



UNIVERSITAS INDONESIA

**RANCANG BANGUN ANTENA MIKROSTRIP SUSUN
LINIER 8 ELEMEN DENGAN PEMBENTUKAN BERKAS
POLA SECTORAL 60° UNTUK APLIKASI WIMAX**

SKRIPSI

INDRA KUSUMA WARDANA

04 05 03 0451

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



UNIVERSITAS INDONESIA

**RANCANG BANGUN ANTENA MIKROSTRIP SUSUN
LINIER 8 ELEMEN DENGAN PEMBENTUKAN BERKAS
POLA SECTORAL 60° UNTUK APLIKASI WIMAX**

SKRIPSI

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

INDRA KUSUMA WARDANA

04 05 03 0451

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

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Indra Kusuma Wardana

NPM : 0405030451

Tanda Tangan :

Tanggal : Desember 2009

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Indra Kusuma Wardana
NPM : 0405030451
Program Studi : Teknik Elektro
Judul Skripsi : Rancang Bangun Antena Mikrostrip Susun Linier
8 Elemen Dengan Pembentukan Berkas Pola
Sectoral 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 : Dr. Fitri Yuli Zulkifli, ST, M.Sc. ()

Pembimbing 2 : Prof. Ir. Eko Tjipto Rahardjo, M.Sc, PhD. ()

Penguji : Dr. Ir. Muhammad Asvial, Msc. ()

Penguji : ()

Ditetapkan di :

Tanggal :

KATA PENGANTAR

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

1. Dr. Ir. Fitri Yuli Zulkifi, M.Sc, selaku dosen pembimbing pertama yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan seminar ini.
2. Prof. Ir. Eko Tjipto Rahardjo, Msc, PhD, selaku dosen pembimbing kedua yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan seminar ini.
3. Rekan-rekan AMRG yang selalu mendorong untuk kemajuan riset.
4. Orang tua dan keluarga yang amat saya sayangi yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral.
5. Sahabat terutama teman-teman elektro UI 2005 yang telah banyak membantu saya dalam menyelesaikan skripsi ini.
6. Indah Riyanti yang selalu memberi semangat bagi saya dalam menyelesaikan skripsi ini.

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

Depok, 21 Desember 2009

Penulis

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

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

Nama : Indra Kusuma Wardana
NPM : 04050300451
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 SUSUN
LINIER 8 ELEMEN DENGAN PEMBENTUKAN BERKAS
POLA *SECTORAL* 60° 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 : 21 Desember 2009
Yang menyatakan

(Indra Kusuma Wardana)

ABSTRAK

Nama : Indra Kusuma Wardana
Program Studi : Teknik Elektro
Judul : Rancang Bangun Antena Mikrostrip Susun Linier Elemen Dengan Pembentukan Berkas Pola *Sectoral* 60° untuk Aplikasi *WiMAX*
Pembimbing I : Dr. Fitri Yuli Zulkifli, ST, Msc
Pembimbing II : Prof.Ir. Eko Tjipto Rahardjo, Msc, PhD.

Dalam beberapa tahun terakhir teknologi *WiMAX* telah menarik perhatian dunia telekomunikasi karena *bandwidth* dan *bit rate*-nya yang besar. *WiMAX* menawarkan mobilitas, fleksibilitas, kemudahan, dan juga biaya pemasangan yang relatif murah dibandingkan layanan kabel pita lebar. Untuk mendukung kinerja teknologi *WiMAX* dibutuhkan sebuah antena yang tidak hanya memiliki kinerja yang baik, namun juga murah, kecil, dan mudah dalam pemasangannya. Salah satu jenis antena yang dapat memenuhi kebutuhan ini adalah antena mikrostrip.

Pada skripsi ini dirancang bangun sebuah antena mikrostrip *patch* segiempat *array* 8 elemen untuk aplikasi BTS *WiMAX*. Antena dirancang agar bekerja pada frekuensi 3,3 GHz (3,3 - 3,4 GHz) dengan Gain ≥ 17 dBi dan pola radiasi sektoral 60°. Pencatuan *electromagnetic magneting coupling (emc)* digunakan agar *bandwidth* yang dihasilkan mencapai 100 MHz. Sedangkan untuk mendapatkan gain yang tinggi dan pola radiasi yang diinginkan digunakan array 8 elemen dengan metode sintesis *Woodward-Lawson*.

Dari hasil pengukuran, antena yang telah dirancang mampu bekerja pada rentang frekuensi 3,3-3,4 GHz. Nilai *VSWR* $\leq 1,5$ dapat dicapai pada rentang 3,29 GHz – 3,47 GHz . Sedangkan untuk pola radiasi berkisar pada sudut 35° dan Gain sebesar 9,085 dBi.

Kata kunci: Antena mikrostrip, *WiMAX*, *array*, *Woodward-Lawson*, *electromagnetically coupled*, *sectoral*

ABSTRACT

Name : Indra Kusuma Wardana
Study Program : Teknik Elektro
Title : Design of 8 Elements Array Microstrip Antenna With 60° Sectoral Radiation Pattern For WiMAX Application
Supervisor I : Dr. Ir. Fitri Yuli Zulkifli, Msc.
Supervisor II : Prof.Ir. Eko Tjipto Rahardjo, Msc, PhD

Recently WiMAX technology has attract the telecommunications world's attention because of its large bandwidth and bit rate. WiMAX offers mobility, flexibility, convenience, and also the installation costs are relatively cheap compared to broadband cable services. To provide WiMAX technology performance required an antenna that not only has a good performance, but also low-cost, low-profile, and easy on installation. One type of antenna that can meet these requireents is microstrip antenna.

In this final project an 8 element rectangular patch microstrip array antenna for WiMAX BTS applications is designed and fabricated. The antenna is designed to work at a frequency of 3.3 GHz (3.3 to 3.4 GHz) with Gain ≥ 17 dBi and 60° sectoral radiation pattern. Electomagnetic magneting coupling (emc) feeding technique is used for the resulting bandwidth reaches 100 MHz. Meanwhile, to get high gain and the desired radiation pattern used an 8 elements array with Woodward-Lawson synthesis methods.

From the results of measurements, the antenna has been designed capable of working at 3,3-3,4 GHz frequency range. At VSWR $\leq 1,5$ can be achieved in the range 3,29 GHz - 3.47 GHz with about 35° radiation pattern with Gain 9,085 dBi.

Keywords : Microstrip antenna, WiMAX, array, woodward-lawson, electromagnetically coupled, gain, VSWR



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 Penelitian	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Sistematika Penulisan	3
2. ANTENA MIKROSTRIP	5
2.1. Struktur Antena Mikrostrip	5
2.2. Model Cavity	6
2.3. Antena Mikrostrip Patch Persegi Panjang	8
2.4. Teknik Pencatuan	9
2.5. Impedance Matching	11
2.6. Metode Woodward-Lawson	12
2.7. Antena Mikrostrip Array	15
2.8. Power Divider	16
2.9. T-Junction 50 Ohm	17
2.10. Parameter Antena Mikrostrip	17
2.10.1. Impedansi Masukan	17
2.10.2. VSWR (Voltage Standing Wave Ratio)	18
2.10.3. Return loss	19
2.10.4. Polarisasi	19
2.10.5. Bandwidth	21
2.10.6. Keterarahan (Directivity)	23
2.10.7. Penguatan (Gain)	23
2.10.8. Pola Radiasi	24
3. PERANCANGAN ANTENA DAN SIMULASI	26
3.1. Peralatan Yang Digunakan	26
3.2. Menentukan Jenis Substrat Yang Digunakan	26
3.3. Perancangan Elemen Tunggal	27
3.3.1. Menentukan Karakteristik Antena	27
3.3.2. Perancangan Dimensi Patch Segiempat Elemen Tunggal	27
3.3.3. Perancangan Lebar Saluran Pencatu	27
3.3.4. Hasil Simulasi Elemen tunggal	28
3.4 Perancangan Array Patch 8 Elemen	32
3.4.1. Diagram Alir Perancangan Elemen Tunggal	32
3.4.2. Pengaturan Jarak Antar Elemen	33

3.4.3. Perancangan T-Junction.....	33
3.4.4. Perancangan Lebar Saluran Pencatu	33
3.5. Perhitungan Feeding Woodward-Lawson	34
3.5.1. Perhitungan saluran pencatu antara elemen 3 dan 4.....	39
3.5.2 Perhitungan saluran pencatu antara elemen 2 dan 3.....	41
3.5.3. Perhitungan saluran pencatu antara elemen 1 dan 2.....	43
3.5.4. Saluran pencatu antara elemen -1 dan 1	45
3.6. Hasil Simulasi Rancangan.....	47
3.7. Prosedur Pengukuran Antena	53
3.7.1 Pengukuran Port Tunggal	53
3.7.2 Pengukuran Pola Radiasi.....	54
3.7.3 Pengukuran Gain Absolut.....	55
4. HASIL PENGUKURAN DAN ANALISA HASIL PENGUKURAN.....	58
4.1 Hasil Pengukuran Parameter Antena	58
4.1.1 Pengukuran port Tunggal	58
4.1.2 Pengukuran Port Ganda.....	61
4.1.3 Pengukuran Gain	68
4.2 Analisis Hasil Pengukuran	70
4.2.1. Analisa Port Tunggal	70
4.2.2. Analisa Port Ganda	71
4.2.3. Analisa Hasil Pengukuran Gain.....	72
5. KESIMPULAN	74
DAFTAR ACUAN	75
DAFTAR PUSTAKA	77
LAMPIRAN.....	78

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Antena mikrostrip [1]	5
Gambar 2.2	Distribusi muatan dan kerapatan arus pada antena mikrostrip....	6
Gambar 2.3	Pencatuan electromagnetically coupled [1].....	10
Gambar 2.4	Pemberian transformator $\lambda/4$ untuk memperoleh impedance matching	11
Gambar 2.5.	Composing function antena susun linier	14
Gambar 2.6.	Antena array	16
Gambar 2.7	N-way Wilkinson combiner.....	17
Gambar 2.8	T-junction 50 ohm	17
Gambar 2.9.	Polarisasi linier [4]	20
Gambar 2.10	Polarisasi melingkar [4].....	21
Gambar 2.11	Polarisasi Elips [4].....	21
Gambar 2.12	Rentang frekuensi yang menjadi bandwidth	23
Gambar 2.13	pola radiasi directional [1].....	25
Gambar 3.1.	Tampilan program PCAAD untuk mencari lebar catu agar mempunyai impedansi 50 ohm.....	28
Gambar 3.2.	Geometri hasil perancangan antena elemen tunggal	29
Gambar 3.3.	Hasil simulasi Return loss elemen tunggal.....	30
Gambar 3.4.	Hasil simulasi VSWR elemen tunggal	30
Gambar 3.5.	Hasil simulasi pola radiasi elemen tunggal	31
Gambar 3.6	Diagram alir perancangan patch elemen tunggal	32
Gambar 3.7.	Tampilan program PCAAD untuk mencari lebar catu agar mempunyai impedansi 50 Ω	33
Gambar 3.8.	Sampling berkas pancaran dalam grafik $f(\theta)$ terhadap θ	36
Gambar 3.9	Gambar saluran pencatu 8 elemen.....	37
Gambar 3.10	Penyesuain impedansi antara elemen 4 ke 3	40
Gambar 3.11	Bentuk fisik saluran pencatu antara elemen 4 ke 3	41
Gambar 3.12	Penyesuain impedansi antara elemen 3 ke 2	42
Gambar 3.13	Bentuk fisik saluran pencatu antara elemen 3 ke 2	43
Gambar 3.14	Penyesuain impedansi antara elemen 2 ke 1	43
Gambar 3.15	Bentuk fisik saluran pencatu antara elemen 2 ke 1	45
Gambar 3.16	Penyesuain impedansi antara elemen 1 ke -1	46
Gambar 3.18	Saluran pencatu 8 elemen.....	47
Gambar 3.19	Rancangan antena susun linier 8 elemen untuk pembentukan pola sektoral (a) geometri antena 2 dimensi (b) geometri antena 3 dimensi	49
Gambar 3.20	Grafik Return Loss antena susun linier 8 elemen.....	50
Gambar 3.21	Grafik VSWR antena susun linier 8 elemen.....	50
Gambar 3.22	Pola radiasi antena susun linier 8 elemen.....	51
Gambar 3.23	Pola radiasi 3-D antena susun linier 8 elemen (a) z-y plane (b) z-x plane (c) x-y-z plane.....	52
Gambar 3.24	Grafik pola radiasi antena susun linier 8 elemen.....	53
Gambar 3.26	Konfigurasi pengukuran port tunggal.....	54
Gambar 3.27	Rangkaian peralatan pada pengukuran pola radiasi	55
Gambar 3.28	Rangkaian peralatan pada pengukuran gain	57

Gambar 4.1	Grafik return loss hasil pengukuran antena array 8 elemen	59
Gambar 4.2	Grafik VSWR hasil pengukuran antena array 8 elemen.....	59
Gambar 4.2	Smith chart hasil pengukuran antena array 8 elemen.....	60
Gambar 4.4	Hasil pengukuran pola radiasi E-co.....	63
Gambar 4.5	Hasil pengukuran pola radiasi E-cross	63
Gambar 4.6	Hasil pengukuran pola radiasi E-co dan E-cross.....	64
Gambar 4.7	Hasil pengukuran pola radiasi H-co	64
Gambar 4.8	Hasil pengukuran pola radiasi H-cross.....	65
Gambar 4.9	Hasil pengukuran pola radiasi H-co dan H-cross.....	65
Gambar 4.10	Perbandingan hasil pengukuran pola radiasi E-co dan H-co.....	66
Gambar 4.11	Perbandingan Log magnitude medan E dan H.....	67
Gambar 4.12	Grafik Axial Ratio antena.....	67
Gambar 4.13	Grafik Gain terhadap frekuensi	69
Gambar 4.14	Perbandingan nilai Return Loss hasil pengukuran dengan hasil simulasi	70
Gambar 4.15	Perbandingan pola radiasi pengukuran dengan hasil simulasi ..	71

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. LATAR BELAKANG

Saat ini antena merupakan salah satu bagian yang tak terpisahkan dari sistem komunikasi nirkabel. Sejalan dengan berkembangnya teknologi komunikasi nirkabel maka kebutuhan akan antena kian berkembang. Sistem komunikasi nirkabel saat ini membutuhkan sebuah antena yang tidak hanya memiliki desain yang kompak seperti *low-profile*, *low cost*, dan ukuran yang kecil namun memiliki performa yang baik. Salah satu jenis antena yang memenuhi persyaratan ini adalah antena mikrostrip [1].

Dalam beberapa tahun terakhir *bandwidth* menjadi salah satu hal yang signifikan dalam komunikasi nirkabel. 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 dibentuk pada April 2001, untuk mempromosikan interoperabilitas dan penyesuaian standar IEEE 802.16, yang secara resmi bernama WirelessMAN [2].

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 [3]. 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 [3].

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 antenna *broadband* diberikan pada [4-7]. Antena pada [4] menggunakan substrat FR4 dengan permitivitas relative 4,4. Pada antenna 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 [5] 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 [6] merupakan antenna *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 [7] merupakan antenna PFDA (*Planar Folded Dipole Antenna*). Antena ini digunakan untuk aplikasi *Bluetooth*, W-LAN dan WiMAX.

Antena yang dipakai di BS (*Base station*) dapat berupa sektor 60°, 90°, atau 120° tergantung dari area yang akan dilayani [3]. Atas dasar inilah maka diperlukan sebuah antena yang tidak hanya memiliki *bandwidth* yang lebar dan *gain* yang besar, namun juga sebuah pancaran berkas sectoral sehingga dapat bekerja lebih efisien. Pembentukan pancaran pola sectoral ini dapat dihasilkan melalui sebuah metoda *array* sintesis untuk mendapatkan berkas pancaran yang diinginkan.

Oleh karena itu dilakukan perancangan antena yang memiliki *bandwidth* yang lebar, *gain* yang besar sesuai spesifikasi antena pada suatu BTS dan pola pancaran sectoral untuk aplikasi WiMAX. Untuk mendapatkan antena karakteristik yang diinginkan digunakan metoda woodward-lawson yang diimplementasikan terhadap berbagai jenis patch dan pencatuan untuk

mendapatkan hasil terbaik. Metode ini telah dilakukan pada penelitian sebelumnya dimana dirancang antenna susun linear 6 elemen dengan pola sektoral [11]. Pada penelitian lain [14] juga dilakukan berbagai macam rancangan antenna *Woodward-Lawson* dengan variasi jumlah elemen. Hasil *beamwidth* yang didapat berkisar 60° namun frekuensi yang digunakan bukan frekuensi WiMAX. Hasil yang didapat pada penelitian tersebut menunjukkan berkas pancaran sebesar 39° . Pada skripsi ini dirancang sebuah antenna susun liner dengan jumlah elemen yang lebih banyak untuk menghasilkan gain yang lebih besar dengan berkas pancaran 60° .

1.2. TUJUAN PENULISAN

Tujuan dari skripsi ini adalah merancang bangun antenna mikrostrip *array* 8 elemen dengan berkas pancaran sektoral 60° yang bekerja pada frekuensi 3,3 GHz (3.3-3.4 GHz) dengan memiliki Gain ≥ 17 dBi sesuai spesifikasi BTS [13]. Pada rentang frekuensi yang telah disebutkan diatas diharapkan mempunyai nilai $VSWR \leq 1,5$ atau $return\ loss \leq -13,98$ dB.

1.3. BATASAN MASALAH

Permasalahan yang akan dibahas pada skripsi ini dibatasi pada rancang bangun antenna mikrostrip dengan bentuk *patch* persegi panjang yang disusun secara array 8 elemen dengan pencatuan *electromagnetic coupling emc*) yang diharapkan memenuhi criteria parameter elektrik dari suatu BTS (lampiran D) meliputi *frequency range*, *gain*, impedansi, VSWR, dan jenis konektor.

1.4. SISTEMATIKA PENULISAN

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

Bab 1 Pendahuluan

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

Bab 2 Antena Mikrostrip

Bagian ini akan berisi tentang bahasan teori dasar mengenai antena mikrostrip khususnya antena mikrostrip *patch*, metode *cavity*, teknik pencatutan, metode *woodward-lawson*, *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 antenna

Bab 4 Hasil Pengukuran dan Analisis Hasil Pengukuran

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

Bab 5 Kesimpulan

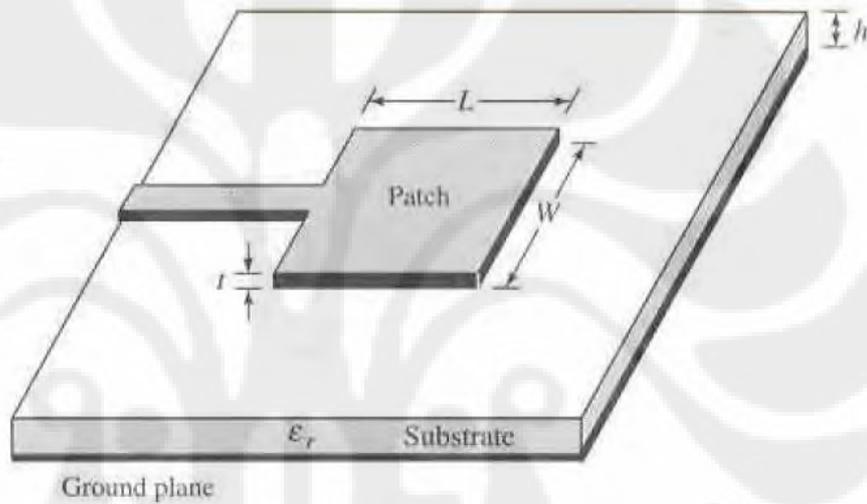
Bab ini berisi kesimpulan dari keseluruhan isi skripsi.

BAB 2

ANTENA MIKROSTRIP

2.1. STRUKTUR ANTENA MIKROSTRIP

Antena mikrostrip merupakan salah satu jenis antena yang cukup populer dan banyak dikembangkan saat ini. Struktur dari antena ini terdiri atas 3 elemen utama, yaitu: elemen peradiasi (*radiator*), substrat, dan elemen pentanahan (*ground*) seperti pada Gambar 2.1 [1].



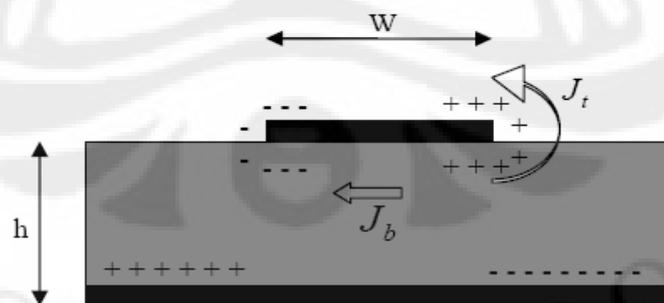
Gambar 2.1. Antena mikrostrip [1]

Antena mikrostrip cukup populer saat ini karena mempunyai beberapa keuntungan apabila dibandingkan dengan antena lainnya, seperti low profile (mempunyai ukuran yang kecil dan ringan), mudah diletakan pada permukaan plana maupun non-planar, fabrikasi yang sederhana dan mudah dengan menggunakan teknik *printed-circuit* modern, secara mekanis *robust* saat diletakan pada permukaan yang stabil, dan dengan menggunakan jenis dan mode dari *patch* tertentu sangat fleksibel terhadap frekuensi kerja, polarisasi, bentuk dan impedansi[1]. Namun antena mikrostrip juga memiliki kekurangan seperti efisiensi dan gain yang rendah, mempunyai kemurnian polarisasi yang rendah, dapat terjadi radiasi yang tidak diinginkan pada *feed line*-nya, dan *bandwidth* yang sangat sempit[1]. Selain itu dengan bertambahnya tinggi substrat, *surface wave* (gelombang permukaan) yang timbul akan semakin besar[1].

Elemen peradiasi atau biasa disebut *patch* berfungsi untuk meradiasikan gelombang listrik dan magnet. Elemen ini 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 antenna 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*) [1][8].

2.2 MODEL CAVITY

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



Gambar 2.2. Distribusi muatan dan kerapatan arus pada antenna mikrostrip [1]

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* seperti terlihat pada gambar 2.2. 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 2.2. 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* [1][8].

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 antenna 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* ditunjukkan oleh persamaan 2.1 hingga 2.4 berikut [9] :

$$\nabla \times E = -j\omega\mu_0 H \quad (2.1)$$

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

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

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

ϵ merupakan permitivitas dari substrat, dimana $\epsilon = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r$ dan μ_0 merupakan permeabilitas bahan tersebut. \bar{J} merupakan vektor kerapatan arus yang mengalir, sedangkan ρ merupakan rapat muatan.

2.3. 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 antena mikrostrip berbentuk persegi panjang:

Menentukan lebar *patch* (W) [1] :

$$W = \frac{c}{2f_0 \sqrt{\frac{(\epsilon_r + 1)}{2}}} \quad (2.5)$$

Dimana c adalah kecepatan cahaya di ruang bebas yaitu sebesar 3×10^8 m/det, f_0 adalah frekuensi kerja dari antena, dan ϵ_r adalah konstanta dielektrik dari bahan substrat. Sedangkan untuk menentukan panjang *patch* (L) diperlukan parameter ΔL yang merupakan pertambahan panjang dari L akibat adanya *fringing effect*. Pertambahan panjang dari L (ΔL) tersebut dirumuskan dengan [1]:

$$\Delta L = 0.412h \frac{(\epsilon_{reff} + 0.3) \left(\frac{W}{h} + 0.264 \right)}{(\epsilon_{reff} - 0.258) \left(\frac{W}{h} + 0.8 \right)} \dots\dots\dots(2.6)$$

Dimana h merupakan tinggi substrat, dan ϵ_{reff} adalah konstanta dielektrik relatif yang dirumuskan sebagai [1]:

$$\epsilon_{reff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(\frac{1}{\sqrt{1 + 12h/W}} \right) \dots\dots\dots(2.7)$$

Dengan demikian panjang *patch* (L) diberikan oleh [1]:

$$L = L_{eff} - 2\Delta L \dots\dots\dots(2.8)$$

Dimana L_{eff} merupakan panjang *patch* efektif yang dapat dirumuskan dengan [1]:

$$L_{eff} = \frac{c}{2f_0 \sqrt{\epsilon_{reff}}} \dots\dots\dots(2.9)$$

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* [1].

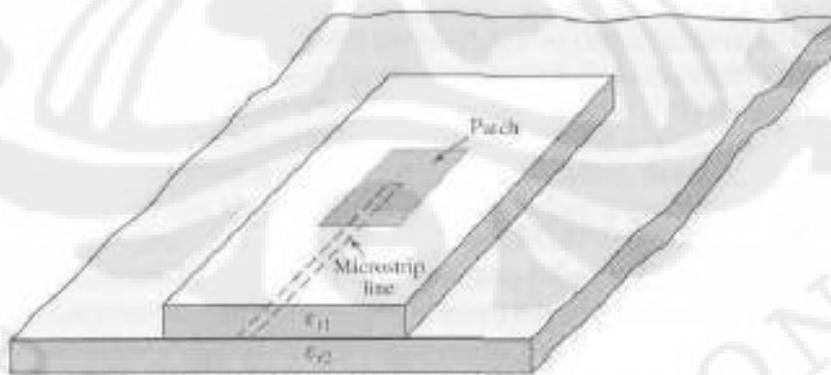
Pemilihan *feeding* untuk antena mikrostrip didasarkan pada beberapa faktor. Pertimbangan yang paling utama dalam pemilihan *feeding* ini adalah transfer daya yang efisien antara struktur peradiasi dengan struktur *feeding*, yaitu tercapainya *matching impedance* yang baik diantara keduanya. Perbandingan dari beberapa jenis pencatuan dapat dilihat pada tabel 2.1

Pada 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.

Tabel 2.1. Perbandingan beberapa teknik pencatuan [1]

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 %



Gambar 2.3. Pencatuan electromagnetically coupled [1]

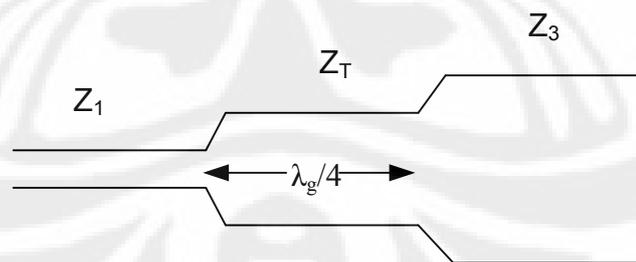
Dengan meletakkan *patch* peradiasi diatas dua lapisan substrat maka akan menyebabkan dihasilkannya bandwidth yang lebar. Hal ini dikarenakan dengan

menggunakan dua lapisan maka ketebalan substrat yang digunakan menjadi lebih tebal. Teknik matching dari pencatutan jenis ini juga relatif mudah. Untuk *matching*-kan antenna, 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 antenna 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 antenna 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* [10].

Metode pencatutan 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 2.10

$$\lambda_g = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad \dots\dots(2.10)$$

dimana λ_0 adalah panjang gelombang pada ruang bebas. Nilai impedansi Z_T dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.11

$$Z_T = \sqrt{Z_1 Z_3} \quad \dots\dots(2.11)$$

2.6. METODE WOODWARD-LAWSON

Metode *Woodward-Lawson* merupakan salah satu metode sintesis yang digunakan pada perancangan antena susun untuk mendapatkan berkas pancaran utama sehingga mendekati berkas pancaran yang diinginkan. Berkas pancaran dapat berupa pola cosines, cosecant, sinus, ataupun kotak.

Berkas pancaran yang ingin dibentuk dapat dimodelkan dalam bentuk *piecewise* ataupun bentuk sampel. Dalam pemodelan berbentuk *piecewise*, cakupan sudut dari berkas pancaran yang ingin dibentuk dipecah menjadi sejumlah segmen. Berkas pancaran dibuat menjadi bentuk $A + B(\cos\theta)^0 + D(\sin\theta)$ pada setiap segmen. Sedangkan dalam pemodelan berbentuk sampel, dilakukan sejumlah pensampelan pada sejumlah titik sampel untuk mendapatkan berkas pancaran yang diinginkan. Nilai pada setiap titik sampel kemudian dihubungkan untuk mendapatkan bentuk *linier* dari berkas pola pancaran yang diinginkan. Pada skripsi ini digunakan pemodelan dalam bentuk sampel[11].

Setiap pola radiasi yang diinginkan pada tiap titik sampel memiliki arus dengan amplitudo dan fasa yang seragam, dimana medannya disebut sebagai *composing function*. Untuk *line source*, setiap *composing function*-nya adalah $a_m \sin(\psi_m) / \psi_m$ dan untuk antena susun linier *composing function* setiap elemen adalah $a_m \sin(N\Phi_m) / N \sin(\Phi_m)$. Koefisien eksitasi a_m adalah amplitudo dari pola yang diinginkan pada titik sampel. Penjumlahan dari seluruh *composing function* pada setiap titik sampel yang terdiri dari arus dengan distribusi amplitudo dan fasamembentuk berkas pancaran yang diinginkan[12].

Pola pada setiap sampel atau *composing function* dapat dicari dengan persamaan berikut [12] :

$$f_m(\theta) = a_m \sin \frac{\sin [Pkd (\cos \theta - \cos \theta_m)]/2}{P \sin [kd (\cos \theta - \cos \theta_m)]/2} \dots\dots\dots (2.12)$$

Penjumlahan seluruh *composing function* atau factor array-nya dapat ditulis dengan persamaan berikut [12] :

$$AF(\theta) = \sum_{m=-N}^N a_m \frac{\sin [Pkd (\cos \theta - \cos \theta_m)]/2}{P \sin [kd (\cos \theta - \cos \theta_m)]/2} \dots\dots\dots (2.13)$$

dengan : $k = 2\pi / \lambda$

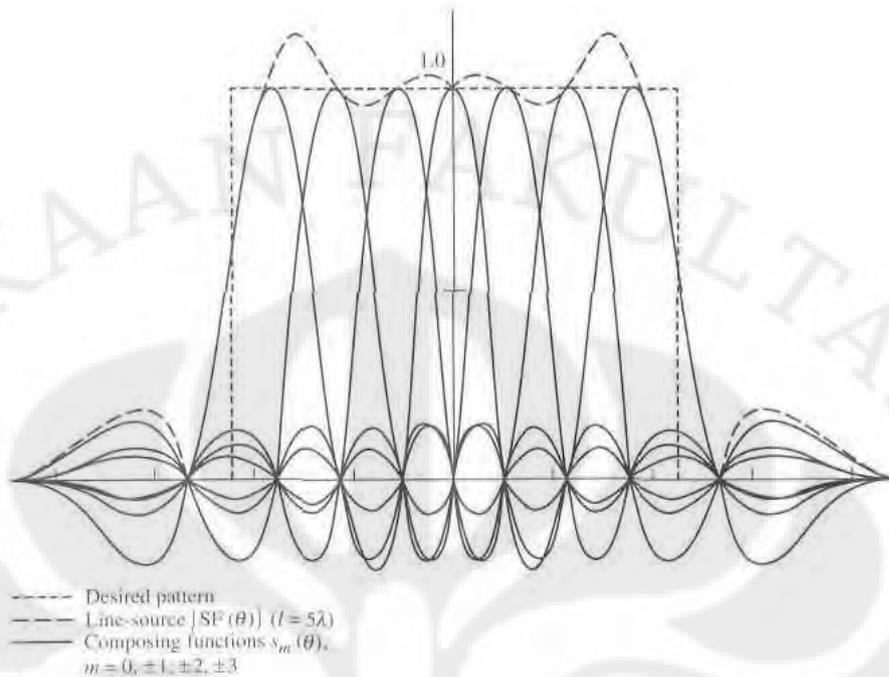
P : jumlah elemen

am : amplitudo pola yang diinginkan

d : jarak antar elemen

θ_m : sudut sampel

Pembentukan pola secara keseluruhan menggunakan metode *Woodward-Lawson* dapat digambarkan sebagai berikut[12] : *composing function* pertama atau pola dimana letak *beam* utamanya ditentukan oleh sudut sampelnya dengan *sidelobe level* terdekatnya sekitar -13,5 dB dan *sidelobes level* sisanya terus menurun secara monoton. *Composing function* kedua mempunyai pola yang sama dengan *composing function* pertama hanya saja sudut sampelnya diatur sehingga *beam* utamanya berhimpitan dengan *null* terdekat dari pola *composing function* pertama. Peletakan *beam* utama *composing function* kedua pada *null* terdekat pola *composing function* pertama disebut juga pengisian. Kuantitas pengisian dikontrol oleh koefisien eksitasi dari *composing function* kedua. Dengan cara yang sama pada *composing function* ketiga diatur agar berhimpitan dengan *null* terdekat dari *composing function* yang pertama. Proses ini terus berlanjut sampai *composing function* pada titik sampel terakhir. Gambaran pembentukan pola secara keseluruhan dapat dilihat pada gambar 2.5.



Gambar 2.5. Composing function antenna susun linier [12]

Eksitasi yang harus didistribusikan pada setiap elemen agar menghasilkan pola yang diinginkan dapat dicari dengan persamaan berikut ini [12] :

$$I_n = \frac{1}{P} \sum_{m=-N}^N a_m \exp(jkz_m \cos \theta_m) \quad \dots\dots\dots (2.14)$$

dimana :

$$P = \begin{cases} 2N & \text{untuk } P \text{ genap} \\ 2N+1 & \text{untuk } P \text{ ganjil} \end{cases} \quad \dots\dots\dots (2.15)$$

$$z_m = \begin{cases} (m + \frac{1}{2})d & \text{untuk } P \text{ genap, } m < 0 \\ (m - \frac{1}{2})d & \text{untuk } P \text{ genap, } m > 0 \\ md & \text{untuk } P \text{ ganjil, untuk semua nilai } m \end{cases} \quad \dots\dots\dots (2.16)$$

$$w_n = \cos \theta_m = \frac{m\lambda}{Pd} \quad \dots\dots\dots (2.17)$$

$$a_m = fd (\theta_m) \quad \text{..... (2.18)}$$

dengan :

I_n : eksitasi arus yang masuk ke tiap elemen

θ_m : sudut dimana berkas pancaran disampel

a_m : amplitudo dari pola yang diinginkan pada titik sampel ke- m

z_m : posisi elemen ke- N

2.7. ANTENA MIKROSTRIP ARRAY

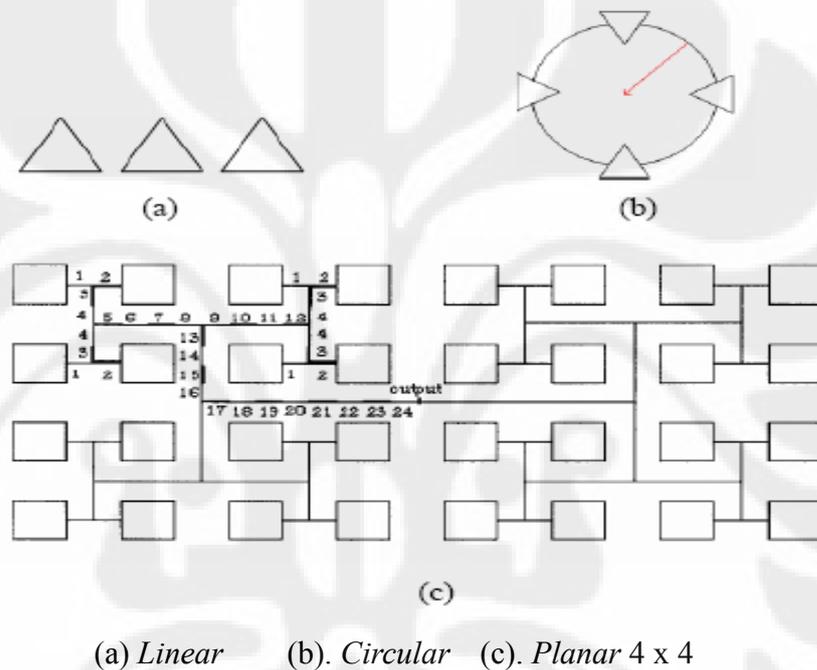
Umumnya antena mikrostrip dengan *patch* elemen tunggal memiliki pola radiasi yang sangat lebar, dan menghasilkan keterarahan dan perolehan (*gain*) yang kurang baik. Sedangkan pada beberapa aplikasinya diperlukan antena dengan keterarahan yang baik dan perolehan (*gain*) yang tinggi [1]. Untuk memenuhi 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 antena *array* dengan elemen yang identik, terdapat lima parameter yang dapat digunakan untuk membentuk pola antena, yaitu [1]:

- a. konfigurasi geometri (linier, melingkar, *rectangular*, *spherical*, dll)
- b. pemindahan relatif antara elemen
- c. amplitudo eksitasi dari setiap elemen
- d. fasa eksitasi dari setiap elemen
- e. pola relatif dari setiap elemen

Ada beberapa macam konfigurasi antena *array*, di antaranya : *linear*,

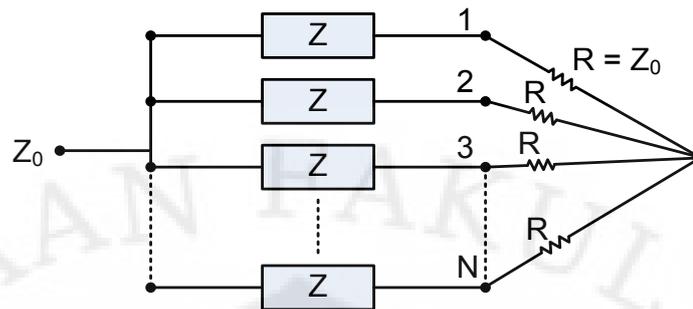
planar, dan *circular*. Antena *array linear* adalah *array* dengan titik pusat elemen *array* berada pada satu garis lurus. Antena *array planar* adalah *array* dengan susunan elemen *array* membentuk sebuah area yang berbentuk kotak (ditunjukkan pada gambar 2.10). Antena *array circular* adalah *array* 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.



Gambar 2.6. Antena *array*

2.8. POWER DIVIDER

Salah satu teknik yang dapat mendukung *impedance matching* pada saluran transmisi khususnya untuk antena mikrostrip *array* adalah *power divider* (*combiner*). Dalam hal ini, metoda Wilkinson merupakan teknik yang umum digunakan [10]. Gambar 2.11 memperlihatkan *power divider* metoda Wilkinson.

Gambar 2.7. *N-way Wilkinson combiner*

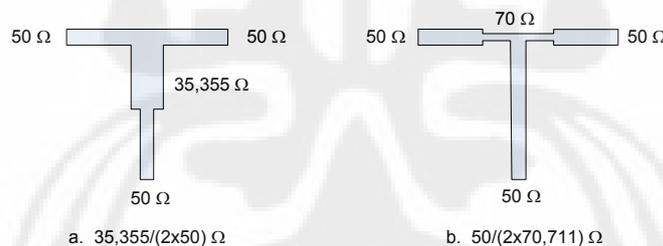
Pada metoda Wilkinson, nilai impedansi Z diberikan dengan Persamaan 2.19 berikut.

$$Z = Z_0 \sqrt{N} \quad \text{.....(2.19)}$$

dimana N adalah jumlah titik pencabangan.

2.9. T-JUNCTION 50 OHM

T-junction merupakan sebuah teknik *power divider* yang umum digunakan pada konfigurasi antena *array* [10]. Terdapat dua jenis *T-junction 50 Ohm* yang dapat digunakan sebagai *power divider* seperti ditunjukkan pada Gambar 2.12.

Gambar 2.8. *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.

2.10. PARAMETER UMUM ANTENA MIKROSTRIP

2.10.1. Impedansi Masukan

Impedansi *input* (Z_{in}) adalah impedansi pada terminal antena 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 :

$$Z_{in} = R_{in} + jX_{in} \quad \text{..... (2.20)}$$

Dimana: Z_{in} = impedansi antena

R_{in} = resistansi antena

X_{in} = reaktansi antena

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

2.10.2. 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]:

$$\Gamma = \frac{V_0^-}{V_0^+} = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} \quad \text{..... (2.21)}$$

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]:

$$S = \frac{\left| \tilde{V} \right|_{\max}}{\left| \tilde{V} \right|_{\min}} = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \quad \text{.....(2.22)}$$

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 antena adalah $VSWR \leq 2$.

2.10.3. 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] .

$$\Gamma = \frac{V_0^-}{V_0^+} = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} \quad \text{.....(2.23)}$$

$$\text{return loss} = 20 \log_{10} |\Gamma| \quad \text{.....(2.24)}$$

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 antena sudah dapat bekerja pada frekuensi yang diharapkan atau tidak.

2.10.4. Polarisasi

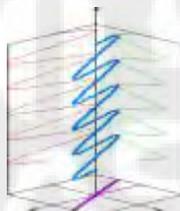
Polarisasi antena adalah polarisasi dari gelombang yang ditransmisikan oleh antena. Jika arah tidak ditentukan maka polarisasi merupakan polarisasi pada

arah *gain* maksimum [1]. 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 [1]. 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



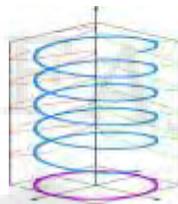
Gambar 2.9. Polarisasi linier [4]

Polarisasi melingkar (gambar 2.9) terjadi jika suatu gelombang yang berubah menurut waktu pada suatu titik memiliki vektor medan elektrik (atau magnet) pada titik tersebut berada pada jalur lingkaran sebagai fungsi waktu [1]. 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*

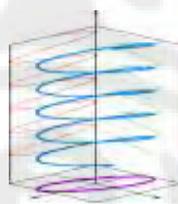
Polarization (LHCP) dan *Right Hand Circular Polarization (RHCP)*. *LHCP* terjadi ketika $\delta = +\pi/2$, sebaliknya *RHCP* terjadi ketika $\delta = -\pi/2$



Gambar 2.10. Polarisasi melingkar [4]

Polarisasi elips (gambar 2.10) terjadi ketika gelombang yang berubah menurut waktu memiliki vektor medan (elektrik atau magnet) berada pada jalur kedudukan elips pada ruang [1]. 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).

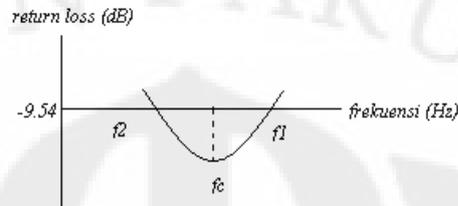


Gambar 2.11. Polarisasi Elips [4]

2.10.5. *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 2.12 Rentang frekuensi yang menjadi *bandwidth*

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

$$BW = \frac{f_h - f_l}{f_c} \times 100\% \quad (2.25)$$

.....(2.12)

Dengan f_h = frekuensi tertinggi dalam *band* (GHz)

f_l = frekuensi terendah dalam *band* (GHz)

f_c = frekuensi tengah dalam *band* (GHz),

$$f_c = \frac{f_h + f_l}{2} \quad \text{..... (2.26)}$$

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

2.10.6. Keterarahan (*Directivity*)

Keterarahan dari sebuah antenna didefinisikan sebagai perbandingan (rasio) intensitas radiasi sebuah antenna pada arah tertentu dengan intensitas radiasi rata-rata pada semua arah. Intensitas radiasi rata-rata sama dengan jumlah daya yang diradiasikan oleh antenna dibagi dengan 4π . Jika arah tidak ditentukan, arah intensitas radiasi maksimum merupakan arah yang dimaksud. Keterarahan ini dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut ini:

$$D = \frac{U}{U_0} = \frac{4\pi U}{P_{rad}} \quad \text{..... (2.27)}$$

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

$$D_{max} = D_0 = \frac{U_{max}}{U_0} = \frac{4\pi U_{max}}{P_{rad}} \quad \text{..... (2.28)}$$

Di mana :

D = keterarahan

D_0 = keterarahan maksimum

U = intensitas radiasi

U_{max} = intensitas radiasi maksimum

U_0 = intensitas radiasi pada sumber isotropik

P_{rad} = daya total radiasi

Directivity biasanya dinyatakan dalam dB, yaitu $10 \log D_0$ dB. Dimana D_0 merupakan maximum directivity dari sebuah antenna. *Directivity* sebuah antenna isotropis adalah 1, karena daya yang diradiasikan ke segala arah sama. Untuk antenna yang lain, *directivity* akan selalu lebih dari satu, dan ini adalah *figure of merit relatif* yang memberikan sebuah indikasi karakteristik pengarahannya antenna dibandingkan dengan karakteristik pengarahannya antenna isotropis.

2.10.7. Penguatan (*Gain*)

Ada dua jenis parameter penguatan (*Gain*) yaitu *absolute gain* dan

relative gain [1]. *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 [1]:

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

Selain *absolute gain* juga ada *relative gain*. *Relative gain* didefinisikan sebagai perbandingan antara perolehan daya pada sebuah arah dengan perolehan daya pada antena referensi pada arah yang direferensikan juga. Daya masukan harus sama di antara kedua antena itu. Akan tetapi, antena referensi merupakan sumber isotropik yang *lossless* ($P_{in(lossless)}$). Secara rumus dapat dihubungkan sebagai berikut [1]:

$$G = \frac{4\pi U(\theta, \phi)}{P_{in(lossless)}} \quad \text{..... (2.30)}$$

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

2.10.8. Pola Radiasi

Pola radiasi antena didefinisikan sebagai fungsi matematik atau sebuah representasi grafik dari radiasi antena sebagai sebuah fungsi dari koordinat ruang [1].

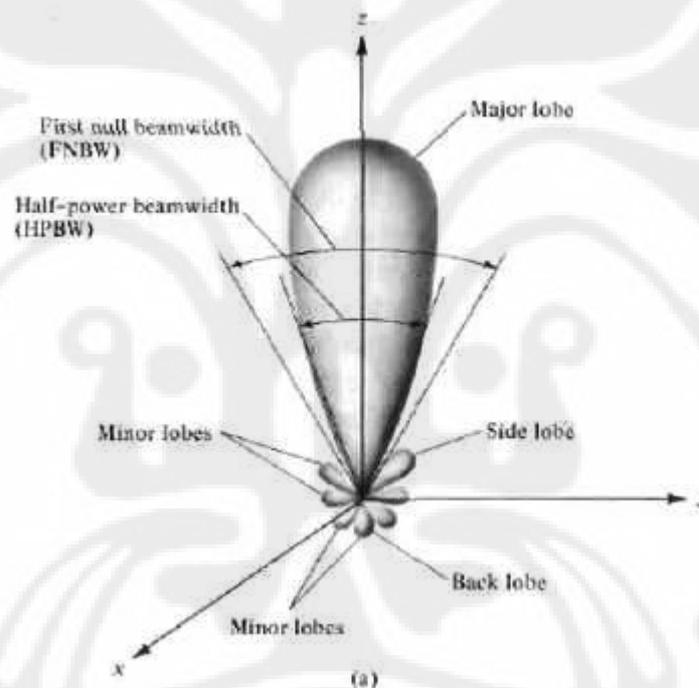
- Pola Isotropik
Antena isotropik didefinisikan sebagai sebuah *lossless* antena yang mempunyai radiasi sama besar ke setiap arah.
- Pola Directional
Antena yang mempunyai pola radiasi atau pola menerima gelombang elektromagnetik yang lebih efektif pada arah-arah tertentu saja. Salah satu contoh antena directional adalah antena 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 2.13 pola radiasi directional [1]

BAB 3

PERANCANGAN ANTENA DAN SIMULASI

Pada skripsi ini dirancang sebuah antena mikrostrip *array* 8 elemen dengan pola radiasi sektoral 60° untuk aplikasi BTS WiMAX dengan karakteristik antena umum BTS WiMAX. Untuk mendapatkan gain ≥ 17 dBi dan pola radiasi setoral 60° digunakan teknik pencatuan *electromagnetically coupled* dan metode sintesis *Woodward-Lawson*.

Terdapat beberapa tahapan dalam perancangan antena ini, di antaranya adalah penentuan spesifikasi substrat yang akan digunakan, perancangan elemen tunggal, perhitungan saluran pencatu *Woodward-Lawson*, dan perhitungan *array* 8 elemen. Hasil rancangan tersebut kemudian disimulasikan dengan menggunakan perangkat lunak *HFSS V 11.1.1*.

3.1 PERALATAN YANG DIGUNAKAN

Perangkat lunak yang digunakan adalah :

- a. Perangkat lunak *HFSS v 11.1.1* untuk proses simulasi antena yang sudah dirancang
- b. Perangkat lunak *Microsoft Visio 2003* untuk menggambar bentuk antena
- c. Perangkat lunak *PCAAD 3.0* untuk perhitungan dimensi saluran mikrostrip dan iterasi impedansi masukan.

3.2 MENENTUKAN JENIS SUBTRAT YANG DIGUNAKAN

Dalam melakukan perancangan antena, 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

3.3 PERANCANGAN *PATCH* SEGIEMPAT ELEMEN TUNGGAL

3.3.1. 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 $VSWR \leq 1,5$.

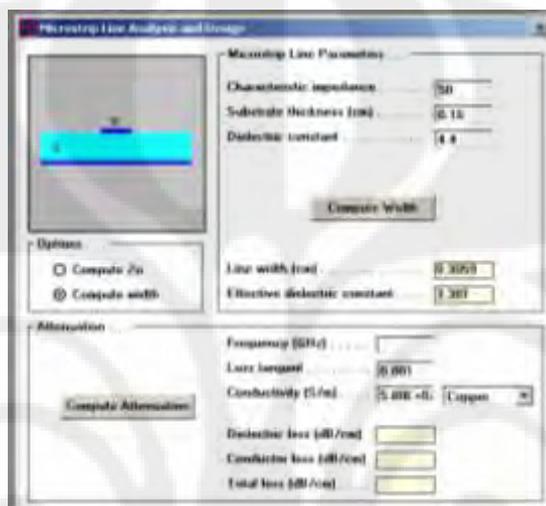
3.3.2. Perancangan Dimensi *Patch* Segiempat Elemen Tunggal

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.

3.3.3. 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 PCAAD. Tampilan dari program PCAAD untuk mencari lebar catu agar mempunyai impedansi 50 ohm dapat dilihat pada Gambar 3.1.

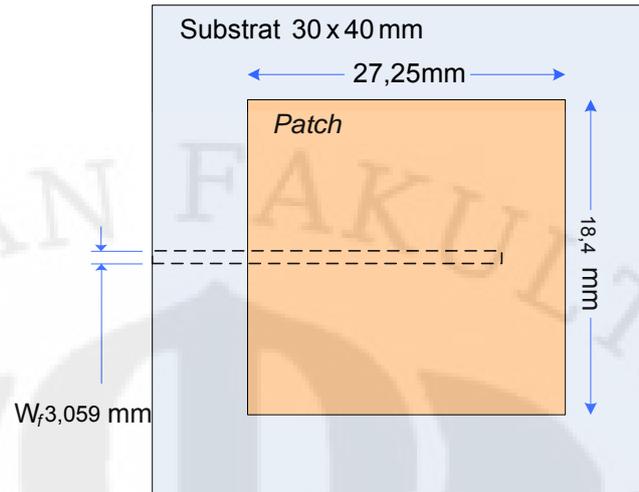


Gambar 3.1 Tampilan program PCAAD untuk mencari lebar catu agar mempunyai impedansi 50 ohm

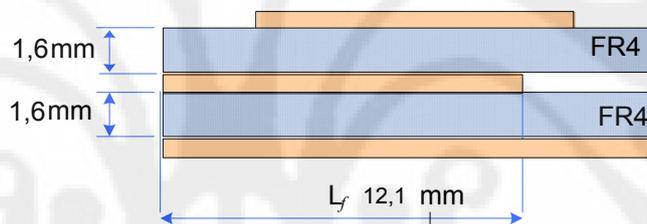
Dengan memasukkan karakteristik impedansi yang diinginkan dan parameter-parameter substrat yang digunakan, maka program ini akan secara otomatis menampilkan besar lebar dari saluran pencatu agar menghasilkan nilai impedansi yang diinginkan. Pada PCAAD ini didapatkan nilai untuk menghasilkan nilai impedansi 50 dengan menggunakan nilai parameter substrat yang digunakan dalam perancangan ini, dibutuhkan lebar saluran pencatu sebesar 3,059 mm.

3.3.4. 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.



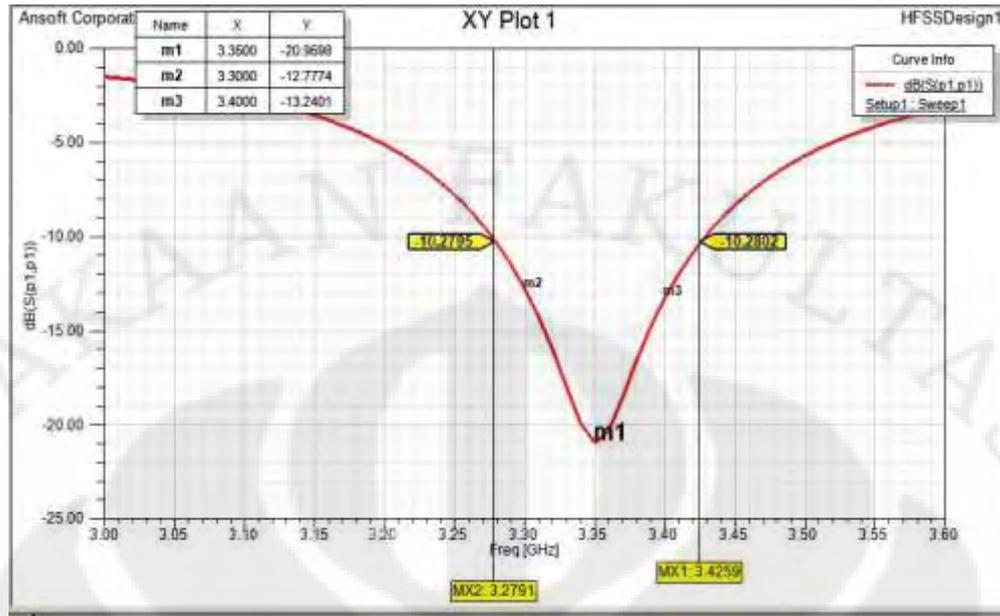
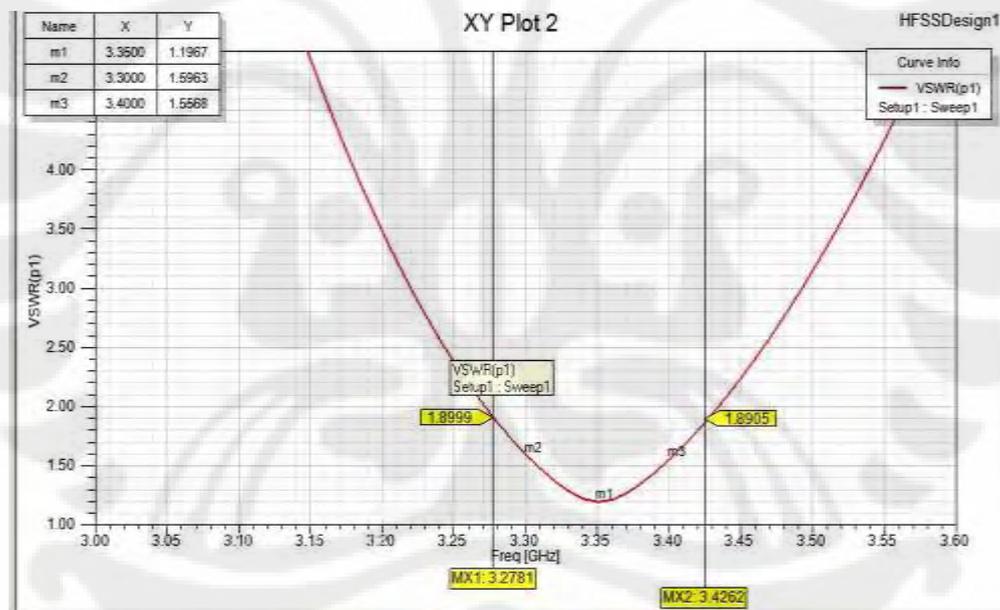
(a). Tampilan atas



(b). Tampilan samping

Gambar 3.2 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 3.3 dan 3.4. Hasil simulasi yang optimal ini didapatkan dengan melakukan iterasi terhadap kombinasi antara nilai parameter dimensi *patch* dan panjang saluran pencatu.

Gambar 3.3 Hasil simulasi *Return loss* elemen tunggal

Gambar 3.4 Hasil simulasi VSWR elemen tunggal

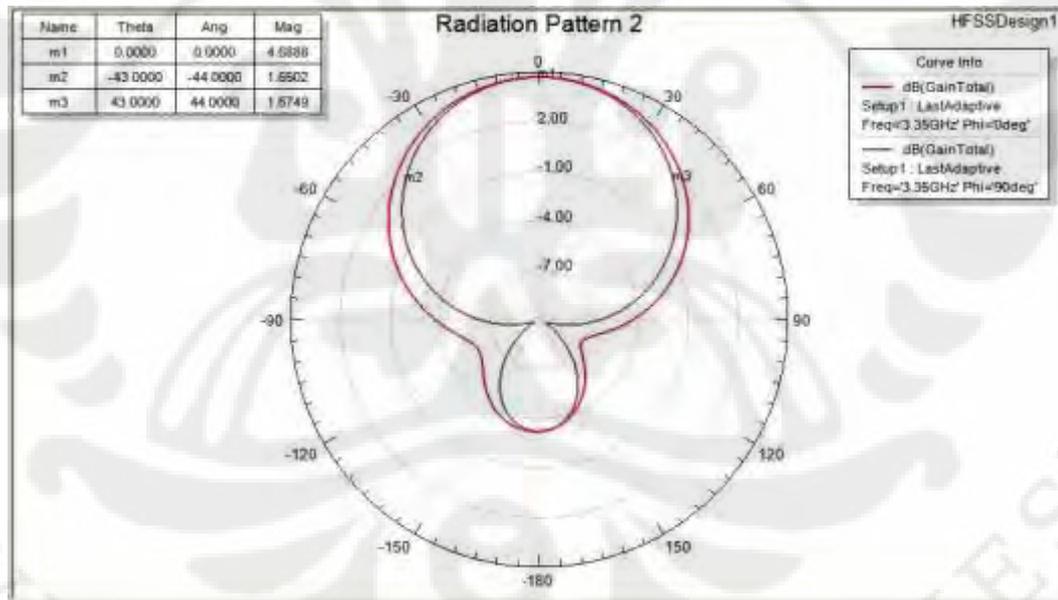
Gambar 3.3 dan Gambar 3.4 memperlihatkan *impedance bandwidth*. Dari gambar tersebut dapat terlihat bahwa *impedance bandwidth* antenna berada pada rentang 3,27 GHz sampai dengan 3,42 GHz dengan frekuensi puncak di 3,35 GHz. Dari Gambar 3.7 dan 3.8 di atas dapat dilihat bahwa nilai *return loss* yang diperoleh pada frekuensi 3,3 GHz dan 3,4 GHz masing-masing adalah -13,7774 dB dan -13,2401 dB dan pada frekuensi tengahnya (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:

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

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

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

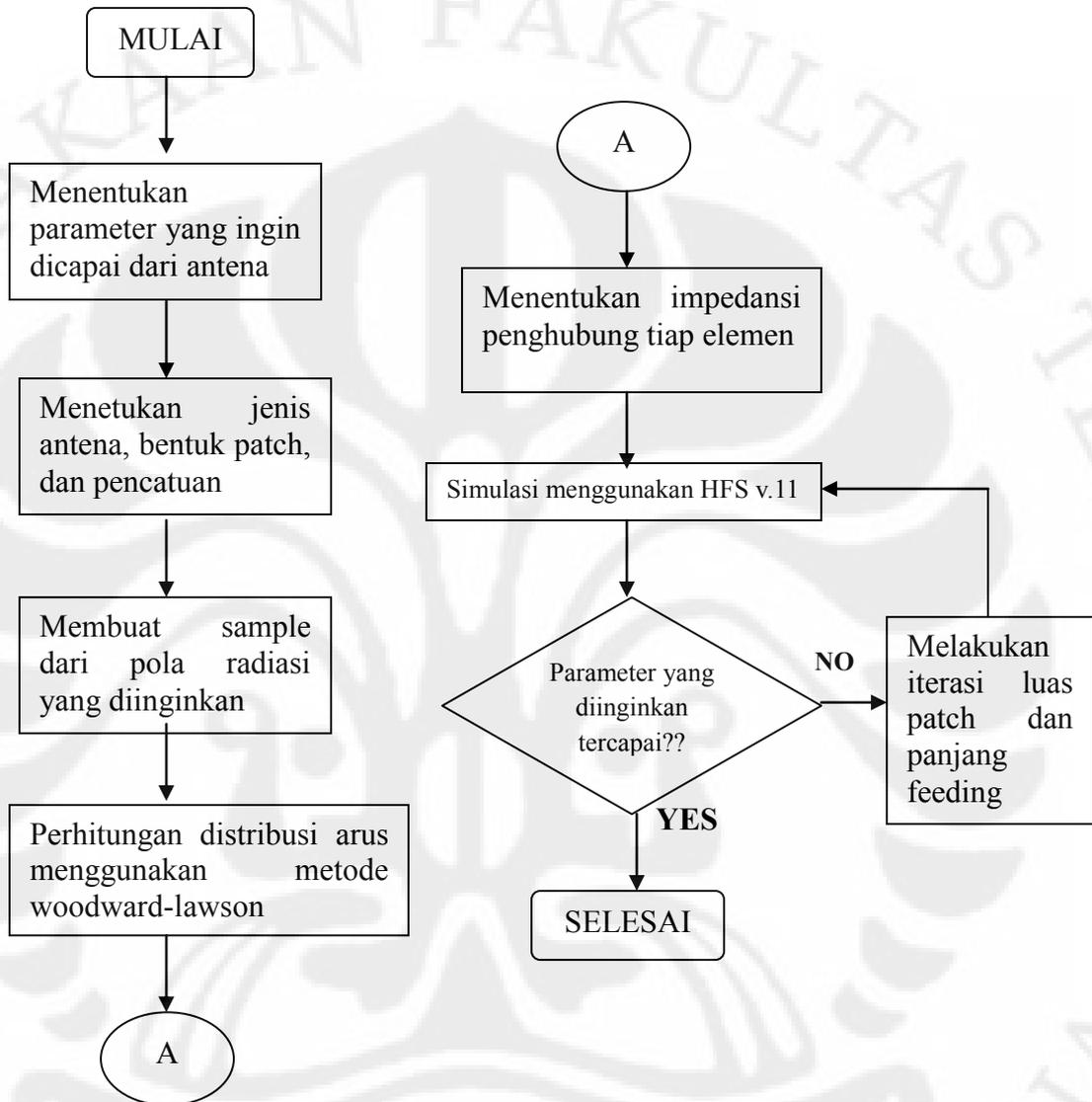


Gambar 3.5 Hasil simulasi pola radiasi elemen tunggal

Pada Gambar 3.6 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° .

3.4 PERANCANGAN *ARRAY PATCH* SEGIEMPAT 8 ELEMEN

3.4.1. Diagram Alir Perancangan Elemen Tunggal



Gambar 3.6 Diagram alir perancangan *patch* elemen tunggal

Pada Gambar 3.6 di atas dipaparkan alur perancangan dari sebuah antenna *array* 8 elemen dengan pola radiasi sektoral 60° mulai dari proses penentuan parameter yang ingin dicapai hingga proses optimasi melalui iterasi *patch* dan panjang pencatu.

3.4.2. Pengaturan Jarak Antar Elemen

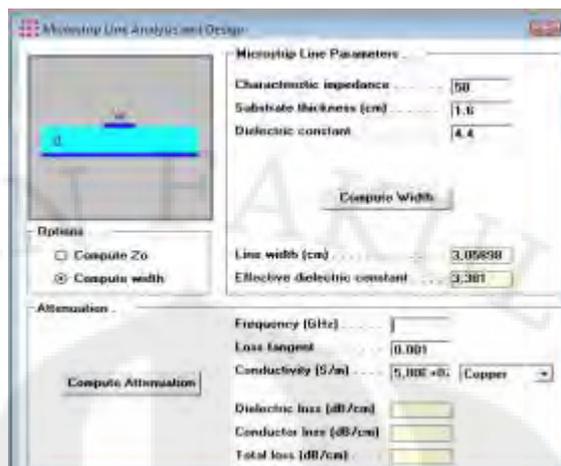
Jarak antar elemen pada antenna yang dirancang pada skripsi ini sekitar setengah panjang gelombang ($d = \lambda/2$). Dengan frekuensi 3,35 GHz didapatkan jarak antar elemen sebesar 44,75 mm, namun untuk mendapatkan memudahkan proses perhitungan pada sampling metode *Woodward-Lawson* dibulatkan menjadi 50 mm.

3.4.3. 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 100 Ω . Impedansi 100 Ω tersebut berfungsi sebagai transformator $\lambda/4$.

3.4.4. 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* 8 elemen, yaitu saluran 50 ohm dan 100 Ω yang kemudian dihubungkan dengan saluran pencatu hasil perhitungan dari metode *woodward-lawson*. Nilai untuk mendapatkan nilai impedansi saluran pencatu sebesar 50 Ω dan 100 Ω dapat dilakukan pengaturan lebar dari saluran pencatu. Untuk mendapatkan besar lebar dari saluran pencatu yang menghasilkan nilai impedansi digunakan program PCAAD.



Gambar 3.7 Tampilan program PCAAD untuk mencari lebar catu agar mempunyai impedansi 50Ω

Dengan memasukkan karakteristik impedansi yang diinginkan dan parameter-parameter substrat yang digunakan, maka program ini akan secara otomatis menampilkan besar lebar dari saluran pencatu agar menghasilkan nilai impedansi yang diinginkan. Pada PCAAD ini didapatkan nilai untuk menghasilkan nilai impedansi 50 ohm dengan menggunakan nilai parameter substrat yang digunakan dalam perancangan ini, dibutuhkan lebar saluran pencatu sebesar 1,621 mm.

3.5. PERHITUNGAN FEEDING WOODWARD-LAWSON

Untuk mendapatkan pola radiasi berbentuk sektoral yang kita inginkan, digunakan perhitungan *Woodward-Lawson*. Seperti telah dijelaskan pada teori dasar, metode *Woodward-Lawson* digunakan untuk mendapatkan distribusi arus dan fasa dari tiap elemen. Dari distribusi arus ini kemudian didapatkan impedansi dari tiap elemen. Tahap pertama yang dilakukan pada metode ini adalah proses pemodelan dari amplitudo arus yang diinginkan pada sudut tertentu yang ingin dibentuk. Pemodelan dilakukan dengan menggunakan fungsi $f(\theta_{\text{pemodelan}})$ yang merupakan fungsi amplitudo terhadap sudut pada pemodelan ($\theta_{\text{pemodelan}}$). Pembentukan pola radiasi yang diinginkan sebesar 60° , sehingga nilai $f(\theta_{\text{pemodelan}})$ akan bernilai 1 pada rentang sudut sebesar 60° hingga 120° . Pemodelan dilakukan pada rentang sudut tersebut untuk memudahkan proses pemodelan karena pemodelan dilakukan pada rentang sudut 0° hingga 180° . Nilai sudut pada pemodelan ini tidak berhubungan dengan sudut pada pola radiasi karena proses

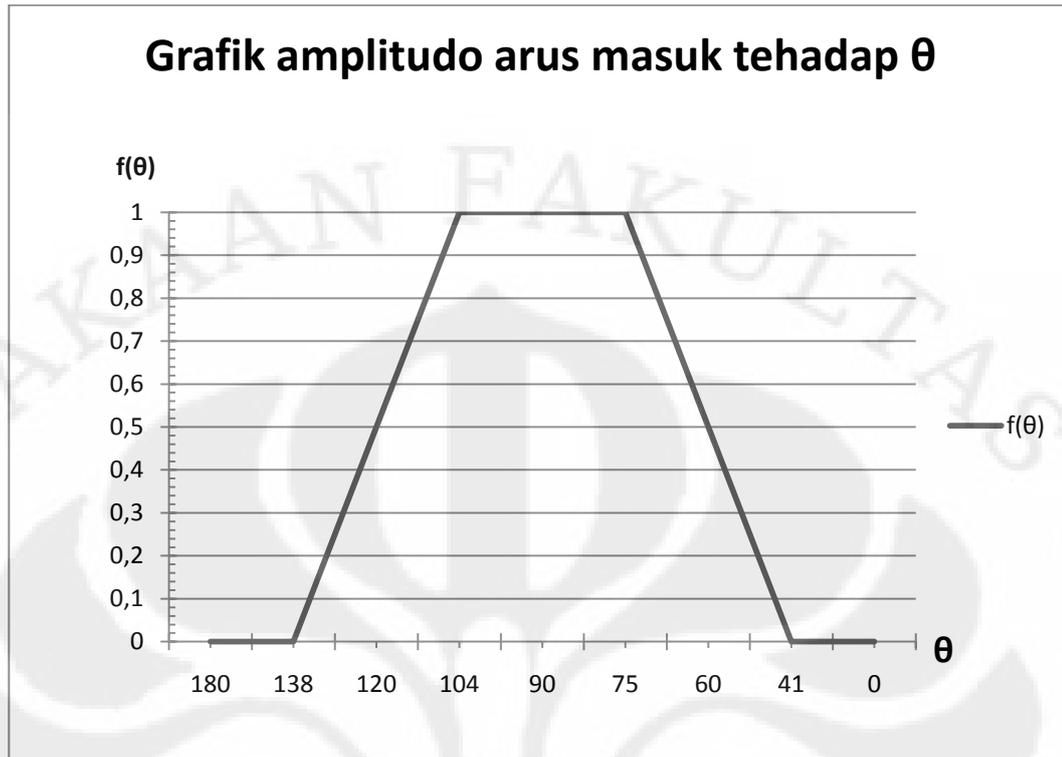
sintesis ini hanya membentuk pola pancaran (*Beamshaping*) sehingga titik tengah pola radiasi nantinya tetap pada sudut 0^0 , tidak pada sudut 90^0 seperti pada pemodelan. Berikut persamaan dari fungsi $f(\theta)$:

$$f(\theta_{\text{pemodelan}}) = \begin{cases} 1 & , 60^0 < \theta_{\text{pemodelan}} < 120^0 \\ 0,5 & , 60^0 \\ 0 & , \text{lainnya} \end{cases} \quad (3.1)$$

Dari persamaan fungsi $f(\theta_{\text{pemodelan}})$ 3.1 di atas kemudian diterjemahkan ke dalam suatu pemodelan dengan beberapa titik sampel. Titik sampel (w_n) merupakan suatu nilai faktor kelipatan antara rentang nilai 1 hingga -1, jadi sebagai contoh untuk nilai w_n sebesar 0,25 maka terdapat 9 titik sampel dari nilai -1 lalu titik selanjutnya pada nilai selisih 0,25 yaitu sebesar -0,75 dan terus berulang hingga titik 1. Nilai w_n didapat dengan menggunakan persamaan 2.17. Dari persamaan fungsi 2,17 didapatkan nilai w_n pada perancangan sebesar 0,25 pada rentang dari titik $w_n = -1$ hingga $w_n = 1$, sehingga terdapat 9 titik sampel. Berikut tabel hasil perhitungan titik sampel dari pemodelan dan nilai amplitudonya :

Tabel 3.2. Hasil perhitungan nilai $f(\theta)$ terhadap titik sampel dalam w dan θ

$f(\theta)$	w_n	θ
0	-1	180
0	-0.75	138
0.5	-0.5	120
1	-0.25	104
1	0	90
1	0.25	75
0.5	0.5	60
0	0.75	41
0	1	0

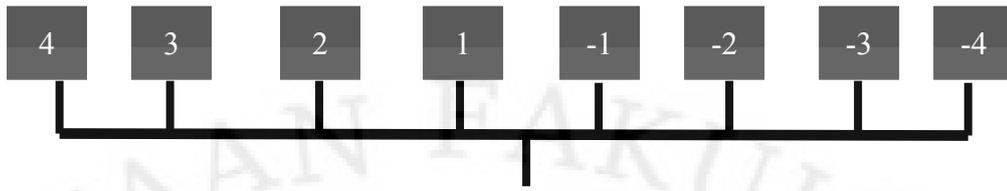


Gambar 3.8 *Sampling* berkas pancaran dalam grafik $f(\theta)$ terhadap θ

Dari Gambar 3.8 di atas dapat dilihat bentuk pemodelan dari pembentukan pola pancaran yang kita inginkan. Pada grafik Gambar 3.8 di atas dapat dilihat nilai amplitudo arus untuk setiap nilai titik sampel w_n . Dari pemodelan tersebut kemudian dapat dihitung nilai distribusi arus tiap elemen dengan menggunakan persamaan 2.14. Dari hasil perhitungan tersebut kemudian didapat nilai arus dan fasa dari tiap elemen pada table 3.3 berikut :

Tabel 3.3 Distribusi arus dan fasa tiap elemen

Elemen	I	I ²	θ
4	-0,01758	0,005014	180
3	-0,05906	0,021741	180
2	0,132283	0,001927	0
1	0,444358	0,283819	0
-1	0,444358	0,197454	0
-2	0,132283	0,017499	0
-3	-0,05906	0,003488	180
-4	-0,01758	0,000309	180



Gambar 3.9 Gambar saluran pencatu 8 elemen

Tabel 3.3 di atas menunjukkan nilai amplitude dan perbedaan fasa tiap elemen yang didapat dari perhitungan dengan menggunakan persamaan 2.14 sebelumnya. Elemen yang dirancang sebanyak 8 elemen, dengan cara pencatuan di tengah sehingga distribusi arusnya terbagi rata ke kedua sisi (4 elemen di kiri dan 4 elemen di kanan) sesuai teori *current divider*. Karena elemen pada kedua sisi memiliki distribusi arus yang sama maka dapat dianggap distribusi arus kedua sisi simetris atau sama besar tiap elemennya, maka elemen di kiri diberi notasi minus (-) elemen di sisi sebaliknya. Dari hasil perhitungan distribusi arus dan fasa pada table 3.2 kemudian dicari nilai impedansi dari tiap elemen dan nilai impedansi terhadap elemen lainnya. Nilai impedansi tersebut apat dihitung dengan menggunakan persamaan perbandingan impedansi terhadap perbandingan arus kuadrat berikut [11] :

$$Z_{12} = \left[\frac{I_1^2}{(I_2^2 + I_3^2 + I_4^2)} \right] \quad (3.2)$$

$$Z_{23} = \left[\frac{I_2^2}{(I_3^2 + I_4^2)} \right] \quad (3.3)$$

$$Z_{34} = \left[\frac{I_3^2}{(I_4^2)} \right] \quad (3.4)$$

Dengan :

Z_{12} = impedansi elemen 1 terhadap elemen 2 sampai dengan 4

Z_{23} = impedansi elemen 2 terhadap elemen 3 sampai dengan 4

Z_{34} = impedansi elemen 3 terhadap elemen 4

Persamaan 3.2 hingga 3.4 di atas merupakan rumus untuk mencari perbandingan suatu hambatan terhadap hambatan lain antara hambatan tersebut

dan sumber tegangan masuk dengan membandingkan arus masukan kuadratnya dengan arus masukan kuadrat total elemen sebelumnya. Dari perhitungan menggunakan persamaan 3.2 hingga 3.4 di atas didapat nilai impedansi dari tiap elemen terhadap elemen lain di antara hambatan tersebut dan sumber tegangan sebagai berikut :

$$Z_{12} = 463,5998 \Omega$$

$$Z_{23} = 230,4214 \Omega$$

$$Z_{34} = 564,1981 \Omega$$

Nilai impedansi pada elemen 1 merupakan paralel antara impedansi Z_{in} dengan impedansi Z_{12} dengan nilai Z_{in} sebesar 50Ω sehingga didapat nilainya sebesar :

$$Z_1 = (Z_{in} // Z_{12}) = (463,5998 // 463,5998) = 45,13 \Omega$$

Untuk nilai Z_2 dan Z_3 didapat melalui rumus yang sama dengan Z_1 sehingga didapat nilainya sebesar :

$$Z_2 = (Z_{in} // Z_{23}) = (463,5998 // 230,4214) = 41,084 \Omega$$

$$Z_3 = (Z_{in} // Z_{34}) = (463,5998 // 564,1981) = 45,93 \Omega$$

Sedangkan untuk nilai Z_4 merupakan impedansi masukan antenna yang didapat dari elemen tunggal

$$Z_4 = 50 \Omega$$

Dengan :

$$Z_1 = \text{nilai impedansi elemen 1} / -1$$

$$Z_2 = \text{nilai impedansi elemen 2} / -2$$

$$Z_3 = \text{nilai impedansi elemen 3} / -3$$

$$Z_4 = \text{nilai impedansi elemen 4} / -4$$

Setelah mendapatkan nilai impedansi tiap elemen, kemudian kita lakukan perancangan saluran pencatu antar elemen. Perancangan saluran pencatu dilakukan dengan menggunakan prinsip transformasi $\lambda/4$ dimana suatu saluran transformator diletakan diantara elemen satu dan lainnya agar nilai impedansi nilai impedansi keduanya sesuai hasil perhitungan. Selain memperhatikan nilai impedansinya diperhatikan juga panjang dari saluran pencatu yang menghubungkan kedua elemen tersebut dimana panjang totalnya sesuai harus

memperhatikan perbedaan fasa dari tiap elemen. Panjang dari saluran pencatu didapatkan melalui persamaan 3.4 berikut [11] :

$$l = \frac{\theta}{360} \lambda_g \quad (3.4)$$

Dengan l = panjang saluran antar elemen

λ_g = panjang gelombang dalam saluran mikrostrip

Persamaan di atas merupakan persamaan untuk mencari panjang fisik dari saluran (l) dari perbandingan sudut terhadap nilai panjang gelombang penuh dalam saluran mikrostrip. Panjang (l) total dari seluruh saluran transformasi antar elemen harus memperhatikan perbedaan fasa antar elemen, dimana untuk perbedaan fasa 0° dan 360° maka sesuai teori gelombang panjang fisik saluran transformator antar elemen mikrostrip harus kelipatan satu gelombang penuh atau $1 \lambda_g$. Dengan prinsip bahwa gelombang selalu berulang setiap 360° maka untuk perbedaan fasa 0 nilai panjang saluran antar elemen dapat dibuat juga $2 \lambda_g$, $3 \lambda_g$, $4 \lambda_g$ dan seterusnya. Sedangkan untuk perbedaan fasa 180° maka total panjang (l) fisik saluran transformator antar elemennya harus kelipatan setengah gelombang penuh atau $0,5 \lambda_g$, dan dengan prinsip gelombang berulang setiap 360° maka nilai panjang saluran antar elemen dapat dibuat juga menjadi $1,5 \lambda_g$, $2,5 \lambda_g$, $3,5 \lambda_g$ dan seterusnya. Karena harus memperhatikan perbedaan fasa dan aturan panjang total tersebut maka saluran pencatu antar elemen biasanya terdiri atas lebih dari satu transformator.

3.5.1. Perhitungan saluran pencatu antara elemen 4 ke 3

Proses perhitungan dengan saluran pencatu antar elemen dilakukan dengan menggunakan prinsip transformasi $\lambda/4$ pada bab 2.5 agar nilai impedansi pada elemen 4 (Z_4) menjadi nilai impedansi elemen 3 terhadap elemen 4 (Z_{34}). Karena aturan panjang fisik total yang harus memperhatikan perbedaan fasa maka transformasi biasanya dilakukan lebih dari sekali. Karena proses transformasi banyak dan nilai yang diketahui hanya impedansi awal dan impedansi yang diinginkan, maka proses transformasi dilakukan secara eksperimen dengan metode

transformasi $\lambda/4$ untuk melihat pola perubahan atau transformasi impedansi terhadap nilai impedansi transformasi (Z_T). Untuk mendapatkan pola perubahan atau transformasi maka nilai impedansi transformasi (Z_T) yang digunakan harus terdiri dari dua nilai impedansi transformasi (Z_T) yang tetap. Pada perhitungan ini impedansi transformasi (Z_T) yang digunakan sebesar 50Ω dan 110Ω . Dari eksperimen ini juga didapatkan biasanya satu nilai transformator lagi untuk menyesuaikan karena tidak mungkin dilakukan penyesuaian hanya menggunakan dua nilai transformer yang tetap saja. Berikut contoh perhitungan untuk mendapatkan impedansi saluran transformator dengan menggunakan transformasi $\lambda/4$:

$$Z_T = \sqrt{Z_{awal} \times Z_{akhir}}$$

$$Z_T = 70 \Omega \text{ (z4c)}$$

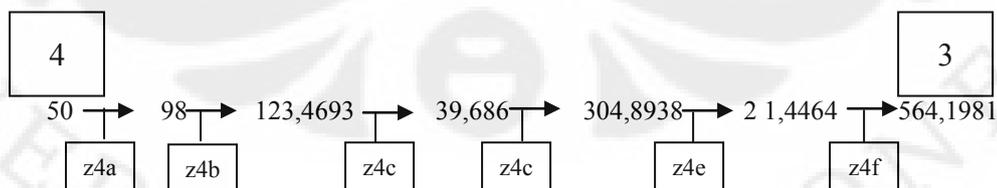
$$Z_{awal} = 123,4693 \Omega$$

$$Z_{akhir} = \frac{Z_T^2}{Z_{awal}}$$

$$Z_{akhir} = \frac{(70 \Omega)^2}{123,4693 \Omega}$$

$$Z_{akhir} = 39,686 \Omega$$

Nilai Z_{awal} di atas merupakan nilai hasil transformasi sebelumnya sedangkan nilai Z_T merupakan hasil dari eksperimen yang telah dilakukan sebelumnya. Berikut proses transformasi dari elemen 4 ke elemen 3 :



Gambar 3.10 Penyesuain impedansi antara elemen 4 ke 3

Proses perhitungan saluran pencatu dari elemen 3 ke 4 secara keseluruhan dapat dilihat pada Lampiran-B. Dari proses penyesuain tersebut didapatkan enam proses pengubahan impedansi sehingga memerlukan enam saluran transformator.

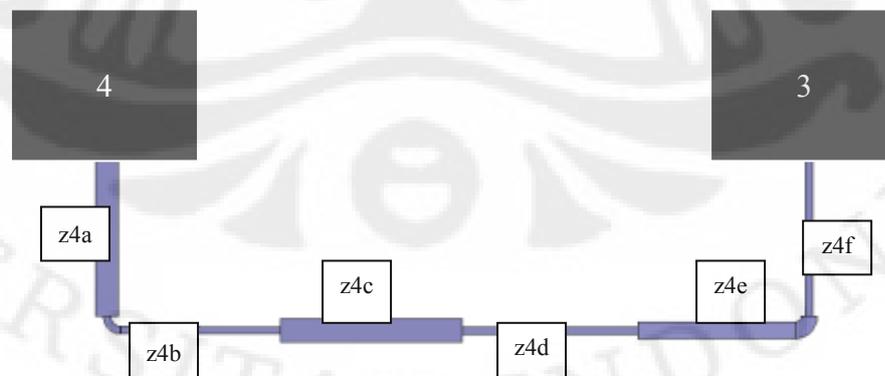
Lebar pencatu (W) dan epsilon efektif (ϵ_{eff}) dari tiap impedansi transformasi (Z_T) didapat dengan menggunakan *software PCADE 5.0*, sedangkan panjang saluran pencatu (l) dari tiap impedansi transformasi dihitung dengan menggunakan persamaan 3.4, dengan memperhatikan perbedaan fasa antara elemen 3 dan 4. Karena elemen 3 dan 4 memiliki perbedaan fasa sebesar 180° maka total panjang fisik saluran transformatornya (l) harus kelipatan setengah gelombang. Pada perhitungan digunakan total panjang saluran sebesar $1,5 \lambda_g$.

Karena panjang saluran total lebih panjang daripada jarak antar elemen maka saluran dibuat berkelok-kelok untuk menyesuaikan jarak antar elemen, sehingga didapat bentuk saluran pencatu antar elemen sebagai berikut :

Tabel 3.4 Saluran pencatu elemen 3 ke elemen 4

	z4a	z4b	z4c	z4d	z4e	z4f
z	70	110	70	110	80.86325	110
W	1.64588	0.53791	1.64588	0.53791	1.1736	0.53791
ϵ_{eff}	3.22	3.007	3.22	3.007	3.156	3.007
l	12.47638	12.9107	12.47638	12.9107	12.60225	12.9107
	$(\lambda/4)$	$(\lambda/4)$	$(\lambda/4)$	$(\lambda/4)$	$(\lambda/4)$	$(\lambda/4)$

Dari perhitungan panjang dan lebar saluran kemudian dirancang bentuk fisik dari saluran pencatu antara elemen 3 dan 4, sehingga didapat bentuk akhir saluran pencatu sebagai berikut :

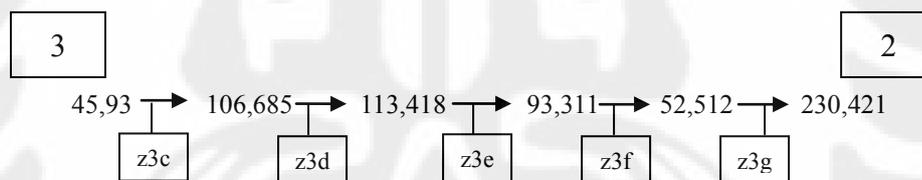


Gambar 3.11 Bentuk fisik saluran pencatu antara elemen 4 ke 3

3.5.2 Perhitungan saluran pencatu antara elemen 3 ke 2

Pada pencatuan antara elemen 2 ke 3 pencatuan dimulai tidak dari titik

pencatuan elemen 3 seperti pada elemen 4, namun harus tersambung ke elemen z_{4f} yang telah ada. Pencatuan pun tidak bias disambung langsung agar tidak mengubah hambatan pada elemen 3 (Z_3) ataupun hambatan elemen 4 terhadap lainnya (Z_{34}). Pencatuan dilakukan pada titik tengah elemen z_{4f} dengan sebuah saluran transformator dengan nilai impedansi setengah nilai impedansi z_{4f} . Saluran transformator ini beri notasi z_{3a} dengan nilai setengah z_{4f} sebesar 55Ω . Namun penambahan saluran transformasi z_{3a} ini mengubah nilai Z_3 sehingga perlu ditambahkan sebuah saluran transformator z_{3b} untuk mengembalikan nilai Z_3 menjadi $45,93 \Omega$ lagi. Dari hasil perhitungan didapat nilai z_{3b} sebesar $50,26 \Omega$. Perubahan ulang ini agar tidak mengubah nilai impedansi elemen 2 terhadap elemen 3 dan 4 (Z_{23}). Setelah nilai Z_{23} seperti semula maka dilakukan proses transformasi dari Z_3 ke Z_{23} seperti pada penyesuaian impedansi antara elemen 3 dan elemen 4. Transformasi menggunakan transformasi $\lambda/4$ sehingga nilainya menjadi nilai impedansi elemen 2 terhadap elemen 3 dan 4 (Z_{23}) seperti pada saluran antar elemen 3 ke 4. Proses transformasi tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.12 di bawah yang menggambarkan proses transformasi saluran pencatu dari elemen 3 ke elemen 4.

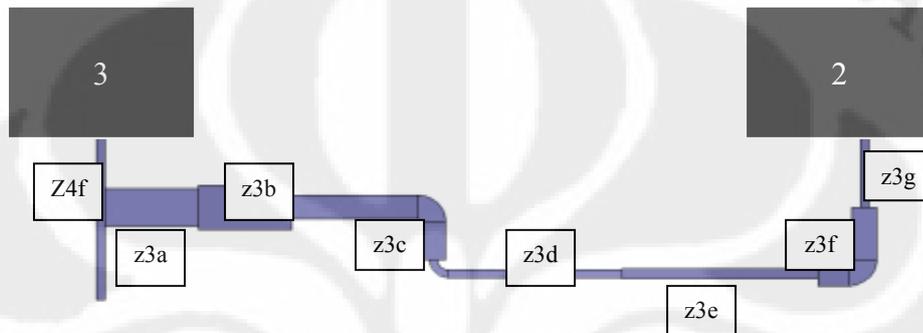


Gambar 3.12 Penyesuaian impedansi antara elemen 3 ke 2

Tabel perubahan dan saluran transformator secara keseluruhan dapat dilihat pada Lampiran-B. Kemudian setelah didapatkan nilai impedansi saluran transformator dicari nilai lebar pencatu (W), epsilon efektif (ϵ_{eff}) dan panjang (l) tiap saluran transformator. Sama seperti pada saluran pencatu antar elemen 3 dan 4, lebar dan ϵ_e dari tiap bentuk saluran pencatu kita dapat dengan menggunakan software *PCAAD 5.0* sedangkan panjangnya didapat dengan persamaan 3.4 seperti sebelumnya. Perbedaan fasa antar elemen sebesar 180° sehingga panjang total saluran pencatu antar elemen yang saya gunakan sebesar $1,5 \lambda_g$.

Tabel 3.5 Saluran pencatu elemen 3 ke elemen 2

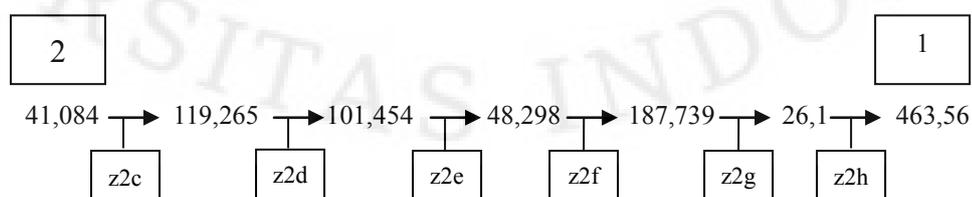
	Z4f	z3a	z3b	z3c	z3d	z3e	z3f	z3g
z	110	55	50.260	70	110	102.87	70	110
W	0,537	2,6029	3,0589	1,6458	0,5379	0,6709	1,6458	0,5379
ϵ_{eff}	3,007	3,336	3,381	3,22	3,007	3,041	3,22	3,007
l	12,91 ($\lambda/4$)	6,1288 ($\lambda/8$)	6,0879 ($\lambda/8$)	12,476 ($\lambda/4$)	12,91 ($\lambda/4$)	12,838 ($\lambda/4$)	6,2382 ($\lambda/8$)	6,4553 ($\lambda/8$)



Gambar 3.13 Bentuk fisik saluran pencatu antara elemen 3 ke 2

3.5.3. Perhitungan saluran pencatu antara elemen 2 ke 1

Sama seperti pada saluran antara elemen 2 ke 3, pada saluran antara elemen 1 ke 2 juga harus memperhatikan adanya elemen z3g. Sehingga digunakan saluran transformator z2a dan z2b seperti pada saluran antar elemen 2 ke 3. Dari hasil perhitungan didapatkan nilai z2a sebesar 55Ω dan saluran transformator untuk mengubah nilai Z_2 menjadi $41,084\Omega$ kembali yaitu z2b sebesar $47,536\Omega$. Kemudian transformasi selanjutnya sama seperti pada elemen sebelumnya, pada elemen 1 dan 2 ini nilai impedansi pada elemen 2 (Z_2) disesuaikan dengan menggunakan transformasi $\lambda/4$ sehingga nilainya menjadi nilai impedansi elemen 1 terhadap elemen 2, 3 dan 4 (Z_{12}). Proses transformasi dijelaskan melalui Gambar 3.14 di bawah :



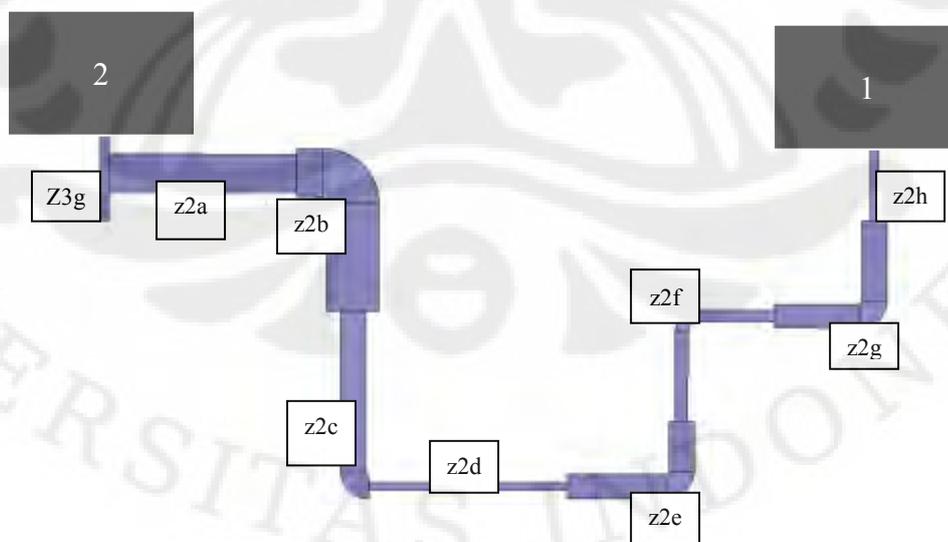
Gambar 3.14 Penyesuain impedansi antara elemen 2 ke 1

Gambar 3.14 di atas menunjukkan proses transformasi dari saluran pencatu elemen 1 ke 2. Terdapat 6 saluran transformator selain saluran z3g dan saluran z2a dan z2b. Proses perhitungan secara keseluruhannya dapat dilihat pada lampiran-B.

Kemudian setelah didapatkan nilai impedansi saluran transformator dicari nilai lebar pencatu (W), epsilon efektif (ϵ_{eff}) dan panjang (ℓ) tiap saluran transformator. Sama seperti pada saluran pencatu antar elemen 3 dan 4, lebar dan ϵ_e dari tiap bentuk saluran pencatu kita dapat dengan menggunakan software *PCAAD 5.0* sedangkan panjangnya didapat dengan persamaan 3.4 seperti sebelumnya. Perbedaan fasa antar elemen sebesar 0° sehingga panjang total saluran pencatu antar elemen yang saya gunakan sebesar $2 \lambda g$.

Tabel 3.6 Saluran pencatu elemen 2 ke elemen 1

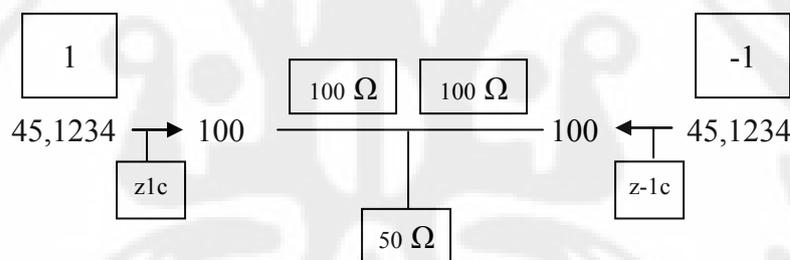
	Z3g	z2a	z2b	z2c	z2d	z2e	z2f	z2g	z2h
z	110	55	47.54	70	110	70	95	70	110
W	0,54	2,60	3,39	1,65	0,54	1,65	0,81	1,65	0,54
ϵ_{eff}	3,01	3,34	3,41	3,22	3,01	3,22	3,07	3,22	3,01
ℓ	6,46	12,26	12,12	12,48	12,91	12,48	12,77	12,48	6,4554
	$(\lambda/4)$	$(\lambda/8)$							



Gambar 3.15 Bentuk fisik saluran pencatu antara elemen 2 ke 1

3.5.4. Saluran pencatu antara elemen 1 dan -1

Sama seperti elemen 1 ke 2, pada elemen 1 ke -1 telah terdapat saluran transformator dari persambungan antar elemen sebelumnya, namun pada elemen 1 ke -1 terdapat 2 saluran transformator yang sudah ada yaitu antar 1 ke 2 dan -1 ke -2. Namun karena prinsip kesimetrisan distribusi arus pada perancangan yang telah dijelaskan sebelumnya, maka saluran transformator yang telah ada yaitu z_{2h} dan z_{-2h} nilai impedansinya sama. Dan karena nilai Z_1 dan Z_{-1} sama maka saluran transformasi z_{1a} dan z_{1b} sama dengan z_{-1a} dan z_{-1b} . Nilai z_{1a} sebesar 55Ω dan nilai z_{1b} sebesar $49,8225 \Omega$. Setelah itu transformasi dilakukan untuk mengubah impedansi elemen 1 (Z_1) ke saluran pencatu dan dari impedansi elemen -1 (Z_{-1}) ke saluran pencatu. Saluran pencatu yang digunakan adalah T -junction $100\Omega - 50\Omega - 100\Omega$ seperti telah dijelaskan pada sub bab 3.2.3, menggunakan prinsip transformasi $\lambda/4$ seperti elemen-elemen sebelumnya. Proses transformasi impedansi dari Z_1 ke saluran pencatu dan Z_{-1} ke saluran pencatu dijelaskan lewat Gambar 3.16 berikut ini :



Gambar 3.16 Penyesuaian impedansi antara elemen 1 ke -1

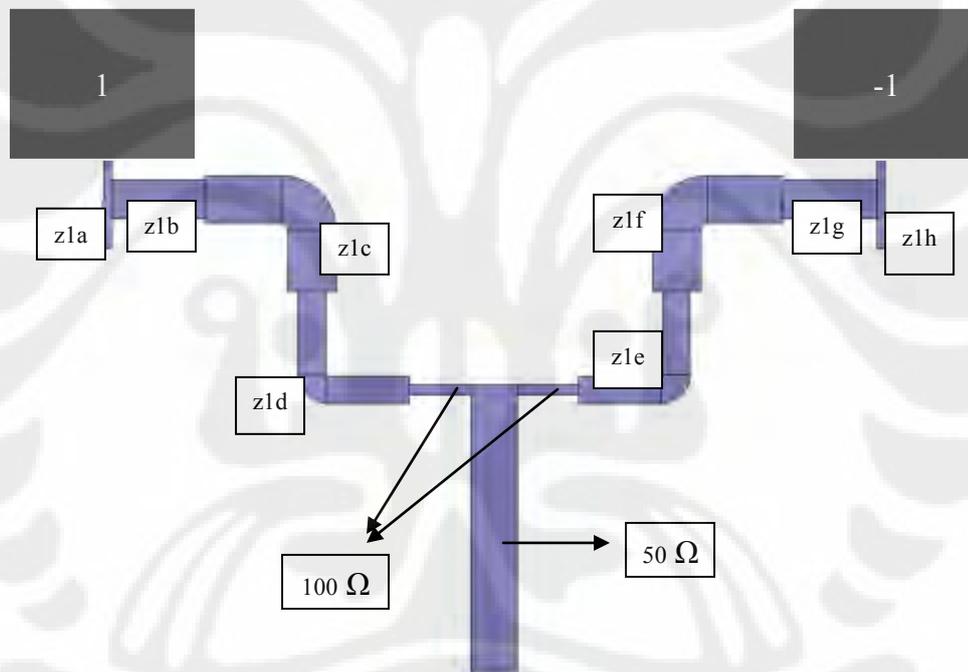
Dari Gambar 3.16 terlihat hanya dibutuhkan 1 saluran transformasi dari Z_1 ke saluran pencatu T -Junction. Proses transformasi secara jelas dapat dilihat pada lampiran-B.

Kemudian setelah didapatkan nilai impedansi saluran transformator dicari nilai lebar pencatu (W), epsilon efektif (ϵ_{eff}) dan panjang (l) tiap saluran transformator. Sama seperti pada saluran pencatu antar elemen 3 dan 4, lebar dan ϵ_e dari tiap bentuk saluran pencatu kita dapat dengan menggunakan software *PCAAD 5.0* sedangkan panjangnya didapat dengan persamaan 3.4 seperti sebelumnya. Perbedaan fasa antar elemen sebesar 0° sehingga panjang total

saluran pencatu antar elemen yang saya gunakan sebesar $2 \lambda_g$. Berikut tabel lebar, permivitas efektif dan panjang dari saluran transformator :

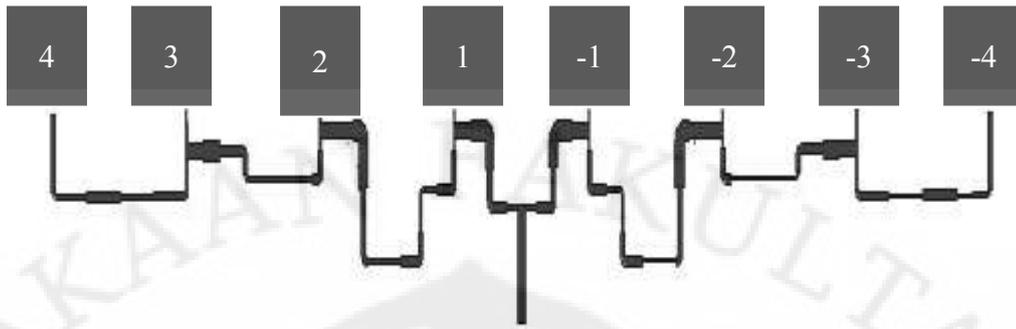
Tabel 3.7 Saluran pencatu elemen 1 ke elemen -1

	z2h	z1a	z1b	z1c	z-1c	z-1b	z-1a	z-2h
z	110	55	49,82	67,181	67,181	49,822	55	110
W	0,54	2,60	3,16	1,81	1,81	3,16	2,60	0,54
ϵ_{eff}	3,01	3,34	3,39	3,24	3,24	3,39	3,34	3,01
l	6,46	6,13	12,16	12,43	12,43	12,16	6,13	6,46



Gambar 3.17 Bentuk fisik saluran pencatu antara elemen 1 ke -1

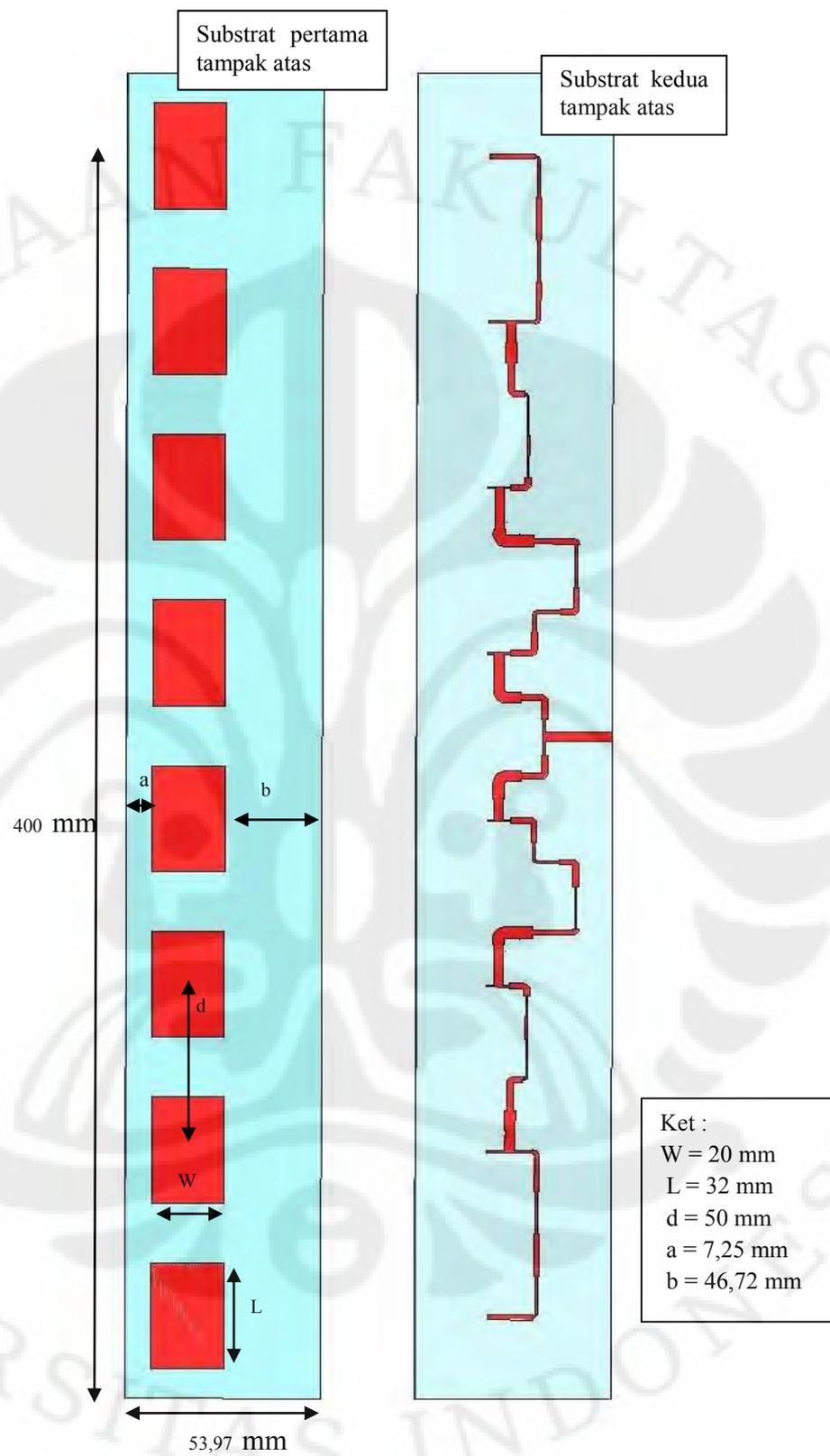
Untuk -1 sampai -4 saluran pencatu antar elemen hitungan dan nilainya sama dengan elemen 1 sampai 4. Sehingga bentuk akhirnya merupakan cerminan dari elemen 4 sampai dengan 1. Dari penggabungan saluran pencatu antar elemen kemudian digabungkan sehingga menjadi saluran pencatu 8 elemen seperti pada gambar 3.18 berikut.



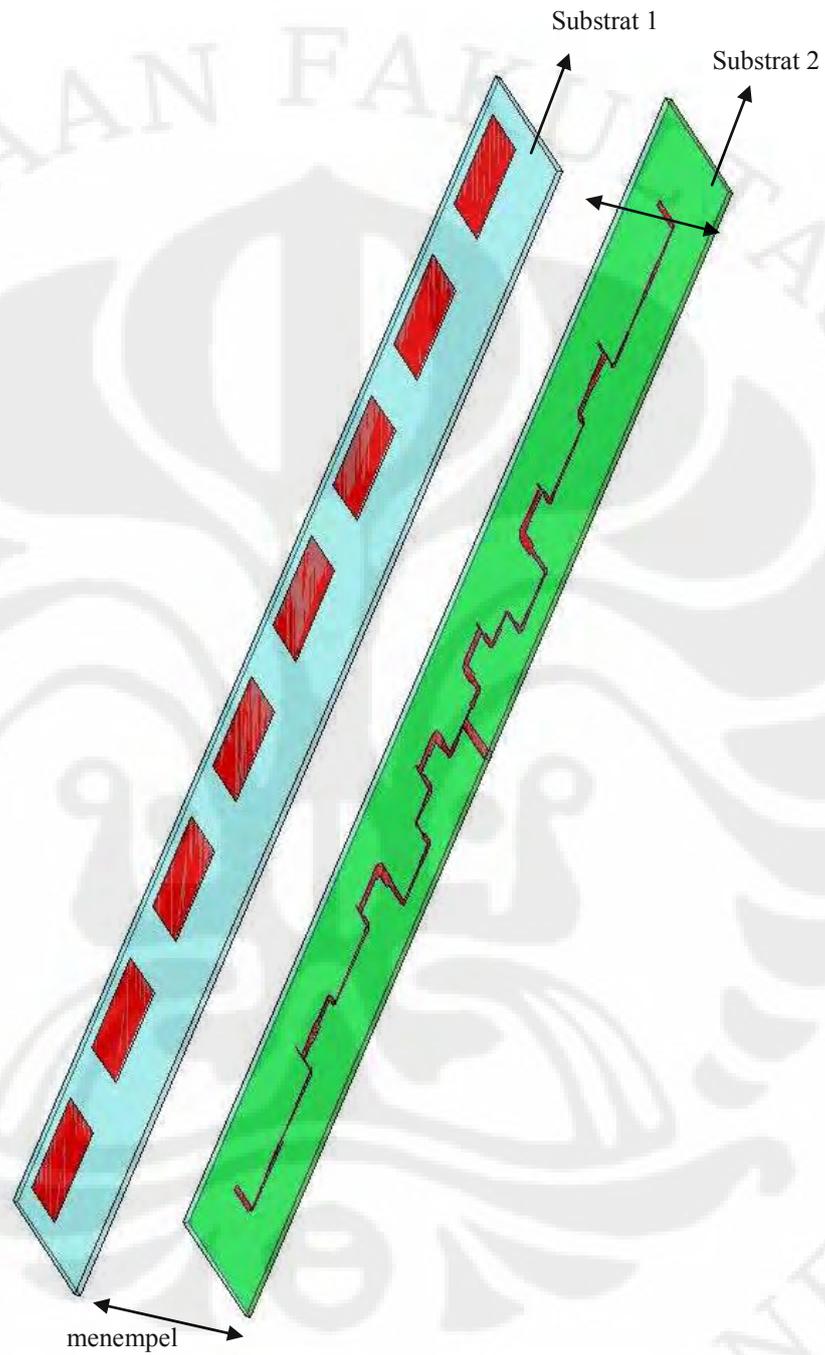
Gambar 3.18 Saluran pencatu 8 elemen

3.6. HASIL SIMULASI RANCANGAN

Setelah didapatkan rancangan saluran pencatu dari antenna, maka akan disimulasikan terhadap rancangan antenna elemen tunggal yang telah didapat. Rancangan ini kemudian dilakukan proses iterasi secara eksperimen dan analitis untuk melihat pola perubahan terhadap perubahan factor yang diiterasi. Dari hasil iterasi didapatkan perubahan dimensi patch menjadi 20 x 32 mm. Sedangkan panjang saluran pencatu 50 Ω berubah menjadi 19 Ω . Untuk dimensi substrat keseluruhan dilebarkan menjadi 400 x 53,8 mm, hal ini untuk mencegah *fringing effect* akibat *patch* terlalu dekat dengan ujung substrat. Gambar geometri dan keterangan dimensi antenna dapat dilihat pada Gambar 3.19a dan 3.19b. Berikut gambar dari antenna yang dirancang pada simulasi :



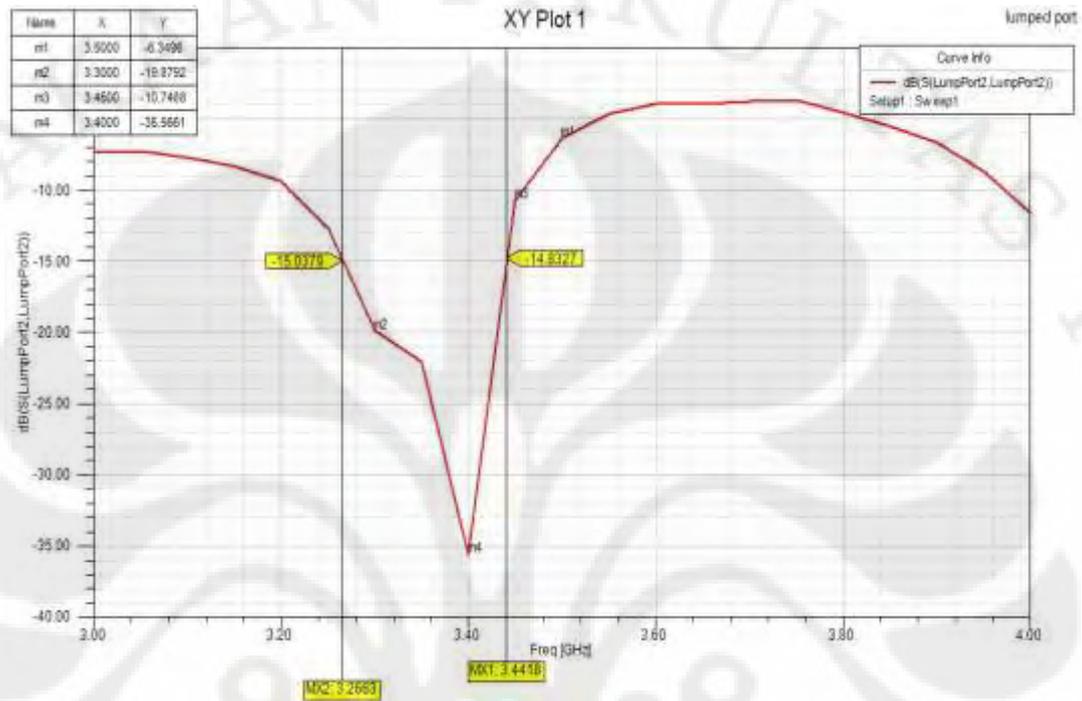
(a)



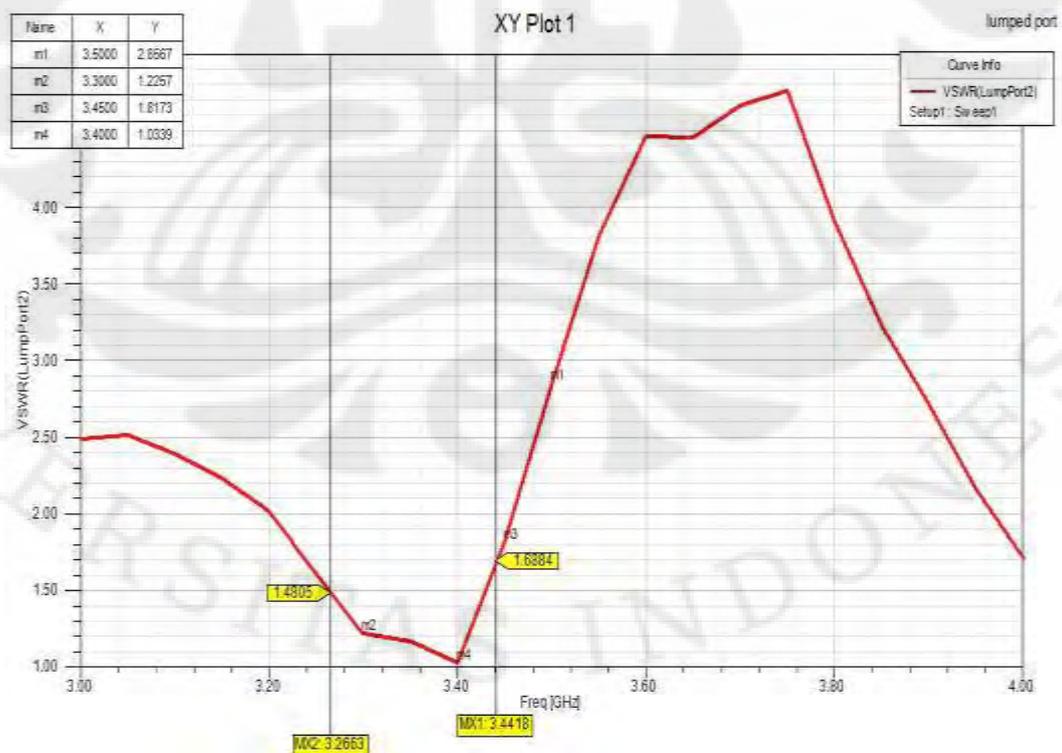
(b)

Gambar 3.19 Rancangan antenna susun linier 8 elemen untuk pembentukan pola sektoral (a) geometri antenna 2 dimensi (b) geometri antenna 3 dimensi

Dari rancangan antenna yang telah dioptimasi kemudian dilakukan simulasi untuk melihat parameter-parameter dari antenna susun yang kita rancang. Parameter yang dilihat antara lain *Return Loss*, *VSWR*, dan pola radiasi dari antenna yang dirancang.



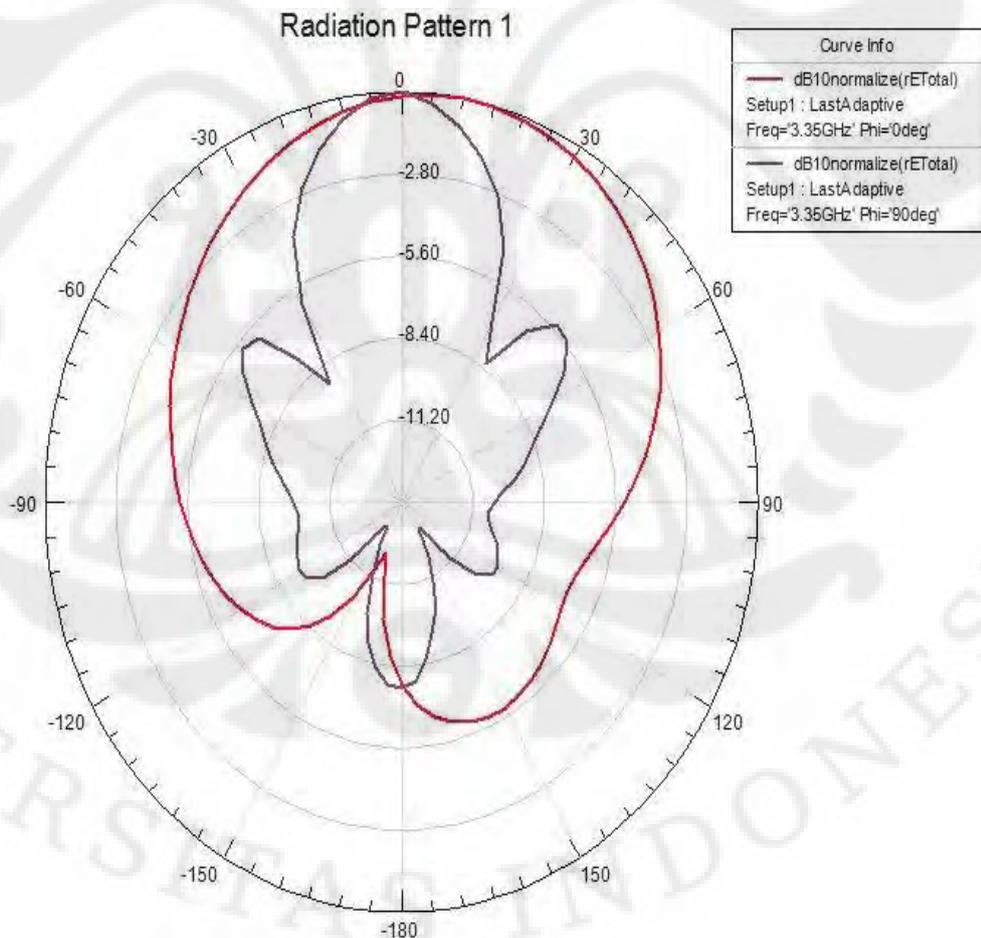
Gambar 3.20 Grafik *Return Loss* antenna susun linier 8 elemen



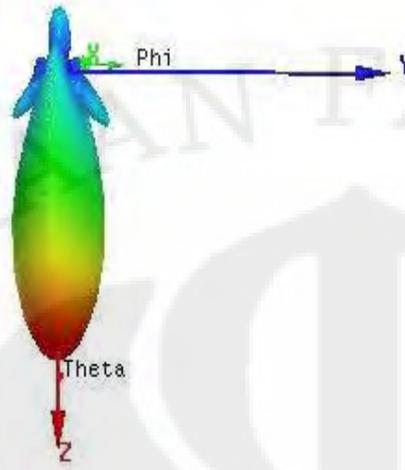
Gambar 3.21 Grafik *VSWR* antenna susun linier 8 elemen

Dari Gambar 3.20 dan 3.21 di atas dapat dilihat nilai *Return Loss* dan *VSWR* hasil simulasi menggunakan *software HFSS v.11*, terlihat frekuensi kerja dari antenna yang dirancang pada nilai *Return Loss* ≤ -15 dB atau *VSWR* $\leq 1,5$ berada pada rentang frekuensi 3,26 GHz – 3,44 GHz dengan nilai *Return Loss* terendah sebesar -35,5661 dB dan nilai *VSWR* terendah sebesar 1,0399 pada frekuensi 3,4 GHz. Untuk frekuensi kerja 3,3 GHz nilai *Return Loss*-nya sebesar -19,8792 dB dengan nilai *VSWR* sebesar 1,2257. Sedangkan pada frekuensi 3,4 GHz nilai *Return Los*-nya sebesar -35,5661 dB dan *VSWR*-nya 1,0399. Sedangkan untuk nilai *VSWR* $\leq 1,9$ atau *Return Loss* $\leq 1,39$ dB didapat *bandwidth* sebesar 240 MHz dengan rentang 3,21 – 3,45 GHz.

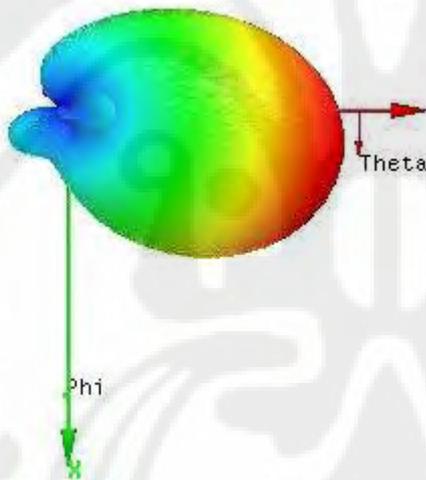
Dari nilai ini didapat *bandwidth* dari antenna menggunakan persamaan 2.25 untuk nilai *VSWR* $\leq 1,5$ sebesar 180 MHz atau sekitar 5,373%.



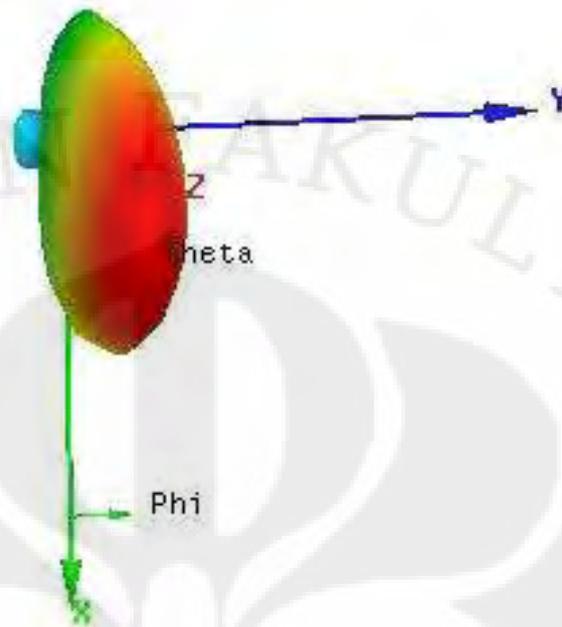
Gambar 3.22. Pola radiasi antenna susun linier 8 elemen



(a)

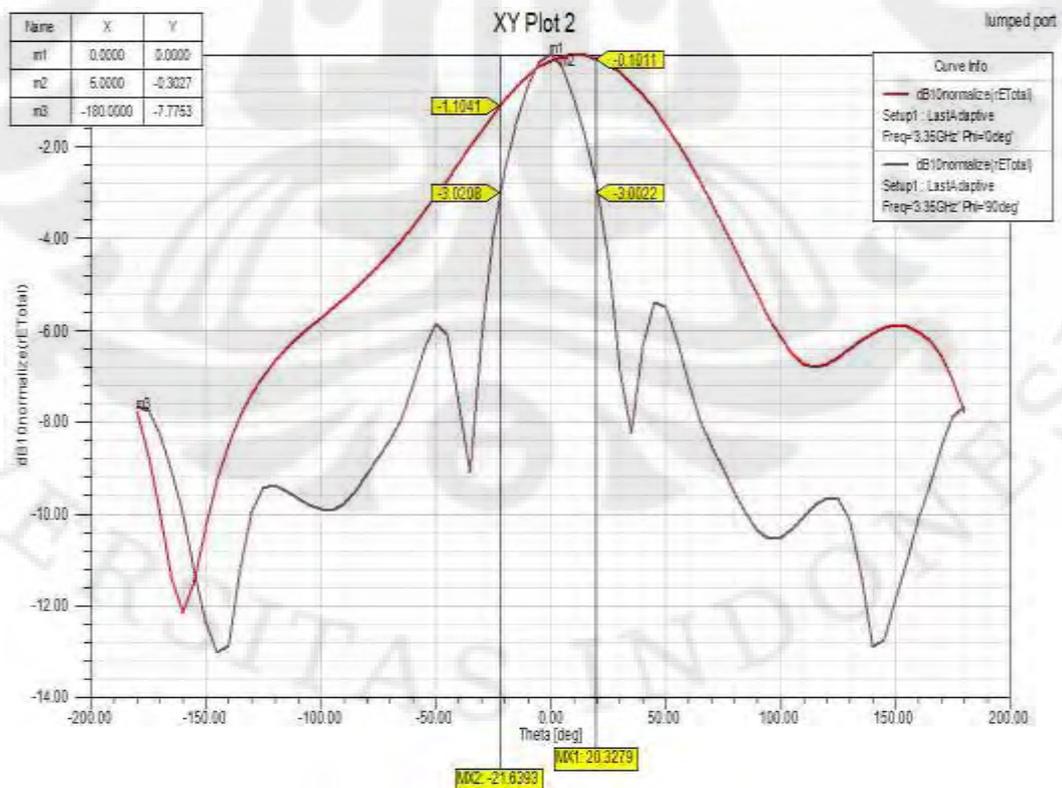


(b)



(c)

Gambar 3.23. Pola radiasi 3-D antenna susun linier 8 elemen (a) z-y plane (b) z-x plane (c) x-y-z plane



Gambar 3.24. Grafik pola radiasi antenna susun linier 8 elemen

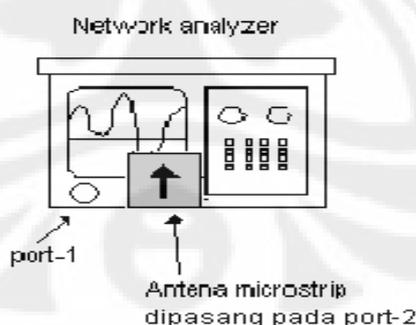
Pada Gambar 3.22 dapat dilihat bentuk dari pola radiasi dari antenna pada $\phi 0^\circ$ dan 90° . Pola radiasi berbentuk simetris dengan nilai HPBW sekitar $42,25^\circ$. Pada Gambar 3.24 dapat dilihat bentuk pola radiasi dalam grafik log magnitude terhadap sudut antenna. Dari Gambar 3.23 dapat dilihat dengan jelas hasil simulasi dimana HPBW dari antenna berada pada sudut sekitar $-21,63^\circ$ hingga $20,62^\circ$ atau pola radiasi yang terbentuk sekitar sectoral simetris sekitar $42,25^\circ$.

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 3.20.



Gambar 3.26. 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:

$$r_{\min} = \frac{2D^2}{\lambda} \dots\dots\dots (3.6)$$

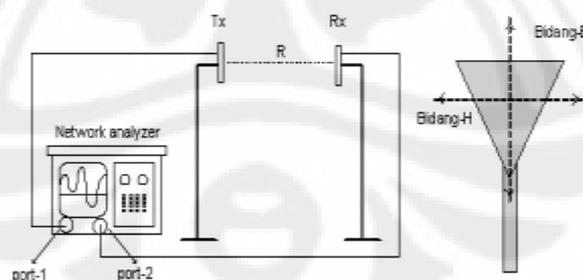
dimana: r_{\min} = jarak minimum pemancar dengan penerima (cm)

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_{21} dengan antenna pemancar diletakkan pada *port 1*, sedangkan antenna penerima diletakkan pada *port 2*. 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 3.21.



Gambar 3.27. Rangkaian peralatan pada pengukuran pola radiasi

Pengukuran pola radiasi dilakukan di dalam ruangan *anechoic chamber* yang dindingnya bersifat menyerap gelombang elektromagnet, untuk mengurangi pantulan dan interferensi. Jarak pisah harus memenuhi jarak minimum untuk mengatur medan jauh. Alat ukur *network analyzer* diatur untuk melakukan

pengukuran parameter S_{21} . Sudut penerimaan antenna penerima diubah-ubah dari 0° hingga 360° dengan interval 10° untuk bidang-E dan bidang-H. Pengukuran dilakukan pada frekuensi puncak dari antenna.

3.7.3 Pengukuran Gain Absolut

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

Konfigurasi pengukuran *gain* adalah seperti yang terlihat pada Gambar 3.22 Kedua buah antenna diletakkan pada arah berkas utama pola radiasi, dengan memperhatikan pada jarak minimum pengukuran medan jauh. Karena menggunakan metode tiga antenna, maka terdapat 3 kemungkinan pasangan antenna pengirim dan penerima, yaitu:

1. Antenna pengirim 1 dan penerima 2
2. Antenna pengirim 1 dan penerima 3
3. Antenna pengirim 2 dan penerima 3

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

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

$$(G_{ot})_{dB} + (G_{or})_{dB} = 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi R}{\lambda} \right) + 10 \log_{10} \left(\frac{Pr}{Pt} \right) \dots\dots\dots (3.7)$$

Sehingga ketiga persamaan untuk masing-masing kombinasi adalah:

- a. kombinasi 1-2

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

- b. kombinasi 1-3

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

c. kombinasi 2-3

$$(G_2)_{dB} + (G_3)_{dB} = 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi R}{\lambda} \right) + 10 \log_{10} \left(\frac{P_r}{P_t} \right) \quad (3.5)$$

dimana:

G = gain absolut (dB);

R = jarak pisah antara antena pemancar dan penerima (meter);

λ = panjang gelombang pada frekuensi yang digunakan (meter);

P_t = daya pengirim (Watt);

P_r = daya penerimaan (Watt).

Ketiga persamaan di atas dapat dituliskan sebagai:

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

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

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

Dengan demikian penyelesaian untuk ketiga persamaan di atas adalah:

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

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

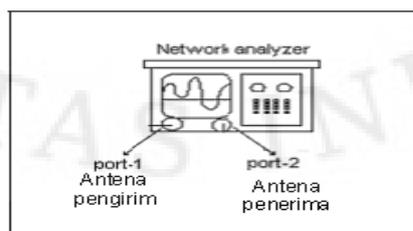
$$G_3(\text{dB}) = \frac{1}{2}(-A + B + C) \quad (3.11)$$

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

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

Pengukuran *gain* dilakukan di dalam ruangan *anechoic chamber*.

Rangkaian peralatan selama proses pengukuran dapat dilihat pada Gambar 3.22.



Gambar 3.28. Rangkaian peralatan pada pengukuran *gain*

BAB 4

HASIL PENGUKURAN DAN ANALISIS HASIL PENGUKURAN

4.1. HASIL PENGUKURAN PARAMETER ANTENA

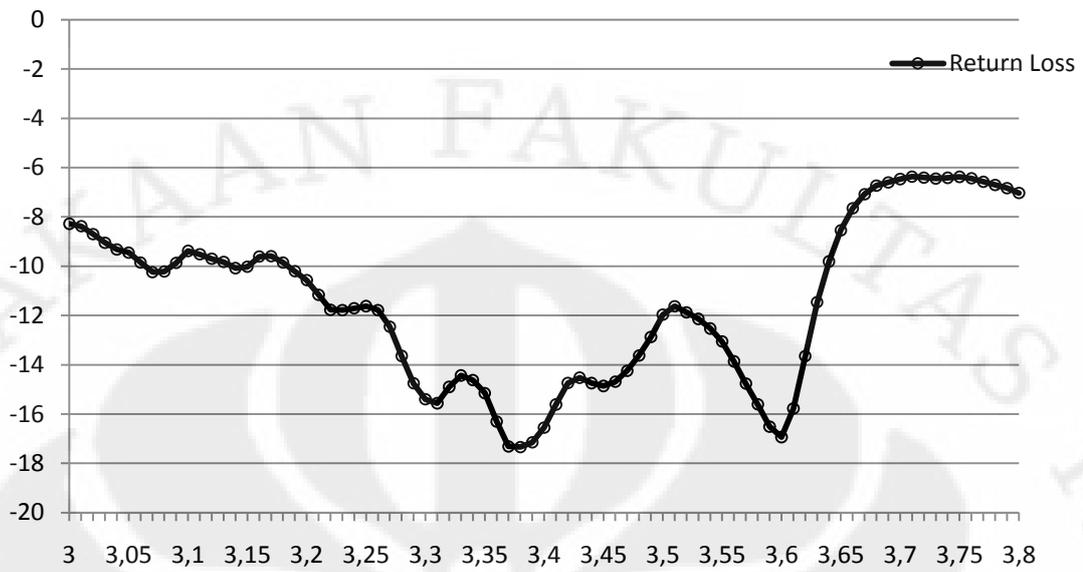
Pada skripsi ini akan dilakukan pengukuran terhadap antenna *array* 8 elemen yang telah dirancang. Setelah rancangan antena selesai dibuat dan disimulasikan dengan menggunakan perangkat lunak *HFSS v.11*, antena kemudian difabrikasi. Hasil dari fabrikasi kemudian diukur pada ruang *anechoic chamber* (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

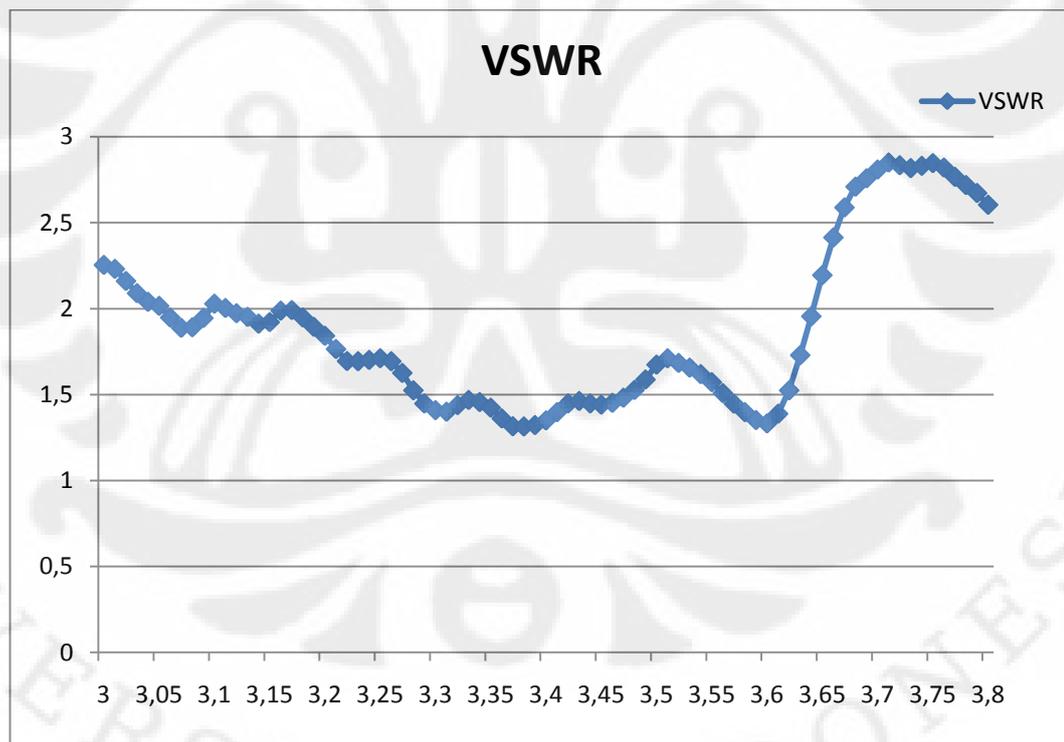
Pada pengukuran *port* tunggal hanya menggunakan sebuah antena yang akan diukur, tanpa melibatkan antena yang lain. Antena yang telah difabrikasi dapat diukur dengan menggunakan *Network Analyzer*. Antena dapat diukur dengan menggunakan format S_{11} atau S_{22} . Format S_{11} digunakan jika antena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

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.

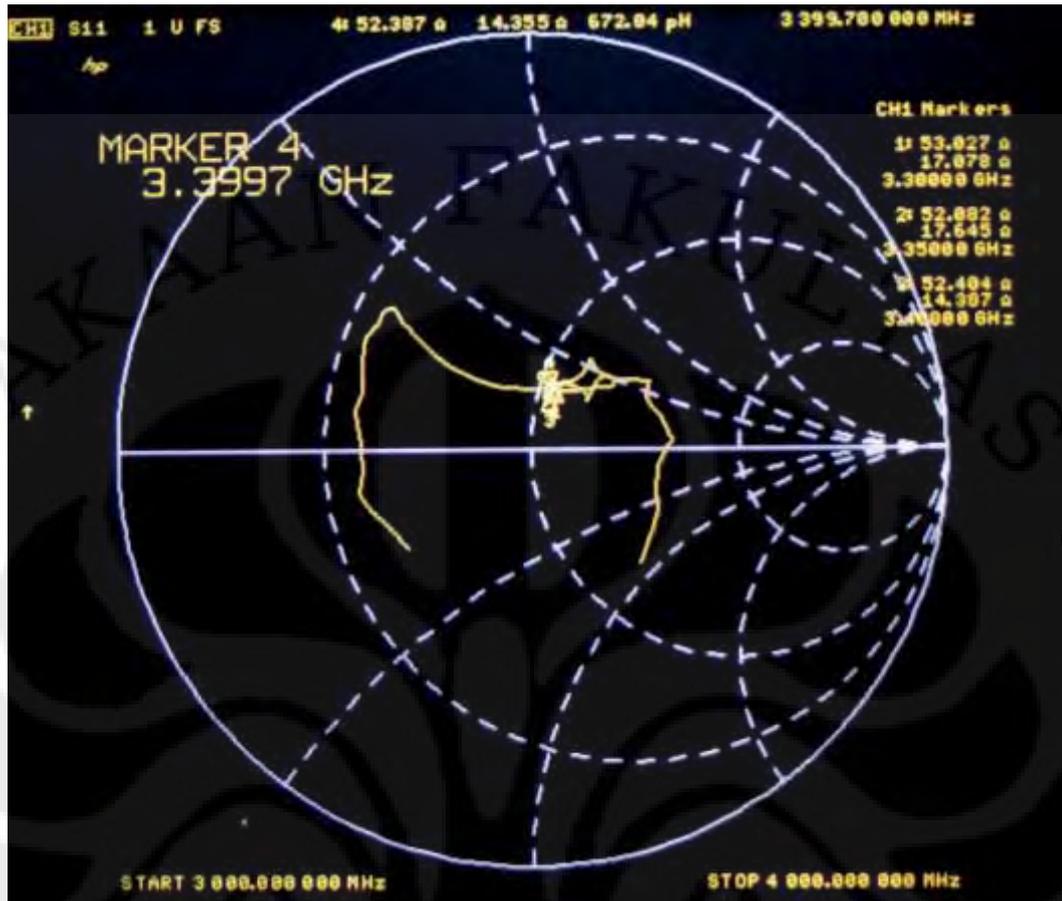
RETURN LOSS PENGUKURAN



Gambar 4.1. Grafik *return loss* hasil pengukuran antenna array 8 elemen



Gambar 4.2. Grafik VSWR hasil pengukuran antenna array 8 elemen



Gambar 4.3 Smith chart impedansi masukan hasil pengukuran antenna array 8 elemen

Dari Gambar 4.1 dan 4.2 dapat dilihat *impedance* bandwidth dari antenna dimana pada nilai *Return Loss* $\leq -10,16$ dB ($VSWR \leq 1,9$) *bandwidth* dari antenna berada pada rentang 3,19 GHz hingga 3,63 GHz. Sedangkan untuk nilai *Return Loss* $\leq -13,98$ dB ($VSWR \leq 1,5$) *bandwidthnya* berada pada rentang 3,29 GHz hingga 3,47 GHz. Nilai *return loss* yang diperoleh pada frekuensi 3,3 GHz dan 3,4 GHz masing-masing adalah -15,401 dB dan -16,55 dB, dengan nilai *Return Loss* minimum pada frekuensi 3,38 GHz dengan nilai 17,34 GHz. Sedangkan nilai VSWR yang diperoleh pada frekuensi 3,3 GHz dan 3,4 GHz (Gambar 4.2), masing-masing adalah 1,409 dan 1,35 dengan nilai VSWR terendah pada frekuensi 3,38 GHz sebesar 1,314. Dari nilai tersebut didapatkan bandwidth dari antenna untuk $VSWR \leq 1,9$ dengan menggunakan persamaan 2.25 sebesar :

$$bandwidth = \frac{3,63 - 3,19}{3,42} \times 100\%$$

$$\text{bandwith} = 12,866\%(440\text{MHz})$$

. Sedangkan untuk nilai pada $\text{VSWR} \leq 1,5$ didapatkan *bandwidth* dari antenna dengan menggunakan persamaan 2.25 sebesar :

$$\text{bandwith} = \frac{3,47 - 3,29}{3,38} \times 100\%$$

$$\text{bandwith} = 5,325\%(180\text{MHz})$$

Gambar 4.3 menunjukkan nilai impedansi masukan dari antenna dimana pada frekuensi 3,3 GHz impedansi masukannya sebesar 53,027 Ω dan pada frekuensi 3,4 GHz impedansi masukannya sebesar 52,404 Ω .

Dari hasil pengukuran port tunggal di atas terlihat antenna tidak mengalami pergeseran dari hasil simulasi, hanya nilai *Return Loss* keseluruhan menuun dibandingkan hasil simulasi dan nilai *Return Loss* minimumnya berada pada frekuensi 3,38 GHz, sedangkan pada simulasi nilai minimum berada pada frekuensi 3,4 GHz. Tujuan yang ingin dicapai telah terpenuhi dimana pada rentang frekuensi 3,3 GHz hingga 3,4 GHz nilai *VSWR* antenna $\leq 1,5$.

Tabel 4.1 Tabel perbandingan parameter anten ahasil pengukuran dengan hasil simulasi

Parameter	Hasil simulasi	Hasil simulasi
Range Frekuensi	3,21 - 3,45 GHz	3,19 - 3,63 GHz
<i>Impedance Bandwidth</i>	220 MHz	440 MHz
Range Frekuensi	3,29 - 3,47 GHz	3,29 - 3,47 GHz
<i>Impedance Bandwidth</i>	180 MHz	180 MHz
<i>Return Loss</i> & <i>VSWR</i> pada 3,3 GHz	-19,8792 dB	-15,401 dB
	1,2257	1,409
<i>Return Loss</i> & <i>VSWR</i> pada 3,4 GHz	-35,5661 dB	-16,55 dB
	1,0339	1,35
<i>Return Loss</i> minimum	-35,5661 dB pada 3,4 GHz	-17,34 dB pada 3,38 GHz
<i>VSWR</i> minimum	1,0339	1,314

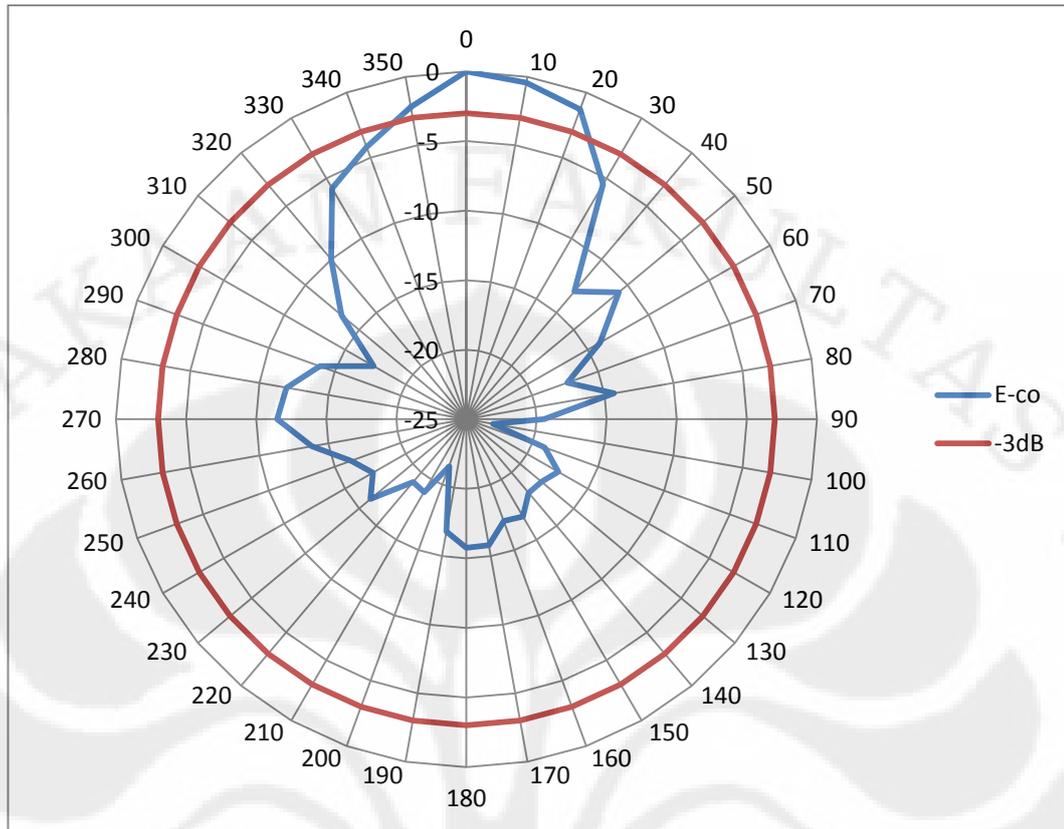
4.1.2. Pengukuran *Port* Ganda

Pengukuran *port* ganda menggunakan *port* 1 dan *port* 2 pada *network analyzer*. *Port* 1 dihubungkan ke antenna pemancar menggunakan kabel penyambung sedangkan *port* 2 dihubungkan dengan antenna penerima juga

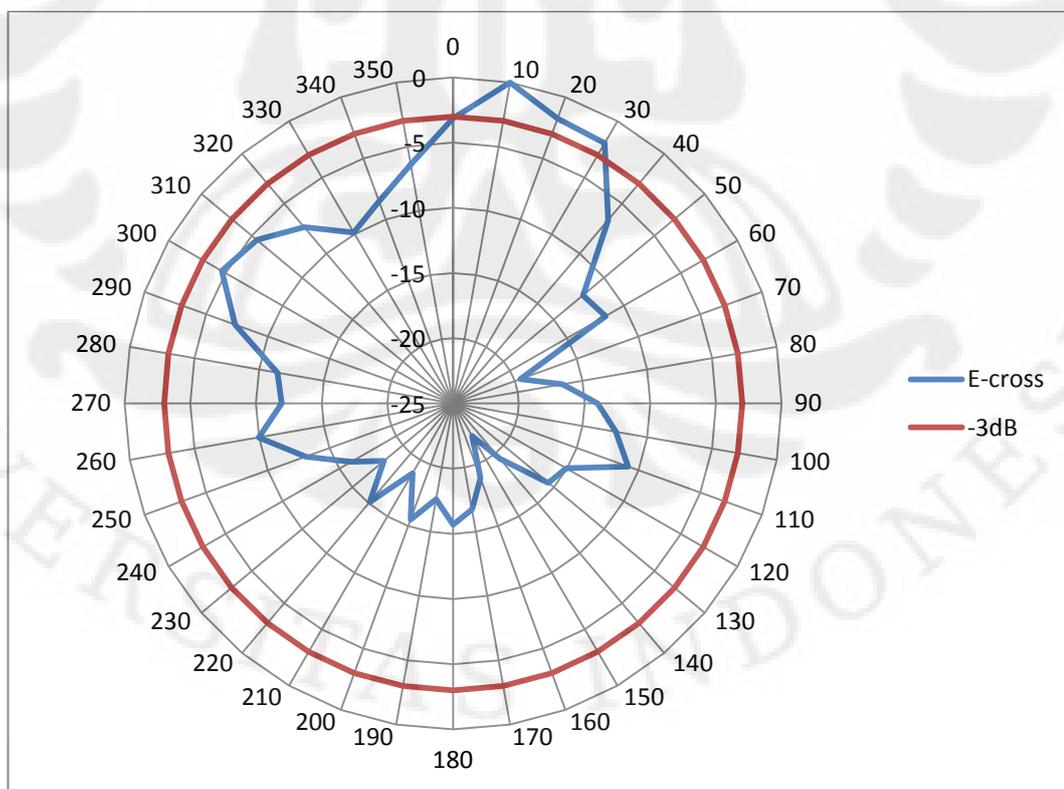
menggunakan kabel penyambung. Kabel penyambung yang digunakan di sini juga harus memiliki impedansi karakteristik 50 ohm, sehingga tidak terjadi refleksi tegangan pada kabel penyambung ini. Antena pemancar dan penerima dipisahkan pada jarak far-field antena, yaitu jarak yang cukup memenuhi syarat medan jauh antena, seperti dijelaskan pada sub-sub-bab 3.7.2.

Pengukuran pola radiasi dilakukan pada frekuensi kerja antena (yaitu frekuensi pada saat nilai *return loss* minimum). Antena penerima diputar dari posisi sudut $0^{\circ} - 360^{\circ}$ dengan interval 10° . Pengukuran dilakukan sebanyak 2 kali, yaitu untuk medan H dan medan E. Parameter yang diukur adalah S12 dan hasil pengukuran *port* ganda ini adalah grafik pola radiasi yang dibuat menggunakan perangkat lunak *Microsoft Excel 2007* berdasarkan data yang didapat dari pengukuran.

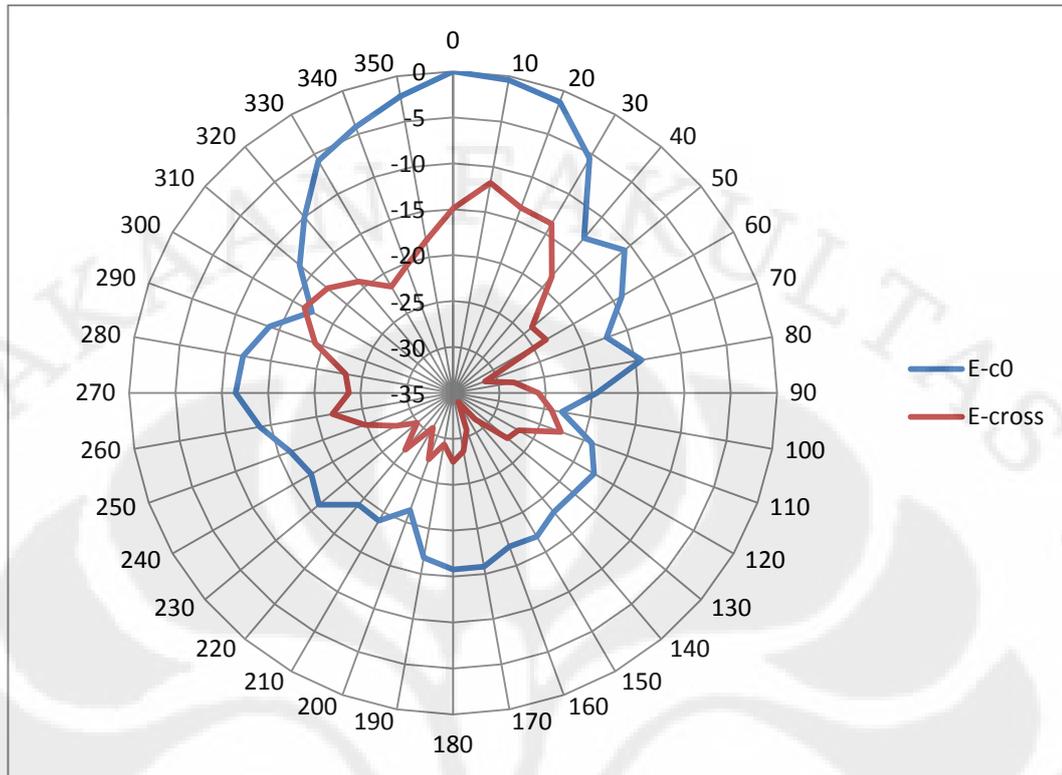
Pengukuran dilakukan pada jarak lebih dari nilai r_{\min} setiap medan seperti yang telah dijelaskan pada sub 3.7.2. Dari persamaan 3.6 didapat nilai r_{\min} untuk medan E sebesar 357,33 cm dan untuk medan H sebesar 58,09 cm. Untuk medan E pengukuran dilakukan pada jarak kurang dari r_{\min} , yaitu sebesar 280 cm. Hal ini terpaksa dilakukan karena ruangan pengukuran (*anechoic chamber*) hanya berukuran $300 \times 300 \text{ cm}^2$ sehingga pengukuran terpaksa dilakukan pada jarak tersebut. Sedangkan untuk pengukuran medan E dapat dilakukan pada jarak lebih dari r_{\min} sebesar 60 cm. Hasil dari pengukuran dapat dilihat pada Gambar 4.4 hingga 4.10 berikut.



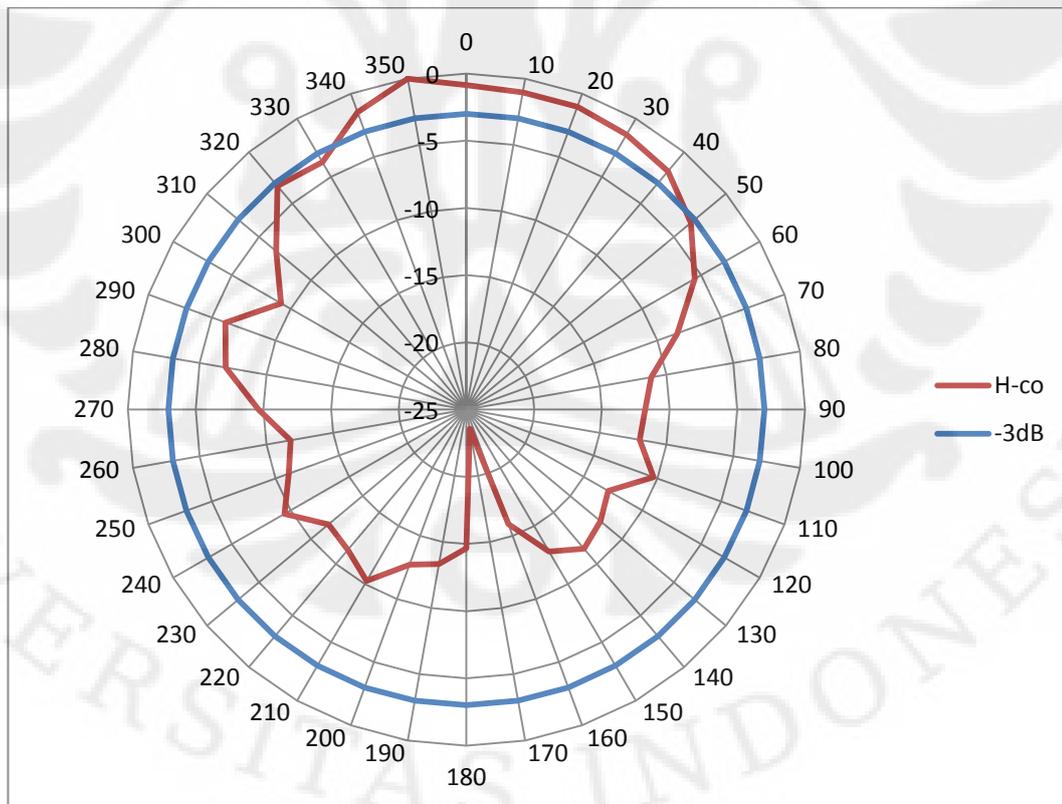
Gambar 4.4. Hasil pengukuran pola radiasi E-co



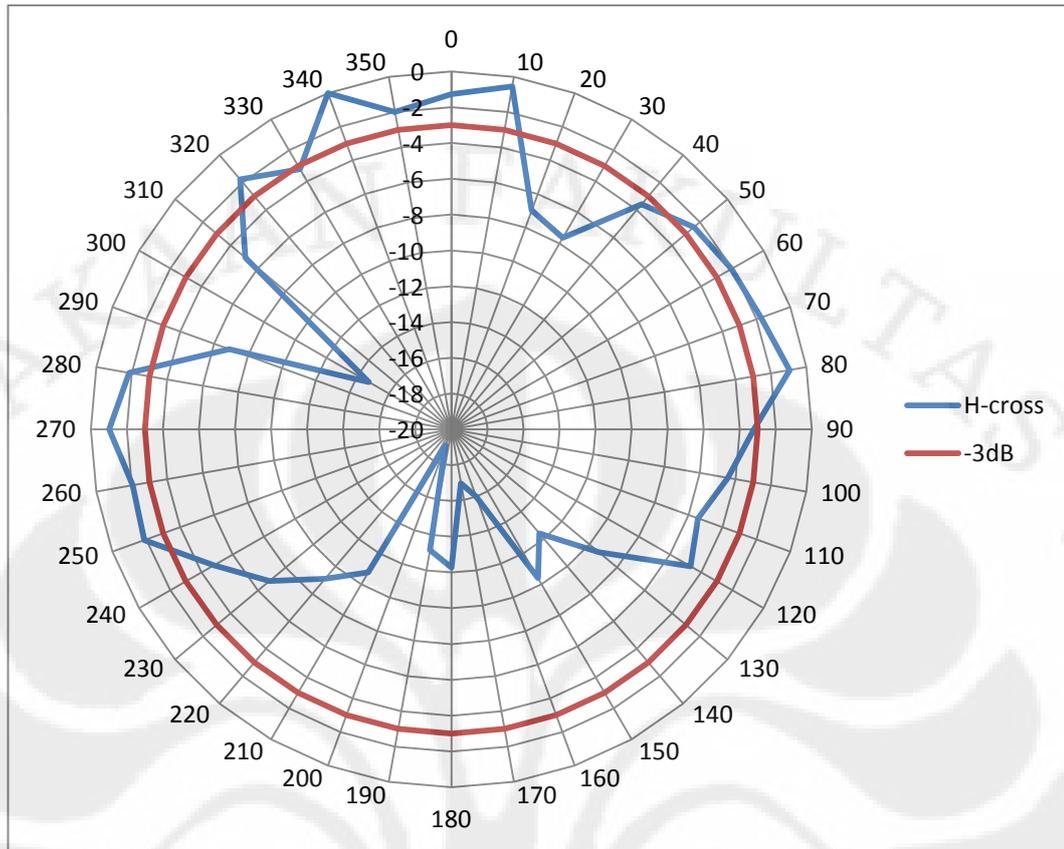
Gambar 4.5. Hasil pengukuran pola radiasi E-cross



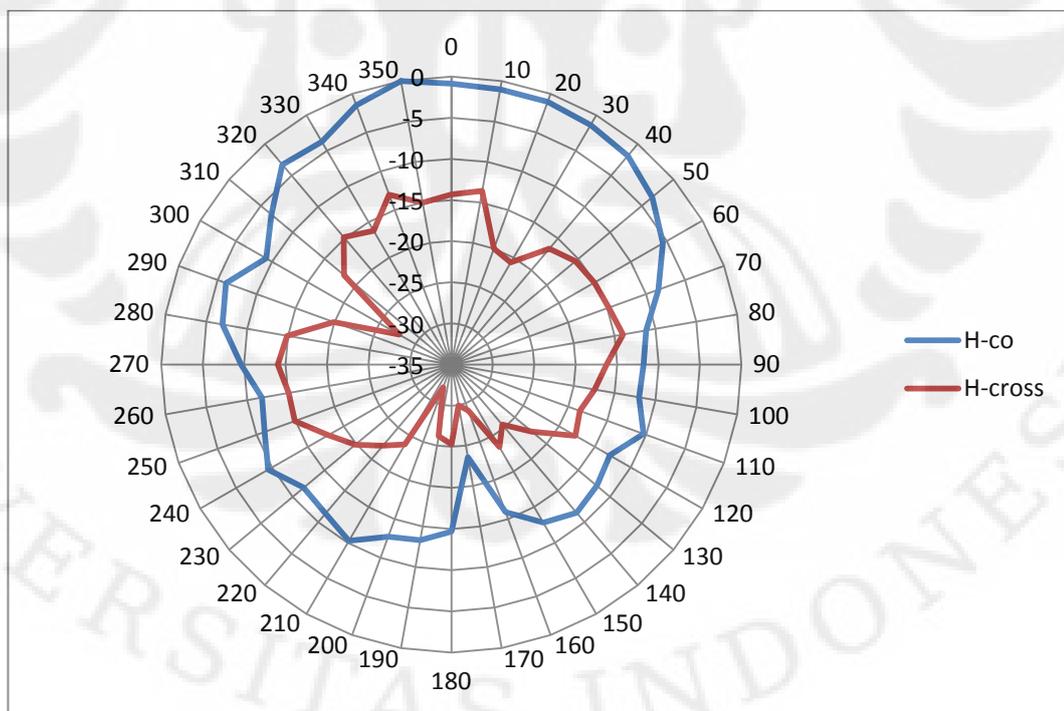
Gambar 4.6. Perbandingan hasil pengukuran pola radiasi E-co dengan E-cross



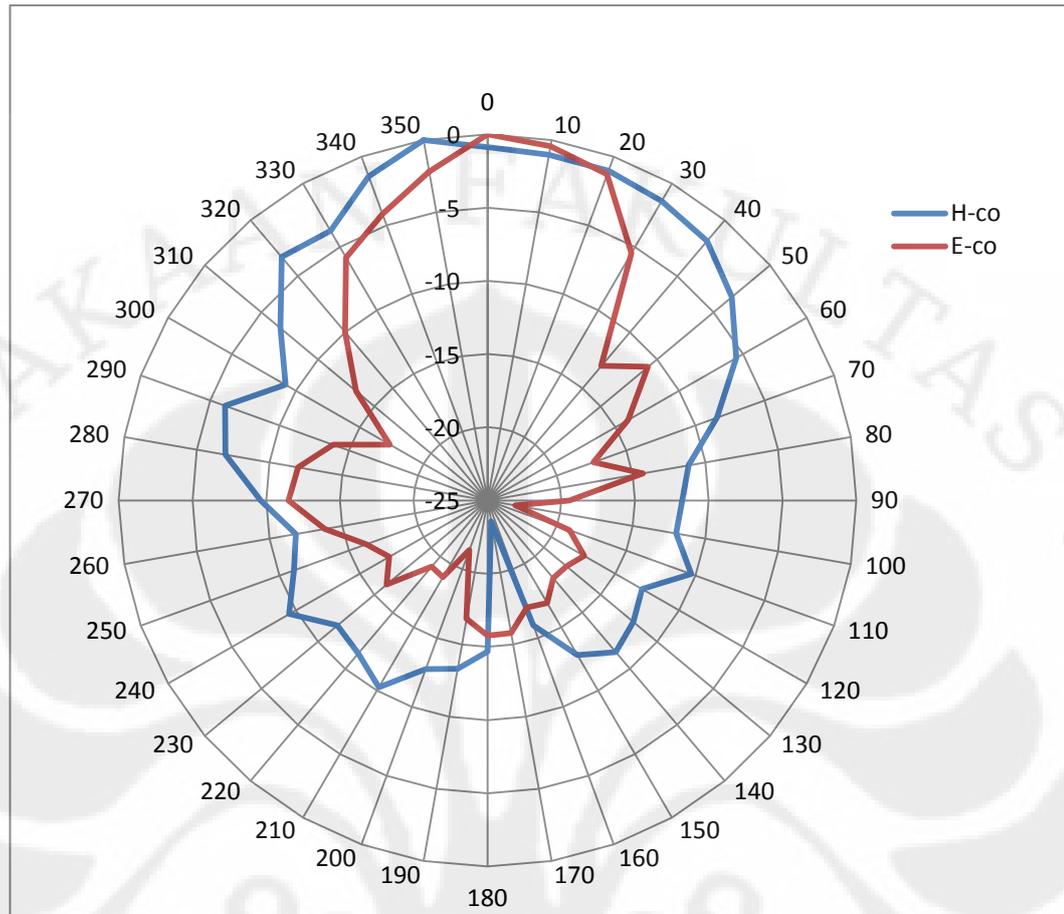
Gambar 4.7. Hasil pengukuran pola radiasi H-co



Gambar 4.8. Hasil pengukuran pola radiasi H-cross



Gambar 4.9. Perbandingan hasil pengukuran pola radiasi H-co dan H-cross



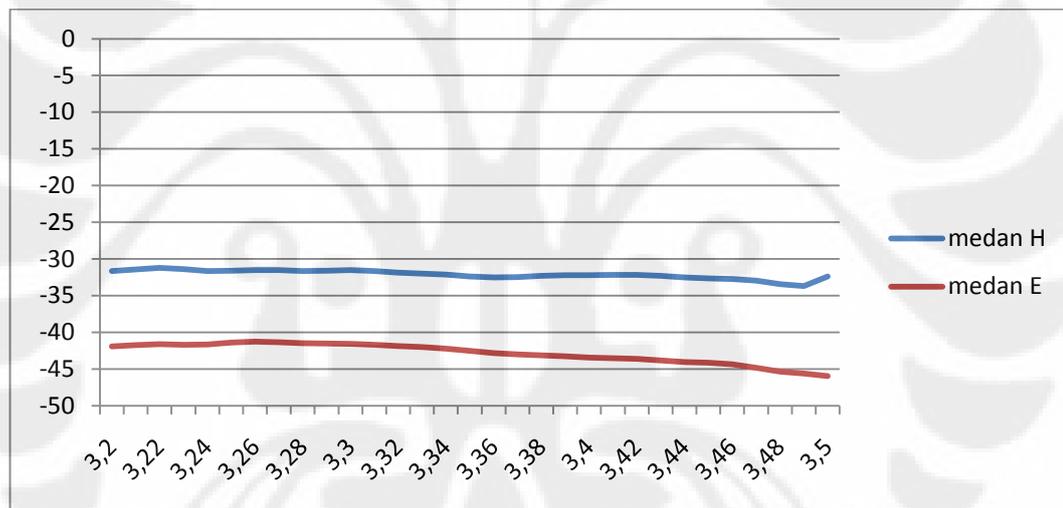
Gambar 4.10. Perbandingan hasil pengukuran pola radiasi E-co dan H-co

Dari Gambar 4.4 hingga 4.6 terlihat bentuk pola radiasi dari medan E-co dan medan E-cross. Dapat dilihat bentuk pola radiasi pada medan E-co dan E-cross bentuknya agak berbeda dengan hasil simulasi. Pada medan E-co nilai HPBW-nya sekitar 35° , sedangkan untuk E-cross nilai HPBW-nya sebesar 30° . Nilai HPBW didapat dengan melihat rentang sudut dari antenna pada nilai ≥ 3 dB dari nilai maksimumnya setelah dinormalisasi. Perbedaan bentuk dan nilai HPBW hasil pengukuran dibandingkan hasil simulasi mungkin disebabkan karena pengukuran dilakukan pada jarak kurang dari jarak minimum pengukuran (r_{\min}) sebesar 357,33 mm, sehingga pengukuran berada pada area *near-field*.

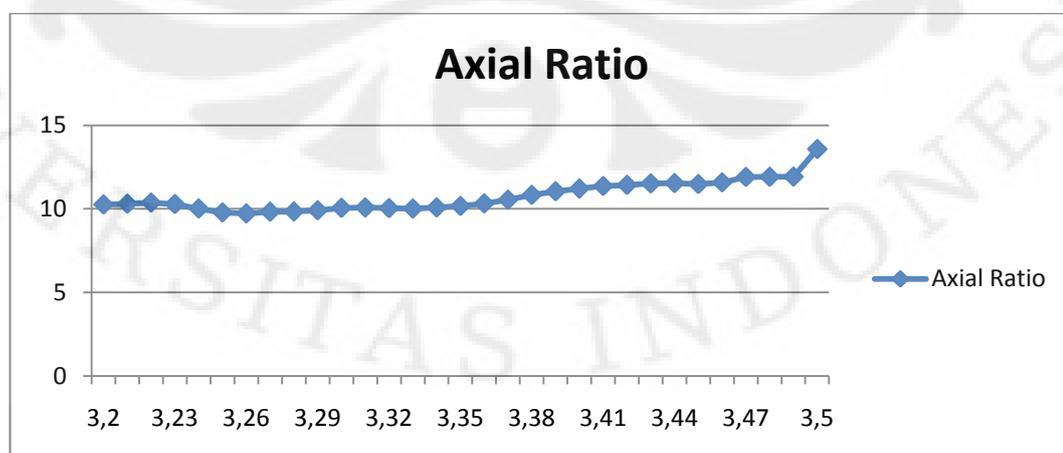
Kemudian pada Gambar 4.7 hingga 4.9 dapat dilihat bentuk pola radiasi dari medan H-co dan medan H-cross dari antenna. Medan H-co terlihat hampir menyerupai bentuk pola radiasi pada hasil simulasi. Sedangkan untuk medan H-cross bentuknya jauh berbeda dengan hasil simulasi. Pengukuran medan H dilakukan pada jarak lebih dari jarak minimal pengukuran (r_{\min}) yaitu sebesar 60

cm, sehingga hasilnya lebih menyerupai hasil simulasi dibandingkan hasil dari medan E. Bentuk pola radiasi dari antenna pada medan E dan medan H dapat dilihat pada Gambar 4.10 dimana hasilnya tidak terlalu jauh dengan bentuk pola radiasi pada simulasi.

Parameter lain yang dapat dihitung pada pengukuran *port* ganda adalah polarisasi dari antenna. Polarisasi dari antenna dapat diketahui dengan melihat nilai *Axial Ratio* dari antenna. *Axial Ratio* merupakan selisih nilai log magnitude dari medan E dan medan H dari antenna. Pengukuran dilakukan dengan melihat nilai log magnitude medan E dan medan H pada sudut yang tetap namun frekuensi kerjanya diubah-ubah. Dari hasil pengukuran didapatkan nilai medan E dan H dan juga nilai *Axial Ratio* dari antenna pada Gambar 4.11 dan 4.12 berikut :



Gambar 4.11 Perbandingan Log magnitude medan E dan H



Gambar 4.12 Grafik *Axial Ratio* antenna

Dari gambar 4.12 di atas dapat dilihat polarisasi dari antenna yang dirancang bangun. Polarisasi didapat dengan membandingkan nilai medan E dan medan H sehingga didapat nilai *Axial Ratio* antenna pada Gambar 4.12. Polarisasi dapat diketahui dengan melihat nilai *Axial Ratio* antenna pada beberapa frekuensi, kemudian jika ada bagian dari kedua medan yang sejajar dengan nilai ≤ 3 dB maka antenna tersebut memiliki polarisasi melingkar. Sedangkan jika tidak ada yang sejajar dengan perbedaan nilai ≤ 3 dB maka antenna tersebut memiliki polarisasi vertikal. Dari Gambar 4.12 dapat dilihat antenna yang dirancang bangun memiliki polarisasi vertikal dengan perbedaan nilai maksimum kedua medan sebesar 13,568 dB pada frekuensi 3,5 GHz.

Dari hasil pengukuran *port* ganda dapat diketahui juga nilai XPD atau perbedaan nilai antar medan co dan medan cross dari grafik pada Gambar 4.6 dan 4.9. Dari hasil perhitungan didapatkan nilai XPD untuk medan E maksimum sebesar 16,965 dB sedangkan untuk medan H nilai maksimum sebesar 53,021 dB. Tujuan yang ingin dicapai sudah terpenuhi pada medan H, namun pada medan E belum mencapai tujuan karena nilai XPD-nya kurang dari 20 dB. Hal ini mungkin karena pengukuran medan E tidak dilakukan pada jarak r_{\min} antenna seperti telah dijelaskan sebelumnya.

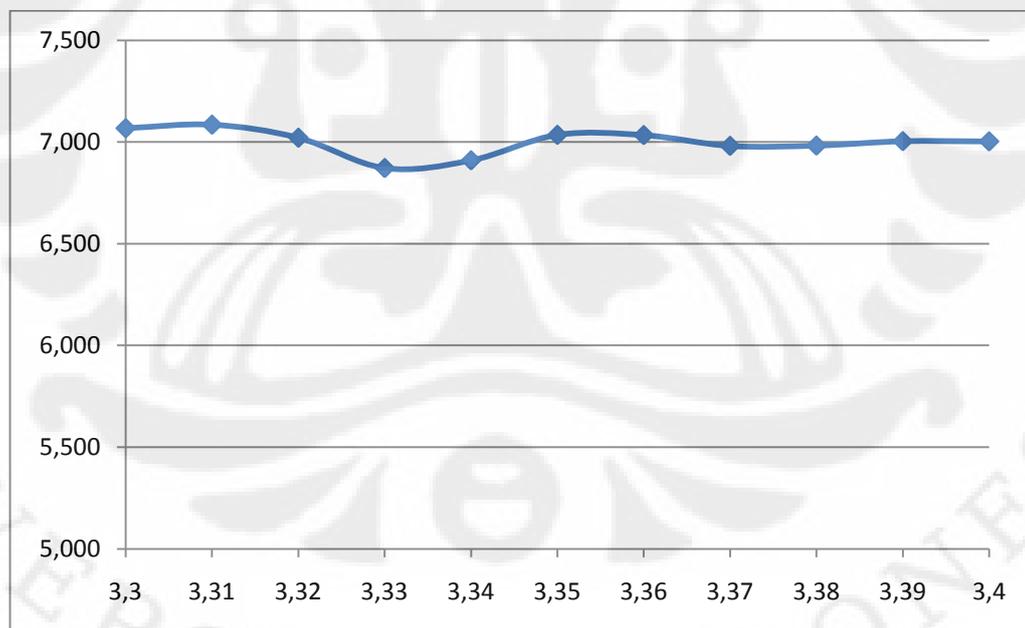
4.1.3. Pengukuran Gain

Pengukuran gain menggunakan network analyzer dan power meter. Pengukuran dilakukan pada rentang frekuensi 3.3 – 3.5 GHz karena pada pengukuran port tunggal didapat frekuensi kerja antenna bergeser hingga sekitar 3.5 GHz dari frekuensi yang seharusnya. Power meter digunakan untuk mengukur daya pengirim dan penerima. Pengukuran gain dilakukan pada rentang frekuensi GHz. Hasil pengukuran diperlihatkan pada tabel 4.1 dan digambarkan dalam bentuk grafik pada gambar 4.13.

Tabel 4.2 *Gain* Antena Mikrostrip *Patch* Segitiga *Linear Array* 4 Elemen

Frekuensi (GHz)	Gain (dBd)
3,3	7,068
3,31	7,085
3,32	7,021
3,33	6,871
3,34	6,909
3,35	7,035
3,36	7,034
3,37	6,981
3,38	6,982
3,39	7,004
3,4	7,003

Dari Tabel 4.1 di atas dapat dilihat Gain dari antenna berkisar antara 6,871 hingga 7,068 dBd atau dalam dB nilai Gainnya ditambah 2 dB. Gain terbesar antenna terdapat pada frekuensi kerja 3,31 GHz sebesar 7,085 dBd, dan terendah pada frekuensi 3,33 GHz sebesar 6,871 dBd. Nilai Gain tersebut dapat diplot dalam grafik Gain terhadap frekuensi seperti pada Gambar 4.13 berikut :



Gambar 4.13. Grafik Gain terhadap frekuensi

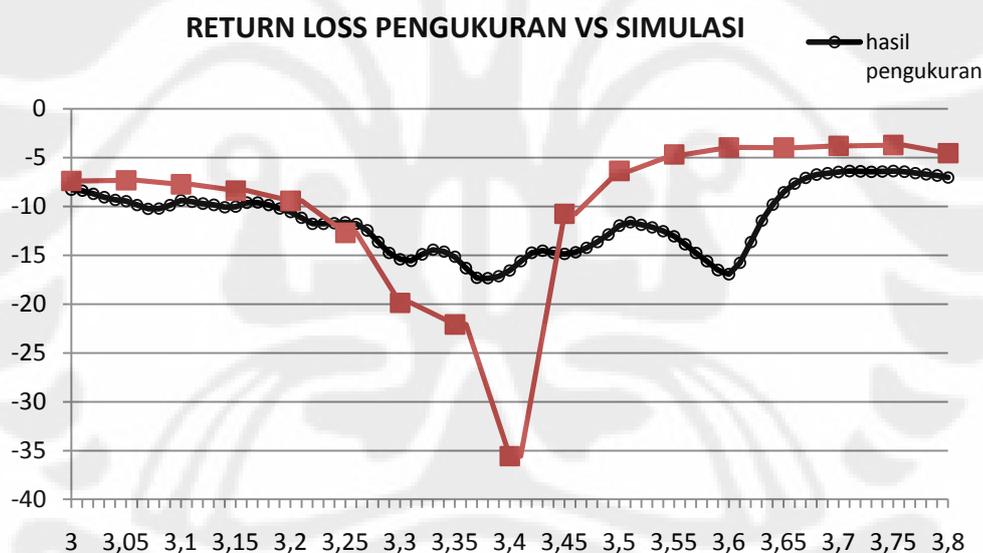
Dari hasil pengukuran nilai Gain pada frekuensi 3,35 GHz sebesar 7,035 dBd atau sekitar 9,085 dBi. Hasil ini belum mencapai spesifikasi Gain yang kita inginkan. Dari Gambar 4.13. juga dapat diketahui bahwa nilai Gain pada rentang

3,3 GHz hingga 3,4 GHz nilai *Axial Ratio* nya cenderung sama untuk setiap frekuensi yaitu sekitar 7 dBd. Hal ini karena pada rentang frekuensi tersebut antenna masih memiliki $VSWR \leq 1,5$, dan nilai *Return Loss*-nya cenderung sama sehingga nilai Gain tiap frekuensi tidak terlalu berbeda pada rentang 3,3 hingga 3,4 GHz.

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 *port* tunggal dan *port* ganda) serta analisis gain.

4.2.1. Analisa Port Tunggal



Gambar 4.14. Perbandingan nilai *Return Loss* hasil pengukuran dengan hasil simulasi

Dari Gambar 4.14 perbandingan hasil pengukuran *single port* dengan hasil simulasi di atas dapat dilihat bahwa frekuensi kerja antenna hasil pengukuran tidak bergeser, namun kita lihat ada frekuensi kerja baru pada rentang 3,55 – 3,6 GHz untk nilai $VSWR \leq 1,5$ dB. Sedang untuk nilai $VSWR \leq 1,9$ dB *bandwidth* yang dihasilkan pada simulasi sebesar 220 MHz pada rentang 3,21 GHz hingga 3,45 GHz, sedangkan pada simulasi *bandwidth* yang didapat bertambah hingga

440 MHz dengan rentang 3,19 GHz hingga 3,63 GHz. Dari Gambar 4.4 juga dapat dilihat bahwa nilai *Return Loss* dan *VSWR* minimumnya berubah dari 3,4 GHz pada simulasi menjadi 3,38 GHz pada hasil pengukuran. Selain itu nilai *Return Loss* antenna secara keseluruhan berkurang dibandingkan hasil simulasi, terlihat pada nilai minimum *Return Loss* hasil pengukuran hanya sebesar -17,34 dB sedangkan pada simulasi mencapai -35,5661 dB. Dari pergeseran frekuensi nilai *Return Loss* minimum dapat dihitung kesalahan (galat) relatifnya sebagai berikut.

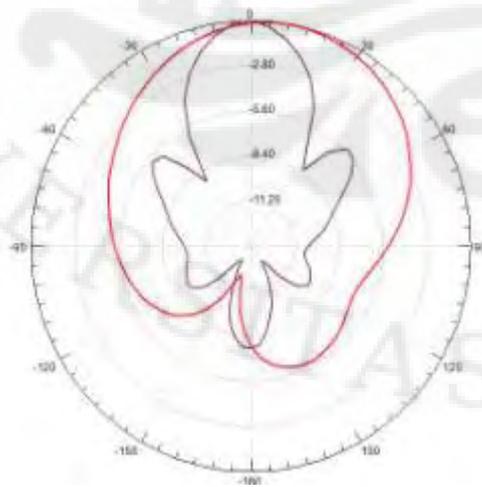
$$\text{Error} = \frac{|f_{\text{percobaan}} - f_{\text{simulasi}}|}{f_{\text{simulasi}}} \times 100 \%$$

$$\text{Error} = \frac{|3,38 - 3,4|}{3,4} \times 100 \%$$

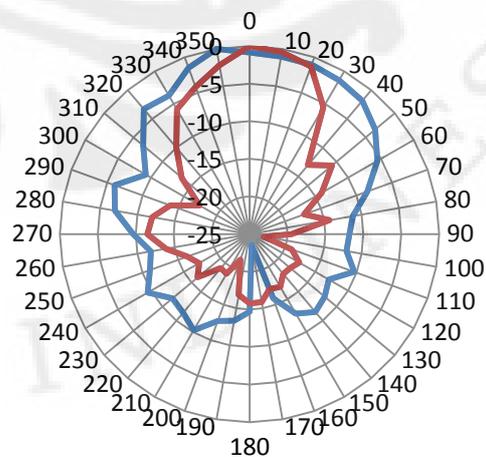
$$\text{Error} = 0,5 \%$$

Dari hasil perhitungan kesalahan di atas didapat nilai kesalahan sebesar 0,5 %. Kesalahan yang terjadi cukup kecil, namun secara keseluruhan nilai *Return Loss* nya berkurang. Hal ini mungkin dipengaruhi jarak antar substrat pada pencatutan *electromagnetic coupling (emc)* yang digunakan, sehingga hasil yang didapat sedikit berbeda dari hasil pada simulasi. Namun secara keseluruhan antenna masih dapat diterima karena pada $\text{VSWR} \leq 1,5$ rentang frekuensinya tidak terlalu berubah dan rentang frekuensi WiMAX nilai *VSWR*-ya masih di bawah 1,5.

4.2.2. Analisa Port Ganda



Pola radiasi hasil simulasi



Pola radiasi hasil pengukuran

Gambar 4.15. Perbandingan pola radiasi pengukuran dengan hasil simulasi

Kemudian pada pengukuran port ganda kita lihat pada Gambar 4.15 hasil pengukuran untuk pola radiasi pada medan E berbeda dengan hasil simulasi, sedangkan pada medan H hasilnya menyerupai hasil dari simulasi. Ini mungkin disebabkan pengukuran pola radiasi untuk medan E tidak dilakukan pada jarak lebih dari far-field medan E antena sehingga hasilnya tidak sesuai dengan simulasi. Sedangkan untuk berkas pancaran yang didapat kurang dari hasil simulasi dimana azimuth plane-nya sekitar 35° untuk medan E dan 30° untuk medan H. Nilai medan H juga terlihat lebih besar dari nilai medan E, dimana seharusnya nilai medan E yang lebih besar. Ini mungkin disebabkan oleh pengaruh jarak pengukuran yang telah disebutkan sebelumnya. Selain itu pada saat perancangan saluran pencatu terdapat ketidaksesuaian dengan perhitungan dimana panjang saluran transmisi harus disesuaikan akibat dibelokkan dan agar jarak tiap elemen sama. Hal ini mengakibatkan distribusi arus ke elemen menjadi berbeda dengan hasil perhitungan pada proses perancangan saluran pencatu *Woodward-Lawson*.

Kemudian untuk polarisasi didapatkan bahwa polarisasi antena merupakan polarisasi linier sesuai spesifikasi yang dituju, namun belum dapat diketahui pola radiasi linier tersebut vertikal atau horizontal.

Untuk nilai XPD dari antena didapat nilai maksimum 16,964 dB untuk medan E dan 53,021 dB untuk medan H. Nilai XPD minimal yang diharapkan adalah sebesar 20 dB, sehingga untuk medan E belum tercapai nilai tersebut. Hal ini mungkin disebabkan antena diukur pada jarak kurang dari jarak minimum *far-field* antena sehingga hasilnya belum mencapai yang diinginkan yaitu minimal 20 dB.

4.2.3. Analisa Hasil Pengukuran Gain

Dari hasil pengukuran antena didapatkan nilai Gain dari antena yang dirancang bangun sebesar 9,085 dBi. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan 3 antena dengan memanfaatkan *friis* formula yang telah dijelaskan pada subbab 3.7.3. Antena lain yang digunakan adalah antena *dipole* dengan gain dari hasil

pengukuran sekitar 4,2 dBd dan sebuah antena 8 elemen *array* dengan *patch* dan pencatuan yang sama dengan antena yang dirancang namun tanpa pembentukan pola radiasi dengan Gain sekitar 6,7 dBd. Nilai Gain hasil pengukuran belum mencapai nilai yang kita inginkan minimal sebesar 17 dBi. Hal ini mungkin disebabkan antena diukur pada jarak kurang dari *far-field* atau pada jarak *near-field* sehingga Gainnya kurang begitu baik. Selain itu adanya *loss* akibat kabel, coax, dan benda lain di sekitar *anechoic chamber* turut menurunkan Gain dari antena yang dirancang bangun.

BAB 5

KESIMPULAN

1. Pada hasil perancangan antenna mikrostrip *patch* segiempat elemen tunggal diperoleh antenna yang dengan *bandwidth* yang sangat mencukupi untuk aplikasi pada teknologi WiMAX yaitu >100 MHz.
2. Pada hasil perancangan antenna mikrostrip *patch* segiempat *array* 8 elemen dengan pembentukan pola radiasi diperoleh antenna yang bekerja pada frekuensi kerja dan *bandwidth* yang cukup untuk aplikasi pada teknologi WiMAX. Pada nilai $VSWR \leq 1,9$ rentang frekuensi yang diperoleh adalah 3,19 – 3,63 GHz. Sedangkan pada nilai $VSWR \leq 1,5$ rentang frekuensi yang diperoleh adalah 3,29 GHz – 3,47 GHz.
3. Pada hasil perancangan antenna mikrostrip *patch* segiempat *array* 8 elemen dengan metode woodward-lawson didapatkan pola radiasi *unidirectional* dengan HPBW sebesar 35° .
4. Antenna mikrostrip slot array 8 elemen dengan pencatutan *electromagnetic coupling* dan pembentukan pola radiasi *Woodward-Lawson* yang dibuat memiliki nilai *Axial Ratio* bervariasi antara 9,719 – 13,568 pada range frekuensi 3,2 – 3,5 GHz. Nilai *Axial Ratio* minimum (9,719) diperoleh pada frekuensi 3,26 GHz sedangkan Nilai *Axial Ratio* maksimum (13,568) diperoleh pada frekuensi 3,5 GHz. Dengan demikian, antenna ini memiliki jenis polarisasi linear.
5. Gain dari antenna yang dirancang bangun sebesar 9,085 dBi, dengan nilai Gain yang tidak terlalu berbeda pada tiap frekuensi.

DAFTAR ACUAN

- [1] Constantine A. Balanis, *Antena Theory : Analysis and Design*, (USA: John Willey and Sons,1997).
- [2] Mobile Communication Laboratory, WiMAX, <http://mobilecommlab.or.id/>.
- [3] Wikipedia, <http://en.wikipedia.org>, diakses pada 23 November 2009
- [4] 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.
- [5] Jen-Yea Jan, Chia-Hung Wang, *Printed CPW-Fed Wideband Rhombus Slot Antena for WiMAX applications*, ISAP (Oktober 2008), hal 328-331.
- [6] A.A Sulaiman, N. I. Ali, dkk, *Design of a Broadband Smart Antenna*, ISAP (Oktober 2008), hal 133-136.
- [7] Takashi Yamano, Jun Itoh, Yongho Kim dkk, *Fundamental Characteristics of Planar Folded Dipole Antenna With a Feed Line*, ISAP (Oktober 2008), hal 525-528.
- [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] David M. Pozar, *Microwave Engineering*, John Willey and Sons,1997.
- [11] Mirzah Jihan, “Rancang Bangun Antena Mikrostrip Susun Linier Untuk

Pembentukan Berkas Pancaran Pola Sectoral Dengan Pencatuan Saluran Mikrostrip”, Skripsi S1 pada Universitas Indonesia, 2000.

[12] Warren L Stutzman and Gary A Thiele, Keith C, *Antenna Theory and Design*, John Willey and Sons: NY, 1982. Second Edition, 1997.

[13] Intalasi BTS (1), <http://my.opera.com/kumanz.../blog/instalasi-bts-1>, diakses pada 23 November 2009

[14] K matsumoto, E.T. Rahardjo and M.Haneishi “*Beam Shaping using Microstrip Antenna*”, *Proc of JINA 1994* , Nice,France Nov 94

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).

Stutzman, Warren L and Gary A Thiele, Keith C, *Antenna Theory and Design*, John Willey and Sons: NY, 1982. Second Edition, 1997.

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



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

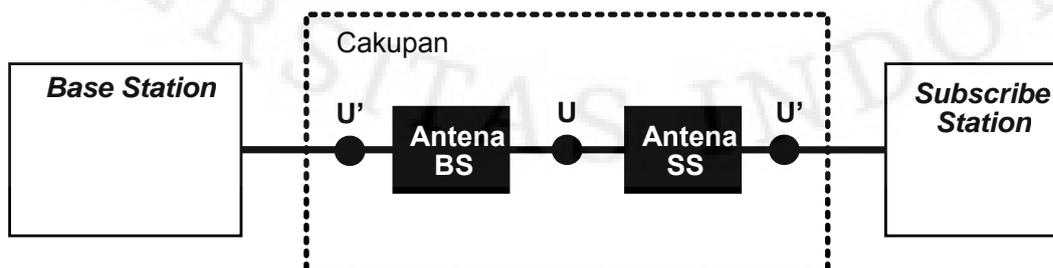
- a. BS : *Base Station*
- b. BWA : *Broadband Wireless Access*
- c. CPE : *Customer Premises Equipment*
- d. dB : *Decibell*
- e. dBi : *Decibell Isotropic*
- f. dBm : *Decibell Milliwatt*
- g. DC : *Direct Current*
- h. EIRP : *Effective Isotropically Radiated Power*
- i. Mbps : *Mega byte per second*
- 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 standardisasi ini beberapa istilah didefinisikan sebagai berikut :

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

5 Model Referensi



6 Entitas Model

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

BS

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

SS

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

ANTENA BS DAN ANTENA SS

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

7 Titik Referensi

U

- *Radio Interface BWA.*

U'

- Titik referensi antara BS atau SS dengan antena.

BAB II KARAKTERISTIK UMUM DAN OPERASIONAL

1. Sistem Antena BWA 23 mempunyai kemampuan untuk memungkinkan terselenggaranya komunikasi nirkabel pita lebar yang handal, baik untuk daerah urban, sub-urban maupun rural.
2. Antena BWA 23 diklasifikasikan berdasarkan pola radiasi menjadi,
 - *omni*
 - *directional*
 - *sectoral*
3. Antena BWA 23 diklasifikasikan berdasarkan aplikasi menjadi,
 - *Point-to-point* (PTP)
 - *Point-to-multipoint* (PMP)
4. Antena BWA 23 diklasifikasikan berdasarkan jenis perangkat BWA 23
 - Antena BS
 - Antena SS

BAB III PERSYARATAN TEKNIS ALAT DAN PERANGKAT TELEKOMUNIKASI

1 Base Station

Parameter Elektrikal	Nilai
Frequency Range	2.300 – 2.390 MHz
Gain	Sectoral : Minimum 15 dBi Omni : 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
Gain	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>	DC grounded
Kelembaban	<i>Outdoor</i> : maksimum 100 % <i>Indoor</i> : maksimum 95 %
Temperatur	<i>Outdoor</i> : maksimum 65 C <i>Indoor</i> : maksimum 40 C

3 Dokumentasi

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

BAB IV PERSYARATAN PENGUJIAN

1 Cara Pengambilan Contoh Uji

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

2 Cara Pengujian

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

3 Syarat Keselamatan dan Kesehatan

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

4 Syarat Kompatibilitas Elektromagnetik

Mengacu pada Standar CISPR-22 dan CISPR-24.

5 Syarat Penandaan

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

Ditetapkan di : JAKARTA
Pada tanggal : _____

DIREKTUR JENDERAL POS DAN TELEKOMUNIKASI

BASUKI YUSUF ISKANDAR

LAMPIRAN-B

TABEL TRANSFORMASI IMPEDANSI ANTAR ELEMEN

Transformasi elemen 4 ke 3

hambatan	hambatan	saluran transformator
----------	----------	-----------------------

awal	akhir	nama	impedansi
		a	

50	98	z4a	70
98	123,469387 8	z4b	110
123,469387 8	39,6859504 1	z4c	70
39,6859504 1	304,893794 3	z4d	110
304,893794 3	21,4463685 4	z4e	80,86324676
21,4463685 4	564,198082 2	z4f	110

Transformasi elemen 3 ke 2

hambatan	hambatan	saluran transformator
----------	----------	-----------------------

awal	akhir	nama	impedansi
110	-	Z4f	110
55	-	z3a	55
55	45,9296519	z3b	50,260629
45,92965	106,684893	z3c	70
106,6849	113,41812	z3d	110
113,4181	93,31114447	z3e	102,87456
93,31114	52,5124842	z3f	70
52,51248	230,4213976	z3g	110

Transformasi elemen 2 ke 1

hambatan awal	hambatan akhir	saluran transformator	
		Nama	impedansi
110	-	Z3g	110
55	-	z2a	55
55	41,0848458	z2b	47,535949 75
41,084845 8	119,265386 2	z2c	70
119,26538 62	101,454415 1	z2d	110
101,45441 51	48,2975530 7	z2e	70
48,297553 07	187,738771 8	z2f	95,222493 64
187,73877 18	26,1000961 8	z2g	70
26,100096 18	463,599824 2	z2h	110

Transformasi elemen 1 ke -1

hambatan awal	hambatan akhir	saluran transformator	
		nama	impedansi
110	-	z2h	110
55	-	z1a	55
55	45,1323970 9	z1b	49,822503
45,1324	100	z1c	67,18065
45,1324	100	z-1c	67,18065
45,1324	55	z-1b	49,822503
55	-	z-1a	55
55	-	z-2h	110



LAMPIRAN-C

HASIL PENGUKURAN

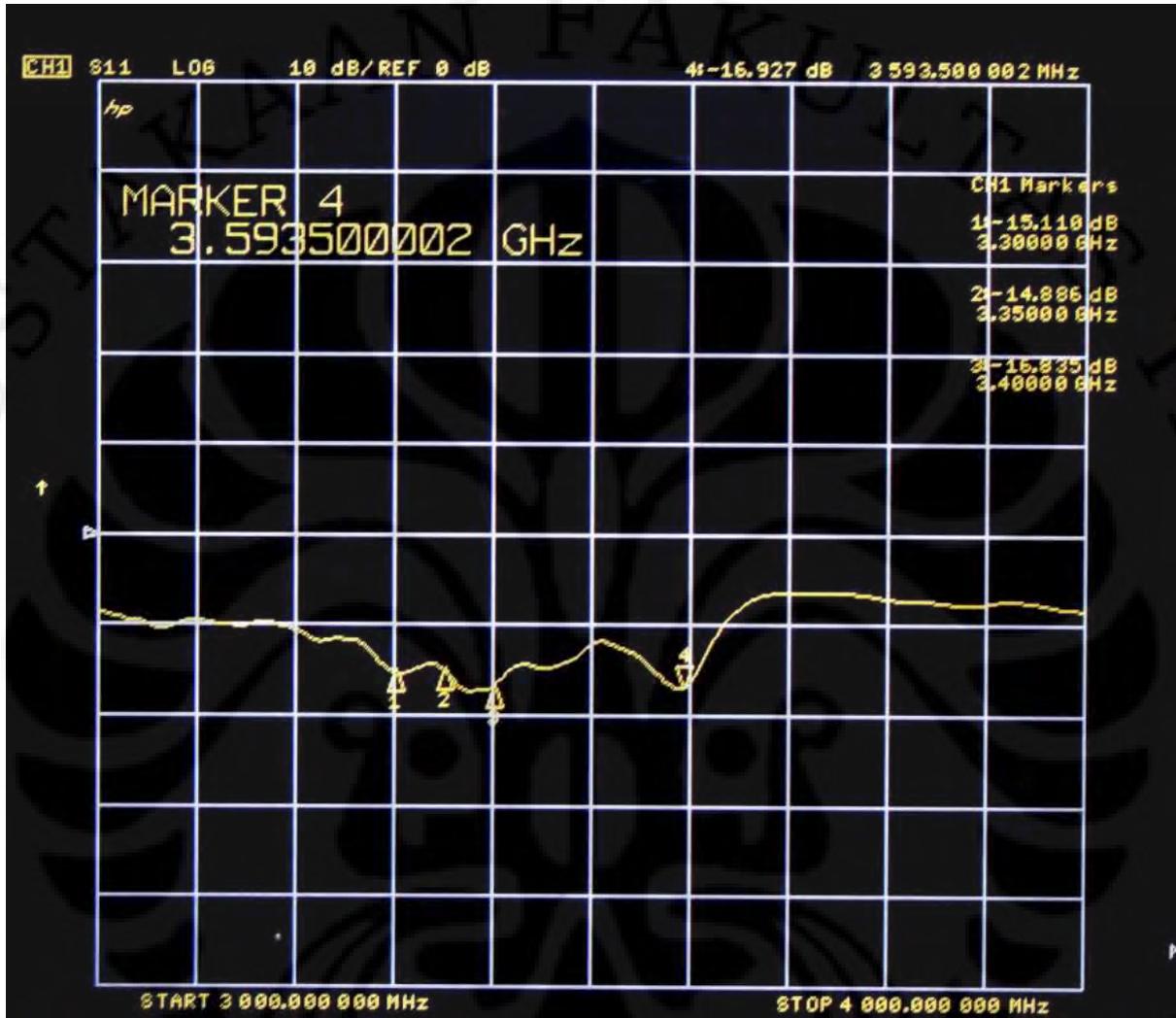
1. *Return Loss* dan VSWR

Frekuensi	Return Loss	VSWR
3	-8,28	2,25456398
3,01	-8,38	2,23136139
3,02	-8,7	2,16096737
3,03	-9,05	2,09012402
3,04	-9,32	2,03941872
3,05	-9,45	2,01613276
3,06	-9,85	1,94870544
3,07	-10,24	1,88854414
3,08	-10,22	1,89150549
3,09	-9,87	1,94549196
3,1	-9,38	2,0285835
3,11	-9,52	2,0038827
3,12	-9,699	1,97343997
3,13	-9,83	1,95193337
3,14	-10,08	1,91260117
3,15	-10,022	1,9215327
3,16	-9,61	1,98842037
3,17	-9,59	1,99182888
3,18	-9,85	1,94870544
3,19	-10,204	1,89388387
3,2	-10,566	1,84203301
3,21	-11,16	1,76508207
3,22	-11,77	1,69515952
3,23	-11,78	1,69408206
3,24	-11,71	1,70166867
3,25	-11,62	1,71157709
3,26	-11,78	1,69408206
3,27	-12,454	1,62603859
3,28	-13,644	1,52485058
3,29	-14,751	1,44797904
3,3	-15,401	1,40907203
3,31	-15,56	1,40016721
3,32	-14,901	1,43862702
3,33	-14,432	1,46866452
3,34	-14,621	1,45627541
3,35	-15,15	1,4236059
3,36	-16,305	1,36133262
3,37	-17,312	1,31553821

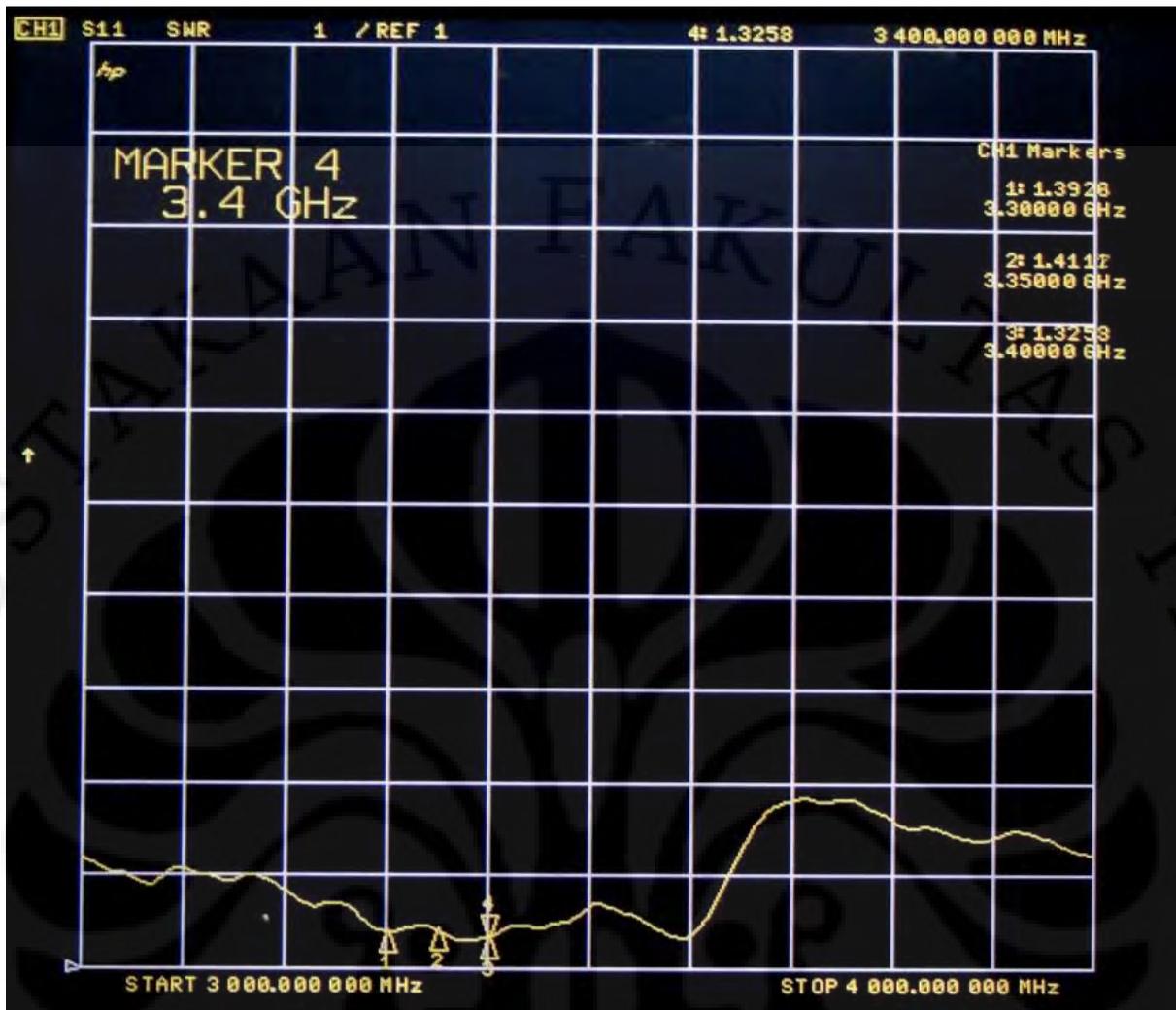
3,38	-17,34	1,31436304
3,39	-17,15	1,3224362
3,4	-16,55	1,34952673
3,41	-15,61	1,39741386
3,42	-14,74	1,44867408
3,43	-14,523	1,46265017
3,44	-14,744	1,44842119
3,45	-14,859	1,44122214
3,46	-14,689	1,45191328
3,47	-14,241	1,48159354
3,48	-13,623	1,52645548
3,49	-12,876	1,58762688
3,5	-11,966	1,67441828
3,51	-11,625	1,71102201
3,52	-11,874	1,68405582
3,53	-12,14	1,65665079
3,54	-12,53	1,61889708
3,55	-13,055	1,57221166
3,56	-13,863	1,50846057
3,57	-14,767	1,44697034
3,58	-15,609	1,39746871
3,59	-16,511	1,35137599
3,6	-16,933	1,33194694
3,61	-15,775	1,38848314
3,62	-13,645	1,5247743
3,63	-11,462	1,72940327
3,64	-9,807	1,95566347
3,65	-8,541	2,19523281
3,66	-7,6543	2,41455096
3,67	-7,077	2,58899712
3,68	-6,728	2,70983786
3,69	-6,598	2,75828834
3,7	-6,466	2,80957453
3,71	-6,365	2,85031985
3,72	-6,404	2,83442733
3,73	-6,445	2,81793643
3,74	-6,412	2,83119228
3,75	-6,373	2,84704328

3,76	-6,437	2,82113693
3,77	-6,575	2,76706951
3,78	-6,7025	2,71918624

3,79	-6,8311	2,67278769
3,8	-7,03	2,60453535



Gambar Hasil Pengukuran *Return Loss*



Gambar Hasil Pengukuran VSWR

2. Pola Radiasi

- E-co

(r = 290 mm)

Sudut		
0	-44,455	0
10	-44,884	-0,429
20	-45,751	-1,296
30	-49,953	-5,498
40	-57,46	-13,005
50	-55,261	-10,806
60	-58,439	-13,984
70	-61,806	-17,351
80	-58,761	-14,306
90	-63,905	-19,45
100	-67,541	-23,086
110	-63,518	-19,063
120	-61,887	-17,432
130	-62,457	-18,002
140	-62,538	-18,083
150	-61,377	-16,922
160	-61,668	-17,213
170	-60,259	-15,804
180	-60,226	-15,771
190	-61,255	-16,8
200	-65,859	-21,404
210	-63,4	-18,945
220	-63,559	-19,104
230	-60,526	-16,071
240	-61,759	-17,304
250	-60,718	-16,263
260	-58,252	-13,797
270	-55,96	-11,505
280	-56,415	-11,96
290	-58,319	-13,864
300	-61,819	-17,364
310	-57,817	-13,362
320	-54,441	-9,986
330	-50,294	-5,839
340	-48,64	-4,185
350	-46,661	-2,206

- E-cross

(r = 290 mm)

Sudut		
0	-59,362	-3,128
10	-56,234	0
20	-57,989	-1,755
30	-58,184	-1,95
40	-62,884	-6,65
50	-68,337	-12,103
60	-67,844	-11,61
70	-75,779	-19,545
80	-72,779	-16,545
90	-70,234	-14
100	-68,657	-12,423
110	-67,05	-10,816
120	-71,299	-15,065
130	-71,772	-15,538
140	-75,706	-19,472
150	-78,341	-22,107
160	-75,148	-18,914
170	-72,976	-16,742
180	-71,94	-15,706
190	-73,785	-17,551
200	-71,746	-15,512
210	-75,06	-18,826
220	-71,371	-15,137
230	-74,375	-18,141
240	-72,295	-16,061
250	-69,299	-13,065
260	-66,221	-9,987
270	-68,174	-11,94
280	-67,655	-11,421
290	-63,579	-7,345
300	-60,901	-4,667
310	-61,742	-5,508
320	-63,602	-7,368
330	-66,103	-9,869
340	-64,744	-8,51
350	-62,633	-6,399

- H-co
(r = 60 mm)

Sudut		
0	-47,55	-10,864
10	-47,718	-11,032
20	-47,709	-11,023
30	-48,064	-11,378
40	-48,548	-11,862
50	-50,055	-13,369
60	-52,215	-15,529
70	-55,124	-18,438
80	-57,833	-21,147
90	-58,494	-21,808
100	-58,691	-22,005
110	-56,992	-20,306
120	-49,594	-12,908
130	-48,775	-12,089
140	-48,17	-11,484
150	-49,481	-12,795
160	-52,616	-15,93
170	-60,24	-23,554
180	-51,369	-14,683
190	-50,011	-13,325
200	-49,418	-12,732
210	-46,955	-10,269
220	-48,053	-11,367
230	-48,406	-11,72
240	-46,171	-9,485
250	-47,714	-11,028
260	-48,495	-11,809
270	-46,329	-9,643
280	-43,641	-6,955
290	-42,751	-6,065
300	-45,88	-9,194
310	-43,35	-6,664
320	-39,971	-3,285
330	-40,424	-3,738
340	-38,145	-1,459
350	-36,686	0

- H-cross
(r = 60 mm)

Sudut		
0	-56,6895	0
10	-57,2815	-0,592
20	-60,918	-4,2285
30	-64,725	-8,0355
40	-65,4535	-8,764
50	-64,7885	-8,099
60	-69,249	-12,5595
70	-66,223	-9,5335
80	-69,2715	-12,582
90	-81,145	-24,4555
100	-88,731	-32,0415
110	-91,115	-34,4255
120	-81,911	-25,2215
130	-79,511	-22,8215
140	-79,737	-23,0475
150	-73,232	-16,5425
160	-73,507	-16,8175
170	-74,251	-17,5615
180	-68,454	-11,7645
190	-70,475	-13,7855
200	-70,112	-13,4225
210	-75,141	-18,4515
220	-78,871	-22,1815
230	-81,247	-24,5575
240	-78,115	-21,4255
250	-73,118	-16,4285
260	-71,751	-15,0615
270	-75,523	-18,8335
280	-96,662	-39,9725
290	-90,542	-33,8525
300	-81,551	-24,8615
310	-76,208	-19,5185
320	-71,492	-14,8025
330	-67,444	-10,7545
340	-64,163	-7,4735
350	-57,002	-0,3125

3. Gain

- Pengukuran 3 antena

KOMBINASI 1-2							
Frekuensi (GHz)	λ (cm)	R (cm)	Daya Pemancar (mW)	Daya penerima (μ W)			G1+G2 (dB)
				1	2	Rata-rata	
3,3	9,091	294	0,756	0,0296	0,0296	0,0578	11,287
3,31	9,063	294	0,756	0,0298	0,0298	0,0552	11,114
3,32	9,036	294	0,759	0,0299	0,0299	0,0528	10,947
3,33	9,009	294	0,739	0,0295	0,0295	0,0519	10,898
3,34	8,982	294	0,739	0,0297	0,0297	0,0524	10,966
3,35	8,955	294	0,739	0,0298	0,0298	0,0543	11,147
3,36	8,929	294	0,739	0,0302	0,0302	0,0572	11,398
3,37	8,902	294	0,739	0,0306	0,0306	0,06	11,632
3,38	8,876	294	0,739	0,0304	0,0304	0,0626	11,842
3,39	8,850	294	0,739	0,0305	0,0305	0,0651	12,038
3,4	8,824	294	0,739	0,0306	0,0306	0,0697	12,360

KOMBINASI 2-3							
Frekuensi (GHz)	λ (cm)	R (cm)	Daya Pemancar (mW)	Daya penerima (μ W)			G2+G3 (dB)
				1	2	Rata-rata	
3,3	9,091	294	0,753	0,0451	0,0574	0,0519	10,820
3,31	9,063	294	0,756	0,0449	0,0447	0,0516	10,821
3,32	9,036	294	0,759	0,0429	0,0451	0,051	10,796
3,33	9,009	294	0,739	0,0439	0,0435	0,0507	10,797
3,34	8,982	294	0,739	0,0467	0,0469	0,0505	10,806
3,35	8,955	294	0,739	0,0452	0,0434	0,0503	10,814
3,36	8,929	294	0,739	0,0479	0,0472	0,0503	10,840
3,37	8,902	294	0,739	0,0455	0,0453	0,0503	10,866
3,38	8,876	294	0,739	0,0457	0,0471	0,0503	10,892
3,39	8,850	294	0,739	0,0469	0,0463	0,0507	10,952
3,4	8,824	294	0,739	0,0469	0,0465	0,051	11,003

KOMBINASI 1-3							
Frekuensi (GHz)	λ (cm)	R (cm)	Daya Pemancar (mW)	Daya penerima (μ W)			G1+G3 (dB)
				1	2	Rata-rata	
3,3	9,091	294	0,753	0,0354	0,0357	0,1	13,668
3,31	9,063	294	0,756	0,0351	0,0356	0,1043	13,877
3,32	9,036	294	0,759	0,0377	0,0372	0,104	13,891
3,33	9,009	294	0,739	0,0316	0,0356	0,0976	13,641
3,34	8,982	294	0,739	0,0341	0,0339	0,0974	13,658
3,35	8,955	294	0,739	0,0338	0,0337	0,0986	13,737
3,36	8,929	294	0,739	0,0344	0,0342	0,093	13,509
3,37	8,902	294	0,739	0,0339	0,0342	0,086	13,195
3,38	8,876	294	0,739	0,0326	0,0325	0,082	13,014
3,39	8,850	294	0,739	0,0323	0,0321	0,0798	12,922
3,4	8,824	294	0,739	0,032	0,0321	0,0745	12,649

Frekuensi (GHz)	G1 (dB)	G2 (dB)	G3 (dB)
3,3	7,068	4,219	6,600
3,31	7,085	4,029	6,792
3,32	7,021	3,926	6,870
3,33	6,871	4,027	6,770
3,34	6,909	4,057	6,749
3,35	7,035	4,112	6,703
3,36	7,034	4,365	6,476
3,37	6,981	4,651	6,215
3,38	6,982	4,860	6,032
3,39	7,004	5,034	5,918
3,4	7,003	5,357	5,646

Ket : antena 1 (G1) = antena yang dirancang
 antena 2 (G2) = antena dipole
 antena 3 (G3) = antena array 8 elemen lain