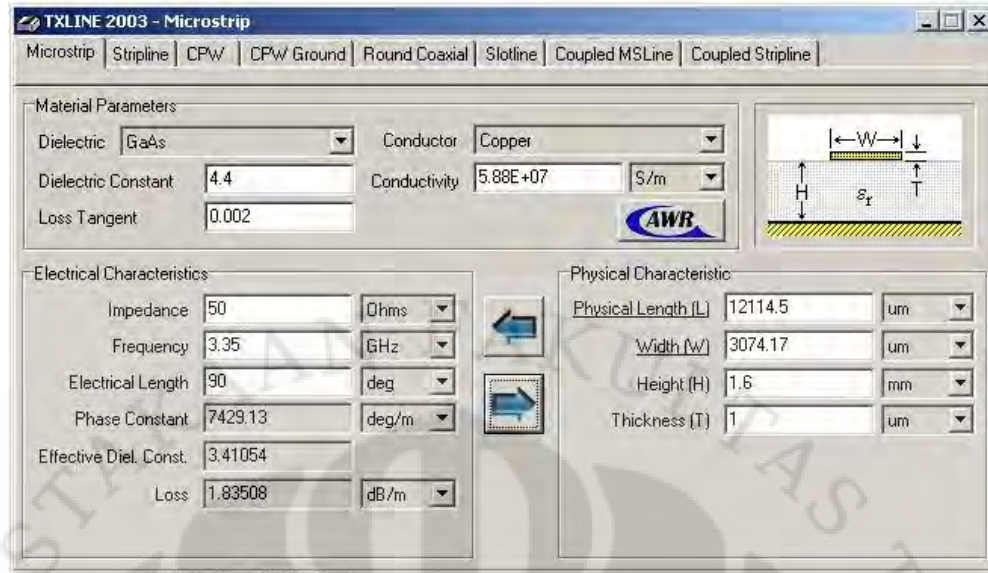
Pada rancangan antena ini, diinginkan mampu bekerja pada frekuensi 3,3-3,4 GHz. Hal ini berarti, frekuensi resonansinya adalah 3,3-3,4 GHz dengan frekuensi tengah 3,35 GHz. Frekuensi tengah resonansi ini, selanjutnya akan menjadi nilai parameter frekuensi dalam menentukan parameter-parameter lainnya seperti dimensi *patch* dan lebar saluran pencatu. Pada rentang frekuensi kerja tersebut (3,3-3,4 GHz), diharapkan antena memiliki parameter $VSWR \leq 1,9$.

3.4.3. Perancangan Dimensi *Patch* Segiempat Elemen Tunggal

Antena yang akan dirancang pada penelitian ini adalah antena mikrostrip dengan frekuensi kerja 3,3 GHz (3,3-3,4 GHz). Setelah didapatkan spesifikasi mengenai substrat yang digunakan, dilakukan perancangan *patch* peradiasi antena mikrostrip. Antena yang dirancang di sini akan bekerja pada frekuensi 3,35 GHz. Perancangan *patch* antena dimulai dengan menentukan dimensi dari *patch* tersebut. *Patch* antena yang dirancang berbentuk segiempat, dan formula untuk perhitungan dimensi telah dijelaskan pada Bab II. Dari perhitungan tersebut yang berdasarkan spesifikasi substrat yang akan digunakan, diperoleh panjang dan lebar *patch* masing-masing adalah 20.9 mm dan 27.25 mm.

3.4.4. Perancangan Lebar Saluran Pencatu

Pencatuan yang digunakan pada antena yang dirancang pada skripsi ini adalah menggunakan teknik pencatuan *electromagnetically coupled*. Untuk antena elemen tunggal impedansi saluran pencatu yang digunakan yaitu saluran 50 ohm. Untuk mendapatkan nilai impedansi saluran pencatu sebesar 50 ohm dapat dilakukan pengaturan lebar dari saluran pencatu. Untuk mendapatkan besar lebar dari saluran pencatu yang menghasilkan nilai impedansi 50 ohm digunakan program *TXLINE*. Tampilan dari program *TXLINE* untuk mencari lebar catu agar mempunyai impedansi 50 ohm dapat dilihat pada Gambar 3.2.

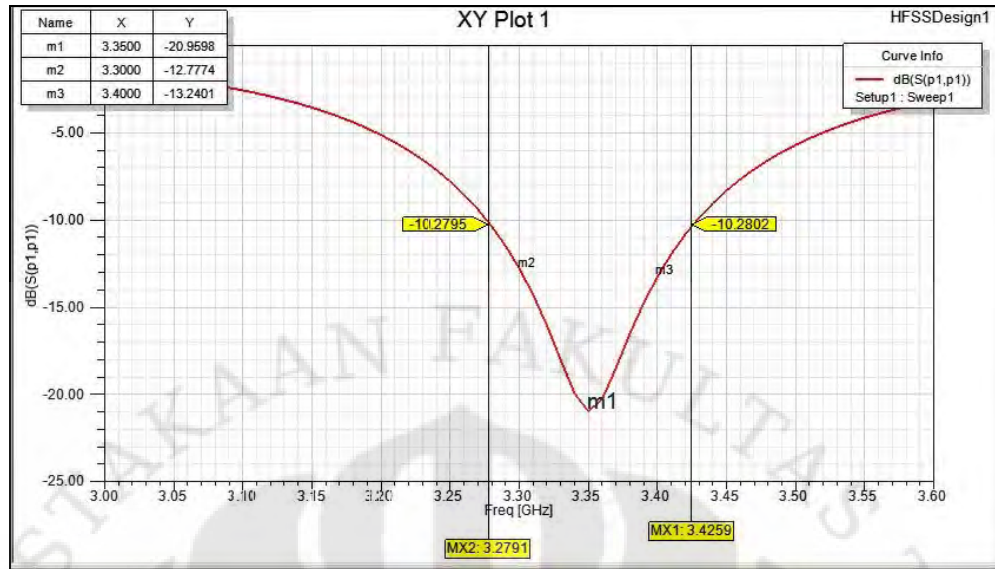


Gambar 3.2. Tampilan program *TXLINE* untuk mencari lebar catu agar mempunyai impedansi 50 ohm

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 *TXLINE* ini didapatkan nilai untuk menghasilkan nilai impedansi 50 dengan menggunakan nilai parameter substrat yang digunakan dalam perancangan ini, dibutuhkan lebar saluran pencatu sebesar 3,074 mm. Untuk mempermudah perhitungan maka diambil nilai 3.075 mm.

3.4.5. Mensimulasikan Rancangan

Pada tahap ini, hasil rancangan disimulasikan dengan perangkat lunak *HFSS v 11.1.1* Gambar 3.3 menunjukkan grafik *return loss* hasil simulasi awal yang merupakan hasil rancangan berdasarkan perhitungan teori ($L=20,9$ mm, $W=27,25$ mm)



Gambar 3.3. Return loss simulasi awal elemen tunggal

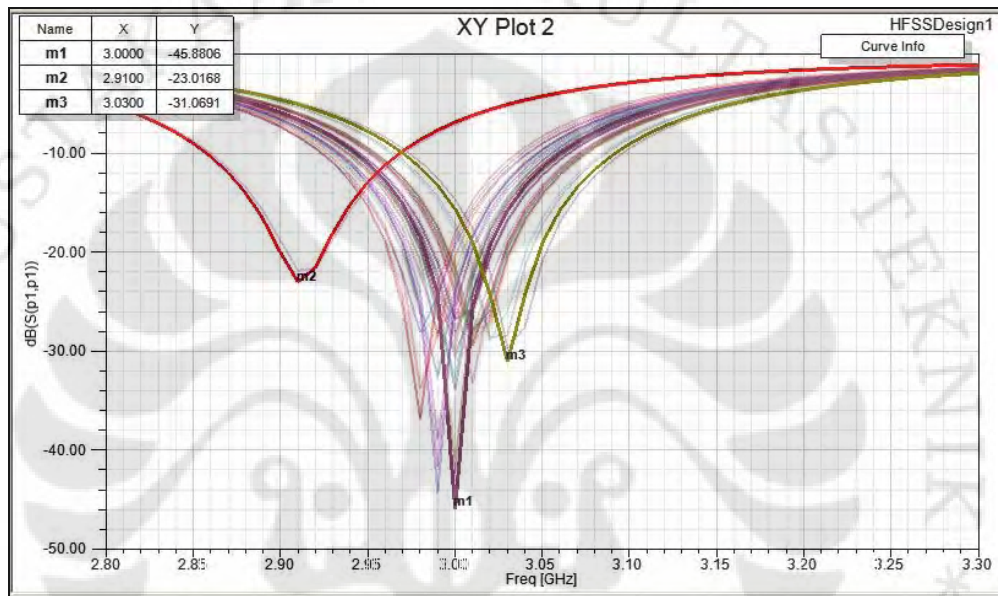
Dari Gambar 3.3 dapat dilihat bahwa, pada frekuensi kerja yang diinginkan bergeser ke frekuensi 3 GHz dengan nilai *return loss* yang diperoleh sebesar -29,8799 dB. Hasil ini sangat jauh dari frekuensi yang diharapkan yaitu 3,35 GHz. Hal tersebut dapat disebabkan oleh ketidaksesuaian antara perhitungan dimensi *patch* segiempat yang digunakan dengan teknik pencatuan *electromagnetic coupled*. Oleh karena itu, untuk mendapatkan rancangan yang optimal perlu dilakukan pengkarakterisasian antenna.

3.4.6. Karaterisasi Antena Elemen Tunggal

Secara teori umum, untuk menggeser frekuensi kerja dari 3 GHz menjadi 3,35 GHz adalah dengan memperkecil dimensi *patch* antenna, karena dimensi antenna berbanding terbalik dengan frekuensi kerjanya. Akan tetapi pada rancangan ini, digunakan teknik pencatuan *electromagnetic coupled* sehingga memiliki parameter lain yang dapat dimodifikasi untuk mendapatkan karakteristik yang diinginkan yaitu panjang saluran pencatu. Dengan demikian parameter yang memungkinkan untuk digunakan pada pengkarakterisasian ini adalah dimensi *patch* dan panjang saluran pencatu. Karakterisasi yang dilakukan dengan mengkarakterisasi panjang *feed* dan panjang elemen antenna ditampilkan pada gambar 3.4 dan 3.5.

A. Karakterisasi Panjang Saluran Pencatu

Gambar 3.4 memperlihatkan karakteristik dari rancangan antenna dengan mengubah hanya panjang saluran pencatu sedangkan parameter lainnya tetap. Variasi panjang saluran pencatu yang dibuat adalah mulai dari 10 mm hingga 15 mm dengan kenaikan 0.1 mm dan parameter yang tetap adalah dimensi *patch* (20.9x27,25mm). Data karakterisasi elemen tunggal dapat dilihat pada **Lampiran B**,



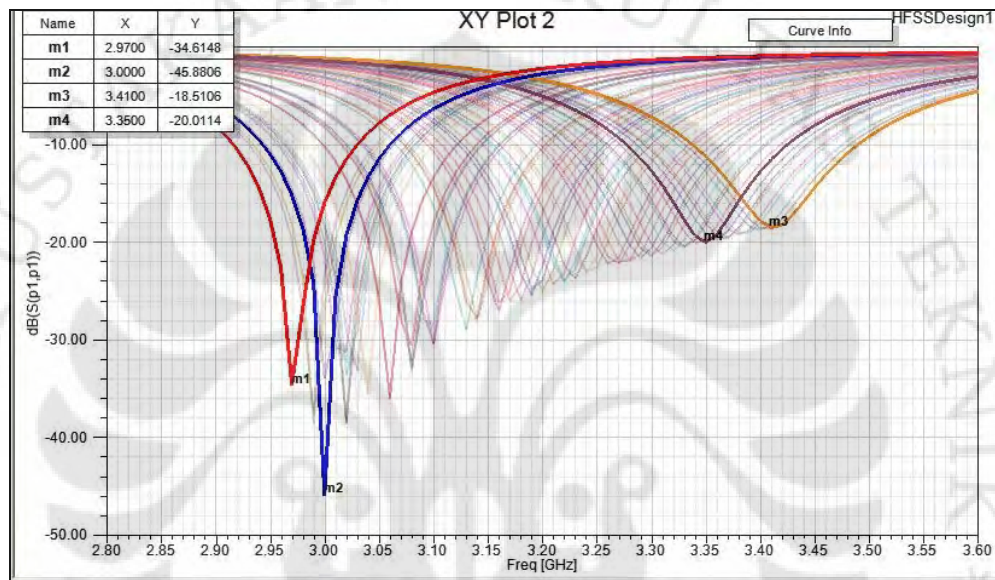
Gambar 3.4. Grafik *return loss* pada iterasi *feed* elemen tunggal

Dari Gambar 3.4 dapat terlihat bahwa iterasi dengan melakukan karakterisasi pada panjang *feed* mempengaruhi frekuensi resonansi serta *matching impedance* dari antenna. Pada *marker* 1 (m1) dengan *feed* = 10,7 mm, memiliki nilai *return loss* = -45,8806 dB pada frekuensi 3 GHz. Pada m2 dengan panjang *feed* = 12,3 mm memiliki nilai *return loss* = -23,0168 dB pada frekuensi 2,91 GHz. Sedangkan pada *marker* 3 (m3) dengan *feed* = 14,6 mm, memiliki nilai *return loss* = -31,0691 dB pada frekuensi 3,03 GHz. Dari hasil ini dapat disimpulkan meskipun terjadi pergeseran frekuensi resonansi namun tidak besar.

B. Karakterisasi Panjang *Patch*

Gambar 3.5 memperlihatkan sebuah pengkarakterisasian dari rancangan

antena dengan mengubah hanya ukuran panjang *patch*, sedangkan parameter lainnya tetap. Variasi panjang *patch* (L) yang dibuat adalah mulai 18mm hingga 21 mm dengan perubahan tiap 0.1 mm. Parameter yang tetap adalah: lebar *patch* ($W=27.25\text{mm}$) dan panjang saluran pencatu ($L_f = 10.7\text{mm}$). Dari Gambar 3.5 tersebut dapat diamati bahwa dengan memperbesar panjang *patch* maka frekuensi kerja dari antenna menjadi lebih kecil, demikian pula untuk sebaliknya. Data karakterisasi panjang *patch* untuk elemen tunggal dapat dilihat pada **Lampiran B**.

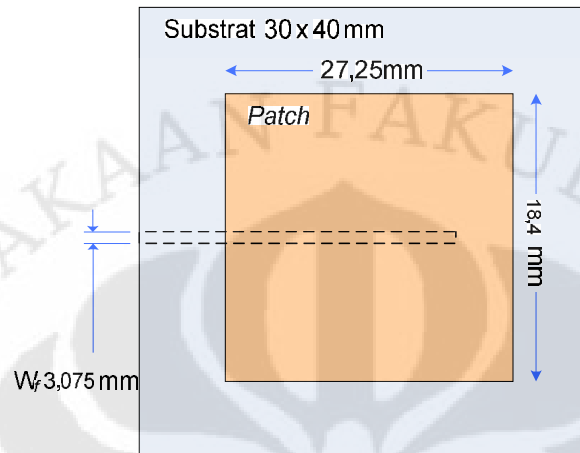


Gambar 3.5. Grafik *return loss* pada iterasi *patch* pada elemen tunggal

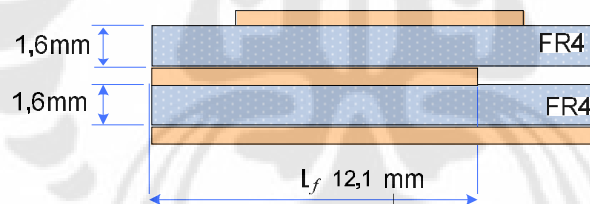
Pada *marker* 1 (m1) dengan panjang *patch* = 21 mm, memiliki nilai *return loss* = -34,6148 dB pada frekuensi 2,97 GHz. Pada m2 dengan panjang *patch*= 20,9 mm memiliki nilai *return loss* = -45,8806 dB pada frekuensi 3 GHz. Pada *marker* 3 (m3) dengan panjang *patch* = 18 mm, memiliki nilai *return loss* = -18,5106 dB pada frekuensi 3,41 GHz. Sedangkan Pada *marker* 4 (m4) dengan panjang *patch* = 18,4 mm, memiliki nilai *return loss* = -20,0114 dB pada frekuensi 3,35 GHz yang merupakan frekuensi kerja pada skripsi ini. Nilai optimum yang dicapai dengan perubahan tersebut akan saling terkait dengan nilai parameter lain, yaitu dengan kombinasi pengaturan antara dimensi *patch* dan panjang saluran pencatu.

3.4.7. Hasil Simulasi Elemen tunggal

Pada Gambar 3.5 merupakan geometri hasil rancangan setelah mengalami karakterisasi, yaitu dengan panjang saluran pencatu sebesar 12,1 mm, panjang patch sebesar 18,4 mm dan lebar patch sebesar 27,25 mm.



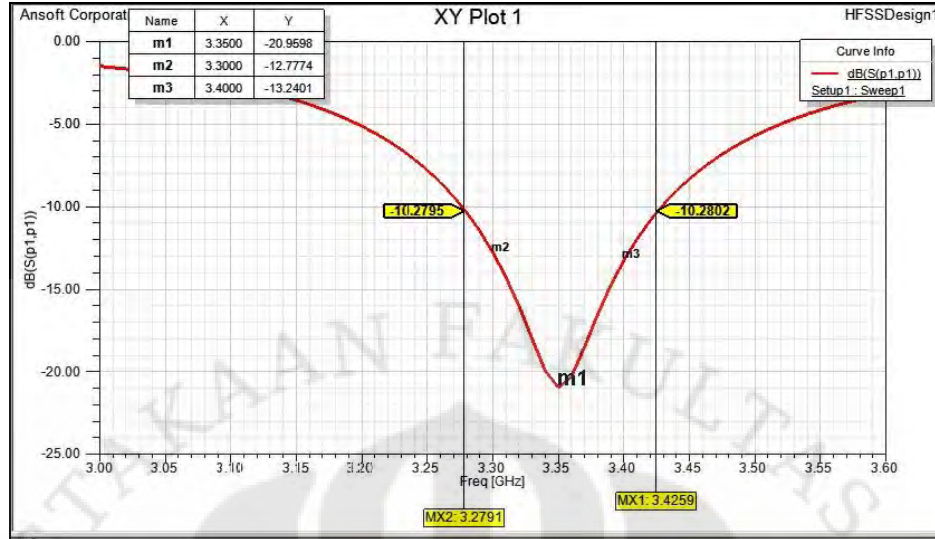
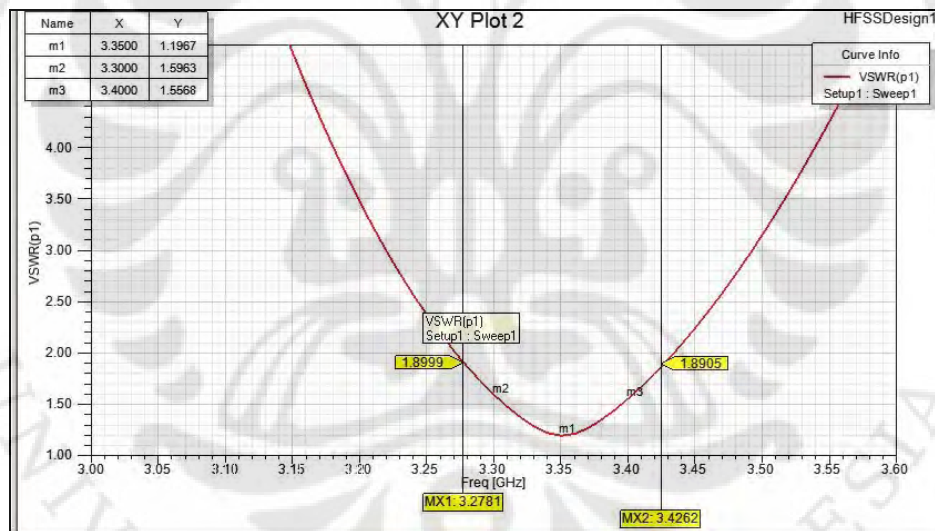
(a). Tampilan atas



(b). Tampilan samping

Gambar 3.6. Geometri hasil perancangan antenna elemen tunggal

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 yang diperoleh optimal diberikan pada Gambar 3.7, 3.8, dan 3.9. Hasil simulasi yang optimum ini didapatkan dengan melakukan iterasi terhadap kombinasi antara nilai parameter dimensi *patch* dan panjang saluran pencatu.

Gambar 3.7. Hasil simulasi *Return loss* elemen tunggal

Gambar 3.8. Hasil simulasi VSWR elemen tunggal

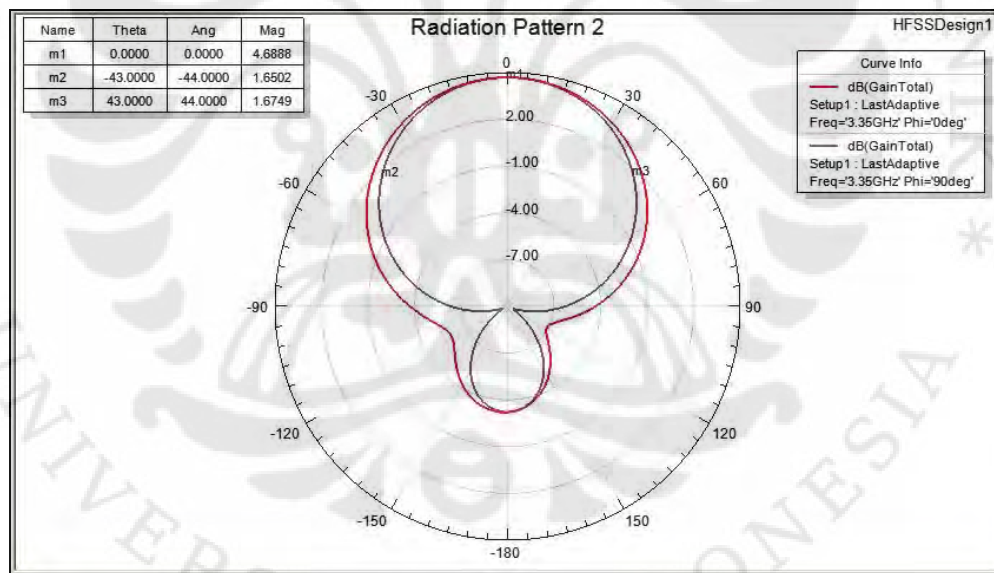
Gambar 3.7 dan Gambar 3.8 memperlihatkan *impedance bandwidth*. Dari gambar tersebut dapat terlihat bahwa *impedance bandwidth* antenna berada pada rentang 3,27 GHz sampai dengan 3,42 GHz dengan frekuensi puncak di 3,35 GHz. Dari Gambar 3.7 dan 3.8 di atas dapat dilihat bahwa nilai *return loss* yang diperoleh pada frekuensi 3,3 GHz dan 3,4 GHz masing-masing adalah -13,7774 dB dan -13,2401 dB dan pada frekuensinya (3,35) GHz diperoleh -20,9598 dB. Sedangkan nilai VSWR yang diperoleh pada frekuensi 3,3 GHz dan 3,4 GHz

masing-masing adalah 1,5963 dan 1,5568. Pada frekuensi tengahnya nilai VSWR yang diperoleh mencapai 1,1967. Dari data ini dapat diketahui bahwa pada rentang frekuensi 3,3-3,4 GHz, rancangan antenna elemen tunggal mampu bekerja pada nilai $VSWR \leq 1,6$. 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:

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

$$bandwidth = \frac{3.4262 - 3.2781}{3.35} \times 100\%$$

$$bandwidth = 4.42\% (148,1 \text{ MHz})$$



Gambar 3.9. Hasil simulasi pola radiasi elemen tunggal

Pada Gambar 3.9 di atas dapat dilihat hasil simulasi pola radiasi yang diperoleh untuk elemen tunggal. Dari gambar tersebut terlihat bahwa pola radiasi yang dihasilkan memiliki *beamwidth* sekitar 88° dan *magnitude* tertinggi sebesar 4,6888 dB berada pada sudut 0° .

3.5. PERANCANGAN *ARRAY PATCH* SEGIEMPAT 2 ELEMEN

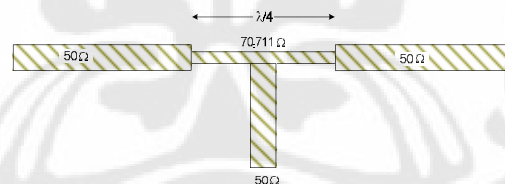
3.5.1. Pengaturan Jarak Antar Elemen

Jarak antar elemen pada antenna yang dirancang pada skripsi ini sekitar setengah panjang gelombang ($d = \lambda/2$). Dengan frekuensi 3,35 GHz didapatkan jarak 44,75 mm.

Jarak antar elemen ini dapat 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 (4,68 dB). Peningkatan *magnitude* tersebut mengindikasikan adanya peningkatan *gain* dari antenna.

3.5.2. Perancangan *T-Junction*

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 Bab II. Pada penelitian ini *T-junction* yang digunakan adalah yang memiliki impedansi 70,711 ohm. Impedansi 70,711 ohm tersebut berfungsi sebagai transformator $\lambda/4$.

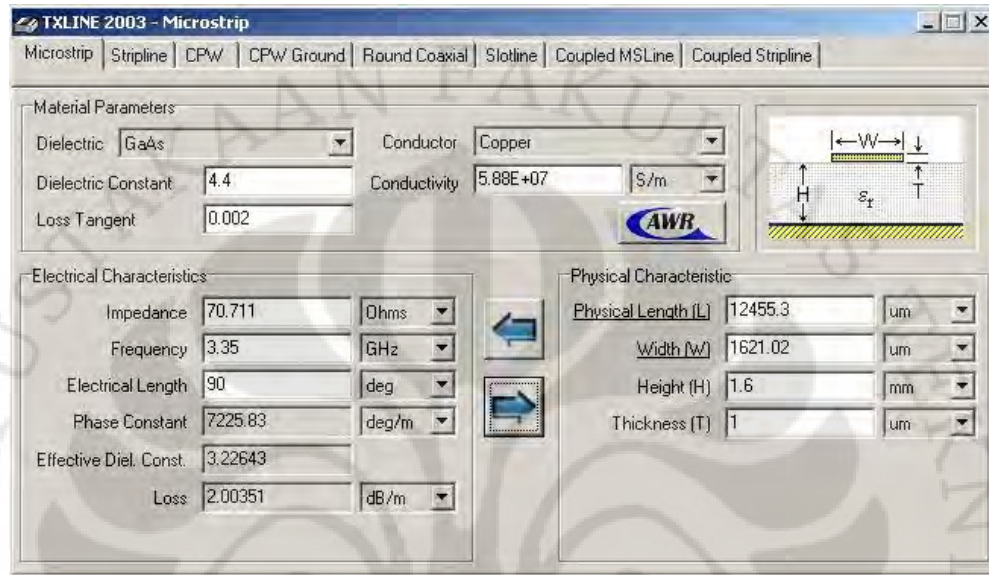


Gambar 3.10 Perancangan *T-junction* impedansi 70,711Ω

3.5.3. Perancangan Lebar Saluran Pencatu

Pencatuan yang digunakan pada antenna yang dirancang pada skripsi ini adalah menggunakan teknik pencatuan *electromagnetically coupled*. Terdapat dua buah impedansi saluran pencatu yang digunakan pada antenna *array* 2 elemen, yaitu saluran 50 ohm dan 70,711 ohm. Nilai Untuk mendapatkan nilai impedansi saluran pencatu sebesar 50 ohm dan 70,711 ohm dapat dilakukan pengaturan lebar dari saluran pencatu. Impedansi 50 ohm telah didapatkan pada Sub Bab 3.4.4.

Untuk mendapatkan besar lebar dari saluran pencatu yang menghasilkan nilai impedansi 70,711 ohm digunakan program *TXLINE*. Tampilan dari program *TXLINE* untuk mencari lebar catu agar mempunyai impedansi 70,711 ohm dapat dilihat pada Gambar 3.11.



Gambar 3.11. Tampilan program *TXLINE* untuk mencari lebar catu agar mempunyai impedansi 70,711 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 *TXLINE* ini didapatkan nilai untuk menghasilkan nilai impedansi 70,711 ohm dengan menggunakan nilai parameter substrat yang digunakan dalam perancangan ini, dibutuhkan lebar saluran pencatu sebesar 1,621.02 mm. Untuk mempermudah perhitungan maka diambil nilai 1.6205 mm. Pada Tabel 3.2 dijelaskan karakteristik dari impedansi 50 ohm dan 70,711 ohm.

Tabel 3.2. Karakteristik Saluran Catu

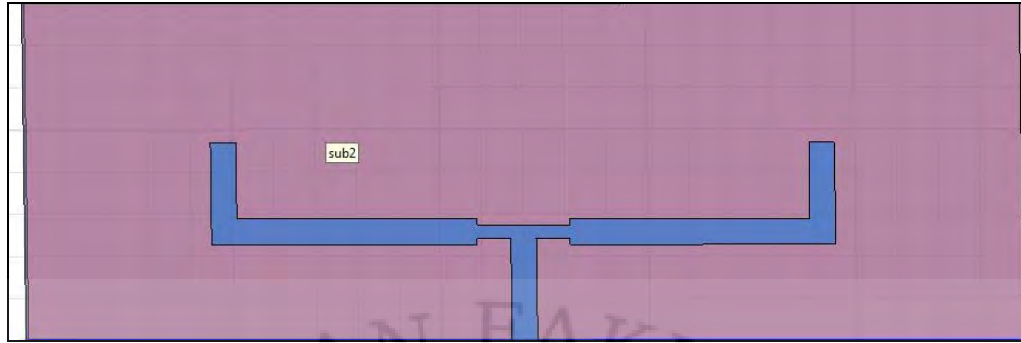
Parameter	Spesifikasi 1	Spesifikasi 2
Lebar Saluran	1,625 mm	3,075 mm
Dielectric Loss Tangent ($\tan \delta$)	0,02	0,02
Impedansi saluran	70,711 ohm	50 ohm

3.5.4. Desain Antena *Array* 2 Elemen

Antena yang akan dirancang didesain berdasarkan karakterisasi final elemen tunggal, yaitu dengan dimensi *patch* (18,4x27,25mm), panjang *feed* 12,1 mm, dengan jarak antara elemen ($\lambda/2$) dan dengan menggunakan *T-junction* dengan impedansi 70,711 ohm. Gambar 3.12 dan 3.13 merupakan desain antena *array* 2 elemen dilihat dari atas dan samping. Sedangkan gambar 3.14 merupakan *feeding* dari antena *array* 2 elemen. Karakterisasi yang dilakukan dengan merubah nilai dari panjang *patch* sedangkan nilai yang lain tetap (lebar *patch* =27,2 mm, panjang ifeed =12,1 mm dan jarak antarelemen = 44,75 mm)

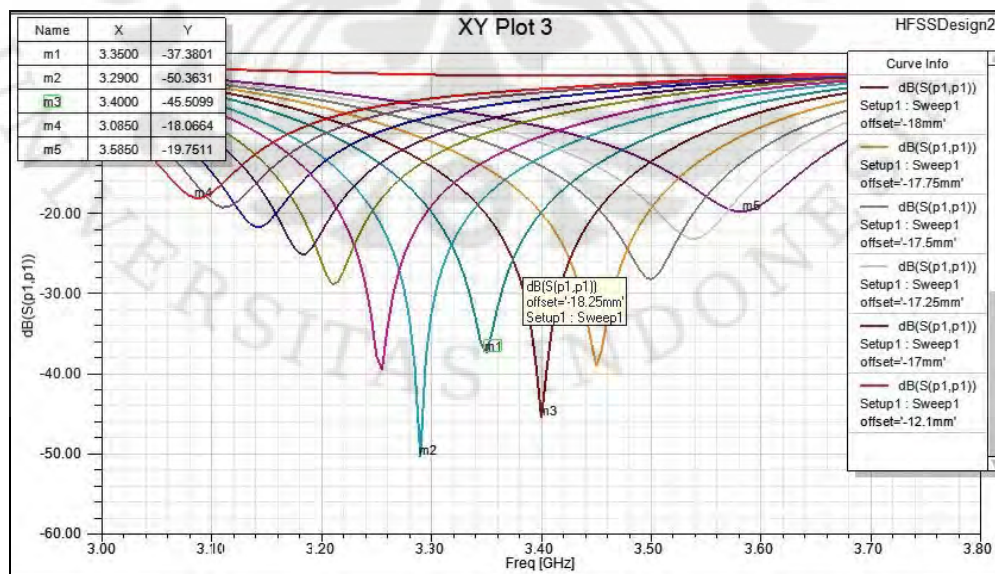


Gambar 3.12 Desain antena 2 elemen tampak atas

Gambar 3.13 Desain *feeding* antenna 2 elemen

3.5.5. Karakterisasi Antena *Array* 2 Elemen

Gambar 3.14 memperlihatkan sebuah pengkarakterisasian dari rancangan antenna dengan mengubah hanya ukuran panjang *patch*, sedangkan parameter lainnya tetap. Variasi panjang *patch* (L) yang dibuat adalah mulai 17 mm hingga 20 mm dengan perubahan tiap 0.25 mm. Parameter yang tetap adalah: lebar *patch* ($W=27.25\text{mm}$) dan panjang saluran pencatu ($L_f = 12,1\text{mm}$). Dari Gambar 3.14 tersebut dapat diamati bahwa dengan memperbesar panjang *patch* maka frekuensi kerja dari antenna menjadi lebih kecil, demikian pula untuk sebaliknya. Data karakterisasi untuk antenna 2 elemen dapat dilihat pada **Lampiran B**.

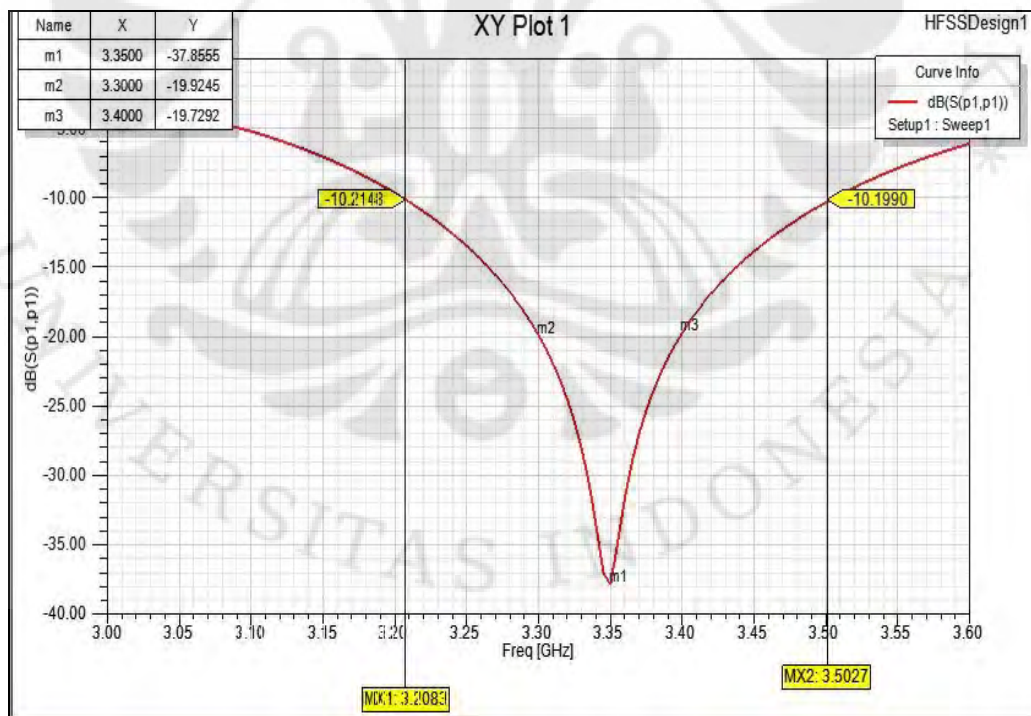
Gambar 3.14. Grafik *return loss* pada iterasi *patch array* 2 elemen

Pada m2 dengan panjang *patch*= 18,5 mm memiliki nilai *return loss* = -

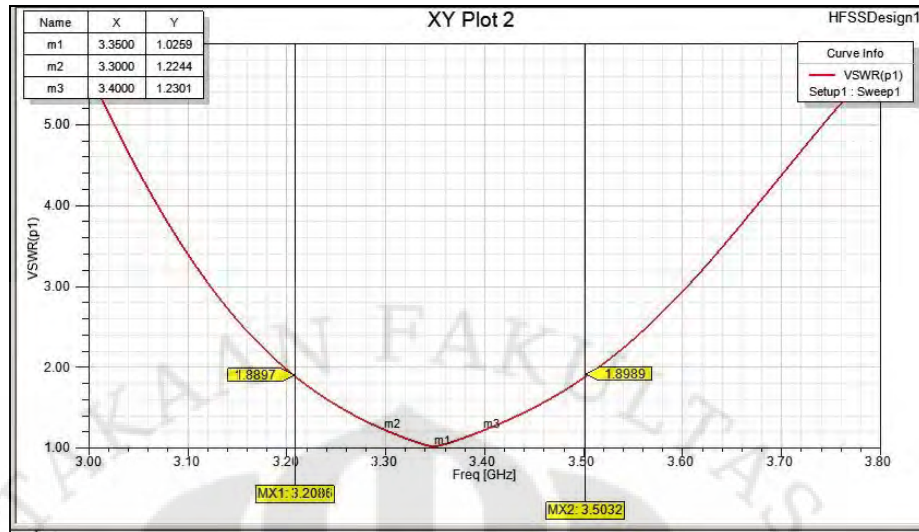
50,3631 dB pada frekuensi 3,29 GHz. Pada *marker* 3 (m3) dengan panjang *patch* = 18 mm, memiliki nilai *return loss* = -45,5099 dB pada frekuensi 3,4 GHz. Pada *marker* 4 (m4) dengan panjang *patch* = 20 mm, memiliki nilai *return loss* = -18,0664 dB pada frekuensi 3,085 GHz. Pada *marker* 5 (m5) dengan panjang *patch* = 17 mm, memiliki nilai *return loss* = -19,7511 dB pada frekuensi 3,585 GHz. Sedangkan Pada *marker* 1 (m1) dengan panjang *patch* = 18,25 mm, memiliki nilai *return loss* = -37,3801 dB pada frekuensi 3,35 GHz yang merupakan frekuensi kerja pada skripsi ini.

3.5.6. Hasil Simulasi Antena 2 Elemen

Pengamatan pada parameter *return loss*, VSWR, dan pola radiasi dari hasil simulasi antena *array* 2 elemen yang diperoleh optimal diberikan pada Gambar 3.15, 3.16, dan 3.17. Hasil simulasi yang optimum ini didapatkan dengan melakukan iterasi terhadap kombinasi antara nilai parameter dimensi *patch* dan panjang saluran pencatu.



Gambar 3.15. Hasil simulasi *Return loss* 2 elemen



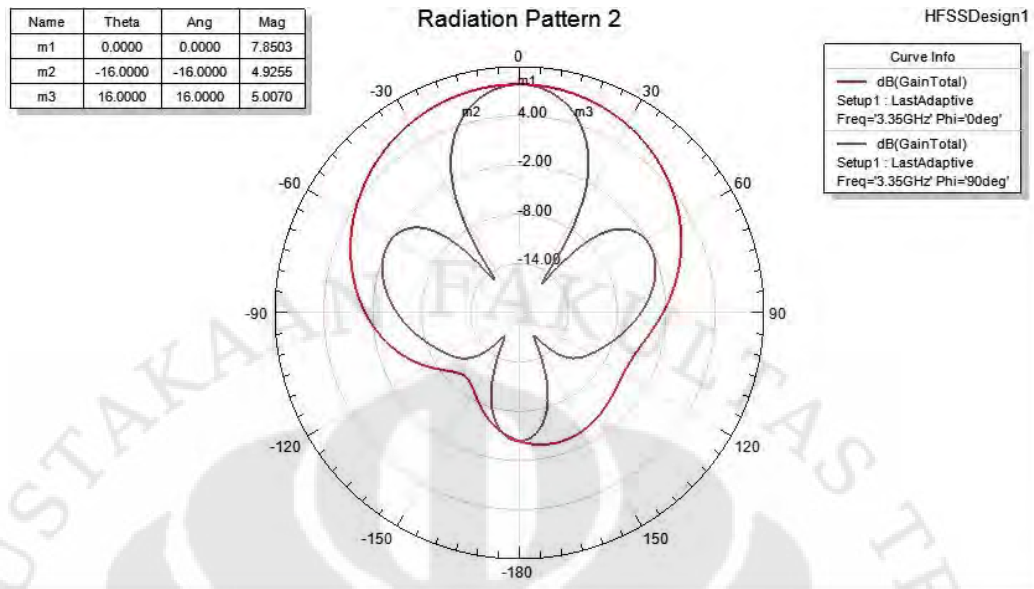
Gambar 3.16. Hasil simulasi VSWR 2 elemen

Gambar 3.15 dan Gambar 3.16 memperlihatkan *impedance bandwidth* pada antenna *array* 2 elemen. Dari gambar tersebut dapat terlihat bahwa *impedance bandwidth* antenna berada pada rentang 3,21 GHz sampai dengan 3,51 GHz dengan frekuensi puncak di 3,35 GHz. Dari Gambar 3.14 dan 3.15 di atas dapat dilihat bahwa nilai *return loss* yang diperoleh pada frekuensi 3,3 GHz dan 3,4 GHz masing-masing adalah -19,9245 dB dan -19,7292 dB dan pada frekuensi tengahnya (3,35) GHz diperoleh -37,8555 dB. Sedangkan nilai VSWR yang diperoleh pada frekuensi 3,3 GHz dan 3,4 GHz masing-masing adalah 1,2244 dan 1,2301. Pada frekuensi tengahnya nilai VSWR yang diperoleh mencapai 1,0259. Dari data ini dapat diketahui bahwa pada rentang frekuensi 3,3-3,4 GHz, rancangan antenna *array* 2 elemen mampu bekerja pada nilai VSWR $\leq 1,6$ 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:

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

$$\text{bandwith} = \frac{3.5032 - 3.2086}{3.35} \times 100\%$$

$$\text{bandwith} = 8.8029\% (294,1 \text{ MHz})$$



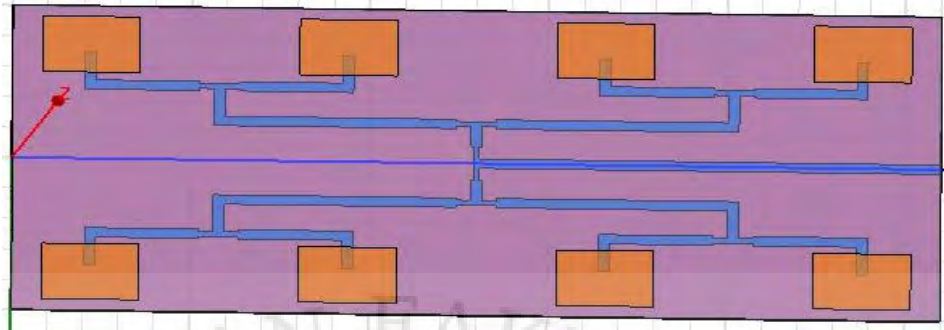
Gambar 317. Hasil simulasi pola radiasi 2 elemen

Pada Gambar 3.17 dapat dilihat hasil simulasi pola radiasi yang diperoleh untuk *array* 2 elemen. Dari gambar tersebut terlihat bahwa pola radiasi yang dihasilkan memiliki *beamwidth* sekitar 32° dan *magnitude* tertinggi sebesar 7,8503 dB berada pada sudut 0° .

3.6. PERANCANGAN *ARRAY PATCH* SEGIEMPAT 8 ELEMEN

3.6.1 Desain *Array Patch* Segiempat 8 Elemen

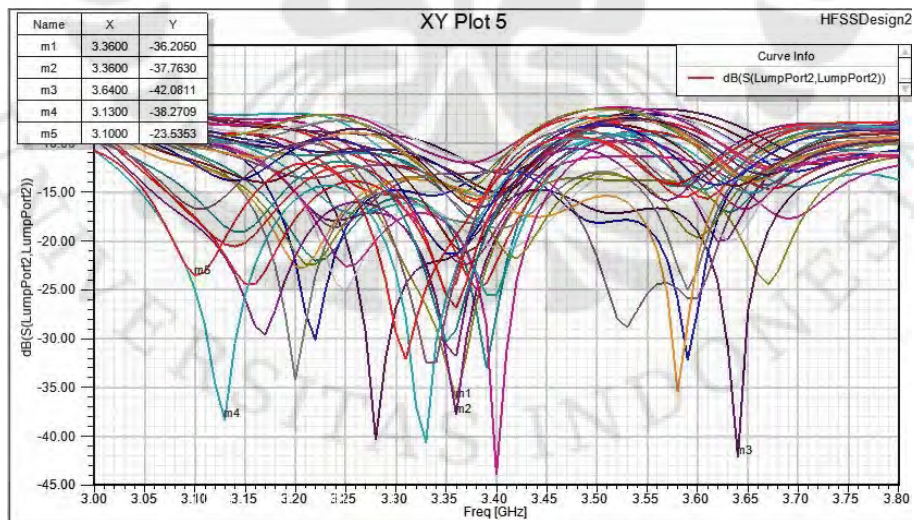
Antena *array* 8 elemen merupakan pengembangan dari *array* 2 elemen yang dikarakterisasi posisinya. Terdapat 3 konfigurasi yang dirancang, yaitu 8 elemen konfigurasi-1, 8 elemen konfigurasi-2 dan 8 elemen konfigurasi-3. Pada skripsi ini yang akan dibahas adalah 8 elemen konfigurasi-1 yang selanjutnya disebut antena *array* 8 elemen. Sedangkan desain dan hasil simulasi dari antena 8 elemen konfigurasi 2 dan 3 ditampilkan pada **Lampiran B**. Gambar 3.18 merupakan rancangan dari antena *array* 8 elemen.



Gambar 3.18 Rancangan antenna array 8 elemen

3.6.2. Karakterisasi Antena Array 8 Elemen

Gambar 3.19 memperlihatkan sebuah pengkarakterisasian dari rancangan antenna dengan mengoptimasi ukuran panjang *patch* dan panjang *feed* sedangkan parameter lainnya tetap. Variasi panjang *patch* (L) yang dibuat adalah mulai 16 mm hingga 21 mm dengan perubahan tiap 1 mm dan panjang *feed* (L_f) mulai dari 9 mm hingga 14 mm. Parameter yang tetap adalah: lebar *patch* ($W=27.25\text{mm}$). Dari Gambar 3.19 tersebut dapat diamati bahwa dengan memperbesar panjang *patch* maka frekuensi kerja dari antenna menjadi lebih kecil, demikian pula untuk sebaliknya.

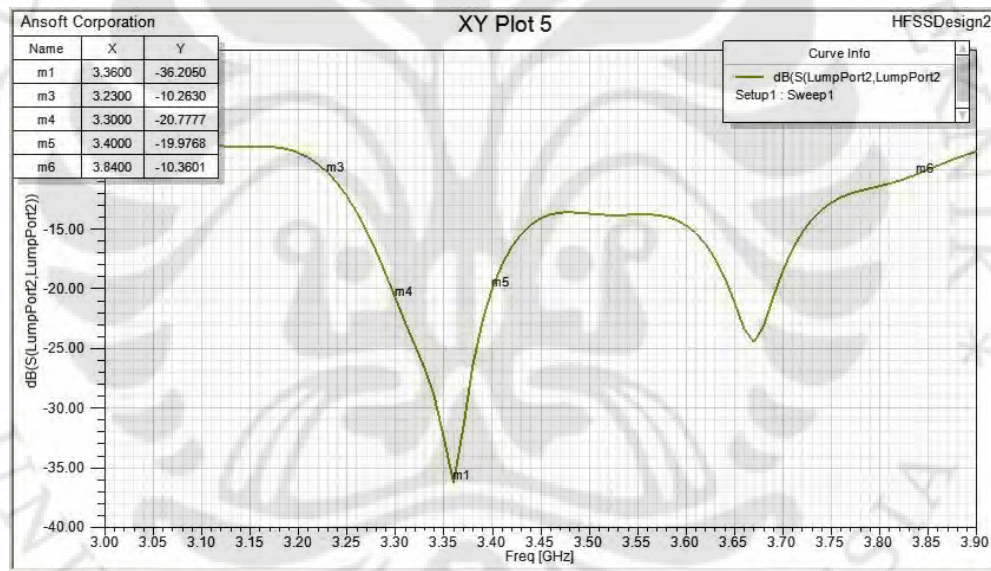
Gambar 3.19. Grafik *return loss* pada optimasi panjang *patch* dan panjang *feed* array 8 elemen

Pada m2 dengan panjang *patch* = 17 mm dan panjang *feed* = 11 mm memiliki nilai *return loss* = -37,7360 dB pada frekuensi 3,36 GHz. Pada marker 3

(m3) dengan panjang *patch* = 16 mm dan panjang *feed* = 12 mm, memiliki nilai *return loss* = -42,0811 dB pada frekuensi 3,64 GHz. Pada *marker* 4 (m4) dengan panjang *patch* = 20 mm dan panjang *feed* = 14 mm, memiliki nilai *return loss* = -38,2709 dB pada frekuensi 3,13 GHz. Pada *marker* 5 (m5) dengan panjang *patch* = 21 mm dan panjang *feed* = 14 mm, memiliki nilai *return loss* = -23,5353 dB pada frekuensi 3,1 GHz. Sedangkan Pada *marker* 1 (m1) dengan panjang *patch* = 16 dan panjang *feed* = 11 mm, memiliki nilai *return loss* = -36,2050 dB pada frekuensi 3,36 GHz yang merupakan frekuensi kerja pada skripsi ini.

3.6.3 Hasil Simulasi *Array Patch* 8 Elemen

Gambar 3.20 merupakan grafik *return loss* dari antenna rancangan *array* 8 elemen hasil optimasi antara panjang *feed* dan panjang *patch*.



Gambar 3.20. Hasil simulasi antenna *array* 8 elemen

Gambar 3.20 memperlihatkan *impedance bandwidth* pada antenna *array* 8 elemen. Dari gambar tersebut dapat terlihat bahwa *impedance bandwidth* antenna berada pada rentang 3,23 GHz sampai dengan 3,84 GHz untuk nilai *return loss* \leq -10,16 dB, dengan frekuensi puncak di 3,36 GHz. Dari Gambar 3.19 di atas dapat dilihat bahwa nilai *return loss* yang diperoleh pada frekuensi 3,3 GHz dan 3,4 GHz masing-masing adalah -20,7777 dB dan -19,9768 dB dan pada frekuensi tengahnya (3,35) GHz diperoleh -36,2050 dB. Dari data ini dapat diketahui bahwa pada rentang frekuensi 3,3-3,4 GHz, rancangan antenna *array* 8 elemen mampu

bekerja pada nilai *return loss* $\leq -19,9$ dB. 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 *return loss* $\leq -10,16$ adalah:

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

$$\text{bandwidth} = \frac{3.84 - 3.23}{3.36} \times 100\%$$

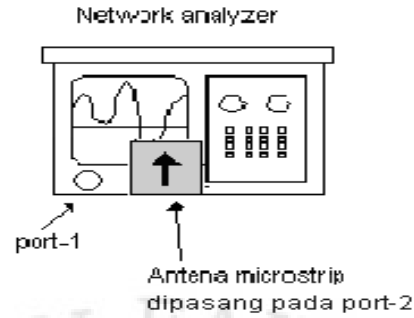
$$\text{bandwidth} = 18,15\% (610 \text{ MHz})$$

3.7. PROSEDUR PENGUKURAN ANTENA

Pengukuran dilakukan di ruang *Anechoic Chamber*, karena dinding ruangan ini bersifat menyerap gelombang elektromagnetik yang dapat mengurangi pengaruh pantulan dan interferensi gelombang terhadap hasil pengukuran antenna.

3.7.1 Pengukuran Port Tunggal

Pengukuran port tunggal adalah pengukuran tanpa melibatkan antenna yang lain. Pada pengukuran port tunggal ini, antenna yang telah difabrikasi diukur dengan menggunakan *Network Analyzer*. Antenna 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 3.21.



Gambar 3.21 Konfigurasi pengukuran *port* tunggal

3.7.2 Pengukuran Pola Radiasi

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

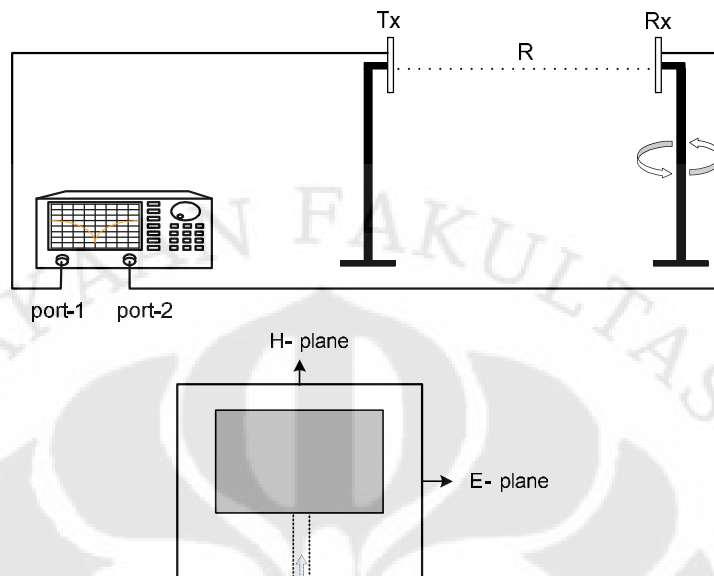
$$r_{\min} = \frac{2D^2}{\lambda} \dots\dots\dots (3.1)$$

- dimana: r_{\min} = jarak minimum pemancar dengan penerima (cm)
 D = dimensi terbesar dari antenna (cm)
 λ = panjang gelombang (cm)

Dimensi terbesar dari antenna yang ingin diukur adalah sebesar $D = 26$ cm dan panjang gelombang pada frekuensi 3,35 GHz adalah $\lambda = 8,955$ cm maka diperoleh jarak minimum $r_{\min} = 150,22$ cm. Pada pengukuran digunakan jarak pisah sejauh 160 cm. Format pengukuran digunakan parameter S_{21} yang artinya antenna pemancar di *port* 1 dan antenna penerima di *port* 2.

Pengukuran pola radiasi dilakukan dengan menggunakan alat ukur *network analyzer* dengan mengacu pada jarak minimum pengukuran. Format pengukuran yang digunakan adalah jenis S_{12} dengan antenna pemancar diletakkan pada *port* 2, sedangkan antenna penerima diletakkan pada *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 3.22.



Gambar 3.22 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_{12} . Sudut penerimaan antenna penerima diubah-ubah dari 0° hingga 360° dengan interval 10° untuk bidang-E dan bidang-H. Pengukuran dilakukan pada frekuensi puncak dari antenna.

3.7.3. Pengukuran *Gain* Absolut

Ada dua metode untuk mengukur *gain* absolute yaitu metode 2 antenna dan metode 3 antenna. Kedua metode ini sama-sama menggunakan persamaan Friis seperti ditunjukkan oleh Persamaan 3.2.

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

di mana :

G = *gain* absolut (dB);

- R = jarak pisah antara antenna pemancar dan penerima (meter);
 λ = panjang gelombang pada frekuensi yang digunakan (meter);
 P_t = daya pengirim (Watt);
 P_r = daya penerima (Watt).

3.7.3.1. Metode 2 Antena

Metode 2 antena dipakai jika antenna pemancar dan antenna penerima identik (bentuk *patch*, ukuran *patch*, *gain*, pola radiasi, dll) [7]. Dengan mengukur R , λ , dan perbandingan P_r/P_t , maka nilai *gain* antena dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.3.

$$(G_{ot})_{dB} = (G_{or})_{dB} = \frac{1}{2} \left[20 \log_{10} \left(\frac{4\pi R}{\lambda} \right) + 10 \log_{10} \left(\frac{P_r}{P_t} \right) \right] \quad (3.3)$$

3.7.3.2. Metode 3 Antena

Pada metode ini, ketiga antena yang dipakai tidak harus identik, tetapi harus memiliki frekuensi kerja yang sama. Karena menggunakan tiga antena, maka terdapat 3 kombinasi yang mungkin terjadi, yaitu :

- a. Kombinasi 1-2 :

$$(G_1)_{dB} + (G_2)_{dB} = 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi R}{\lambda} \right) + 10 \log_{10} \left(\frac{P_{r_2}}{P_{t_1}} \right) \quad (3.4)$$

- b. Kombinasi 1-3 :

$$(G_1)_{dB} + (G_3)_{dB} = 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi R}{\lambda} \right) + 10 \log_{10} \left(\frac{P_{r_3}}{P_{t_1}} \right) \quad (3.5)$$

- c. Kombinasi 2-3 :

$$(G_2)_{dB} + (G_3)_{dB} = 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi R}{\lambda} \right) + 10 \log_{10} \left(\frac{P_{r_3}}{P_{t_2}} \right) \quad (3.6)$$

Ketiga persamaan di atas dapat dituliskan sebagai:

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

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

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

Dengan demikian penyelesaian untuk ketiga persamaan di atas adalah:

$$G_1 (dB) = \frac{1}{2} (A + B - C) \quad (3.7)$$

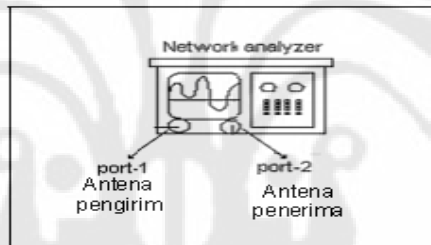
$$G_2 (dB) = \frac{1}{2} (A - B + C) \quad (3.8)$$

$$G_3 (dB) = \frac{1}{2} (-A + B + C) \quad (3.9)$$

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*,

Pengukuran *gain* dilakukan di dalam ruangan *anechoic chamber*. Rangkaian peralatan selama proses pengukuran dapat dilihat pada Gambar 3.23.



Gambar 3.23 Rangkaian peralatan pada pengukuran *gain*

BAB IV

HASIL PENGUKURAN DAN ANALISIS HASIL PENGUKURAN

4.1. HASIL PENGUKURAN PARAMETER ANTENA

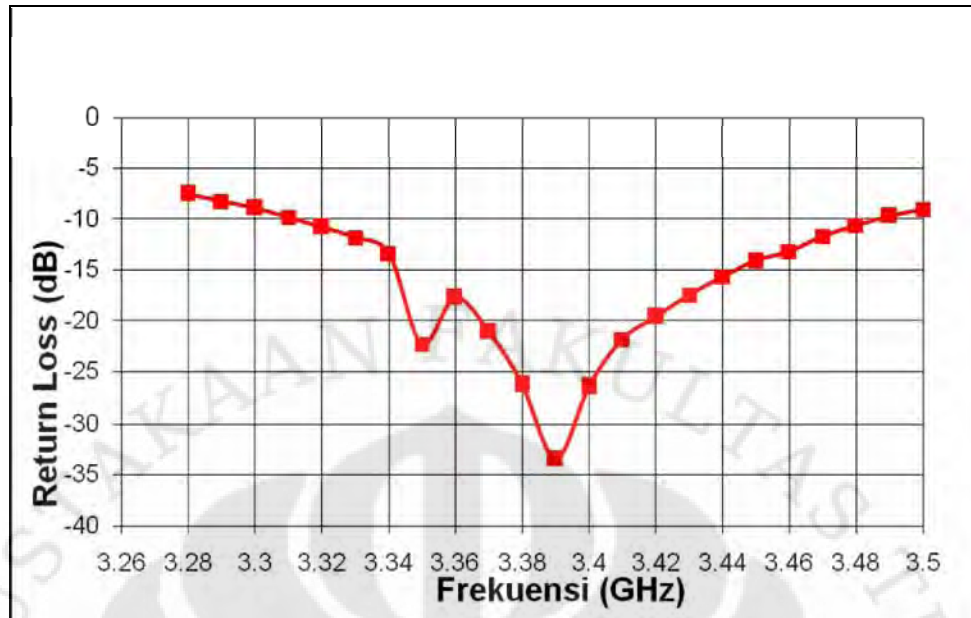
Setelah desain antena selesai dibuat dan disimulasikan dengan menggunakan perangkat lunak *HFSS v.11*, antena kemudian difabrikasi. Setelah itu, antena hasil fabrikasi diukur pada ruang *anechoic chamber* (ruang anti gema) dengan metode pengukuran seperti yang dijelaskan pada sub-bab 3.7. Ada 5 parameter 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.

4.1.1. Pengukuran *Port* Tunggal

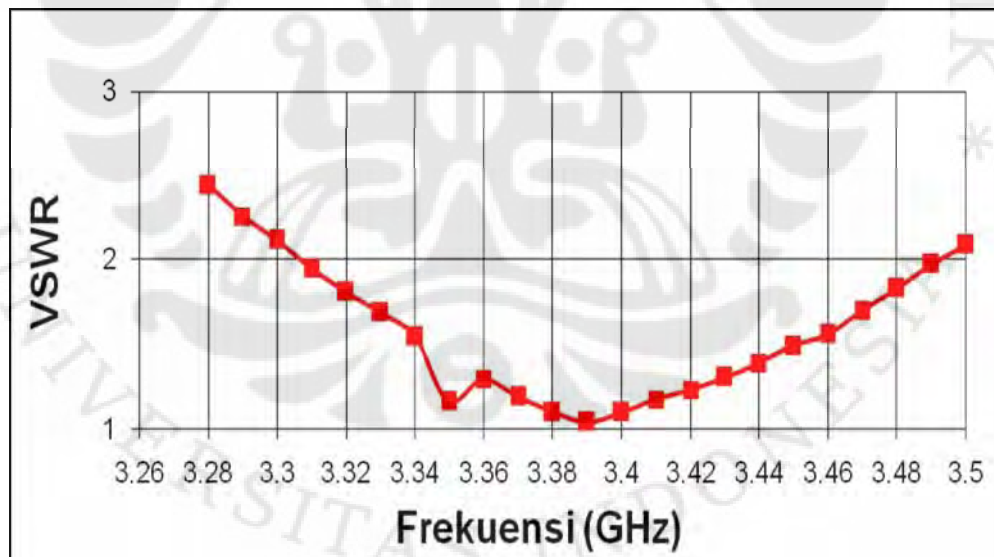
Pada pengukuran *port* tunggal hanya menggunakan antena yang akan diukur, tanpa melibatkan antena yang lain. Antena yang telah difabrikasi dapat diukur dengan menggunakan *Network Analyzer*. Antena dapat diukur dengan menggunakan format S_{11} atau S_{22} . Format S_{11} digunakan jika antena dipasang 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.

4.1.1.1. 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 4.1, 4.2, dan 4.3 secara berurutan.



Gambar 4.1. Grafik *return loss* hasil pengukuran antenna elemen tunggal



Gambar 4.2. Grafik VSWR hasil pengukuran antenna elemen tunggal



Gambar 4.3. Grafik impedansi masukan hasil pengukuran antenna elemen tunggal

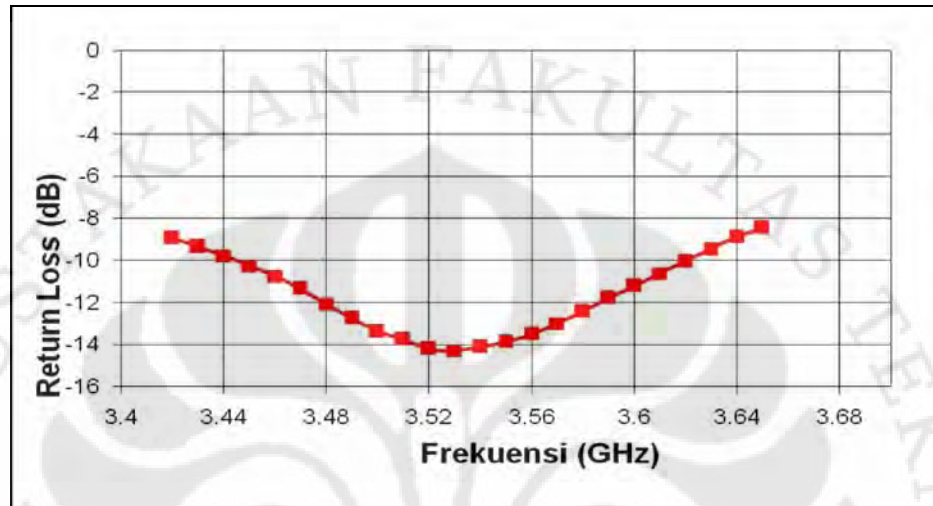
Dari Gambar 4.1 dapat dilihat bahwa nilai *return loss* yang diperoleh pada frekuensi 3,3 GHz dan 3,4 GHz masing-masing adalah -8,92 dB dan -26,4 dB. Sedangkan pada nilai $VSWR \leq -10,16$ dB memiliki frekuensi dari 3,319 GHz sampai 3,4915 GHz. Nilai *return loss* terendah yang diperoleh adalah -33,4 dB pada frekuensi 3,39 GHz. Sedangkan nilai *VSWR* yang diperoleh pada frekuensi 3,3 GHz dan 3,4 GHz (Gambar 4.2), masing-masing adalah 2,1157 dan 1,1005. Nilai *VSWR* terendah mencapai 1,0437 pada frekuensi 3,39 GHz. Impedansi masukan antenna (Gambar 4.3) pada rentang frekuensi 3,319-3,4915 GHz berkisar $28,5 \Omega$ hingga $65,9 \Omega$. Dari hasil pengukuran ini dapat diketahui bahwa antenna mengalami pergeseran frekuensi sekitar 40 MHz, yaitu dari frekuensi puncak 3,35 GHz ke frekuensi 3,39 GHz. Adapun *bandwidth* yang dicapai pada nilai $VSWR \leq 1,9$ adalah:

$$bandwidth = \frac{3.4915 - 3.319}{3.40525} \times 100\%$$

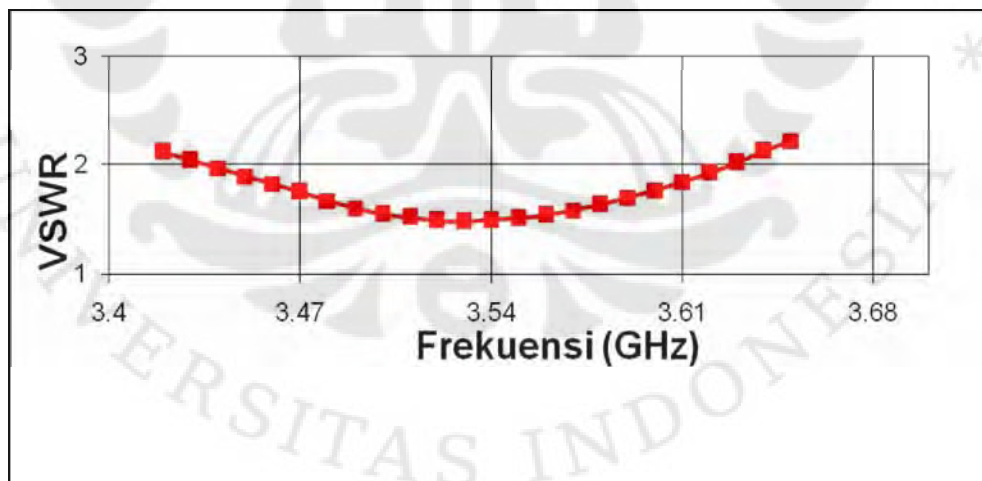
$$bandwidth = 5,065\% (172,5 \text{ MHz})$$

4.1.1.2. Hasil Pengukuran *Port* Tunggal Antena 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 4.4, 4.5, dan 4.6 secara berurutan.



Gambar 4.4. Grafik *return loss* hasil pengukuran antena *array* 2 elemen



Gambar 4.5. Grafik *VSWR* hasil pengukuran antena *array* 2 elemen



Gambar 4.6. Grafik impedansi masukan hasil pengukuran antenna *array* 2 elemen

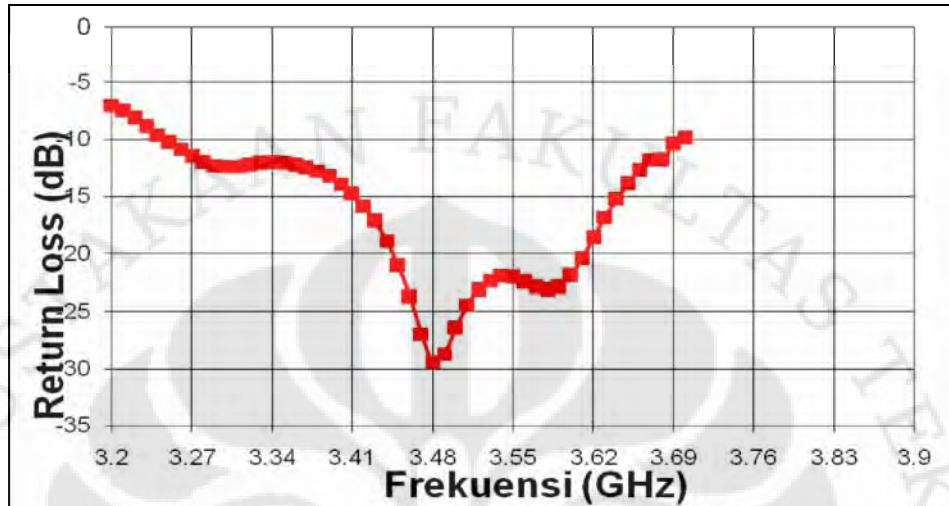
Dari Gambar 4.4 dapat dilihat bahwa nilai *return loss* yang diperoleh pada nilai *return loss* $\leq -10,16$ dB yaitu antara frekuensi 3,45 GHz dan 3,61 GHz masing-masing adalah $-10,227$ dB dan $-10,59$ dB. Nilai *return loss* terendah yang diperoleh adalah $-14,28$ dB pada frekuensi 3,53 GHz. Sedangkan nilai VSWR yang diperoleh pada nilai VSWR $\leq 1,5$ yaitu pada rentang frekuensi 3,45 GHz-3,61 GHz (Gambar 4.5), masing-masing adalah 1,8905 dan 1,8387. Nilai VSWR terendah mencapai 1,4789 pada frekuensi 3,53 GHz. Impedansi masukan antenna (Gambar 4.6) pada rentang frekuensi 3,45-3,61 GHz berkisar 31Ω hingga 73Ω . Dari hasil pengukuran ini dapat diketahui bahwa antenna mengalami pergeseran frekuensi sekitar 180 MHz, yaitu dari frekuensi puncak 3,35 GHz ke frekuensi 3,53 GHz. Adapun *bandwidth* yang dicapai pada nilai VSWR $\leq 1,9$ adalah:

$$\text{bandwidth} = \frac{3.61 - 3.45}{3.53} \times 100\%$$

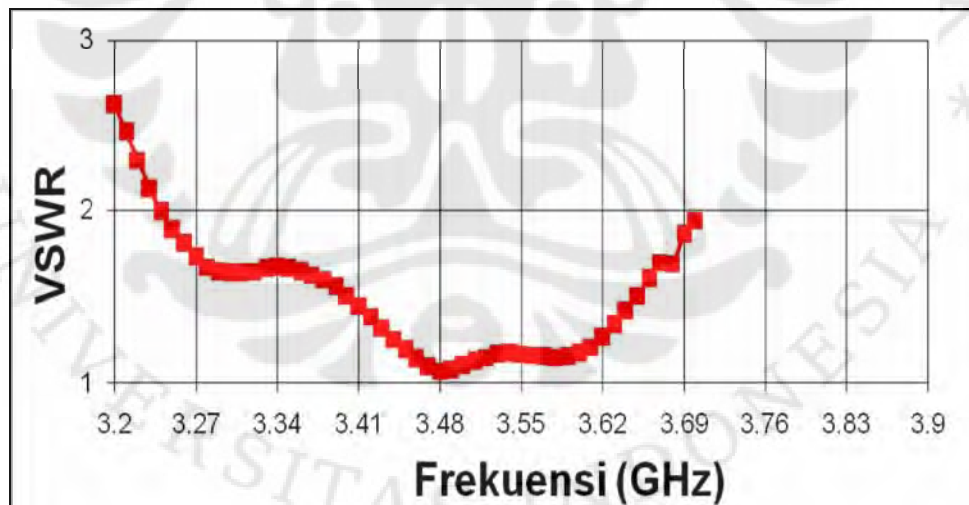
$$\text{bandwidth} = 4,532\%(160 \text{ MHz})$$

4.1.1.3. 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 4.7, 4.8, dan 4.9 secara berurutan.



Gambar 4.7. Grafik *return loss* hasil pengukuran antena *array* 8 elemen



Gambar 4.8. Grafik *VSWR* hasil pengukuran antena *array* 8 elemen



Gambar 4.9. Grafik impedansi masukan hasil pengukuran antenna *array* 8 elemen

Dari Gambar 4.7 dapat dilihat bahwa nilai *return loss* yang diperoleh pada frekuensi 3,3 GHz dan 3,4 GHz masing-masing adalah $-13,335$ dB dan $-13,90$ dB. Nilai *return loss* terendah yang diperoleh adalah $-29,143$ dB pada frekuensi 3,4812 GHz. Sedangkan nilai VSWR yang diperoleh pada frekuensi 3,3 GHz dan 3,4 GHz (Gambar 4,8), masing-masing adalah 1,64 dan 1,54. Nilai VSWR terendah mencapai 1,069 pada frekuensi 3,483 GHz. Impedansi masukan antenna (Gambar 4.9) pada rentang frekuensi 3,3-3,4 GHz berkisar $25,2 \Omega$ hingga $64,5 \Omega$. Dari hasil pengukuran ini dapat diketahui bahwa pada rentang frekuensi 3,3-3,4 GHz, antenna yang telah dihasilkan mampu bekerja pada nilai $VSWR \leq 1,65$. Adapun *bandwidth* yang dicapai pada nilai $VSWR \leq 1,9$ adalah:

$$bandwidth = \frac{3.699 - 3.251}{3.475} \times 100\%$$

$$bandwidth = 12,892\%(448 \text{ MHz})$$

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

Tabel 4.1. Hasil Pengukuran *Port* Tunggal

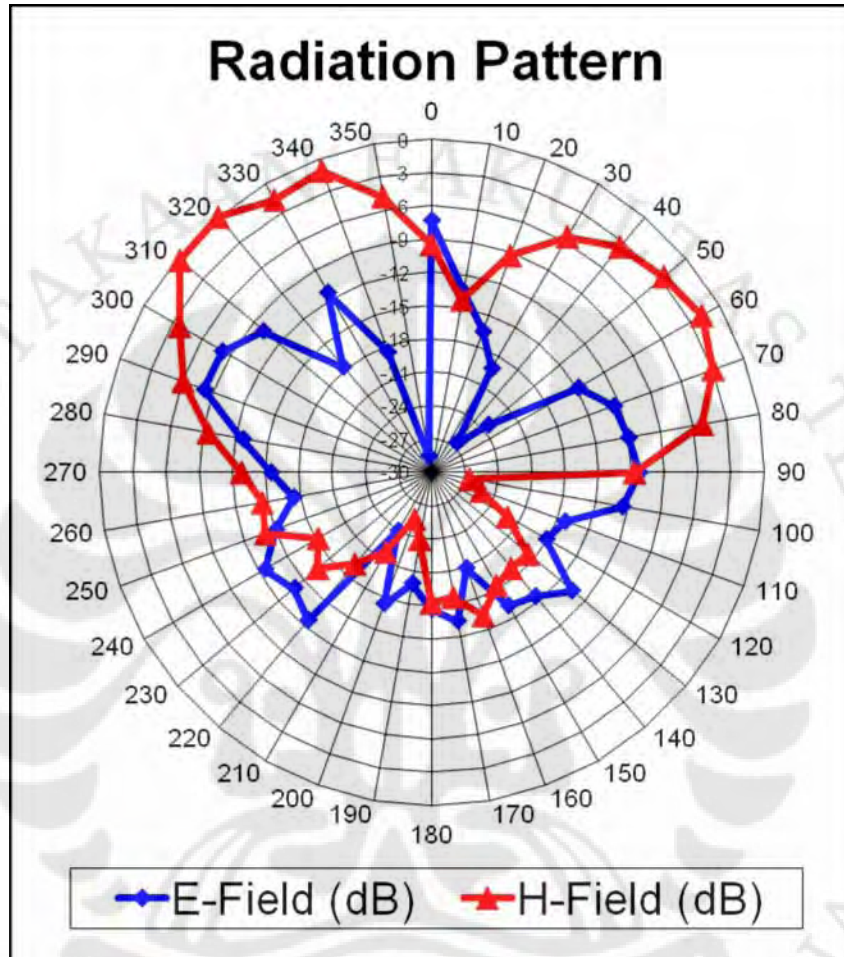
Parameter	Elemen Tunggal	Array 2 Elemen	Array 8 Elemen
Rentang Frekuensi Kerja (BW)	3,319 – 3,4195 GHz (5,065%)	3,45 – 3,61 GHz (4,532%)	3,25 – 3,69 GHz (12,892%)
<i>Return loss</i> pada BW	$\leq -10,16$ dB	$\leq -10,16$ dB	$\leq -10,16$ Db
<i>Return loss</i> minimum	-33,4 dB	-14,28 dB	-29,39 dB
VSWR pada BW	$\leq 1,9$	$\leq 1,9$	$\leq 1,9$
VSWR minimum pada BW	1,0437	1,4789	1,069

4.1.2. Pengukuran Pola Radiasi

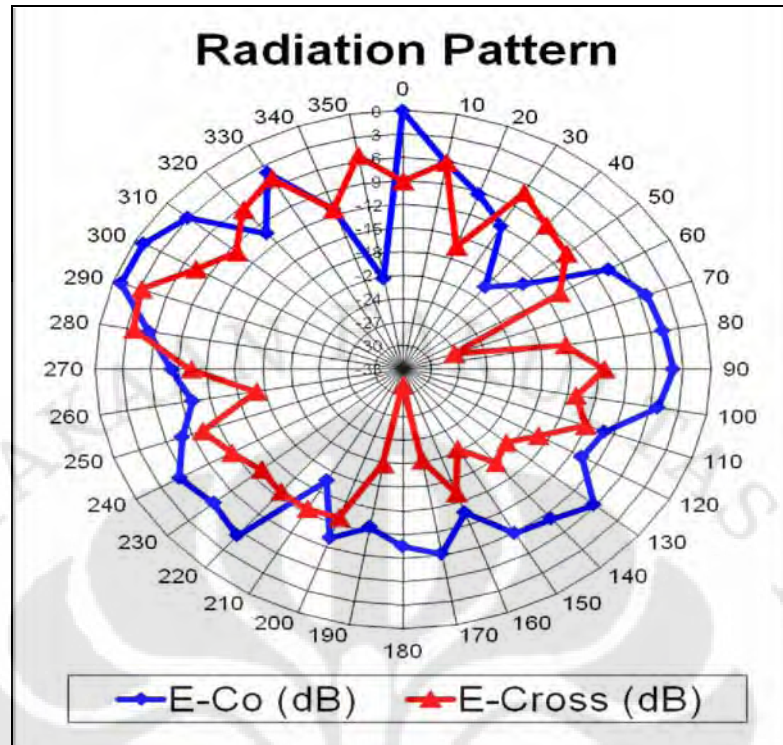
Pengukuran pola radiasi menggunakan *port 1* dan *port 2* pada *network analyzer*. *Port 1* dihubungkan ke antena pemancar menggunakan kabel penyambung sedangkan *port 2* dihubungkan dengan antena penerima juga menggunakan kabel penyambung. Kabel penyambung yang digunakan di sini juga harus memiliki impedansi karakteristik 50 ohm, sehingga tidak terjadi refleksi tegangan pada kabel penyambung ini. Antena pemancar dan penerima dipisahkan pada jarak 160 cm, yaitu jarak yang cukup untuk memenuhi syarat medan jauh antena, seperti dijelaskan pada Sub-Bab 3.7.2.

Setelah menentukan jarak antar antena dan antena telah dihubungkan ke port NA (format S21) menggunakan kabel koaksial, kemudian antena penerima diputar dari posisi sudut $0^0 - 360^0$ dengan interval 10^0 . 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 elemen tunggal ini dapat dilihat pada **Lampiran C**. 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*

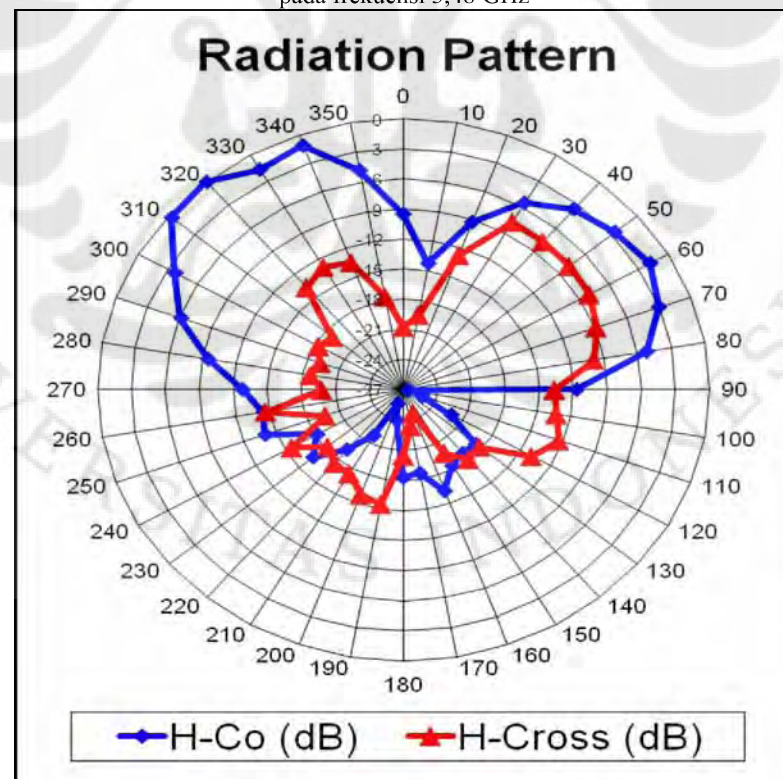
Excel 2003. Gambar 4.10, 4.11 dan 4.12 memperlihatkan karakteristik pola radiasi antena *array* 8 elemen.



Gambar 4.10. Hasil pengukuran medan-E dan medan-H antena 8 elemen pada frekuensi 3,48 GHz



Gambar 4.11. Hasil pengukuran E-Co dan E-Cross antena 8 elemen pada frekuensi 3,48 GHz



Gambar 4.12. Hasil pengukuran H-Co dan H-Cross antena 8 elemen pada frekuensi 3,48 GHz

Dari Gambar 4.10 dapat dilihat bahwa pola radiasi antenna mikrostrip *array* 8 elemen cenderung berbentuk *directional* ke dua arah berbeda baik untuk medan E maupun medan H-nya. Pada Gambar 4.10 terlihat bahwa berkas maksimum gelombang medan H berada pada sudut 320° . Gambar 4.11 dan 4.12 memperlihatkan karakteristik *cross-polarization* antenna *array* 8 elemen.

4.1.3. Pengukuran *Gain*

Pengukuran *gain* menggunakan *network analyzer* dan *power meter*. *Network analyzer* digunakan untuk menghasilkan gelombang dengan frekuensi 3,25 – 3,43 GHz. *Power meter* digunakan untuk mengukur daya pengirim dan penerima. Sebelum digunakan, *Power meter* dikalibrasi terlebih dahulu dengan menggunakan *attenuator* (50 MHz, 30 dB). Antena yang diukur yaitu antena 1 elemen, 2 elemen, 8 elemen konfigurasi-1, dan 8 elemen konfigurasi-2 (**Lampiran B**). Pengukuran *gain* dilakukan pada rentang frekuensi 3,25 – 3,68 GHz untuk antena 8 elemen konfigurasi-1. Sedangkan untuk antena 1 elemen, 2 elemen dan 8 elemen konfigurasi-2 diukur pada rentang frekuensi 3,35-3,55 GHz. Pengukuran *gain* ini menggunakan metoda 2 antena dan 3 antena. Metode 2 Antena digunakan untuk mengukur *gain* antena *array* 8 elemen Konfigurasi-1. Sedangkan metode 3 antena digunakan untuk mengukur antena elemen tunggal, 2 elemen dan *array* 8 elemen Konfigurasi 2. Hasil pengukuran *gain* antena *array* 8 elemen Konfigurasi-1 diperlihatkan pada Tabel 4.2 dan hasil pengukuran *gain* antena elemen tunggal, *array* 2 elemen serta *array* 8 elemen dapat dilihat pada **Lampiran C**.

Tabel 4.2. *Gain* Antena array 8 elemen Konfigurasi-1

Frekuensi (GHz)	<i>Gain</i> (dB)
3.25	11.452
3.26	11.560
3.27	11.687
3.28	11.843
3.29	11.970
3.3	12.023
3.31	12.149
3.32	12.297
3.33	12.361
3.34	12.482
3.35	12.663
3.36	12.696
3.37	12.851
3.38	13.073
3.39	13.188
3.4	13.346
3.41	13.352
3.42	13.511
3.43	13.661
3.44	13.809
3.45	13.899
3.46	13.943
3.47	14.060
3.48	14.111
3.49	14.186
3.5	14.269
3.51	14.308
3.52	14.338
3.53	14.417
3.54	14.549
3.55	14.616
3.56	14.703
3.57	14.721
3.58	14.787
3.59	14.742
3.6	14.682
3.61	14.534
3.62	14.420
3.63	14.324
3.64	14.239
3.65	14.104
3.66	13.992
3.67	13.835
3.68	13.687

Dari Tabel 4.2 di atas terlihat bahwa nilai *gain* maksimum yang diperoleh antenna 8 elemen adalah 14,787 dB pada frekuensi 3,58 GHz. Untuk nilai *gain* sangat dipengaruhi oleh nilai efisiensi, oleh karena itu rugi-rugi yang terjadi mempengaruhi nilai *gain* antenna, salah satunya rugi-rugi akibat pemantulan atau *return loss*.

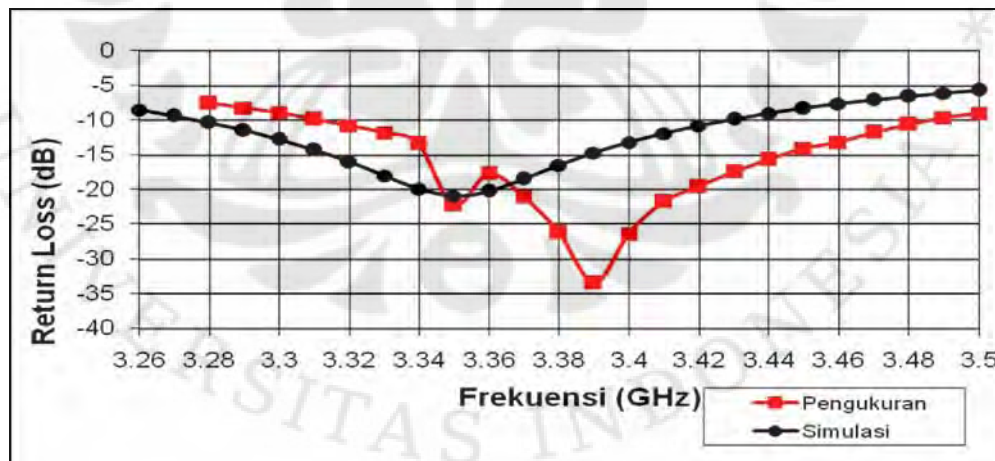
4.2. ANALISIS HASIL PENGUKURAN

Dari data hasil pengukuran yang ada pada sub-bab 4.1 dapat dilakukan analisis. Analisis yang dilakukan pada bagian ini mencakup analisis mengenai perbedaan hasil pengukuran dengan simulasi untuk pengukuran pola radiasi dan port tunggal serta perbandingan *gain* antenna elemen tunggal, 2 elemen dan 8 elemen.

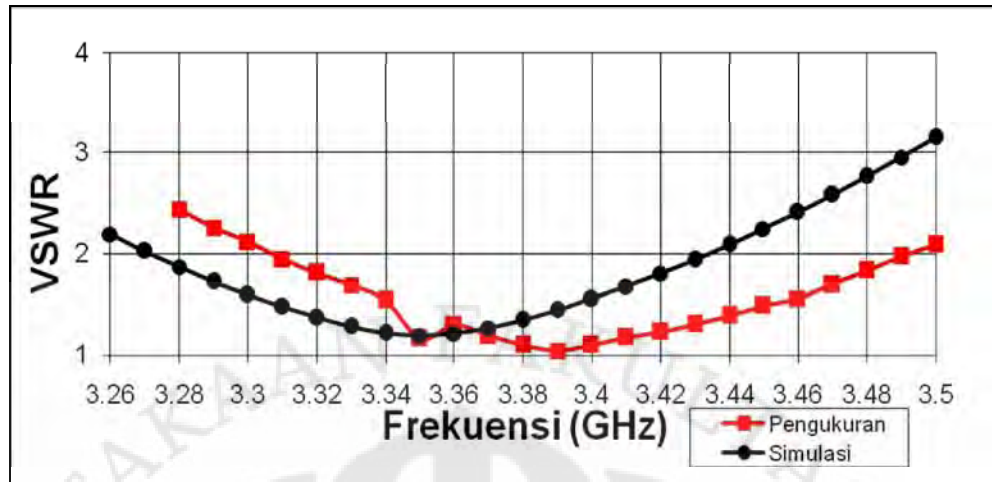
4.2.1. Analisis Hasil Pengukuran *Port* Tunggal

4.2.1.1. Antena Elemen Tunggal

Dari hasil pengukuran *port* tunggal terdapat 2 parameter yang dianalisis, yaitu parameter *return loss* dan VSWR. Gambar 4.19 dan 4.20 secara berurutan digambarkan grafik perbandingan *return loss* dan VSWR antara hasil simulasi dengan hasil pengukuran untuk antenna elemen tunggal.



Gambar 4.13. Perbandingan *return loss* hasil simulasi dengan hasil pengukuran antenna elemen tunggal



Gambar 4.14. Perbandingan VSWR hasil simulasi dengan hasil pengukuran antenna elemen tunggal

Dari gambar 4.19 dan 4.20 dapat dilihat bahwa ada pergeseran *impedance bandwidth* dan frekuensi kerja antenna hasil simulasi dengan hasil pengukuran. *Impedance bandwidth* pada $VSWR \leq 1,9$ hasil simulasi adalah 3,28 - 3,42 GHz (140 MHz). Sedangkan *impedance bandwidth* pada $VSWR \leq 1,9$ hasil pengukuran adalah 3,32 - 3,48 GHz (160 MHz). Dengan demikian, fabrikasi antenna elemen tunggal ini hamper memenuhi dari 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 2,35 GHz dengan nilai *return loss* dan VSWR minimum masing-masing adalah -20,959 dB dan 1,1967. Sedangkan frekuensi tengah hasil pengukuran adalah 3,39 GHz dengan *return loss* dan VSWR minimum masing-masing adalah -33,4 dB dan 1,0437. Dari perbedaan frekuensi tengah ini dapat dihitung kesalahan (galat) relatifnya sebagai berikut.

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

$$\left| \frac{3.4 - 3.35}{3.35} \right| \times 100\% = 1,49\%$$

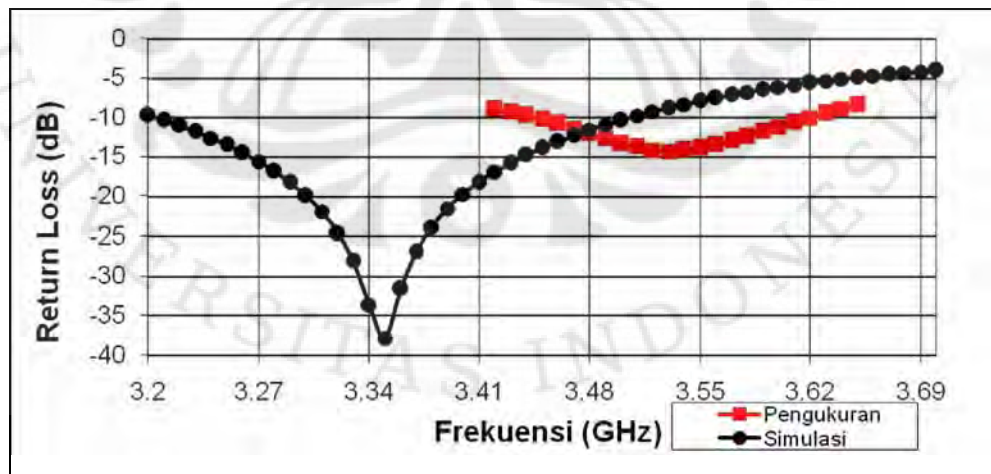
Perbandingan antara hasil simulasi dengan hasil pengukuran antenna elemen tunggal dituliskan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3. Perbandingan hasil simulasi dengan pengukuran *port* tunggal antenna elemen tunggal

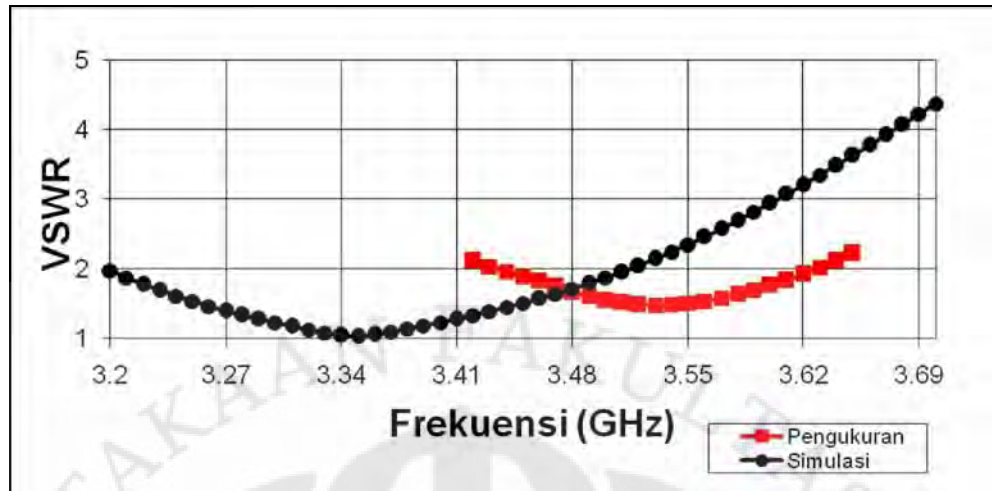
Parameter	Hasil Simulasi	Hasil Pengukuran
Rentang Frekuensi Kerja (BW)	3,28 – 3,42 GHz (140 MHz)	3,32 – 3,48 GHz (160MHz)
<i>Return loss</i> dan VSWR pada 3,3 GHz	RL = -12,777 dB VSWR = 1,5963	RL = -8,92 dB VSWR = 2,1157
<i>Return loss</i> dan VSWR pada 3,4 GHz	RL = -13,24 dB VSWR = 1,5568	RL = -26,4 dB VSWR = 1,1005
<i>Return loss</i> pada BW	$\leq -10,16$ dB	$\leq -10,16$ dB
VSWR pada BW	$\leq 1,9$	$\leq 1,9$
<i>Return loss</i> minimum	-20,959 dB (pada $f=3,35$ GHz)	-33,4 dB Pada $f= 3,39$ GHz
VSWR minimum	1,1967	1,0437
<i>Impedance Bandwidth</i> pada VSWR $\leq 1,9$	4,179 % (140 MHz)	4,705 % (160 MHz)

4.2.1.2. Antena *Array* 2 Elemen

Perbandingan *return loss* dan VSWR antara hasil simulasi dan pengukuran antenna *array* 2 elemen ditunjukkan pada Gambar 4.15 dan 4.16.



Gambar 4.15. Perbandingan *return loss* hasil simulasi dengan hasil pengukuran antenna *array* 2 elemen



Gambar 4.16. Perbandingan VSWR hasil simulasi dengan hasil pengukuran antenna *array* 2 elemen

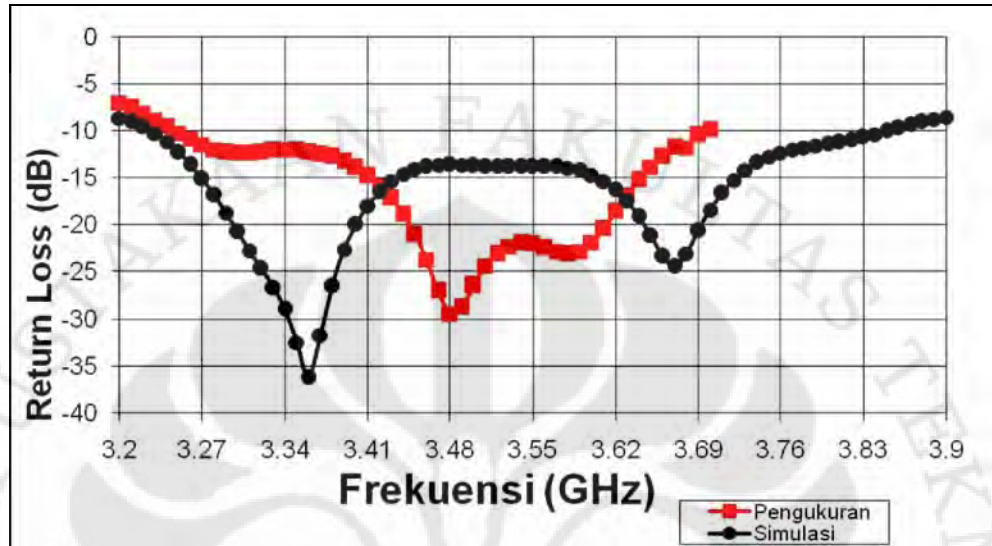
Dari gambar 4.15 dan 4.16 dapat dilihat bahwa adanya pergeseran kurva yang signifikan antara hasil simulasi dengan hasil pengukuran diinginkan (2,3-2,4 GHz), namun kedua kurva memiliki kemiripan bentuk. *Impedance bandwidth* pada $VSWR \leq 1,9$ hasil simulasi adalah 3,21 - 3,5 GHz (290 MHz). Sedangkan *impedance bandwidth* pada $VSWR \leq 1,9$ hasil pengukuran adalah 3,45 - 3,61 GHz (160 MHz). Dengan demikian, fabrikasi antenna *array* 2 elemen ini telah mengalami pergeseran frekuensi. Perbandingan antara hasil simulasi dengan hasil pengukuran dari antenna *array* 2 elemen dituliskan pada Tabel 4.6.

Tabel 4.4. Perbandingan hasil simulasi dengan pengukuran *port* tunggal antenna *array* 2 elemen

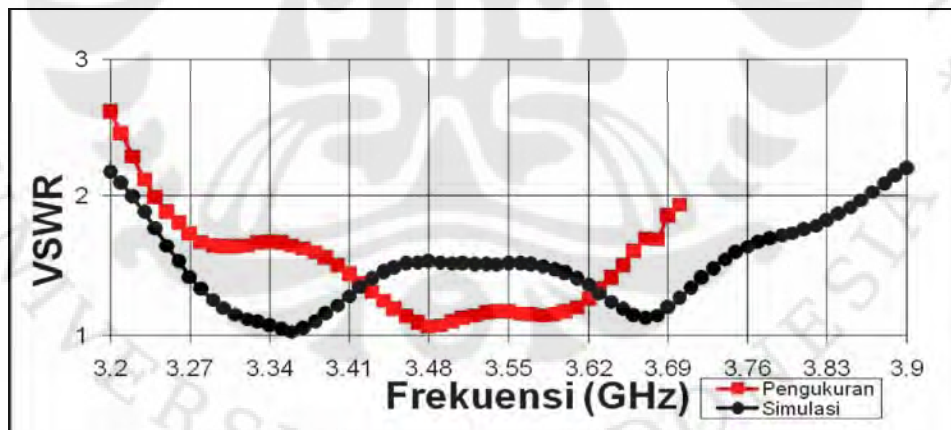
Parameter	Hasil Simulasi	Hasil Pengukuran
Rentang Frekuensi Kerja (BW)	3,21 – 3,5 GHz	3,45 – 3,61 GHz
<i>Return loss</i> pada BW	$\leq -10,16$ dB	$\leq -10,16$ dB
VSWR pada BW	$\leq 1,9$	$\leq 1,9$
<i>Return loss</i> minimum	-37,855 dB (pada $f=3,35$ GHz)	-14,28 dB Pada $f= 3,53$ GHz
VSWR minimum	1,0259	1,4789
<i>Impedance Bandwidth</i> pada $VSWR \leq 1,9$	8,643% (290 MHz)	4,532 % (160 MHz)

4.2.1.3. Antena *Array* 8 Elemen

Perbandingan *return loss* dan VSWR antara hasil simulasi dan pengukuran antena *planar array* 4 elemen ditunjukkan pada Gambar 4.17 dan 4.18.



Gambar 4.17. Perbandingan *return loss* hasil simulasi dengan hasil pengukuran antena *array* 8 elemen



Gambar 4.18. Perbandingan VSWR hasil simulasi dengan hasil pengukuran antena *array* 8 elemen

Dari gambar 4.17 dapat dilihat bahwa ada pergeseran *impedance bandwidth* dan frekuensi kerja antena hasil simulasi dengan hasil pengukuran. *Impedance bandwidth* pada *return loss* $\leq -10,16$ dB hasil simulasi adalah 3,23 - 3,84 GHz. Sedangkan hasil pengukuran adalah 3,25 - 3,69 GHz. Dengan demikian, fabrikasi antena 8 elemen ini telah memenuhi kebutuhan yang

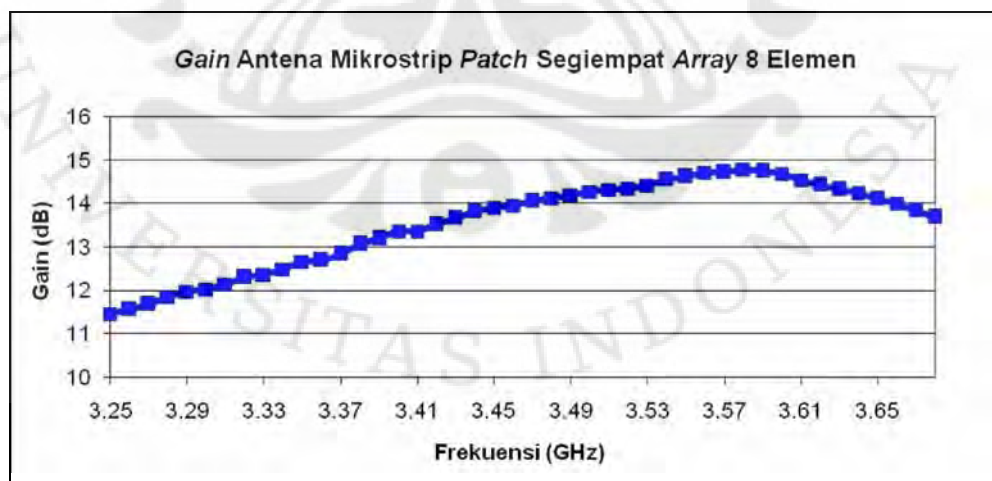
diinginkan yaitu mampu bekerja pada rentang frekuensi 3,3 – 3,4 GHz (100 MHz) dengan nilai VSWR $\leq 1,9$. Perbandingan antara hasil simulasi dengan hasil pengukuran dari antenna *array* 8 elemen dituliskan pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5. Perbandingan hasil simulasi dengan pengukuran *port* tunggal antenna *array* 8 elemen

Parameter	Hasil Simulasi	Hasil Pengukuran
Rentang Frekuensi Kerja (BW)	3,23 – 3,84 GHz	3,25 – 3,69 GHz
<i>Return loss</i> dan VSWR pada 3,3 GHz	RL = -20,777 dB VSWR = 1,2013	RL = -12,36 dB VSWR = 1,635
<i>Return loss</i> dan VSWR pada 3,4 GHz	RL = -19,97679 dB VSWR = 1,2229	RL = -15,39 dB VSWR = 1,5058
<i>Return loss</i> pada BW	$\leq -10,16$ dB	$\leq -10,16$ dB
VSWR pada BW	$\leq 1,9$	$\leq 1,9$
<i>Return loss</i> minimum	-36,2050 dB (pada $f=3,36$ GHz)	-29,39 dB Pada $f= 3,48$ GHz
VSWR minimum	1,0314	1,107
<i>Impedance Bandwidth</i> pada VSWR $\leq 1,9$	18,15% (610 MHz)	12,68 % (440 MHz)

4.2.2. Analisis Hasil Pengukuran *Gain*

Berikut Grafik *Gain* antenna *array* 8 elemen.



Gambar 4.19 Grafik *gain* pada antenna 8 elemen

Dari Gambar 4.19 di atas terlihat bahwa nilai *gain* maksimum yang diperoleh antenna 8 elemen adalah 14,787 dB pada frekuensi 3,58 GHz. Untuk

nilai *gain* sangat dipengaruhi oleh nilai efisiensi, oleh karena itu rugi-rugi yang terjadi mempengaruhi nilai *gain* antenna, salah satunya rugi-rugi akibat pemantulan atau *return loss*. Pada Grafik *return loss* 8 elemen (gambar 4.7), nilai *return loss* mengalami penurunan nilai mulai dari 3,44 GHz sampai 3,6 GHz. Hal ini sebanding dengan grafik *gain* yang menunjukkan nilai yang besar pada kisaran 3,44-3,66 GHz.

4.2.3. 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. Pada saat simulasi menggunakan *HFSS.v.11* tidak mendefinisikan dengan jelas konektor sma 50 ohm
3. Masih adanya udara yang terperangkap diantara substrat bagian peradiasi dan substrat bagian pencatu
4. Adanya ketidakpresisian saat menumpuk substrat bagian peradiasi dan substrat bagian pencatu.
5. 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.
6. simulasi tidak memperhitungkan tingkat temperatur dan kelembapan udara, tetapi pada saat pengukuran temperatur dan tingkat kelembapan berpengaruh pada propagasi gelombang dan resistansi udara.
7. proses penyolderan konektor SMA dengan saluran pencatu mikrostrip yang kurang baik
8. adanya pengaruh benda-benda yang ada di dalam ruang *anechoic chamber* yang menyebabkan refleksi gelombang yang dipancarkan antenna. Benda-benda tersebut antara lain manusia, *network analyzer*, *power sensor*, *power meter*, dan konektor.
9. adanya rugi-rugi pada kabel penghubung, *port* SMA, tembaga/konduktor pada substrat, konektor pada *network analyzer*, dan *power sensor*

BAB V

KESIMPULAN

1. *Impedance bandwidth* yang dihasilkan oleh antenna mikrostrip *patch* segiempat *array* 8 elemen dari hasil pengukuran adalah sebesar 440 MHz (3,25-3,69 GHz).
2. Antena mampu bekerja sesuai kriteria yang dibutuhkan yaitu *bandwidth* 100 MHz (3,3-3,4 GHz)
3. Antena mikrostrip *patch* segiempat *array* 8 elemen menghasilkan pola radiasi dengan berkas maksimum pada sudut 320°
4. *Gain* antenna mikrostrip *patch* segiempat *array* 8 elemen dengan pencatu *electromagnetically-coupled* mencapai 14,787 dBi pada frekuensi kerja 3,58 GHz.
5. Pencatuan dalam antenna mikrostrip *array* perlu melakukan penyesuain impedansi yaitu dengan penambahan transformator $\lambda/4$.
6. Antena mikrostrip *array* 8 elemen diperoleh setelah menentukan antenna mikrostrip *array* 2 linear terlebih dahulu.

DAFTAR ACUAN

- [1] JWO-Shiun Sun, Yi-Chieh Lee, Ren-Hao Chen, dan Min_Hsiang Hsu, *A Compact Antena for WLAN/WiMAX Applications*, ISAP (Oktober 2008), hal 493-496.
- [2] Jen-Yea Jan, Chia-Hung Wang, *Printed CPW-Fed Wideband Rhombus Slot Antena for WiMAX applications*, ISAP (Oktober 2008), hal 328-331.
- [3] Mobile Communication Laboratory, WiMAX, <http://mobilecommlab.or.id/>.
- [4] Wikipedia, <http://en.wikipedia.org>.
- [5] A.A Sulaiman, N. I. Ali, dkk, *Design of a Broadband Smart Antena*, ISAP (Oktober 2008), hal 133-136.
- [6] Takashi Yamano, Jun Itoh, Yongho Kim dkk, *Fundamental Characteristics of Planar Folded Dipole Antena With a Feed Line*, ISAP (Oktober 2008), hal 525-528.
- [7] Constantine A. Balanis, *Antena Theory : Analysis and Design*, (USA: John Willey and Sons,1997).
- [8] Garg, R., Bhartia, P, Bahl, I., dan Ittipiboon, A., “Microstrip Design Handbook”, Artech House Inc., Norwood, MA, 2001.
- [9] Devendra K. Misra, *Radio Frequency and Microwave Communication Circuits*, Wiley interscience, 2004.
- [10] Wirawan Hendra, “Rancang Bangun Hexagonal DGS Untuk Perbaikan Karakteristik Antena Mikrostrip Patch Segitiga Linear Array 2-Element”, Skripsi S1 pada Universitas Indonesia, 2006..

[11] 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.

[12] David M. Pozar, *Microwave Engineering*, John Willey and Sons, 1997.



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).

Devendra K. Misra, *Radio Frequency and Microwave Communication Circuits*, Wiley interscience, 2004

Huie, Keith C., *Microstrip Antenas : Broadband Radiation Patterns Using Photonic Crystal Substrates*, (Blacksburg, VA, 2002).

David M. Pozar, *Microwave Engineering*, John Willey and Sons,1997

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

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.



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

- a. BS : *Base Station*
- b. BWA : *Broadband Wireless Access*
- c. CPE : *Customer Premises Equipment*
- d. dB : *Decibell*
- e. dBi : *Decibell Isotropic*
- f. dBm : *Decibell Milliwatt*
- g. DC : *Direct Current*
- h. EIRP : *Effective Isotropically Radiated Power*
- i. Mbps : *Mega byte per second*
- j. MHz : *Mega Hertz*
- k. N : Jenis konektor
- l. PMP : *Point-to-Multi Point*
- m. PTP : *Point-to-Point*
- n. RF : *Radio Frequency*
- o. SMA : Jenis konektor
- p. SS : *Subscriber Station*
- q. TDD : *Time Division Duplex*
- r. VSWR : *Voltage Standing Wave Ratio*

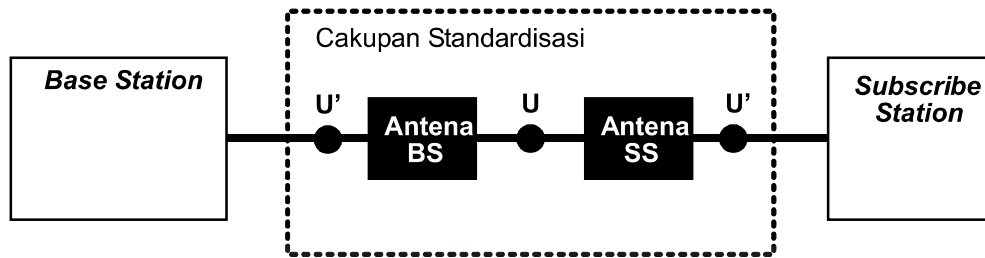
s. XPD : *Cross Polarization Discrimination*

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.

6.1 BS

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

6.2 SS

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

6.3 ANTENA BS DAN ANTENA SS

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

7 Titik Referensi

7.1 U

- Radio Interface BWA.

7.2 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 Ω
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 ⁰ C
Kelembaban	100 %

2 *Subscriber Station*

Parameter Elektrikal	Nilai
Frequency Range	2.300 – 2.390 MHz
<i>Gain</i>	Maksimum 15 dBi
Impedansi	50 Ω
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>	<i>DC grounded</i>
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 : J A K A R T A
Pada tanggal : _____

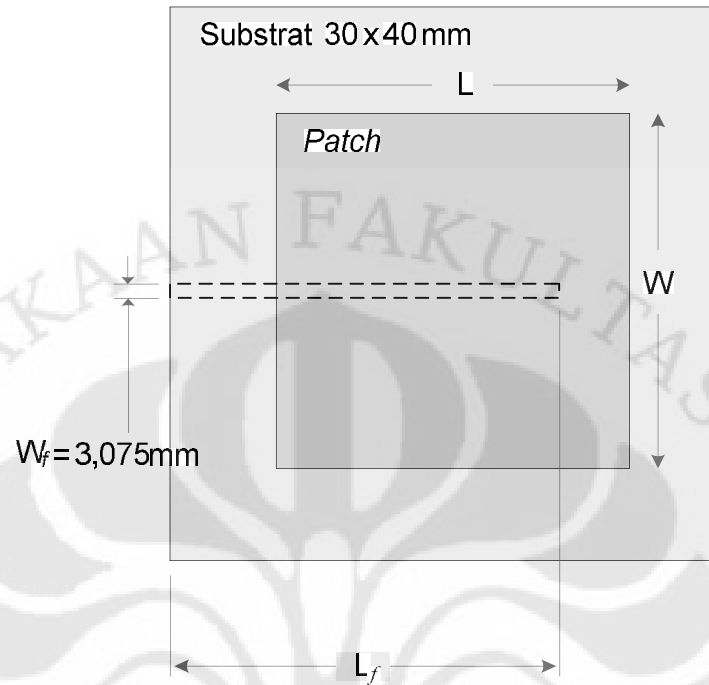
DIREKTUR JENDERAL POS DAN TELEKOMUNIKASI

BASUKI YUSUF ISKANDAR



LAMPIRAN-B
DATA HASIL SIMULASI

B1. KARAKTERISTIK ANTENA ELEMEN TUNGGAL



B1.1. Karakteristik Elemen Tunggal dengan perubahan panjang saluran pencatu (L_f)

Dimensi patch (mm)	Panjang Saluran Pencatu (mm)	VSWR minimum	Return loss minimum	Frekuensi (GHz)
20,9x27,25	15,0	1.07227	-29.15	3,01
20,9x27,25	14,9	1.07683	-28.637	3,02
20,9x27,25	14,8	1.08232	-28.061	3,00
20,9x27,25	14,7	1.06748	-29.725	3,03
20,9x27,25	14,6	1.05753	-31.069	3,03
20,9x27,25	14,5	1.08686	-27.614	3,03
20,9x27,25	14,4	1.07496	-28.843	3,02
20,9x27,25	14,3	1.08617	-27.679	3,01
20,9x27,25	14,2	1.07453	-28.892	3,01
20,9x27,25	14,1	1.07906	-28.398	3,01
20,9x27,25	14,0	1.09564	-26.813	3,00
20,9x27,25	13,9	1.0966	-26.731	2,99

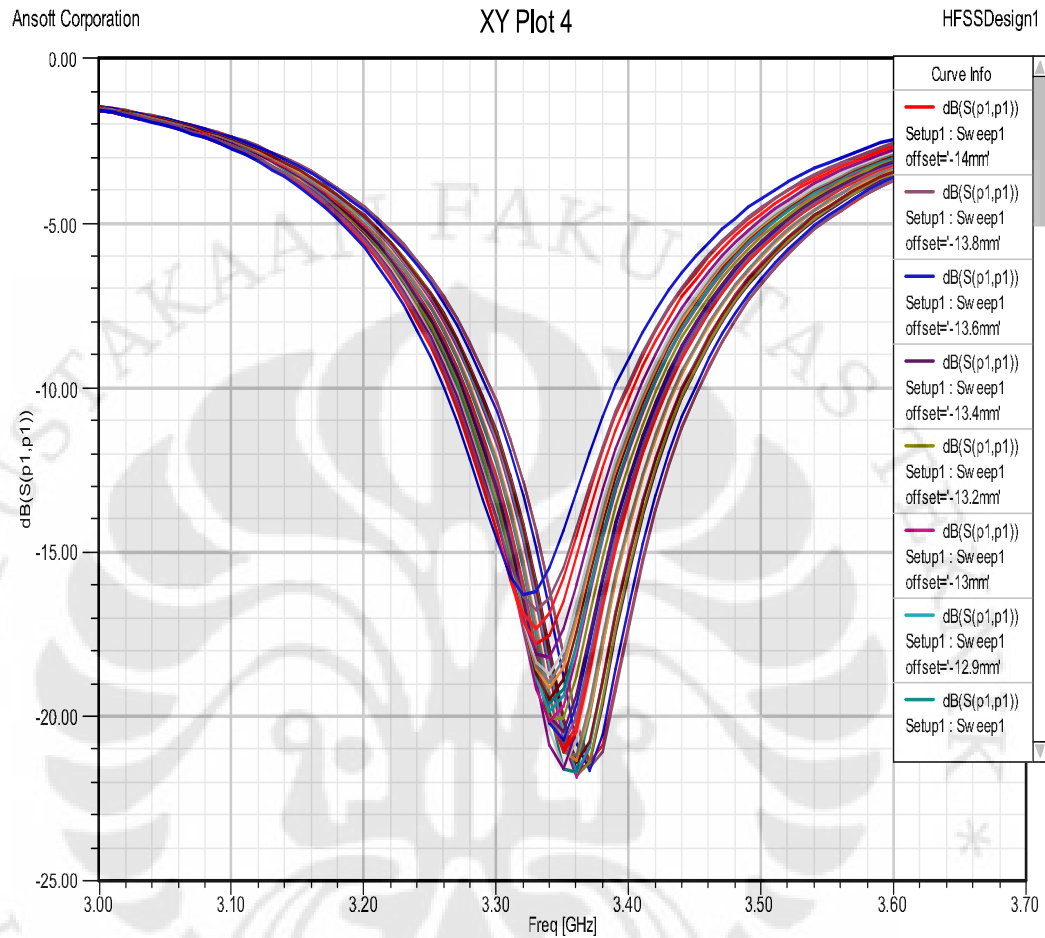
20,9x27,25	13,8	1.17548	-21.867	2,91
20,9x27,25	13,7	1.10445	-26.084	3,00
20,9x27,25	13,6	1.08593	-27.703	3,01
20,9x27,25	13,5	1.08272	-28.021	3,01
20,9x27,25	13,4	1.09666	-26.725	3,00
20,9x27,25	13,3	1.0956	-26.817	3,00
20,9x27,25	13,2	1.08812	-27.493	3,00
20,9x27,25	13,1	1.09797	-26.614	3,00
20,9x27,25	13,0	1.08337	-27.955	3,01
20,9x27,25	12,9	1.07839	-28.469	3,01
20,9x27,25	12,8	1.06963	-29.462	3,01
20,9x27,25	12,7	1.08534	-27.761	3,01
20,9x27,25	12,6	1.08152	-28.143	3,00
20,9x27,25	12,5	1.08471	-27.822	3,00
20,9x27,25	12,4	1.08143	-28.152	2,99
20,9x27,25	12,3	1.15206	-23.017	2,91
20,9x27,25	12,2	1.07672	-28.649	3,00
20,9x27,25	12,1	1.06625	-29.88	3,00
20,9x27,25	12,0	1.08234	-28.058	2,98
20,9x27,25	11,9	1.06048	-30.648	3,00
20,9x27,25	11,8	1.07694	-28.625	2,99
20,9x27,25	11,7	1.04509	-33.133	3,01
20,9x27,25	11,6	1.04765	-32.663	2,99
20,9x27,25	11,5	1.07023	-29.39	3,00
20,9x27,25	11,4	1.04127	-33.886	3,00
20,9x27,25	11,3	1.06649	-29.849	3,00
20,9x27,25	11,2	1.04919	-32.393	2,99
20,9x27,25	11,1	1.05506	-31.44	2,99
20,9x27,25	11,0	1.02324	-38.796	2,99
20,9x27,25	10,9	1.02912	-36.862	2,98
20,9x27,25	10,8	1.04157	-33.824	2,98
20,9x27,25	10,7	1.01021	-45.881	3,00
20,9x27,25	10,6	1.01232	-44.262	2,99
20,9x27,25	10,5	1.01545	-42.311	3,00
20,9x27,25	10,4	1.01811	-40.938	3,00
20,9x27,25	10,3	1.01672	-41.631	2,99
20,9x27,25	10,2	1.04211	-33.713	3,00
20,9x27,25	10,1	1.04764	-32.665	3,00
20,9x27,25	10,0	1.02972	-36.687	2,98

B1.2. Karakteristik Elemen Tunggal dengan perubahan panjang *patch* (L)

Dimensi <i>patch</i> (mm)	Panjang saluran pencatu (mm)	VSWR minimum	<i>Return loss</i> (dB)	Frekuensi (GHz)
27,25x21	10,7	1.0378826	-34.6148	2,97
27,25x20,95	10,7	1.0265568	-37.6517	2,99
27,25x20,9	10,7	1.0102144	-45.8806	3
27,25x20,85	10,7	1.0410671	-33.9273	3
27,25x20,8	10,7	1.0237127	-38.6233	2,99
27,25x20,75	10,7	1.0565537	-31.2136	3,02
27,25x20,7	10,7	1.0431715	-33.5022	3,02
27,25x20,65	10,7	1.0250127	-38.1653	3,02
27,25x20,6	10,7	1.0241902	-38.4522	3,02
27,25x20,55	10,7	1.0339717	-35.5446	3,04
27,25x20,5	10,7	1.0451046	-33.1299	3,03
27,25x20,45	10,7	1.0286241	-37.0094	3,03
27,25x20,4	10,7	1.0321795	-36.0076	3,06
27,25x20,35	10,7	1.0325921	-35.8988	3,06
27,25x20,3	10,7	1.061381	-30.5225	3,08
27,25x20,25	10,7	1.051002	-32.0876	3,08
27,25x20,2	10,7	1.0466966	-32.8354	3,08
27,25x20,15	10,7	1.0626386	-30.3516	3,1
27,25x20,1	10,7	1.044718	-33.203	3,08
27,25x20,05	10,7	1.0622297	-30.4068	3,1
27,25x20	10,7	1.0777795	-28.5347	3,1
27,25x19,95	10,7	1.0739965	-28.9519	3,13
27,25x19,9	10,7	1.0860058	-27.6958	3,14
27,25x19,85	10,7	1.079928	-28.307	3,14
27,25x19,8	10,7	1.0843062	-27.862	3,14
27,25x19,75	10,7	1.0864341	-27.6544	3,15
27,25x19,7	10,7	1.0928812	-27.0563	3,16
27,25x19,65	10,7	1.1023784	-26.25	3,16
27,25x19,6	10,7	1.104379	-26.0902	3,17
27,25x19,55	10,7	1.1056809	-25.9879	3,18
27,25x19,5	10,7	1.1134497	-25.4038	3,19
27,25x19,45	10,7	1.1230436	-24.738	3,19
27,25x19,4	10,7	1.1183555	-25.0562	3,20
27,25x19,35	10,7	1.1300336	-24.2866	3,21
27,25x19,3	10,7	1.1335975	-24.0663	3,22
27,25x19,25	10,7	1.1359517	-23.9241	3,22

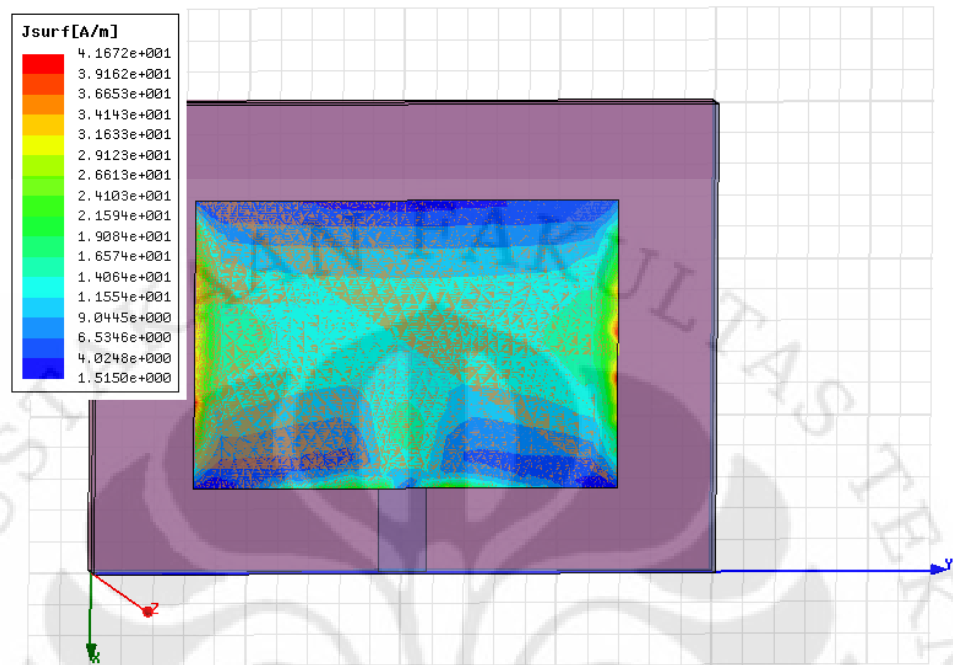
27,25x19,2	10,7	1.1391534	-23.735	3,23
27,25x19,15	10,7	1.1504621	-23.1021	3,24
27,25x19,1	10,7	1.1526321	-22.9865	3,24
27,25x19,05	10,7	1.166334	-22.2949	3,25
27,25x19	10,7	1.1675268	-22.2376	3,26
27,25x18,95	10,7	1.1692592	-22.1552	3,27
27,25x18,9	10,7	1.1728018	-21.9894	3,27
27,25x18,85	10,7	1.1772451	-21.7867	3,28
27,25x18,8	10,7	1.1822438	-21.565	3,29
27,25x18,75	10,7	1.1872395	-21.35	3,30
27,25x18,7	10,7	1.1883771	-21.3019	3,30
27,25x18,65	10,7	1.1893883	-21.2594	3,31
27,25x18,6	10,7	1.2005148	-20.8076	3,32
27,25x18,55	10,7	1.2090747	-20.4782	3,33
27,25x18,5	10,7	1.2107012	-20.4173	3,33
27,25x18,45	10,7	1.2201601	-20.0729	3,34
27,25x18,4	10,7	1.2218994	-20.0114	3,35
27,25x18,35	10,7	1.2317199	-19.6735	3,36
27,25x18,3	10,7	1.2346412	-19.5761	3,37
27,25x18,25	10,7	1.2369263	-19.5008	3,37
27,25x18,2	10,7	1.2446099	-19.2533	3,38
27,25x18,15	10,7	1.2512312	-19.0469	3,38
27,25x18,1	10,7	1.260309	-18.7736	3,4
27,25x18,05	10,7	1.2668335	-18.5836	3,4
27,25x18	10,7	1.2693877	-18.5106	3,41

B1.3. Grafik simulasi elemen tunggal dengan kombinasi antara dimensi *patch* dan panjang saluran pencatu untuk mendapatkan hasil yang optimal.

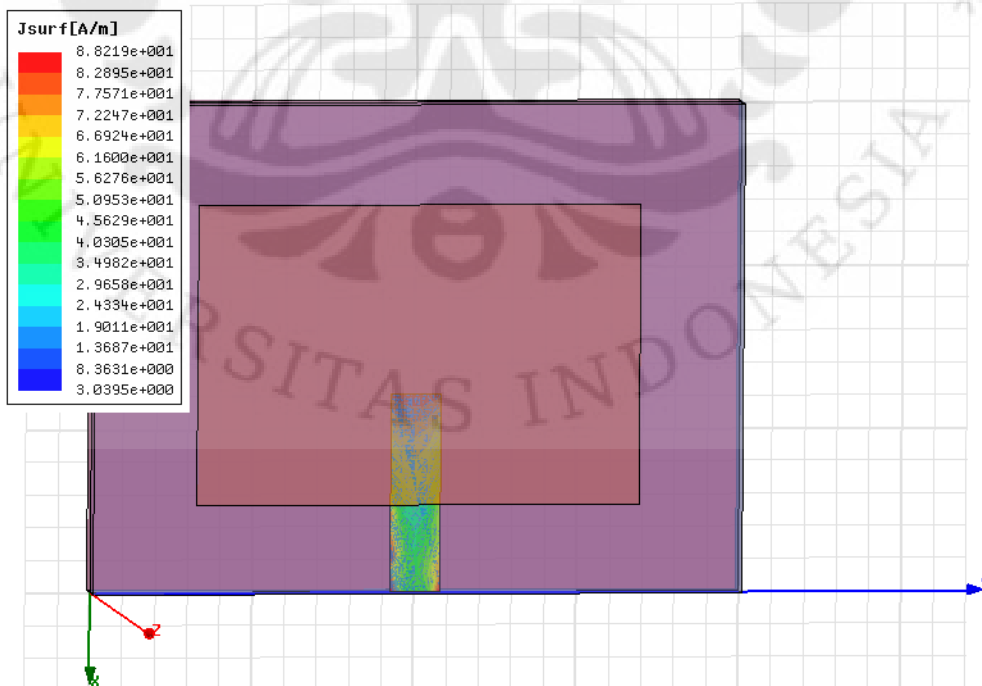


B1.4. Animasi distribusi arus dari simulasi elemen tunggal yang optimal

Animasi distribusi arus pada *patch* :



Animasi distribusi arus pada saluran pencatu (*feeder*) :

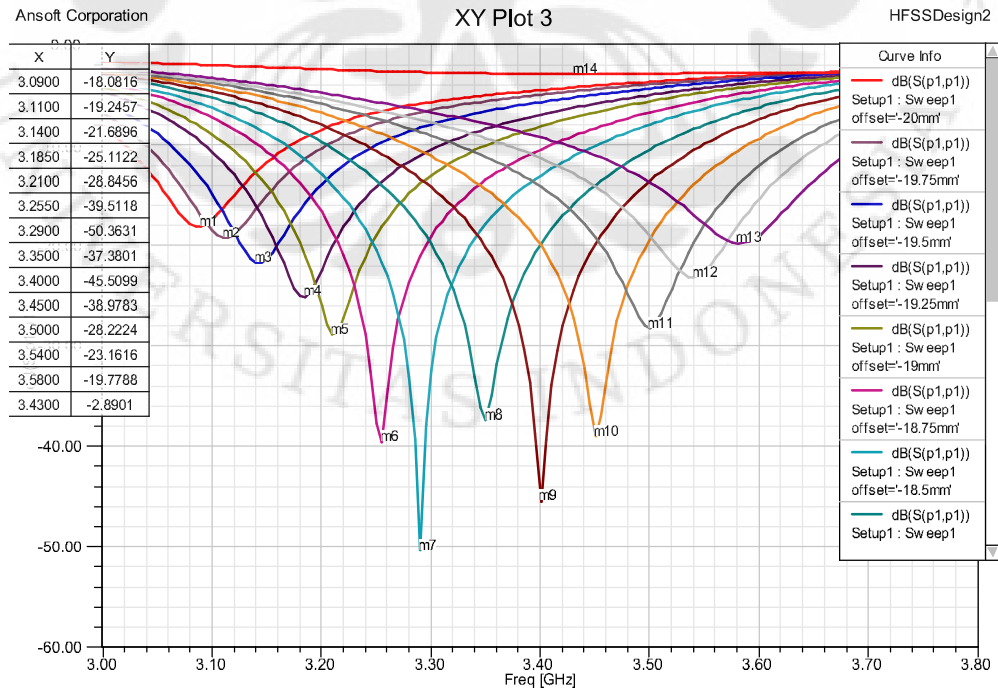


B2. KARAKTERISTIK ANTENA *ARRAY* 2 ELEMEN

B2.1. Karakteristik *Array* 2 Elemen dengan perubahan panjang *patch* (L)

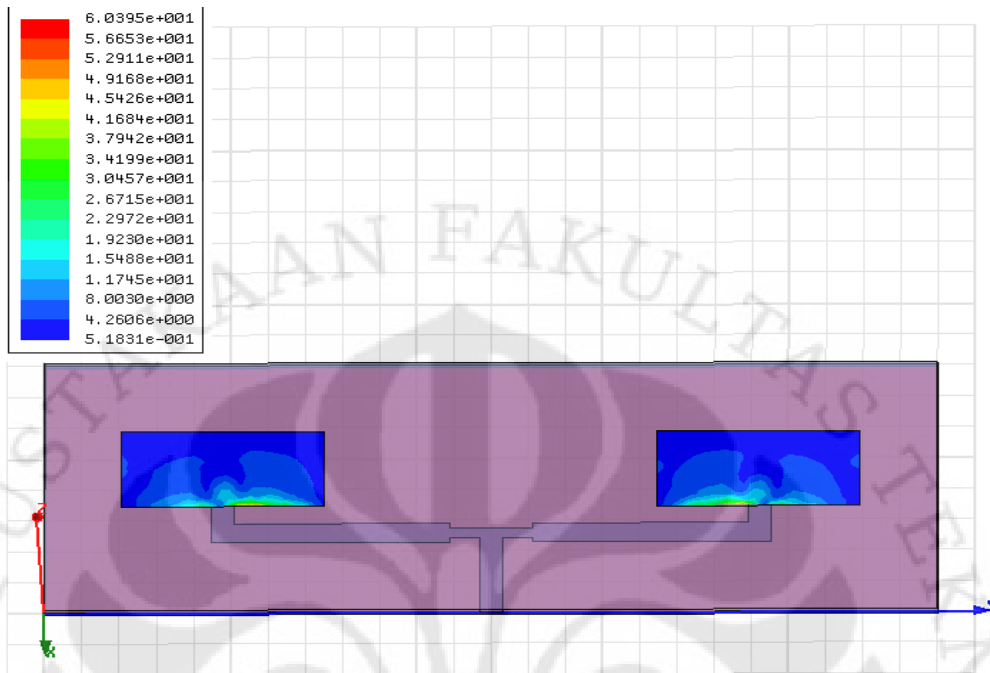
Dimensi <i>patch</i> (mm)	Panjang saluran pencatu (mm)	VSWR minimum	<i>Return loss</i> (dB)	Frekuensi (GHz)
27,25x20	10,7	1.284969669	-18.0816	3,09
27,25x19,75	10,7	1.244852263	-19.2457	3,11
27,25x19,5	10,7	1.179414744	-21.6896	3,14
27,25x19,25	10,7	1.117550773	-25.1122	3,185
27,25x19	10,7	1.074941941	-28.8456	3,21
27,25x18,75	10,7	1.021382559	-39.5118	3,255
27,25x18,5	10,7	1.006084059	-50.3631	3,29
27,25x18,25	10,7	1.027411687	-37.3801	3,35
27,25x18	10,7	1.010662092	-45.5099	3,4
27,25x17,75	10,7	1.022752384	-38.9783	3,45
27,25x17,5	10,7	1.080741733	-28.2224	3,5
27,25x17,25	10,7	1.149357538	-23.1616	3,54
27,25x17	10,7	1.228610608	-19.7788	3,58

B2.2. Grafik simulasi *array* 2 elemen dengan perubahan panjang *patch*

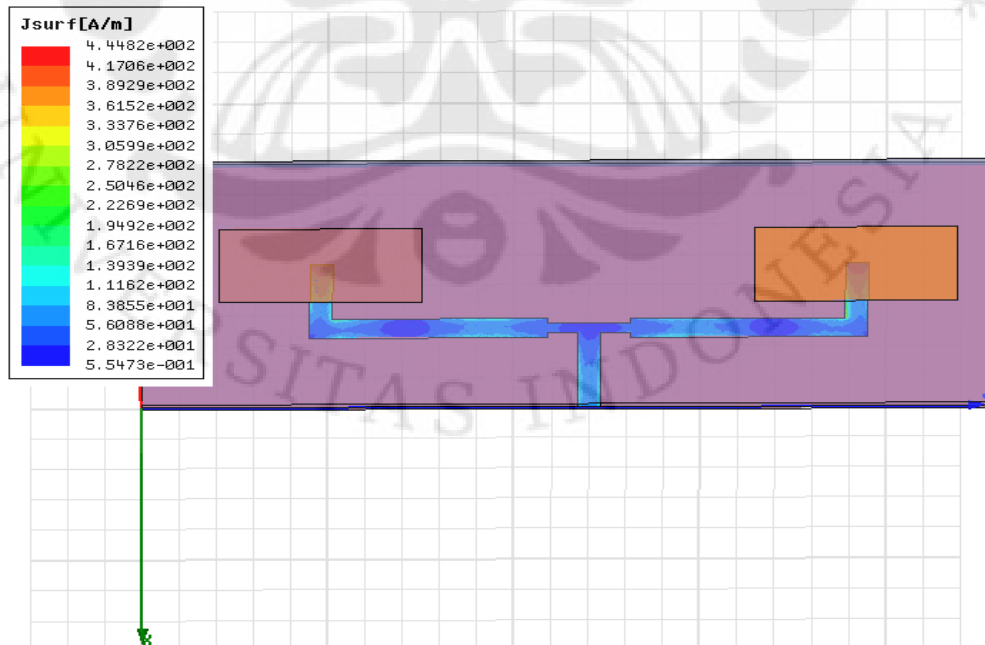


B2.3. Animasi distribusi arus dari simulasi *array 2 elemen*

Animasi distribusi arus pada *patch* :



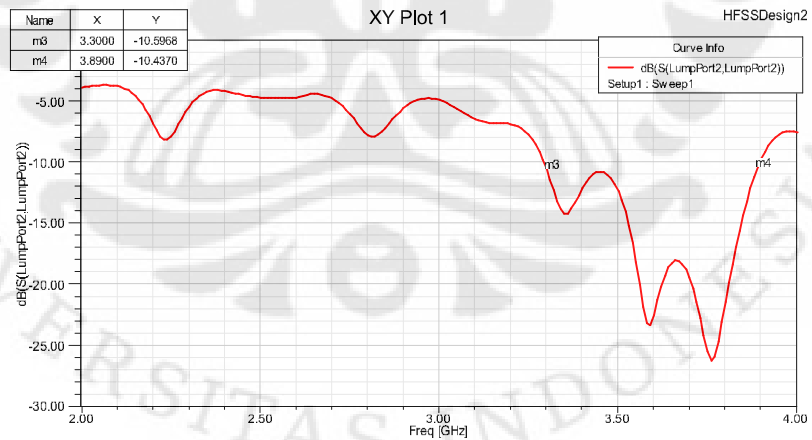
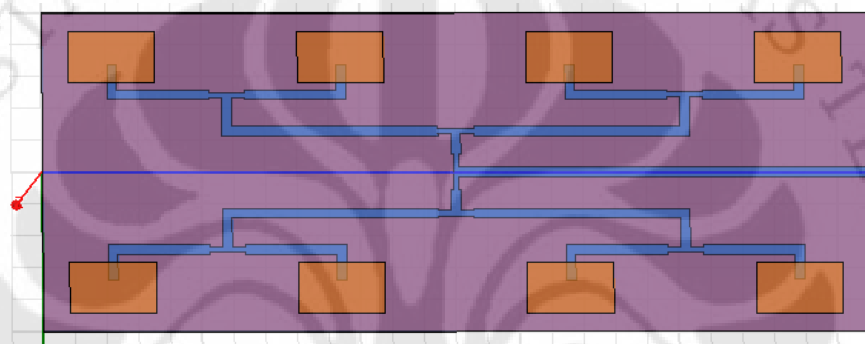
Animasi distribusi arus pada saluran pencatu (*feeder*) :



B3. KARAKTERISTIK ANTENA *ARRAY* 8 ELEMEN

B3.1. Karakteristik *Array* 8 Elemen dengan Beberapa Model Konfigurasi Saluran Pencatuan

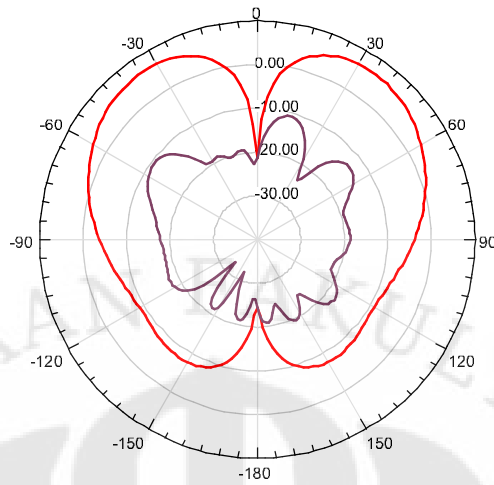
Model Konfigurasi-1:



Ansoft Corporation

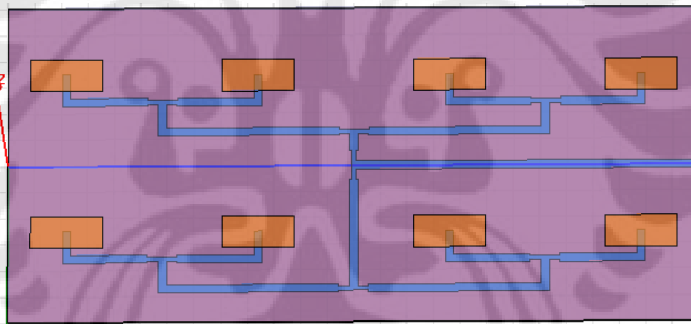
Radiation Pattern 1

HFSSDesign2



Curve Info	
—	dB(Gain Total)
—	Setup1 : LastAdaptive
—	Freq=3.35GHz' Phi=0deg'
—	dB(Gain Total)
—	Setup1 : LastAdaptive
—	Freq=3.35GHz' Phi=90deg'

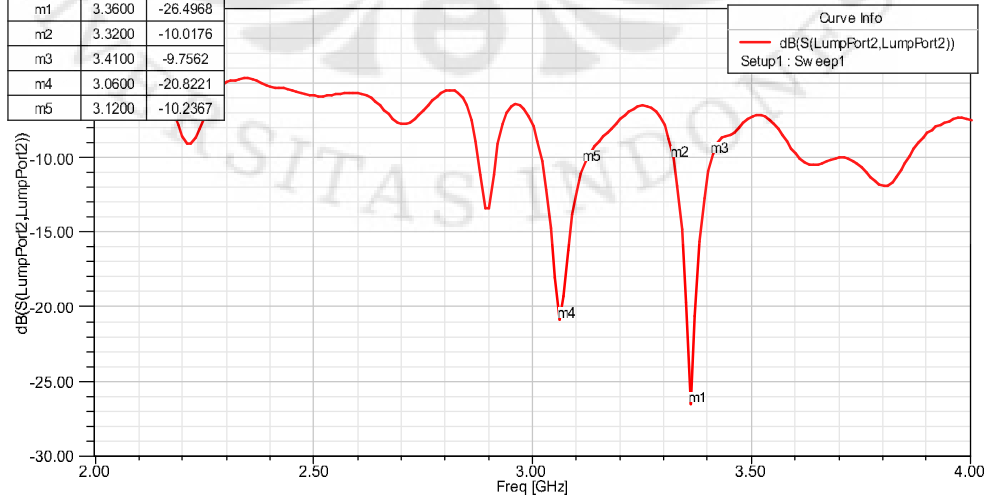
Model Konfigurasi-2 :



XY Plot 4

HFSSDesign2

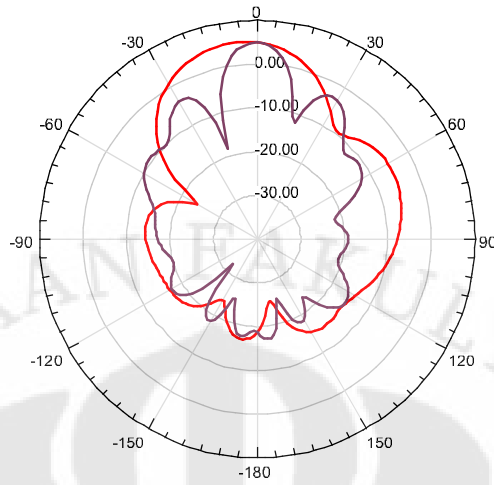
Name	X	Y
m1	3.3600	-26.4968
m2	3.3200	-10.0176
m3	3.4100	-9.7562
m4	3.0600	-20.8221
m5	3.1200	-10.2367



Ansoft Corporation

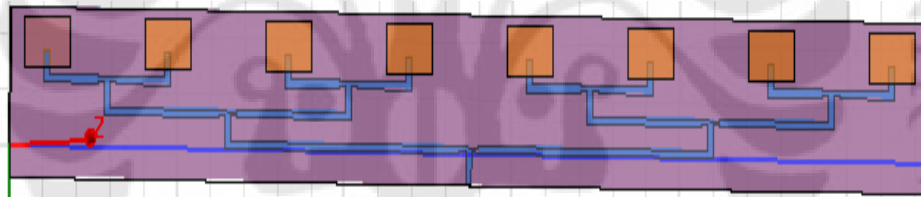
Radiation Pattern 1

HFSSDesign2



Curve Info	
—	dB(Gain Total)
Setup1 : LastAdaptive	
Freq='3.35GHz'	Phi='0deg'
—	dB(Gain Total)
Setup1 : LastAdaptive	
Freq='3.35GHz'	Phi='90deg'

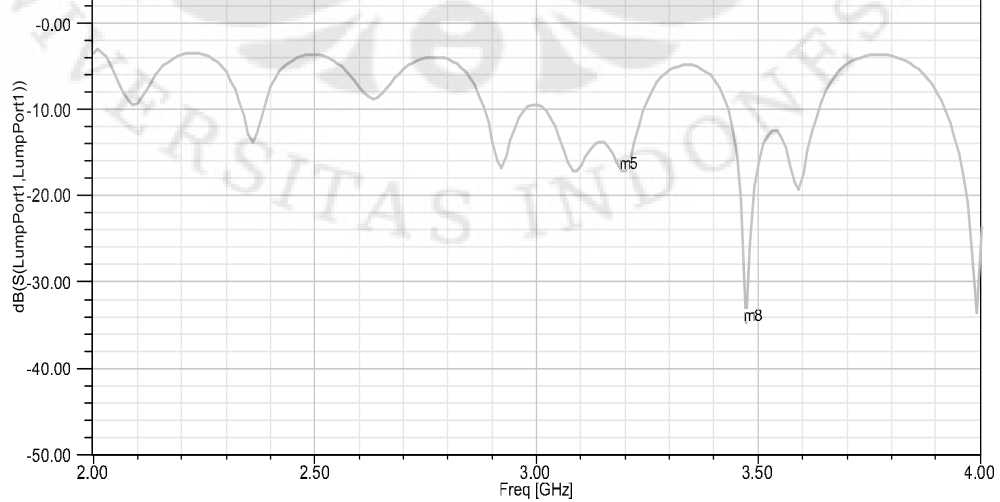
Model Konfigurasi-3 :



Name	X	Y
m5	3.1900	-17.0676
m8	3.4700	-34.6016

XY Plot 1

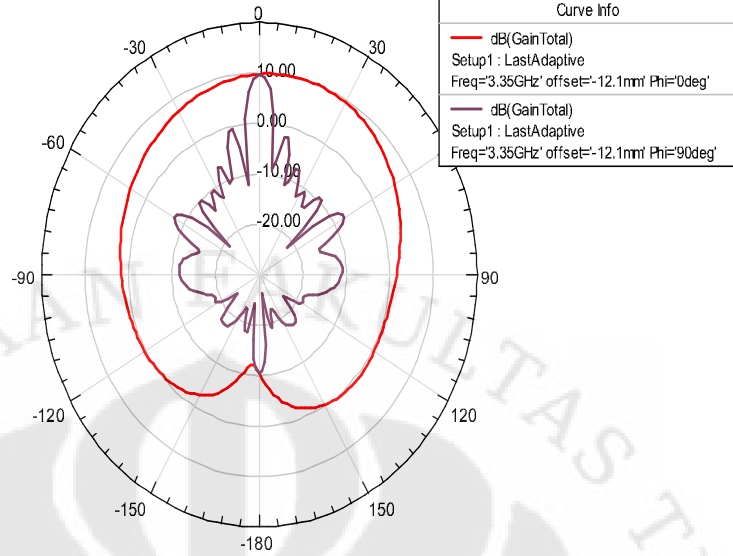
Curve Info	
—	dB(S(LumpPort1,LumpPort1))
Setup1 : Sweep1	
offset='-11.5mm'	



Ansoft Corporation

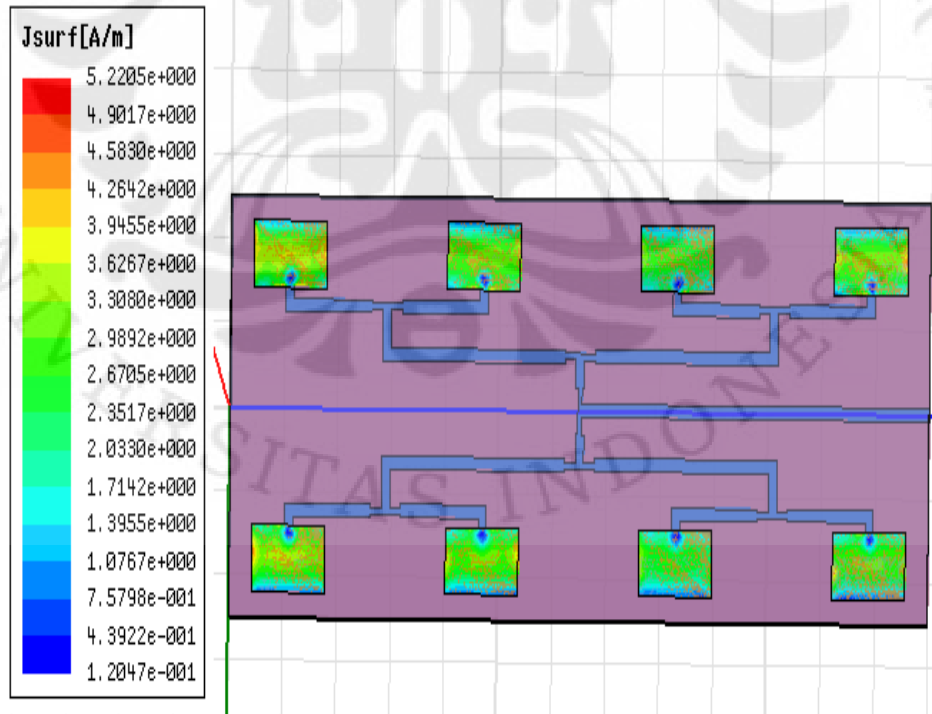
Radiation Pattern 1

HFSSDesign2

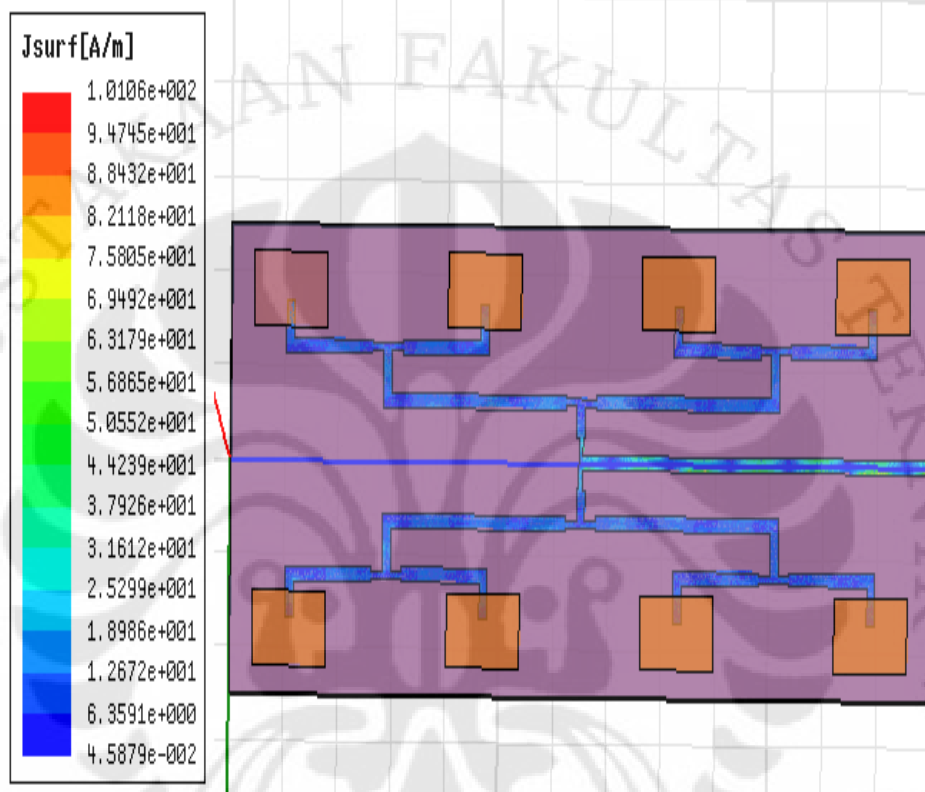


B2.5. Animasi distribusi arus dari simulasi antena *Array 8 Elemen*

Animasi distribusi arus pada *patch* :



Animasi distribusi arus pada saluran pencatu:



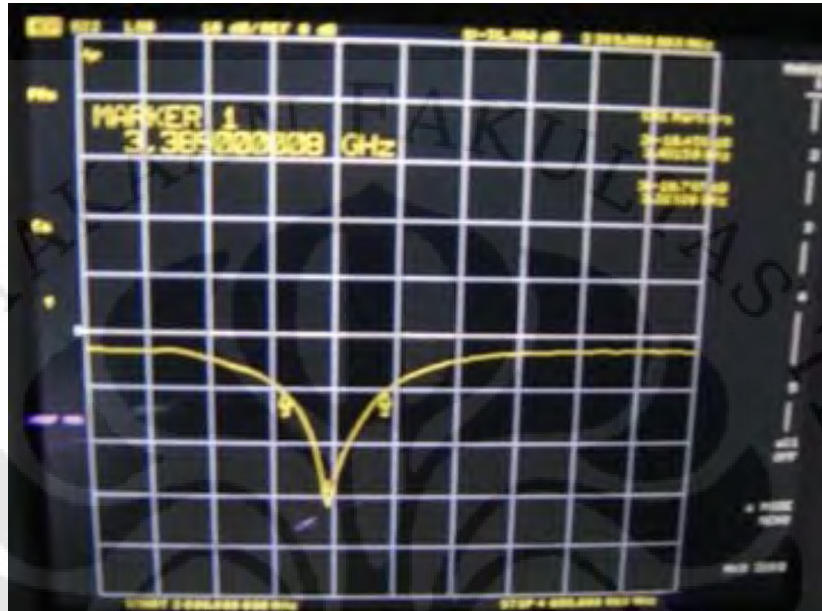


LAMPIRAN C
DATA HASIL PENGUKURAN

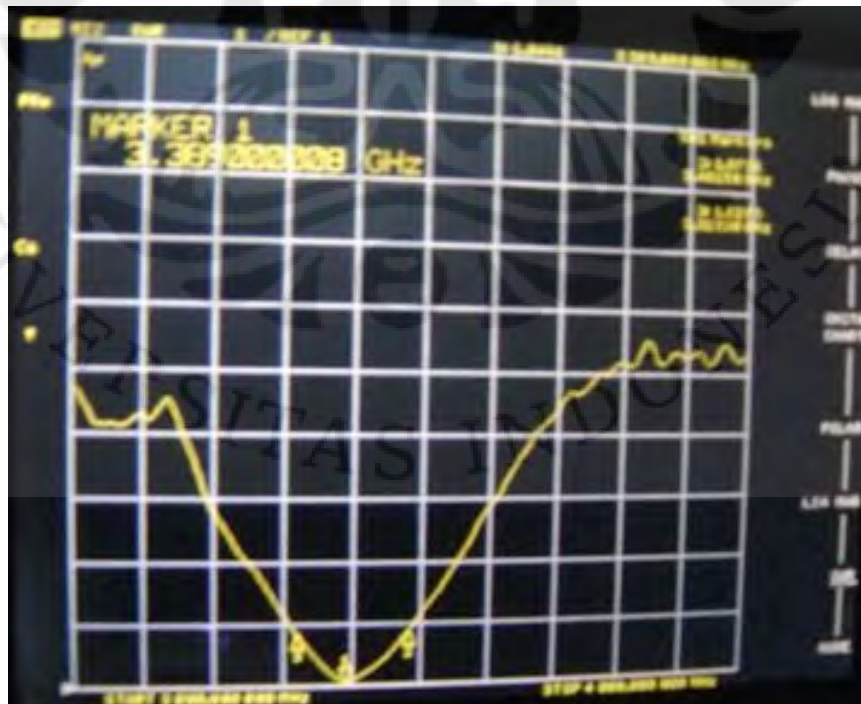
C1. HASIL PENGUKURAN *PORT* TUNGGAL

C1.1. ANTENA ELEMEN TUNGGAL

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



Tampilan VSWR antenna elemen tunggal pada Network Analyzer :

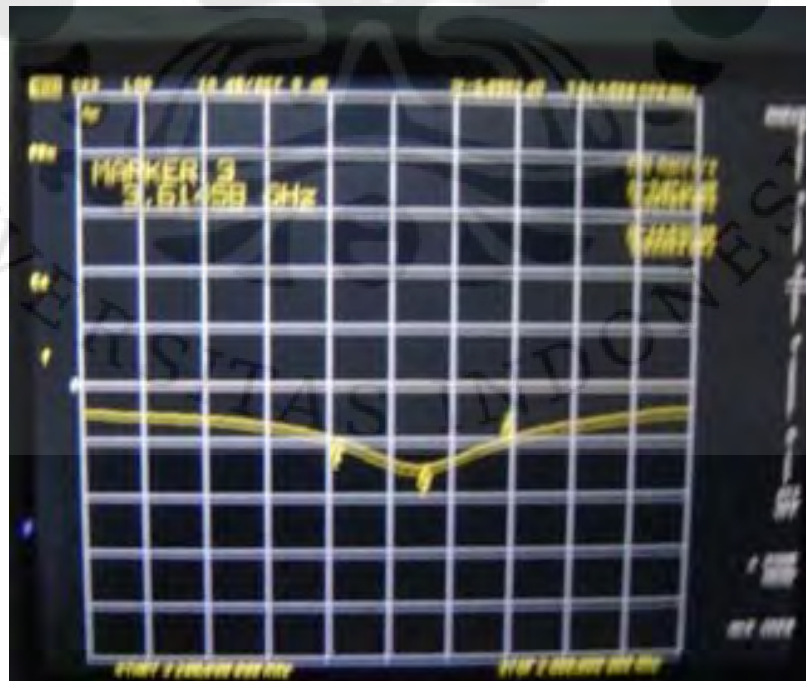


Tampilan impedansi masukan antenna elemen tunggal pada Network Analyzer :

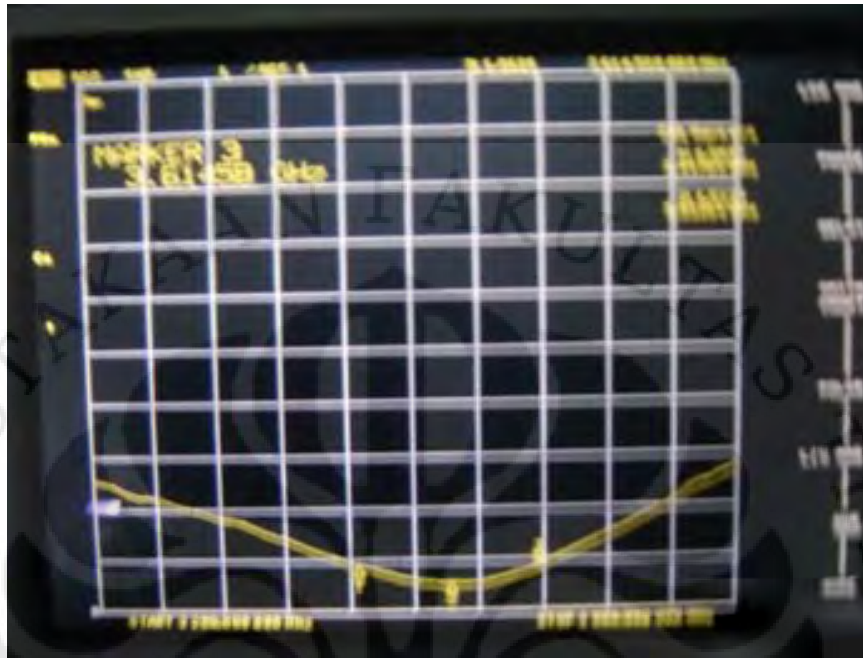


C1.2. ANTENA ARRAY 2 ELEMEN

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 :



C2. HASIL PENGUKURAN POLA RADIASI 8 Elemen

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

E-Co		
Sudut (°)	Data (dB)	Normalisasi
0	-53.193	0
10	-59.4	-6.207
20	-62.426	-9.233
30	-65.107	-11.914
40	-72.451	-19.258
50	-69.28	-16.087
60	-60.695	-7.502
70	-58.409	-5.216
80	-57.867	-4.674
90	-57.183	-3.99
100	-58.443	-5.25
110	-63.155	-9.962
120	-64.007	-10.814
130	-59.444	-6.251
140	-61.422	-8.229
150	-62.131	-8.938
160	-66.824	-13.631
170	-62.384	-9.191
180	-63.653	-10.46
190	-65.837	-12.644
200	-63.396	-10.203
210	-69.915	-16.722
220	-58.625	-5.432
230	-59.815	-6.622
240	-58.604	-5.411
250	-61.027	-7.834
260	-63.319	-10.126
270	-61.453	-8.26
280	-58.622	-5.429
290	-54.09	-0.897
300	-54.105	-0.912
310	-56.109	-2.916
320	-63.523	-10.33
330	-57.21	-4.017
340	-64.391	-11.198
350	-74.442	-21.249
NILAI MAKSIMUM	-53.193	

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

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

E-Cross		
Sudut (°)	Rata-rata (dB)	Normalisasi
0	-62.202	-5.808
10	-59.417	-3.023
20	-69.521	-13.127
30	-60.191	-3.797
40	-62.203	-5.809
50	-63.241	-6.847
60	-66.784	-10.39
70	-80.372	-23.978
80	-68.461	-12.067
90	-64.6	-8.206
100	-67.355	-10.961
110	-65.319	-8.925
120	-69.388	-12.994
130	-71.733	-15.339
140	-70.691	-14.297
150	-74.562	-18.168
160	-69.444	-13.05
170	-74.455	-18.061
180	-84.2	-27.806
190	-73.971	-17.577
200	-66.128	-9.734
210	-65.712	-9.318
220	-65.879	-9.485
230	-66.419	-10.025
240	-65.007	-8.613
250	-63.351	-6.957
260	-70.254	-13.86
270	-63.525	-7.131
280	-56.934	-0.54
290	-56.394	0
300	-60.597	-4.203
310	-62.958	-6.564
320	-59.612	-3.218
330	-58.054	-1.66
340	-64.482	-8.088
350	-58.517	-2.123
NILAI MAKSIMUM	-56.394	

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

Intensitas Daya Relatif Antena Elemen Tunggal Untuk **Bidang H-Co**

H-Co		
Sudut (°)	Rata-rata (dB)	Normalisasi
0	-55.448	-9.499
10	-60.171	-14.222
20	-55.185	-9.236
30	-51.461	-5.512
40	-49.436	-3.487
50	-48.507	-2.558
60	-47.716	-1.767
70	-48.858	-2.909
80	-51.075	-5.126
90	-57.57	-11.621
100	-72.468	-26.519
110	-71.168	-25.219
120	-68.033	-22.084
130	-64.575	-18.626
140	-64.758	-18.809
150	-64.248	-18.299
160	-62.261	-16.312
170	-64.576	-18.627
180	-64.244	-18.295
190	-69.891	-23.942
200	-71.508	-25.559
210	-67.729	-21.78
220	-65.229	-19.28
230	-62.575	-16.626
240	-64.171	-18.222
250	-59.992	-14.043
260	-60.447	-14.498
270	-58.778	-12.829
280	-55.459	-9.51
290	-52.077	-6.128
300	-49.671	-3.722
310	-46.273	-0.324
320	-45.949	0
330	-47.624	-1.675
340	-47.052	-1.103
350	-50.752	-4.803
NILAI MAKSIMUM	-45.949	

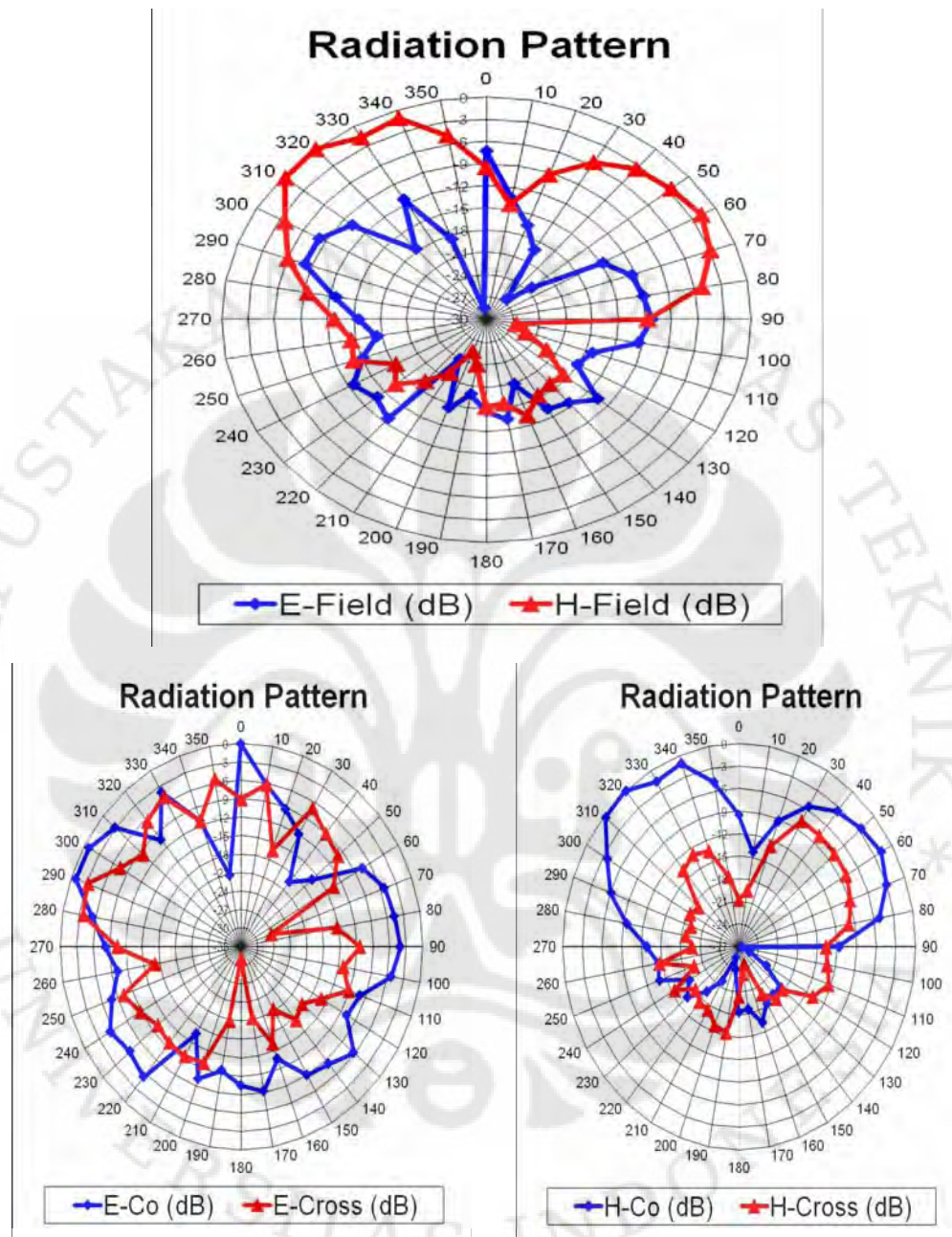
Ket : Normalisasi adalah nilai rata-rata tertinggi dikurang nilai rata-rata

Intensitas Daya Relatif Antena Elemen Tunggal Untuk **Bidang H-Cross**

H-Cross		
Sudut (°)	Rata-rata (dB)	Normalisasi
0	-66.7	-13.079
10	-65.37	-11.749
20	-58.675	-5.054
30	-53.621	0
40	-53.705	-0.084
50	-53.768	-0.147
60	-53.936	-0.315
70	-54.782	-1.161
80	-55.834	-2.213
90	-59.549	-5.928
100	-59.194	-5.573
110	-58.301	-4.68
120	-59.829	-6.208
130	-64.18	-10.559
140	-63.996	-10.375
150	-65.737	-12.116
160	-70.512	-16.891
170	-69.322	-15.701
180	-66.429	-12.808
190	-61.414	-7.793
200	-61.875	-8.254
210	-63.381	-9.76
220	-63.475	-9.854
230	-64.232	-10.611
240	-61.553	-7.932
250	-65.604	-11.983
260	-60.587	-6.966
270	-65.729	-12.108
280	-64.638	-11.017
290	-65.12	-11.499
300	-64.273	-10.652
310	-64.777	-11.156
320	-59.631	-6.01
330	-58.813	-5.192
340	-59.436	-5.815
350	-63.507	-9.886
NILAI MAKSIMUM	-53.621	

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

Grafik pola radiasi antenna 8 elemen:



C3. DATA HASIL PENGUKURAN *GAIN*

Metode yang digunakan dalam pengukuran *gain* pada penelitian ini menggunakan metode kombinasi *gain* 2 dan 3 antenna, metode 2 antenna dipakai untuk mengukur antenna 8 elemen konfigurasi-1 (*array* 8 elemen)

Metode 2 antenna							
Frekuensi (GHz)	λ (cm)	R (cm)	Daya Pemancar (mW)	Daya penerima (μ W)			Gain (dB)
				1	2	Rata-rata	
3.25	9.231	160	0.032691	0.137	0.132	0.1345	11.452
3.26	9.202	160	0.032693	0.143	0.138	0.1405	11.560
3.27	9.174	160	0.032689	0.152	0.144	0.148	11.687
3.28	9.146	160	0.03268	0.161	0.155	0.158	11.843
3.29	9.119	160	0.032669	0.168	0.165	0.1665	11.970
3.3	9.091	160	0.032658	0.17	0.169	0.1695	12.023
3.31	9.063	160	0.032656	0.179	0.178	0.1785	12.149
3.32	9.036	160	0.03266	0.194	0.186	0.19	12.297
3.33	9.009	160	0.032667	0.198	0.191	0.1945	12.361
3.34	8.982	160	0.032674	0.209	0.2	0.2045	12.482
3.35	8.955	160	0.032678	0.225	0.217	0.221	12.663
3.36	8.929	160	0.032676	0.227	0.219	0.223	12.696
3.37	8.902	160	0.032668	0.243	0.233	0.238	12.851
3.38	8.876	160	0.032658	0.269	0.255	0.262	13.073
3.39	8.850	160	0.032647	0.282	0.267	0.2745	13.188
3.4	8.824	160	0.032639	0.295	0.292	0.2935	13.346
3.41	8.798	160	0.032637	0.302	0.283	0.2925	13.352
3.42	8.772	160	0.032641	0.323	0.303	0.313	13.511
3.43	8.746	160	0.03265	0.343	0.324	0.3335	13.661
3.44	8.721	160	0.032662	0.36	0.35	0.355	13.809
3.45	8.696	160	0.032672	0.373	0.363	0.368	13.899
3.46	8.671	160	0.032681	0.376	0.371	0.3735	13.943
3.47	8.646	160	0.032683	0.402	0.382	0.392	14.060
3.48	8.621	160	0.032679	0.41	0.388	0.399	14.111
3.49	8.596	160	0.032671	0.413	0.408	0.4105	14.186
3.5	8.571	160	0.032663	0.434	0.414	0.424	14.269
3.51	8.547	160	0.032657	0.436	0.422	0.429	14.308
3.52	8.523	160	0.032654	0.447	0.418	0.4325	14.338
3.53	8.499	160	0.032658	0.455	0.437	0.446	14.417
3.54	8.475	160	0.032663	0.483	0.46	0.4715	14.549
3.55	8.451	160	0.032671	0.487	0.48	0.4835	14.616
3.56	8.427	160	0.032675	0.511	0.49	0.5005	14.703
3.57	8.403	160	0.032674	0.513	0.491	0.502	14.721
3.58	8.380	160	0.032669	0.52	0.509	0.5145	14.787
3.59	8.357	160	0.03266	0.499	0.503	0.501	14.742

3.6	8.333	160	0.032649	0.492	0.477	0.4845	14.682
3.61	8.310	160	0.032642	0.455	0.445	0.45	14.534
3.62	8.287	160	0.032641	0.425	0.424	0.4245	14.420
3.63	8.264	160	0.032648	0.405	0.403	0.404	14.324
3.64	8.242	160	0.032661	0.39	0.383	0.3865	14.239
3.65	8.219	160	0.032675	0.36	0.363	0.3615	14.104
3.66	8.197	160	0.032688	0.34	0.343	0.3415	13.992
3.67	8.174	160	0.032693	0.31	0.322	0.316	13.835
3.68	8.152	160	0.032688	0.289	0.298	0.2935	13.687

Sedangkan metode 3 antenna untuk antenna elemen tunggal, 2 elemen dan 8 elemen parallel dimana :

$G_1 = \text{Gain}$ antenna mikrostrip elemen tunggal

$G_2 = \text{Gain}$ antenna mikrostrip array 2 elemen

$G_3 = \text{Gain}$ antenna mikrostrip array 8 elemen konfigurasi-2

Data Pengukuran dengan kombinasi 1 – 2

KOMBINASI 1-2							
Frekuensi (GHz)	λ (cm)	R (cm)	Daya Pemancar (mW)	Daya penerima (μW)			G1+G2 (dB)
				1	2	Rata-rata	
3.35	8.955	160	0.03162	0.233	0.351	0.292	26.679
3.36	8.929	160	0.03162	0.186	0.347	0.2665	26.308
3.37	8.902	160	0.03162	0.326	0.435	0.3805	27.881
3.38	8.876	160	0.03162	0.293	0.314	0.3035	26.924
3.39	8.850	160	0.03162	0.268	0.247	0.2575	26.236
3.4	8.824	160	0.03162	0.252	0.256	0.254	26.202
3.41	8.798	160	0.03162	0.272	0.257	0.2645	26.404
3.42	8.772	160	0.03162	0.312	0.199	0.2555	26.279
3.43	8.746	160	0.03162	0.232	0.222	0.227	25.791
3.44	8.721	160	0.03162	0.185	0.236	0.2105	25.488
3.45	8.696	160	0.03162	0.186	0.231	0.2085	25.472
3.46	8.671	160	0.03162	0.183	0.246	0.2145	25.620
3.47	8.646	160	0.03162	0.156	0.22	0.188	25.073
3.48	8.621	160	0.03162	0.166	0.152	0.159	24.370
3.49	8.596	160	0.03162	0.127	0.164	0.1455	24.010
3.5	8.571	160	0.03162	0.114	0.135	0.1245	23.358
3.51	8.547	160	0.03162	0.167	0.135	0.151	24.220
3.52	8.523	160	0.03162	0.133	0.129	0.131	23.628
3.53	8.499	160	0.03162	0.114	0.142	0.128	23.552
3.54	8.475	160	0.03162	0.167	0.122	0.1445	24.103
3.55	8.451	160	0.03162	0.151	0.157	0.154	24.404

Data Pengukuran dengan kombinasi 2 – 3

KOMBINASI 2-3							
Frekuensi (GHz)	λ (cm)	R (cm)	Daya Pemancar (mW)	Daya penerima (μ W)			G2+G3 (dB)
				1	2	Rata-rata	
3.35	8.955	160	0.03162	0.0998	0.0969	0.09835	21.953
3.36	8.929	160	0.03162	0.1005	0.0973	0.0989	22.003
3.37	8.902	160	0.03162	0.1006	0.0973	0.09895	22.031
3.38	8.876	160	0.03162	0.1016	0.0977	0.09965	22.088
3.39	8.850	160	0.03162	0.1011	0.0983	0.0997	22.115
3.4	8.824	160	0.03162	0.1011	0.1017	0.1014	22.215
3.41	8.798	160	0.03162	0.0995	0.0987	0.0991	22.140
3.42	8.772	160	0.03162	0.0975	0.0991	0.0983	22.131
3.43	8.746	160	0.03162	0.0992	0.1018	0.1005	22.252
3.44	8.721	160	0.03162	0.1016	0.1022	0.1019	22.337
3.45	8.696	160	0.03162	0.1022	0.1051	0.10365	22.437
3.46	8.671	160	0.03162	0.1039	0.1044	0.10415	22.483
3.47	8.646	160	0.03162	0.1038	0.1044	0.1041	22.506
3.48	8.621	160	0.03162	0.1068	0.1064	0.1066	22.634
3.49	8.596	160	0.03162	0.1083	0.1096	0.10895	22.753
3.5	8.571	160	0.03162	0.1117	0.1117	0.1117	22.886
3.51	8.547	160	0.03162	0.1136	0.1127	0.11315	22.967
3.52	8.523	160	0.03162	0.1142	0.1114	0.1128	22.978
3.53	8.499	160	0.03162	0.1154	0.1534	0.1344	23.764
3.54	8.475	160	0.03162	0.1165	0.1132	0.11485	23.106
3.55	8.451	160	0.03162	0.1162	0.11144	0.11382	23.091

Data Pengukuran dengan kombinasi 1– 3

KOMBINASI 1-3							
Frekuensi (GHz)	λ (cm)	R (cm)	Daya Pemancar (mW)	Daya penerima (μ W)			G1+G3 (dB)
				1	2	Rata-rata	
3.35	8.955	160	0.03162	0.0928	0.0977	0.09525	21.814
3.36	8.929	160	0.03162	0.0972	0.0987	0.09795	21.961
3.37	8.902	160	0.03162	0.0983	0.1016	0.09995	22.075
3.38	8.876	160	0.03162	0.1004	0.1022	0.1013	22.159
3.39	8.850	160	0.03162	0.0992	0.1027	0.10095	22.170
3.4	8.824	160	0.03162	0.1024	0.1037	0.10305	22.285
3.41	8.798	160	0.03162	0.0994	0.1087	0.10405	22.352
3.42	8.772	160	0.03162	0.1023	0.1064	0.10435	22.390
3.43	8.746	160	0.03162	0.1002	0.1062	0.1032	22.367
3.44	8.721	160	0.03162	0.1005	0.1008	0.10065	22.284
3.45	8.696	160	0.03162	0.1026	0.0986	0.1006	22.307
3.46	8.671	160	0.03162	0.0986	0.1002	0.0994	22.280
3.47	8.646	160	0.03162	0.0977	0.0965	0.0971	22.203
3.48	8.621	160	0.03162	0.0961	0.0955	0.0958	22.170
3.49	8.596	160	0.03162	0.0943	0.0948	0.09455	22.138
3.5	8.571	160	0.03162	0.0946	0.0943	0.09445	22.158
3.51	8.547	160	0.03162	0.0953	0.0946	0.09495	22.206
3.52	8.523	160	0.03162	0.0981	0.0962	0.09715	22.330
3.53	8.499	160	0.03162	0.1008	0.0965	0.09865	22.421
3.54	8.475	160	0.03162	0.1004	0.1004	0.1004	22.522
3.55	8.451	160	0.03162	0.1022	0.1026	0.1024	22.632

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

Frekuensi (GHz)	G1 (dB)	G2 (dB)	G3 (dB)
2.27	13.270	13.409	8.544
2.28	13.133	13.175	8.828
2.29	13.962	13.919	8.113
2.3	13.498	13.427	8.661
2.31	13.145	13.091	9.024
2.32	13.136	13.066	9.148
2.33	13.308	13.096	9.044
2.34	13.269	13.010	9.121
2.35	12.953	12.838	9.414
2.36	12.717	12.771	9.567
2.37	12.671	12.801	9.636
2.38	12.709	12.912	9.571
2.39	12.385	12.688	9.818
2.4	11.953	12.417	10.217
2.41	11.697	12.313	10.441
2.42	11.315	12.043	10.843
2.43	11.729	12.491	10.476

