



UNIVERSITAS INDONESIA

**RANCANG BANGUN ANTENA BIQUAD MIKROSTRIP UNTUK
APLIKASI *WiMAX***

TUGAS AKHIR

**TAUFIK RAHMAD
06 06 04 2935**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM TEKNIK ELEKTRO
DEPOK
DESEMBER, 2008**



UNIVERSITAS INDONESIA

**RANCANG BANGUN ANTENA BIQUAD MIKROSTRIP UNTUK
APLIKASI *WiMAX***

TUGAS AKHIR

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

**TAUFIK RAHMAD
06 06 04 2935**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
KEKHUSUSAN TELEKOMUNIKASI
DEPOK
DESEMBER, 2008**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Tugas Akhir ini adalah hasil karya saya sendiri,
Dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
Telah saya nyatakan dengan benar.**

Nama : Taufik Rahmad
NPM : 0606042935
Tanda Tangan :

Tanggal : 09 Desember 2008

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Taufik Rahmad
NPM : 0606042935
Program Studi : Strata 1 Ekstensi
Judul Tugas Akhir : Rancang Bangun Antena Biquad Mikrostrip
untuk Aplikasi *WiMAX*

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian pernyataan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada program studi strata 1 ekstensi, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

DEWAN PENGUJI

Pembimbing I : Fitri Yuli Zulkifli S.T, M.Sc (.....)

Pembimbing II : Dr. Ir. Feri Yusivar, M.Eng (.....)

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

Penguji : Dr. Ir. Muhammad Asvial M.Eng (.....)

Ditetapkan di : Universitas Indonesia, Depok

Tanggal : 24 Desember 2008

KATA PENGANTAR / UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Penulisan Tugas Akhir ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Elektro pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia.. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

- (1) Allah SWT atas berkat, rahmat, dan hidayah Nya sehingga diberi kemudahan untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini dan Nabi Muhammad SAW yang telah menyampaikan firman – firman NYA kepada seluruh alam semesta.
- (2) Kedua Orang tua saya (Aba Umar Musrifi dan Umi' Luthfiati), saudaraku (Lukman Arif, Khanafi's Family, Agung's Family), serta wanita yang telah mendo'akan, memotivasi, serta memberikan kasih sayang kepada diri saya,
- (3) Fitri Yuli Zulkifli S.T, M.Sc dan Dr. Ir. Feri Yusivar, M.Eng selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, ide dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan Tugas Akhir ini,
- (4) Prof. Dr. Ir. Eko Tjipto Rahardjo M.Sc dan Dr. Ir. Muhammad Asvial M.Eng yang telah menyediakan waktu untuk menguji Tugas Akhir ini,
- (5) Rekan – rekan AMRG, Asisten Lab. Telekomunikasi, Asisten Lab. Sistem Kendali, dan Asisten Lab.,
- (6) Acul, Bambang, Dadang, Budi, Veby, serta teman seperjuangan yang tidak dapat saya sebutkan satu per satu.

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga Tugas Akhir ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, 09 Desember 2008

Penulis

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama : Taufik Rahmad
NPM : 0606042935
Program Studi : S1 – Ekstensi
Departemen : Teknik Elektro
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Tugas Akhir

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

Rancang Bangun Antena Biquad Mikrostrip Untuk Aplikasi *WiMAX*

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalih media / formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya tanpa meminta izin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis / pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok
Pada tanggal : 09 Desember 2008
Yang menyatakan

(Taufik Rahmad)

ABSTRAK

Nama : Taufik Rahmad
Program Studi : S1 - Ekstensi
Judul : Rancang Bangun Antena Biquad Mikrostrip untuk aplikasi
WiMAX

Komunikasi tanpa kabel (*wireless communication*) yang ada saat ini adalah *WiMAX* (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*). *WiMAX* merupakan teknologi *wireless* yang menawarkan jasa telekomunikasi dengan *bandwidth* yang lebar dan *bit rate* yang besar sehingga mampu menyediakan berbagai aplikasi meliputi suara, video dan data dengan kecepatan yang tinggi. Kelebihan lain adalah mampu digunakan pada LOS atau NLOS sehingga dapat digunakan pada mobile service. Salah satu perangkat pendukung dari *wireless communication* adalah antena. Antena dengan dimensi yang kecil, ringan, dan mudah untuk dipabrikasi dengan harga yang murah dengan performansi yang cukup baik sangat diperlukan untuk mendukung teknologi *WiMAX*. Pada Tugas Akhir ini dirancang bangun antena biquad mikrostrip dengan bahan FR4 (*evoksi*). Antena mikrostrip biquad tersebut dirancang untuk berkerja pada frekuensi 2.3 – 2.4 GHz sesuai dengan frekuensi *WiMAX*. Hasil pengukuran antena biquad mikrostrip yang telah dibuat memiliki lebar pita frekuensi 2.283 GHz – 2.396 GHz (4.84 % atau 113 MHz) dengan nilai VSWR minimum 1,045 atau *return loss* minimum -33.314 dB, Impedansi $51.715 + j1.37 \Omega$. Hasil pengukuran ini menunjukkan antena biquad mikrostrip yang dibuat dapat direalisasikan dan dapat digunakan pada aplikasi *WiMAX* yang menggunakan frekuensi 2.3 GHz – 2.4 GHz.

Kata kunci :

Antena Biquad, Antena Mikrostrip, Microwave, dan *WiMAX*

ABSTRACT

Name : Taufik Rahmad
Study Program: S1 – Eksensi
Title : Disain to Build Biquad Microstrip Antenna for WiMAX

Wireless communication in this time is WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access). WiMAX represents the technology of wireless communication with wide bandwidth and high bit rate, so it's able to provide various application which covers voice, video and high speed data. Another advantage is WiMAX can be used for LOS or NLOS condition so it can be used for mobile service. One important equipment for wireless communication is antenna. Antenna which have small dimension, light, and easy to manufacture with low price and good enough performance is very needed to support WiMAX technology. Therefore this research is to design biquad mikrostrip antenna with FR4 substance. The Biquad Mikrostrip Antenna is designed to work at frequency 2.3 - 2.4 GHZ as according to frequency WiMAX. The result of biquad mikrostrip antenna which have been made show a wide impedance bandwidth of 2.283 GHZ - 2.396 GHz (4.84 % or 113 MHz). with the minimum VSWR value of 1,045, return loss - 33.314 dB, Impedance $51.715 + j1.37 \Omega$. This Result shows that the biquad mikrostrip antenna can be used for WiMAX application for the frequency 2.3 GHZ - 2.4 GHZ.

Keyword :
Biquad Antenna, Mikrostrip Antenna, Microwave, and WiMAX.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
UCAPAN TERIMA KASIH	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xiii
1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penulisan.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Sistematika Penelitian	3
2. ANTENA BIQUAD MIKROSTRIP UNTUK APLIKASI WiMAX.....	5
2.1 Pengertian <i>WiMAX</i>	5
2.1.1 <i>Standart</i> IEEE 802.16 (<i>WiMAX</i>)	6
2.1.2 Keuntungan <i>WiMAX</i>	7
2.1.3 Varian-varian IEEE 802.16 (<i>WiMAX</i>)	11
2.1.4 Prinsip Kerja Teknologi Wireless MAN	16
2.2 Struktur Dasar Antena Mikrostrip	17
2.3 Model <i>Cavity</i>	19
2.4 Parameter Umum Antena Mikrostrip	21
2.4.1 <i>Bandwidth</i>	21
2.4.2 <i>VSWR (Voltage Standing Wave Ratio)</i>	23
2.4.3 <i>Return Loss</i>	24
2.4.4 <i>Polarisasi</i>	24
2.4.5 Keterarahan (<i>Directivity</i>)	26
2.4.6 Penguatan (<i>Gain</i>)	27
2.5 Antena Mikrostrip <i>patch</i> Biquad	28
2.6 Teknik Pencatuan <i>Aperture Coupled</i>	28
2.7 <i>Mechanical Tuning</i> dengan Mengatur Jarak Substrat	30
2.8 <i>Impedance Matching</i>	31
3. PERANCANGAN ANTENA DAN METODOLOGI PENGUKURAN... 33	
3.1 Diagram Alir Proses Penelitian	34
3.2 Perlengkapan yang Digunakan	35
3.2.1 Perangkat Lunak	35
3.2.2 Perangkat Keras	35

3.3 Perancangan Antena	36
3.3.1 Menentukan Karakteristik Antena	36
3.3.2 Jenis Substrat yang Digunakan	36
3.3.3 Perancangan Dimensi Antena Biquad Mikrostrip	36
3.4 Metodologi Pengukuran Parameter Antena	45
3.4.1 Pengukuran <i>Port</i> Tunggal	46
3.4.2 Pengukuran <i>Port</i> Ganda	46
3.4.3 Pengukuran <i>Gain</i> Absolut	48
4. PENGUKURAN DAN ANALISA ANTENA	50
4.1 Hasil Pengukuran Parameter Antena	50
4.1.1 Pengukuran <i>Port</i> Tunggal	50
4.2 Pencapaian Spesifikasi Antena	55
4.2.1 Simulasi Dengan Nilai ϵ_r Tetap	55
4.2.1.1 Hasil Pengukuran <i>Port</i> Tunggal	58
4.2.1.2 Hasil Pengukuran <i>Port</i> Ganda	61
4.2.2 Simulasi Dengan Nilai ϵ_r Berubah	64
4.3 Analisa Kesalahan Umum	65
5. KESIMPULAN	67
DAFTAR ACUAN	68
LAMPIRAN	70

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Standar-Standar Yang Ada Dengan Spesifikasi Yang Mendukung Komunikasi Sampai Tingkat MAN Disatukan Dengan Standar <i>WiMAX</i> [4]	5
Gambar 2.2	Grafik Prediksi Perkembangan Penggunaan <i>WiMAX</i> Diberbagai Benua Dari Tahun Ketahun [5]	7
Gambar 2.3	Sebuah <i>BTS WiMAX</i> Dapat Digunakan Sebagai <i>Backhaul</i> Untuk Titik - Titik <i>Hotspot</i> [4]	9
Gambar 2.4	Teknologi <i>WiMAX</i> Memungkinkan Aplikasinya Yang Luas Untuk Berbagai Keperluan [4]	13
Gambar 2.5	Topologi <i>WiMAX</i> Dalam <i>Area</i> Perkotaan Dan Pedesaan [7]	13
Gambar 2.6	<i>Traffic</i> Yang Terjadi Pada <i>WiMAX</i> [8].....	17
Gambar 2.7	Struktur Dasar Antena Mikrostrip	17
Gambar 2.8	Beberapa Bentuk <i>Patch</i> [9]	18
Gambar 2.9	Distribusi Muatan Dan Densitas Arus Yang Terbentuk Pada <i>Patch</i> Mikrostrip [9]	20
Gambar 2.10	Rentang Frekuensi Yang Menjadi <i>Bandwidth</i> [10]	22
Gambar 2.11	Polarisasi Linier [10]	25
Gambar 2.12	Polarisasi Melingkar [9]	25
Gambar 2.13	Polarisasi Elips [9]	26
Gambar 2.14	Disain Antena Biquad Dengan Bahan <i>Wire</i>	28
Gambar 2.15	Teknik Pencatuan <i>Aperture Coupled</i> [16]	29
Gambar 2.16	Hubungan Antara Parameter Substrat Terhadap <i>Bandwidth</i> [17]	30
Gambar 2.17	<i>Tuning</i> Dengan Mengatur Jarak Substrat (<i>Air Gap</i>)	31

Gambar 2.18	Pemberian Transformator $\lambda/4$ Untuk Memperoleh <i>Impedance Matching</i> [18]	32
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian	34
Gambar 3.2	Disain Antena Mikrostrip Biquad	37
Gambar 3.3	Disain Antena Mikrostrip Biquad Dengan <i>Microwave Office</i> (a) Tampak Atas (b) Tampak 3 Dimensi	38
Gambar 3.4	Nilai VSWR Disain Antena Mikrostrip Biquad Dengan Iterasi Pada Dimensi Biquad	40
Gambar 3.5	Nilai VSWR Disain Antena Mikrostrip Biquad Hasil Iterasi Jarak <i>Reflector</i> Dengan <i>Patch</i> Biquad	42
Gambar 3.6	Nilai VSWR Disain Antena Mikrostrip Biquad Hasil Iterasi Panjang Pita	42
Gambar 3.7	Nilai VSWR Disain Antena Mikrostrip Biquad Hasil Iterasi Jarak Pita	44
Gambar 3.8	Nilai VSWR Disain Antena Mikrostrip Biquad	45
Gambar 3.9	Konfigurasi Pengukuran <i>Port</i> Tunggal	46
Gambar 3.10	Konfigurasi Pengukuran Port Ganda	46
Gambar 3.11	Orientasi Medan E dan Medan H Antena	47
Gambar 4.1	Hasil Pengukuran Antena Dengan <i>Network Analyzer</i> , (A) <i>Return Loss</i> , (B) VSWR, Dan (C) Impedansi Masukan	52
Gambar 4.2	Perbandingan Antara Hasil Pengukuran dan Simulasi, (a) VSWR Dan (b) <i>Return Loss</i>	53
Gambar 4.3	Hasil Iterasi Hardware Menggunakan <i>Mechanical Tuning</i> Dengan Mengatur Jarak Udara / <i>Air Gap</i> (H), (A) <i>Return Loss</i> , Dan (b) VSWR	54
Gambar 4.4	Dimensi Antena Biquad Mikrostrip Untuk Aplikasi <i>WiMAX</i> ...	55
Gambar 4.5	Nilai VSWR Hasil Simulasi Disain Antena Biquad Mikrostrip Dengan MWO	56

Gambar 4.6	Hasil Simulasi Pola Radiasi Antena Biquad Mikrostrip	57
Gambar 4.7	Antena Biquad Mikrostrip	57
Gambar 4.8	Hasil Pengukuran Antena Dengan <i>Network Analyzer</i> , (A) VSWR, (B) <i>Return Loss</i> , Dan (C) Impedansi Masukan ...	60
Gambar 4.9	Hasil Pengukuran Pola Radiasi Antena Biquad Mikrostrip	62
Gambar 4.10	Hasil Simulasi Disain Antena Biquad Mikrostrip Dengan ϵ_r Yang Berbeda	64

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Perbedaan Teknologi IEEE 802.11 Dengan IEEE 802.16 [6]	10
Tabel 2.2	Varian-Varian Standar IEEE 802.16 [6]	11
Tabel 2.3	Fitur-Fitur <i>Physical Layer</i> Teknologi IEEE 802.16 WiMAX [6] ...	14
Tabel 2.4	Fitur-Fitur <i>MAC Layer</i> Teknologi IEEE 802.16 WiMAX [6]	15
Tabel 3.1	Spesifikasi Substrat Yang Digunakan	36
Tabel 3.2	Susunan Layer Disain Antena Mikrostrip Biquad Pada MWO	38
Tabel 3.3	Penjelasan Simbul Disain Antena Biquad Mikrostrip	39
Tabel 3.4	Parameter Dan Hasil Simulasi Iterasi Terhadap Dimensi Antena .	41
Tabel 3.5	Parameter Iterasi Jarak Antara Patch Biquad Dengan Reflector (H)	41
Tabel 3.6	Parameter Iterasi Panjang Pita Pada Disain Antena Biquad Mikrostrip	43
Tabel 3.7	Parameter Iterasi Jarak Pita Pada Disain Antena Biquad Mikrostrip	44
Tabel 3.8	Parameter Disain Antena Mikrostrip Biquad	44
Tabel 4.1	Hasil Iterasi Dengan Beberapa Jarak Udara / <i>Air Gap</i> (H)	55
Tabel 4.2	Pencapaian Spesifikasi Antena Biquad Mikrostrip dengan <i>software</i> MWO	56
Tabel 4.3	Disain Pencapaian Hasil Spesifikasi Antena Biquad Mikrostrip Dengan MWO	58
Tabel 4.4	Pencapaian Spesifikasi Antena Biquad Mikrostrip	61
Tabel 4.5	Perhitungan <i>Gain</i> Antena Biquad Mikrostrip	63
Tabel 4.6	Hasil Simulasi Antena Biquad Mikrostrip Dengan Konstanta Dielektrik (ϵ_r) Yang Berbeda	65

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1. LATAR BELAKANG

Seiring dengan meningkatnya perekonomian, taraf hidup dan kemajuan teknologi, khususnya komunikasi tanpa kabel (radio), meningkat pula kebutuhan masyarakat akan jasa telekomunikasi yang cepat, mudah diakses kapan saja dan dimana saja serta mampu mendukung mobilitas yang tinggi. Sebuah teknologi *wireless* yang saat ini dianggap mampu menyediakan kebutuhan tersebut adalah *WiMAX*.

Teknologi *wireless* yang ada saat ini adalah teknologi *WiMAX*. *WiMAX* (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*) merupakan teknologi *wireless* yang menawarkan jasa telekomunikasi dengan *bandwidth* yang lebar dan *bit rate* yang besar sehingga mampu menyediakan berbagai aplikasi meliputi suara, video dan data dengan kecepatan yang tinggi [1]. Dengan kemampuan untuk mencakup area yang sangat luas serta mampu melayani *subscriber* dengan keadaan *Line Of Sight* (LOS) maupun *Non-Line Of Sight* (NLOS), teknologi *WiMAX* mampu menghemat investasi perangkat untuk membangun suatu jaringan komunikasi yang handal.

Untuk dapat mendukung teknologi *WiMAX*, dibutuhkan sebuah antena yang memiliki karakteristik bukan hanya harus *compatible* tetapi juga harus kecil, ringan dan bersifat *portable*, sehingga dapat dirakit pada peralatan *Mobile subscriber* (MS) dengan mudah tanpa harus memperbesar dimensi dan membebaninya. Antena merupakan sebuah bagian yang menjadi ciri khas dari sistem komunikasi radio. Berbagai jenis antena telah banyak diciptakan dan dikembangkan untuk beragam aplikasi seperti radar, telemetri, biomedik, radio bergerak, penginderaan jauh, dan komunikasi satelit.

Ada beberapa tipe antena *WiMAX* yang bisa digunakan. Salah satunya adalah antena sektoral. Antena tipe tersebut memfokuskan penyebaran sinyal pada sebuah area yang difokuskan, memberikan cakupan *area* yang lebih luas, dan energi / power yang digunakan lebih sedikit. Antena biquad adalah salah satu tipe

antena sektoral yang dapat diaplikasikan untuk teknologi *WiMAX*. Kelebihan dari antenna biquad adalah memiliki *gain* 15 dBi sampai 38 dBi [2] sehingga cukup baik untuk digunakan pada BTS (*Base Transceiver Station*). Akan tetapi dengan konstruksi bahan *wire* atau kawat, antenna biquad cukup rumit untuk dipabrikasi dan mudah terjadi perubahan dimensi. Oleh karena itu, diperlukan suatu antenna yang *low profile* dengan *performance* yang baik. Untuk itu dibuatlah antenna mikrostrip *patch* biquad.

Antena mikrostrip merupakan salah satu jenis antenna yang pengembangannya dimulai sejak tahun 1970an dan hingga kini masih menjadi jenis antenna yang terus dikembangkan. Teknologi antenna mikrostrip untuk aplikasi *wireless* saat ini berkembang dengan pesat. Hal ini disebabkan karena mikrostrip memiliki karakteristik yang *low profile*, ringan, dan mudah diintegrasikan dengan *device* lain [3][4]. Berbagai aplikasi komunikasi radio tidak luput dari penggunaan antenna ini. Hal yang menjadi alasan dalam pemilihan antenna mikrostrip pada berbagai aplikasi adalah bahannya yang sederhana dan murah tetapi mampu memberikan unjuk kerja (*performance*) yang cukup baik.

Dengan karakteristik antenna mikrostrip yang kecil, ringan dan mudah di fabrikasi sangat sesuai untuk mendukung teknologi *WiMAX*. Akan tetapi antenna mikrostrip memiliki karakteristik dengan *bandwidth* yang sempit. Beberapa teknik untuk memperlebar *bandwidth* adalah dengan menggunakan teknik *aperture couple* dan *mechanical stuffing* yaitu dengan mengatur jarak antar substrat (*adjustable air gap*). Pada tugas akhir ini akan dirancang sebuah antenna *Biquad* mikrostrip yang dapat diaplikasikan pada teknologi *WiMAX* dengan frekuensi kerja 2,3 GHz (2,3-2,4 GHz). Antena dirancang untuk mendapatkan *bandwidth* yang lebar (100 MHz) pada $VSWR \leq 1.4$.

1.2. TUJUAN PENULISAN

Tujuan penulisan tugas akhir ini adalah untuk merancang bangun antenna *Biquad* Mikrostrip untuk teknologi *WiMAX* yang bekerja pada frekuensi 2,3 GHz (2,3-2,4 GHz) dengan nilai $VSWR \leq 1.4$.

1.3. BATASAN MASALAH

Permasalahan yang akan dibahas pada tugas akhir ini dibatasi pada rancang bangun antenna *Biquad* mikrostrip dengan pencatu *aperture-coupled* yang diharapkan dapat memenuhi kriteria parameter meliputi *frequency range*, *impedance*, *Return Loss*, dan *VSWR*. Untuk meningkatkan kesesuaian impedansi, diharapkan juga nilai *VSWR* dibawah 1.4 pada jangkauan frekuensi 2.3 – 2.4 GHz.

1.4. SISTEMATIKA PENELITIAN

Sistematika penelitian pada tugas akhir ini adalah :

Bab 1 Pendahuluan

Bagian pendahuluan terdiri atas latar belakang, tujuan penulisan, batasan masalah, dan sistematika penelitian.

Bab 2 Antena Biquad Mikrostrip Untuk Aplikasi WiMAX

Bagian ini akan membahas teori dasar yang digunakan pada penelitian yaitu mengenai teknologi *WIMAX*, antenna mikrostrip, model *cavity*, parameter-parameter umum antenna, antenna mikrostrip berbentuk *biquad*, teknik pencatuan *aperture coupled*, *mechanical tuning* dengan mengatur jarak substrat (*adjustable air gap*) dan teknik untuk memperoleh keadaan *matching* antara saluran catu dan antenna.

Bab 3 Perancangan Antena

Bagian awal dari bab ini membahas mengenai perlengkapan yang dibutuhkan dalam perancangan, substrat yang digunakan, perancangan antenna elemen tunggal, hasil simulasi yang didapatkan menggunakan *software Microwave Office 2004* dan *PCAAD 3.0* untuk masing-masing rancangan.

Bab 4 Hasil Pengukuran dan Analisis Hasil Pengukuran

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

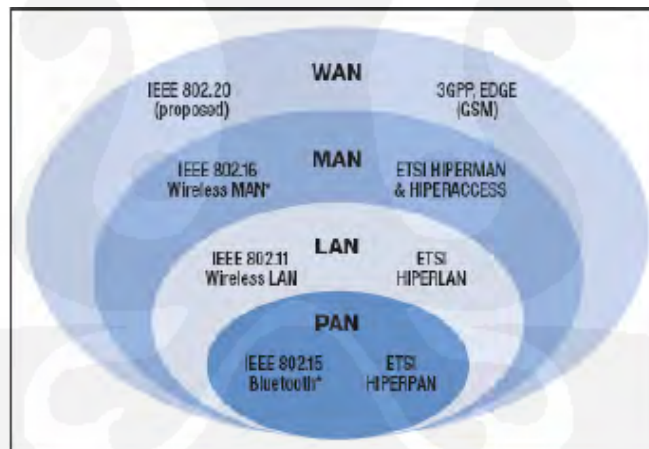
Bab 5 Kesimpulan

Bab ini berisi kesimpulan yang dapat diperoleh dari keseluruhan kegiatan penelitian yang telah dilakukan.

BAB 2 ANTENA BIQUAD MIKROSTRIP UNTUK APLIKASI WiMAX

2.1 PENGERTIAN WIMAX

Worldwide Interoperability for Microwave Access (WiMAX) merupakan standar industri yang bertugas menginterkoneksi berbagai standar teknis yang bersifat global menjadi satu kesatuan. *WiMAX* dan *WiFi* dibedakan berdasarkan standar teknik yang digabungkan. *WiFi* menggunakan standar *IEEE 802.11* yang cocok untuk keperluan *WLAN*, sedangkan *WiMAX* menggunakan antara standar *IEEE 802.16* banyak digunakan secara luas di daerah asalnya, yaitu Eropa dan sekitarnya. Untuk dapat membuat teknologi ini digunakan secara global, maka diciptakan *WiMAX*. Standar global yang dipakai di dunia dapat digambarkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Standar-Standar Yang Ada Dengan Spesifikasi Yang Mendukung Komunikasi Sampai Tingkat *MAN* Disatukan Dengan Standar *WiMAX* [5]

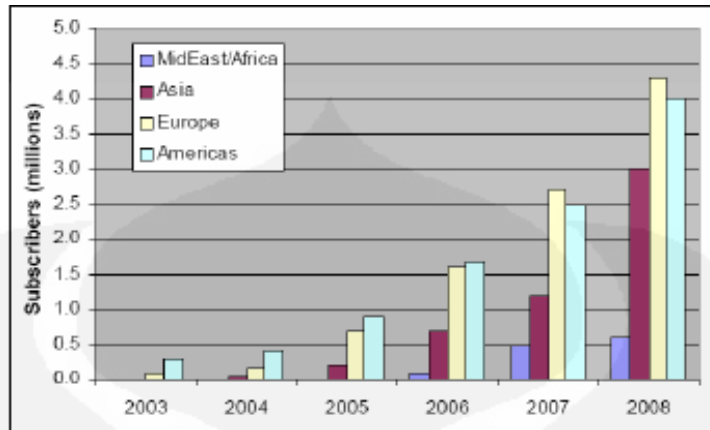
Gambar 2.1 menunjukkan standar *WiMAX* mendukung spesifikasi komunikasi hingga tingkat *MAN* dengan menggunakan standard *IEEE 802.16*. Kedua standar yang disatukan ini merupakan standar teknis yang memiliki spesifikasi yang sangat cocok untuk menyediakan koneksi berjenis *broadband* lewat media *wireless* atau *broadband wireless access (BWA)*. Pada masa

mendatang, segala sesuatu yang berhubungan dengan teknologi *BWA* kemungkinan akan diberi sertifikasi *WiMAX*. Standar *WiMAX* dibentuk oleh gabungan-gabungan industri perangkat *wireless* dan *chip-chip* komputer diseluruh dunia. Perusahaan besar ini bergabung dalam suatu forum kerja yang merumuskan standar *interkoneksi* antar teknologi *BWA* yang mereka miliki pada produk-produknya.

2.1.1 Standar IEEE 802.16 (*WiMAX*)

Terobosan jaringan *internet wireless* sebentar lagi akan menjadi kenyataan. Dengan *tower* yang dipasang dipusat akses *internet (hot spot)* di tengah kota *metropolitan*, seorang pemakai *laptop*, komputer, *handphone*, hingga *personal digital assistant (PDA)*, dengan *wireless card* bisa koneksi dengan *internet*, bahkan di tengah sawah atau pedesaan yang masih dalam cakupan *area* 50 kilometer. Hal ini dapat terjadi karena teknologi *WiMAX* yang menggunakan standar baru *IEEE 802.16*. Saat ini *WiFi* menggunakan standar komunikasi *IEEE 802.11*. Yang paling banyak dipakai adalah *IEEE 802.11b* dengan kecepatan 11 Mbps, hanya mencapai cakupan *area* tidak lebih dari ratusan meter saja. *WiMAX* merupakan saluran komunikasi radio yang memungkinkan terjadinya jalur *internet* dua arah dari jarak puluhan kilometer. Dengan memanfaatkan gelombang radio, teknologi ini bisa dipakai dengan frekuensi berbeda, sesuai dengan kondisi dan peraturan pemakaian frekuensi di suatu negara.

Pada awalnya *standard IEEE 802.16* beroperasi ada frekuensi 10-66 GHz dan memerlukan *tower line of sight*, tetapi pengembangan *IEEE 802.16a* yang disahkan pada bulan Maret 2004, menggunakan frekuensi yang lebih rendah yaitu sebesar 2-11 GHz, sehingga mudah diatur, dan tidak memerlukan *line-of-sight*. Cakupan *area* yang dapat *dicoverage* sekitar 50 km dan kecepatan *transfer data* sebesar 70 Mbps. Pengguna tidak akan kesulitan dalam mengulur berbagai macam kabel, apalagi *WiMAX* mampu menangani sampai ribuan pengguna sekaligus. Prediksi perkembangan pemakai yang menggunakan *WiMAX* akan terus berkembang dari tahun ke tahun seperti terlihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Grafik Prediksi Perkembangan Penggunaan WiMAX Di Berbagai Benua Dari Tahun Ketahun [6]

Perkembangan penggunaan WiMAX sebagai teknologi wireless mengalami peningkatan dari tahun ke tahun hingga prediksi tahun 2008 ditunjukkan pada Gambar 2.2. Intel akan mulai memasang antena luar ruangan WiMAX sebagai tahap pengembangan WiFi. Teknologi WiFi dan WiMAX akan saling melengkapi. WiFi untuk jangkauan jarak dekat di seputar kampus atau kantor sedangkan WiMAX untuk memfasilitasi sebuah kota dengan akses wireless internet. Pada akhirnya, diperkirakan hampir semua laptop, PDA, dan piranti information and communication technology (ICT) lainnya akan compatible dengan fitur WiFi dan WiMAX.

2.1.2 Keuntungan WiMAX

Ada beberapa keuntungan dengan adanya WiMAX, jika dibandingkan dengan WiFi antara lain sebagai berikut [7].

1. Para produsen mikroelektronik akan mendapatkan lahan baru untuk dikerjakan, dengan membuat chip-chip yang lebih general yang dapat dipakai oleh banyak produsen perangkat wireless. Para produsen perangkat wireless tidak perlu mengembangkan solusi end-to-end bagi penggunaannya, karena sudah tersedia standar yang jelas.

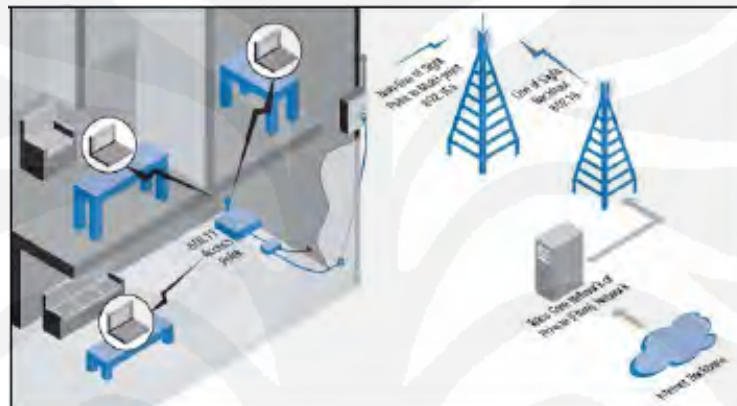
2. Operator telekomunikasi dapat menghemat investasi perangkat, karena kemampuan *WiMAX* dapat melayani pelanggannya dengan area yang lebih luas dan dengan kompatibilitas yang lebih tinggi.
3. Pengguna akhir akan mendapatkan banyak pilihan dalam berinternet. *WiMAX* merupakan salah satu teknologi yang dapat memudahkan kita untuk koneksi dengan internet dan berkualitas.
4. Memiliki banyak fitur yang selama ini belum ada pada teknologi *WiFi* dengan standar *IEEE 802.11*. Standar *IEEE 802.16* digabungkan dengan *ETSI HiperMAN*, maka dapat melayani pangsa pasar yang lebih luas.
5. Dari segi *coverage*-nya saja yang mencapai 50 kilometer maksimal, *WiMAX* sudah memberikan kontribusi yang sangat besar bagi keberadaan *wireless MAN*. Kemampuan untuk menghantarkan data dengan *transfer rate* yang tinggi dalam jarak jauh dan akan menutup semua celah *broadband* yang tidak dapat terjangkau oleh teknologi kabel dan *digital subscriber line (DSL)*.
6. Dapat melayani para *subscriber*, baik yang berada pada posisi *line of sight (LOS)* maupun yang memungkinkan untuk tidak *line of sight (NLOS)*.

WiMAX memang dirancang untuk melayani baik para pengguna yang memakai *antenna* tetap (*fixed wireless*) maupun untuk yang sering berpindah-pindah tempat (*nomadic*). *WiMAX* tidak hanya dapat melayani para pengguna dengan *antenna* tetap saja misalnya pada gedung-gedung diperkantoran, rumah tinggal, toko - toko dan sebagainya.

Bagi para pengguna *antenna indoor, notebook, PDA, PC* yang sering berpindah tempat dan banyak lagi perangkat *mobile* lainnya memang telah kompatibel dengan standar-standar yang dimiliki *WiMAX*.

Perangkat *WiMAX* juga mempunyai ukuran kanal yang bersifat fleksibel, sehingga sebuah *BTS* dapat melayani lebih banyak pengguna dengan *range* spectrum frekuensi yang berbeda-beda. Dengan ukuran kanal spektrum yang dapat bervariasi ini, sebuah perangkat *BTS* dapat lebih fleksibel dalam melayani pengguna. *Range* spektrum teknologi *WiMAX* termasuk lebar, didukung dengan pengaturan kanal yang fleksibel, maka para pengguna tetap dapat terkoneksi dengan *BTS* selama mereka berada dalam *range* operasi dari *BTS*. Fasilitas *quality*

of service (QOS) yang baik juga diberikan oleh teknologi *WiMAX* ini. Sistem kerja *media access control* pada *data link layer* yang *connection oriented* memungkinkan digunakan untuk komunikasi *video* dan suara. Pemilik *internet service provider (ISP)* juga dapat membuat berbagai macam produk yang dapat dijual dengan memanfaatkan fasilitas ini, seperti membedakan kualitas servis antara pengguna rumahan dengan pengguna tingkat perusahaan, membuat *bandwidth* yang bervariasi, fasilitas tambahan dan masih banyak lagi.



Gambar 2.3 Sebuah *BTS WiMAX* Dapat Digunakan Sebagai *Backhaul* Untuk Titik-Titik *Hotspot* [5]

Standar *IEEE 802.16* yang dikeluarkan oleh organisasi *IEEE*, seperti halnya dengan standar *IEEE 802.11* adalah standar yang dibuat khusus untuk mengatur komunikasi lewat media *wireless*. Gambar 2.3 menunjukkan konfigurasi *BTS WiMAX* sebagai *backhaul* untuk titik-titik *hotspot* atau komunikasi melalui media *wireless*. Yang membedakannya adalah *WiMAX* mempunyai tingkat kecepatan *transfer data* yang lebih tinggi dengan jarak yang lebih jauh, sehingga kualitas layanan dengan menggunakan komunikasi ini dapat digolongkan ke dalam kelas *broadband*. Standar ini sering disebut *air interface for fixed broadband wireless access system* atau *interface udara* untuk koneksi *broadband*.

Sebenarnya standarisasi *IEEE 802.16* ini lebih banyak mengembangkan hal yang bersifat teknis dari *layer physical* dan *layer datalink (MAC)* dari system komunikasi *BWA*. Versi awal dari standar *802.16* ini dikeluarkan oleh *IEEE* pada tahun 2002. Pada awalnya, perangkat *802.16* beroperasi dalam lebar frekuensi 10-

66 GHz dengan jalur komunikasi antar perangkatnya secara *line of sight (LOS)*. *Bandwidth* yang diberikan oleh teknologi ini sebesar 32-134 Mbps dalam *area coverage* maksimal 5 kilometer. Kapasitasnya dirancang mampu menampung ratusan pengguna setiap satu *BTS*. Dengan kemampuan semacam ini teknologi perangkat yang menggunakan standar 802.16 cocok digunakan sebagai penyedia koneksi *broadband* melalui *media wireless*. Perbedaan teknis antara *IEEE 802.11* dengan *IEEE 802.16* pada *WiMAX* dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut ini.

Tabel 2.1 Perbedaan Teknologi IEEE 802.11 Dengan IEEE 802.16 [7]

	IEEE 802.11	IEEE 802.16	Perbedaan Teknis
Jarak	Dibawah 9 Km	Hingga 50 Km	Teknik 256 <i>FFT</i> system <i>signalingnya</i> menciptakan fitur ini.
Coverage	Optimal jika bekerja di dalam ruangan.	Dirancang untuk penggunaan diluar ruangan dengan kondisi <i>NLOS</i>	IEEE 802.16 memiliki system gain yang lebih tinggi, mengakibatkan sinyal lebih kebal terhadap halangan dalam jarak yang lebih jauh.
Skalabilitas	Skala penggunaannya hanya dalam tingkat <i>LAN</i> . Ukuran frekuensi kanalnya dibuat <i>fix</i> (20 MHz)	Dibuat untuk mendukung sampai 100 pengguna. kuran frekuensi kanal dapat bervariasi mulai dari 1,5 sampai dengan 20 MHz.	Sistim <i>TDMA</i> dan pengaturan <i>slot</i> komunikasi, sehingga semua frekuensi yang termasuk dalam <i>range</i> IEEE 802.16 dapat dipakai serta jumlah pengguna dapat bertambah.
Bit Rate	2,7 bps / Hz hingga 54 Mbps dalam kanal 20 MHz.	5 bps/Hz hingga 100 Mbps dalam kanal 20 MHz.	Teknik modulasi yang lebih canggih disertai koreksi <i>error</i> yang lebih fleksibel, sehingga penggunaan frekuensi kanal lebih <i>efisien</i> .

<i>QoS</i>	Tidak mendukung <i>QoS</i>	<i>QoS</i> dibuat dalam <i>layer MAC</i>	Adanya pengaturan secara otomatis terhadap slot-slot <i>TDMA</i> , sehingga dimanfaatkan untuk pengaturan <i>QoS</i> .
------------	----------------------------	--	--

2.1.3 Varian-Varian IEEE 802.16

Varian-varian *WiMAX* dimaksudkan untuk mengembangkan *performance* dan kemampuan dari teknologi yang digunakannya, agar menjadi lebih baik dan dapat meluas penggunaannya. Untuk mengembangkan jangkauan dan daya jualnya, maka standar *IEEE 802.16* direvisi menjadi *IEEE 802.16a*. Standar teknis *IEEE 802.16a* inilah yang banyak digunakan oleh perangkat-perangkat dengan sertifikasi *WiMAX*. Selain *IEEE 802.16a*, varian lainnya adalah *IEEE 802.16b* yang banyak menekankan segala keperluan dan permasalahan dengan *quality of service (QoS)*, *IEEE 802.16c* banyak menekankan pada *interoperability* dengan protokol-protokol lain, *IEEE 802.16d* merupakan revisi dari *IEEE 802.16c* ditambah dengan kemampuan untuk *access point*, serta *IEEE 802.16d* menekankan pada masalah mobilitas. Varian-varian standar *IEEE 802.16* dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Varian-Varian Standar IEEE 802.16 [7]

	IEEE 802.16	IEEE 802.16a	IEEE 802.16e
Terstandarisasi	Januari 2002	Januari 2003 (<i>IEEE 802.16a</i>)	Estimasi pertengahan 2004
Spektrum	10 – 66 GHz	2 – 11 GHz	< 6 GHz
Kondisi Kanal	<i>Line Of Sight</i>	<i>Non Line Of Sight</i>	<i>Non Line Of Sight</i>
Bit Rate	32 sampai 134 Mbps	Hingga 70 Mbps menggunakan	Hingga 15 Mbps menggunakan

	menggunakan frekuensi kanal 28 MHz	frekuensi kanal 20 Mhz	frekuensi kanal 5 MHz
Modulasi	<i>QPSK</i> , 16 QAM dan 64 QAM	<i>OFDM</i> 256 sub-carrier, 256 sub-carrier, <i>QPSK</i> , 16 QAM, 64 QAM	<i>OFDM</i> 256 sub-carrier, <i>QPSK</i> , 16 QAM, 64 QAM
Mobilitas	Perangkat <i>wireless</i> tetap	Perangkat <i>wireless</i> tetap dan portabel	<i>Nomadic Mobility</i>
Frekuensi Per Kanal	20, 25 dan 28 MHz	Mulai dari 1,5 hingga 20 MHz	Mulai dari 1,5 hingga 20 MHz
Radius Per Cell	2 sampai 5 Km 7 – 10 Km	Dengan kemampuan maksimal hingga 50 Km	2 – 5 Km

Perubahan yang cukup signifikan pada standar *IEEE* 802.16 untuk membentuk varian *IEEE* 802.16a, adalah lebar frekuensi operasinya. Perbedaan ini dimaksudkan untuk mendukung komunikasi dalam kondisi *line of sight (LOS)*, dan *non line of sight (NLOS)*. Dengan adanya sistem *NLOS*, keterbatasan yang ada pada *WiFi* dapat dikurangi.

Perubahan yang sangat signifikan pada standar 802.16 untuk membentuk varian terletak pada lebar frekuensi operasinya. Standar 802.16 beroperasi pada *range* 10-66 GHz, sedangkan 802.16a menggunakan frekuensi yang lebih rendah, yaitu 2-11 GHz, sehingga memungkinkan komunikasi *non line of sight (NLOS)*. Kelemahan dari komunikasi dengan frekuensi rendah ini adalah semakin kecil kapasitas *bandwidth* dari koneksi yang dilakukannya. Ukuran kanal-kanal frekuensi yang fleksibel dengan *range* yang lebar, merupakan keunggulan dari 802.16a. Aplikasi standar *WiMAX* untuk berbagai keperluan ditunjukkan pada Gambar 2.4.

PHY. Format *signaling OFDM* dipilih dalam standar ini dimaksudkan agar teknologi ini dapat bersaing dengan *competitor* utamanya yaitu teknologi *CDMA*, yang juga bekerja dalam sistem *NLOS*. Fitur-fitur lain yang ada pada standar *IEEE 802.16a* adalah sebagai berikut.

1. Untuk menghantarkan jaringan komunikasi yang berkualitas dengan jangkauan yang luas adalah lebar kanal frekuensi yang fleksibel.
2. *Burst profile* yang dapat beradaptasi (fasilitas *burst* adalah ciri khas dari teknologi *broadband*).
3. *Forwarding error correction (FEC)* untuk mengoreksi jika terjadi kesalahan.
4. *Advanced antenna system* untuk meningkatkan wilayah jangkauan.
5. Kapasitas dan kekebalan terhadap interferensi dari sinyal lain.
6. *Dynamic frequency selection (DFS)*, pemilihan frekuensi kanal secara dinamis dan juga berfungsi untuk mengurangi interferensi.
7. *Space time coding (STC)* yang akan meningkatkan *performance* dalam area batas pinggir dari sinyal yang dipancarkan oleh sebuah *base station (BS)*.

Selain *layer physical (PHY)*, standar ini juga menentukan seperangkat aturan yang berada pada *layer data link (MAC)*. Standar ini digunakan untuk melayani pengguna dalam sistem *point to multi point*. Standar *IEEE 802.16a* menggunakan sistem *slot* koneksi yang ada dalam *protokol time division multiple access (TDMA)*. Pengaturan *slot* koneksi ini diatur oleh *BTS* untuk melayani para pengguna yang ingin terkoneksi dengannya. Fitur-fitur *physical layer (PHY)* ditunjukkan pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Fitur-Fitur *Physical Layer* Teknologi *IEEE 802.16 WiMAX* [7]

No	Fitur	Keuntungan
1	Menggunakan sistem <i>signaling 256 point FFT OFDM</i> .	Mendukung sistem <i>multipath</i> untuk memungkinkan diaplikasikan pada area terbuka (<i>outdoor</i>) dengan kondisi LOS dan NLOS.
2	Ukuran kanal frekuensi yang fleksibel	Menyediakan fleksibilitas yang memungkinkan

	(misalnya 3,5 MHz, 5 MHz, 19 MHz)	komunikasi beroperasi menggunakan kanal-kanal frekuensi yang bervariasi sesuai dengan kebutuhan
3	Didesain untuk dapat mendukung sistem <i>smart antenna</i>	Dengan menggunakan <i>smart antenna</i> yang lebih nyaman digunakan sehari-hari, interferensi dapat ditekan dan <i>gain</i> dapat ditingkatkan.
4	Mendukung <i>TDD</i> dan <i>FDD Duplexing</i>	Menangani masalah bervariasinya regulasi regulasi diseluruh dunia.
5	Sistem modulasi yang fleksibel dengan sistem <i>error correction</i> yang bervariasi setiap <i>RF burst</i>	Memungkinkan terjalinnya koneksi yang <i>reliable</i> , memberikan <i>transfer rate</i> yang maksimal kepada setiap <i>subscriber</i> yang terkoneksi dengannya.

Layer media access control (MAC) dari standar *IEEE 802.16* ini didesain untuk dapat membawa dan mengakomodasi segala macam *protokol* di atasnya, seperti *ATM*, *Ethernet* atau *internet protokol (IP)*. Fitur-fitur *media access control layer* ditunjukkan pada Tabel 2.4 berikut ini.

Tabel 2.4 Fitur-Fitur *MAC Layer* Teknologi *IEEE 802.16 WiMAX* [7]

No	Fitur	Keuntungan
1	<i>Connection oriented</i>	Proses <i>routing</i> dan paket <i>forwarding</i> yang lebih <i>reliable</i> .
2	<i>Automatic retransmission request (ARQ)</i>	Meningkatkan <i>performance end to end</i> dengan menyembunyikan <i>error</i> pada <i>layer RF</i> yang dibawa dari <i>layer</i> di atasnya.
3	<i>Automatic power control</i>	Memungkinkan pembuatan topologi <i>celluler</i> dengan <i>power</i> yang dapat terkontrol secara <i>otomatis</i> .
4	<i>Security dan encryption</i>	Melindungi privasi dari para <i>subscriber</i>

5	Mendukung sistem modulasi <i>adaptive</i>	Mungkin data rate yang lebih tinggi
6	<i>Scalability</i> yang tinggi hingga mendukung 100 <i>subscriber</i>	Biaya penggunaan yang sangat efektif, karena mampu menampung pengguna dalam jumlah yang besar.
7	Mendukung <i>system Quality of service / QoS</i>	Dapat memberikan <i>latency</i> rendah pada aplikasi-aplikasi <i>delay sensitive</i> , seperti <i>VoIP</i> dan <i>streaming video</i> .

2.1.4 Prinsip Kerja Teknologi *WirelessMAN*

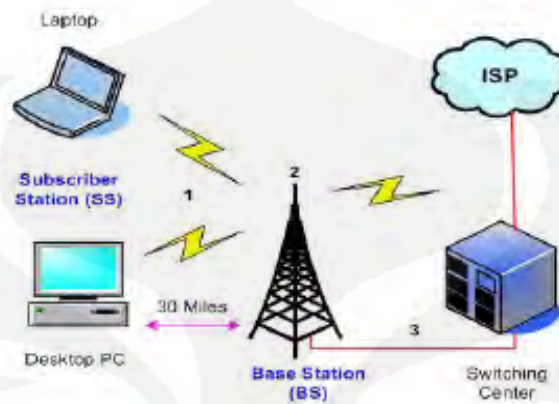
Teknologi *WirelessMAN* / *IEEE 802.16* / *WiMAX* dapat meng-cover area sekitar 50 kilometer, dimana ratusan pelanggan akan di-*share* sinyal dan kanal untuk mentransmisikan data dengan kecepatan sampai 155 Mbps. Aspek keamanan merupakan aspek yang sangat penting dan akan dievaluasi oleh para pengguna *internet* dengan menggunakan fasilitas *ADSL* atau teknologi kabel *modem* maupun yang berlangganan dengan teknologi *WiMAX*.

Sistem pengamanan data dilakukan pada *layer physical (PHY)* dan *data link layer (MAC)* pada suatu arsitektur jaringan, tepatnya pada *base station (BS)* untuk didistribusikan ke wilayah sekelilingnya dan *subscriber station (SS)* untuk komunikasi *point to multipoint*. *Base station (BS)* dihubungkan secara langsung dengan jaringan umum (*public network*).

Secara umum *WirelessMAN traffic* dibedakan menjadi tiga bagian, seperti berikut ini [7].

1. Pelanggan mengirimkan data dengan kecepatan 2 – 155 Mbps dari *subscriber station (SS)* ke *base station (BS)*.
2. *Base station* akan menerima sinyal dari berbagai pelanggan dan mengirimkan pesan melalui *wireless* atau kabel ke *switching center* melalui protokol *IEEE 802.16*.
3. *Switching center* akan mengirimkan pesan ke *internet service provider (ISP)* atau *public switched telephone network (PSTN)*.

Ketiga bagian tersebut di atas secara blok dapat dilihat pada Gambar 2.6 dibawah ini.

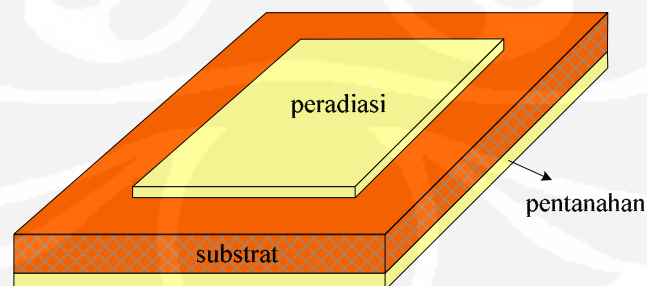


Gambar 2.6 Traffic Yang Terjadi Pada WiMAX [9]

Pada Gambar 2.6 di atas *laptop* dan *desktop personal computer (PC)* berfungsi sebagai *subscriber station (SS)*, *tower antenna* beserta perangkatnya sebagai *base station (BS)* dan *switching center* sebagai pengatur pilihan koneksi ke *internet service provider (ISP)*.

2.2. STRUKTUR DASAR ANTENA MIKROSTRIP

Antena mikrostrip merupakan sebuah antena yang tersusun atas 3 elemen yaitu: elemen peradiasi (*radiator*), elemen substrat (*substrate*), dan elemen pentanahan (*ground*), seperti ditunjukkan pada Gambar 2.7.

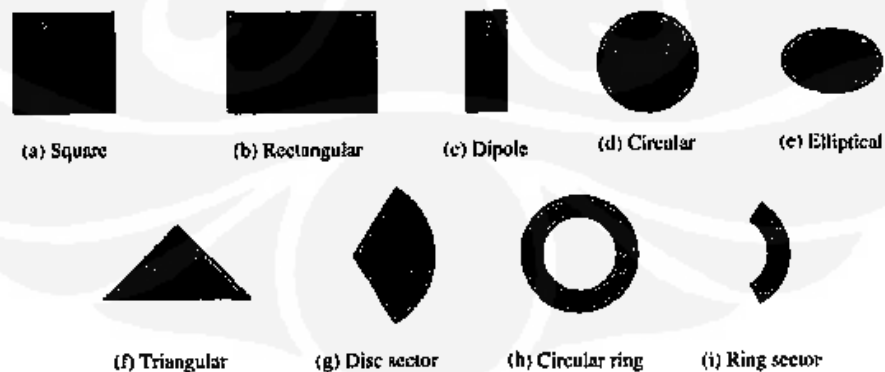


Gambar 2.7. Struktur dasar antena mikrostrip

Elemen peradiasi (*radiator*) atau biasa disebut sebagai *patch*, berfungsi untuk meradiasi gelombang elektromagnetik dan terbuat dari lapisan logam (*metal*) yang memiliki ketebalan tertentu. Jenis logam yang biasanya digunakan adalah tembaga (*copper*) dengan konduktifitas $5,8 \times 10^7$ S/m. Berdasarkan bentuknya, *patch* memiliki jenis yang bermacam-macam diantaranya bujur sangkar (*square*), persegi panjang (*rectangular*), garis tipis (*dipole*), lingkaran, elips, segitiga, dll. Gambar 2.8 memperlihatkan beberapa jenis *patch* dari antenna mikrostrip [4][10].

Elemen substrat (*substrate*) berfungsi sebagai bahan *dielektrik* dari antenna mikrostrip yang membatasi elemen peradiasi dengan elemen pentanahan. Elemen ini memiliki jenis yang bervariasi yang dapat digolongkan berdasarkan nilai *konstanta dielektrik* (ϵ_r) dan ketebalannya (h). Kedua 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*). Gelombang permukaan pada antenna mikrostrip merupakan efek yang merugikan karena akan mengurangi sebagian daya yang seharusnya dapat digunakan untuk meradiasikan gelombang elektromagnetik ke arah yang diinginkan.[4][11].

Sedangkan elemen pentanahan (*ground*) berfungsi sebagai pembumihan bagi sistem antenna mikrostrip. Elemen pentanahan ini umumnya memiliki jenis bahan yang sama dengan elemen peradiasi yaitu berupa logam tembaga.



Gambar 2.8. Beberapa Bentuk *Patch* [10]

Antena mikrostrip memiliki beberapa keuntungan dibandingkan dengan antena lainnya, seperti secara fisik antena mikrostrip lebih tipis, lebih kecil, dan lebih ringan, biaya pabrikasi yang murah, dapat dilakukan *polarisasi linear* dan lingkaran dengan pencatuan yang sederhana, dan sebagainya. Tetapi, antena mikrostrip juga memiliki keterbatasan dibandingkan dengan antena lainnya, diantaranya memiliki bandwidth yang sempit, gain yang rendah, dan memiliki efek gelombang permukaan (*surface wave*).

Karena memiliki bentuk dan ukuran yang ringkas, antena mikrostrip sangat berpotensi untuk digunakan pada berbagai macam aplikasi yang membutuhkan spesifikasi antena yang berdimensi kecil, dapat mudah dibawa (*portable*) dan dapat diintegrasikan dengan rangkaian elektronik lainnya (seperti IC, rangkaian aktif, dan rangkaian pasif). Antena mikrostrip telah banyak mengalami pengembangan sehingga mampu diaplikasikan pada berbagai kegunaan seperti komunikasi satelit, militer, aplikasi bergerak (*mobile*), kesehatan, dan komunikasi radar [4].

2.3. MODEL CAVITY

Untuk dapat menganalisis sebuah antena mikrostrip, maka diperlukan sebuah pemodelan yang dapat menggambarkan kondisi antena ke dalam sebuah kondisi persamaan yang dapat dianalisis secara akurat. Berbagai pemodelan untuk antena mikrostrip tersebut telah banyak dikembangkan dan satu diantaranya yang populer adalah model *cavity*.

Pada model *cavity*, daerah interior yaitu ruang antara *patch* dan bidang pentanahan diasumsikan sebagai sebuah ruang (*cavity*) yang dilingkari oleh suatu dinding magnetik sepanjang tepinya, dan diapit oleh dinding elektrik dari atas dan bawah. Model *cavity* dari sebuah antena mikrostrip diperlihatkan pada Gambar 2.9. Beberapa asumsi model *cavity* berdasarkan observasi dari substrat tipis ($h \ll \lambda_0$) [10]:

- a. Medan elektrik E hanya terdiri atas komponen z , dan medan magnetik H terdiri atas komponen *tranverse* (komponen x dan y) di dalam daerah yang dibatasi oleh *patch* dan bidang pentanahan.

- b. Medan-medan dalam daerah ini tidak berubah-ubah (bebas) terhadap koordinat z untuk semua frekuensi yang digunakan.
- c. Komponen *tangensial* H sepanjang tepi diabaikan.
- d. Memasukkan medan tepi (*fringing field*) dalam perhitungan dengan sedikit memperlebar tepi-tepi.

Dengan peninjauan seperti diatas, maka persamaan *Maxwell* untuk daerah diantara *patch* dengan bidang pentanahan dituliskan sebagai [4]:

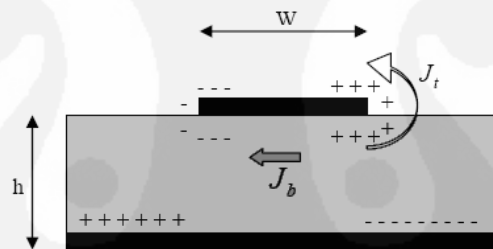
$$\nabla \times \bar{E} = -j\omega\mu_0 \bar{H} \quad (2.1)$$

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

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

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

Dimana ϵ adalah *permitivitas* dari substrat, μ_0 adalah *permeabilitas* ruang hampa, dan J adalah rapat arus.



Gambar 2.9. Distribusi Muatan Dan Densitas Arus Yang Terbentuk Pada *Patch* Mikrostrip [10]

Ketika suatu *patch* (elemen peradiasi) diberikan daya, maka akan terjadi distribusi muatan seperti yang terlihat pada bagian atas dan bawah dari permukaan elemen peradiasi dan pada bagian bidang pentanahan (Gambar 2.9). Distribusi muatan ini diatur dengan dua mekanisme yaitu mekanisme tarik-menarik dan mekanisme tolak-menolak. Mekanisme tarik-menarik terjadi antara dua muatan yang berlawanan yaitu antara muatan yang terdapat pada bagian bawah dari elemen peradiasi dengan muatan yang terdapat pada bidang pentanahan. Hal tersebut akan membantu menjaga agar konsentrasi muatan tetap ada pada bagian bawah elemen peradiasi. Mekanisme tolak-menolak terjadi antar muatan yang

terdapat pada bagian bawah elemen peradiasi. Hal tersebut akan menyebabkan beberapa muatan terdorong dari bagian bawah patch ke bagian atas dari patch. Pergerakan muatan ini akan menyebabkan arus mengalir pada bagian bawah dan atas dari elemen peradiasi.

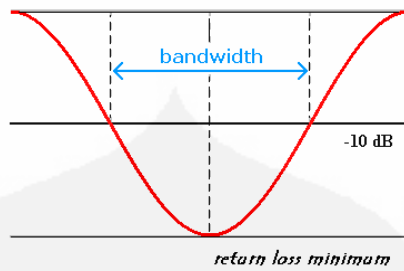
Model analisis *cavity* mengasumsikan bahwa perbandingan ketebalan dengan lebar (ketebalan substrat dan lebar elemen peradiasi) sangat kecil dan akibatnya, mekanisme tarik-menarik antar muatan akan mendominasi dan menyebabkan sebagian besar konsentrasi muatan dan arus akan terjadi pada bagian bawah dari permukaan patch. Ketika perbandingan *height to width* semakin menurun, arus yang berada pada bagian atas permukaan elemen peradiasi akan mendekati nol, sehingga tidak akan terbentuk komponen tangensial medan magnetik pada tepi elemen peradiasi. Empat dinding sisi antenna dapat dimodelkan sebagai permukaan konduktor magnetik yang sempurna. Hal tersebut menyebabkan distribusi medan magnet dan medan listrik yang terdapat pada elemen peradiasi tidak terganggu. Akan tetapi pada tataran praktis, komponen *tangensial* dari medan magnetik tidak akan sama dengan nol tetapi memiliki nilai yang sangat kecil dan dinding sisi antenna bukan merupakan konduktor magnetik yang sempurna. Karena dinding *cavity* (dalam hal ini merupakan material substrat) *lossless*, *cavity* tidak akan beradiasi dan sifat dari impedansi masukannya akan murni reaktif [4][10].

2.4. PARAMETER UMUM ANTENA MIKROSTRIP

Unjuk kerja (*performance*) dari suatu antenna mikrostrip dapat diamati dari parameternya. Beberapa parameter utama dari sebuah antenna mikrostrip akan dijelaskan sebagai berikut.

2.4.1. Bandwidth

Bandwidth (Gambar 2.10) suatu antenna didefinisikan sebagai rentang frekuensi di mana kinerja antenna yang berhubungan dengan beberapa karakteristik (seperti impedansi masukan, pola, *beamwidth*, polarisasi, *gain*, efisiensi, VSWR, *return loss*, *axial ratio*) memenuhi spesifikasi standar [4].



Gambar 2.10. Rentang Frekuensi Yang Menjadi *Bandwidth* [11]

Bandwidth dapat dicari dengan menggunakan rumus berikut ini :

$$BW = \frac{f_2 - f_1}{f_c} \times 100\% \quad (2-5)$$

dimana : f_2 = frekuensi tertinggi

f_1 = frekuensi terendah

f_c = frekuensi tengah

$$\text{sehingga panjang gelombang } (\lambda) = \frac{3 \times 10^8}{f_c} \text{ m} \quad (2-6)$$

Ada beberapa jenis *bandwidth* di antaranya [12]:

- a. *Impedance bandwidth*, yaitu rentang frekuensi di mana *patch* antenna berada pada keadaan *matching* dengan saluran pencatu. Hal ini terjadi karena impedansi dari elemen antenna bervariasi nilainya tergantung dari nilai frekuensi. Nilai *matching* ini dapat dilihat dari *return loss* dan VSWR. Pada umumnya nilai *return loss* dan VSWR yang masih dianggap baik masing-masing adalah kurang dari -9,54 dB dan 2.
- b. *Pattern bandwidth*, yaitu rentang frekuensi di mana *beamwidth*, *sidelobe*, atau *gain*, yang bervariasi menurut frekuensi memenuhi nilai tertentu. Nilai tersebut harus ditentukan pada awal perancangan antenna agar nilai *bandwidth* dapat dicari.
- c. *Polarization* atau *axial ratio bandwidth* adalah rentang frekuensi di mana polarisasi (linier atau melingkar) masih terjadi. Nilai *axial ratio* untuk polarisasi melingkar adalah kurang dari 3 dB.

2.4.2. VSWR (*Voltage Standing Wave Ratio*)

VSWR adalah perbandingan antara amplitudo gelombang berdiri (*standing wave*) maksimum ($|V|_{\max}$) dengan minimum ($|V|_{\min}$) [13]. Pada saluran transmisi ada dua komponen gelombang tegangan, yaitu tegangan yang dikirimkan (V_0^+) dan tegangan yang direfleksikan (V_0^-). Perbandingan antara tegangan yang direfleksikan dengan tegangan yang dikirimkan disebut sebagai *koefisien refleksi tegangan* (Γ) [13]:

$$\Gamma = \frac{V_0^-}{V_0^+} = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} \quad (2-7)$$

Dimana 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 *imaginer* dari Γ adalah nol, maka [13]:

- $\Gamma = -1$: 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.

Sedangkan rumus untuk mencari nilai VSWR adalah [13]:

$$S = \frac{|V|_{\max}}{|V|_{\min}} = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \quad (2-8)$$

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. Pada umumnya nilai VSWR yang dianggap masih baik adalah $VSWR \leq 2$. Sedangkan pada penelitian ini, nilai VSWR yang diharapkan adalah 1,4 untuk memenuhi spesifikasi teknis aplikasi *WiMAX* [14].

2.4.3. Return Loss

Return Loss adalah perbandingan antara amplitudo dari gelombang yang direfleksikan terhadap amplitudo gelombang yang dikirimkan [11]. *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 [13].

$$\Gamma = \frac{V_0^-}{V_0^+} = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} = \frac{VSWR - 1}{VSWR + 1} \quad (2-9)$$

$$Return\ loss = 20 \log_{10} |\Gamma| \quad (2-10)$$

Dengan menggunakan nilai $VSWR \leq 1,4$ maka diperoleh nilai *return loss* yang dibutuhkan adalah di bawah -15.545 dB. Dengan nilai ini, dapat dikatakan bahwa nilai gelombang yang direfleksikan tidak terlalu besar dibandingkan dengan gelombang yang dikirimkan atau dengan kata lain, saluran transmisi sudah dapat dianggap *matching*. Nilai parameter ini dapat menjadi salah satu acuan untuk melihat apakah antenna sudah mampu bekerja pada frekuensi yang diharapkan atau tidak.

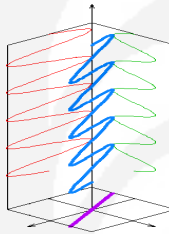
2.4.4. Polarisasi

Polarisasi antenna adalah polarisasi dari gelombang yang ditransmisikan oleh antenna [4]. Jika arah tidak ditentukan maka polarisasi merupakan polarisasi pada arah *gain* maksimum. 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 2.11) 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. 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 180^0 atau kelipatannya



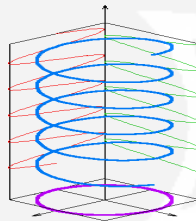
Gambar 2.11. Polarisasi Linier [11]

Polarisasi melingkar (Gambar 2.12) 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.

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 90^0 .

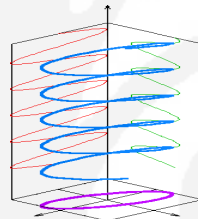
Polarisasi melingkar dibagi menjadi dua, yaitu *Left Hand Circular Polarization (LHCP)* dan *Right Hand Circular Polarization (RHCP)*. LHCP terjadi ketika $\delta = +\pi/2$, sebaliknya RHCP terjadi ketika $\delta = -\pi/2$



Gambar 2.12. Polarisasi Melingkar [10]

Polarisasi elips (Gambar 2.13) terjadi ketika gelombang yang berubah menurut waktu memiliki vektor medan (elektrik atau magnet) berada pada jalur kedudukan elips pada ruang. 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 2.13. Polarisasi Elips [10]

2.4.5. 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 [14]. 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 [4]:

$$D = \frac{U}{U_0} = \frac{4\pi U}{P_{rad}} \quad (2-11)$$

Dan jika arah tidak ditentukan, keterarahan terjadi pada intensitas radiasi maksimum yang didapat dengan rumus [4]:

$$D_{\max} = D_0 = \frac{U_{\max}}{U_0} = \frac{4\pi U_{\max}}{P_{rad}} \quad (2-12)$$

dimana :

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

2.4.6. Penguatan (*Gain*)

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

$$gain = 4\pi \frac{U(\theta, \phi)}{P_{in}} \quad (2-13)$$

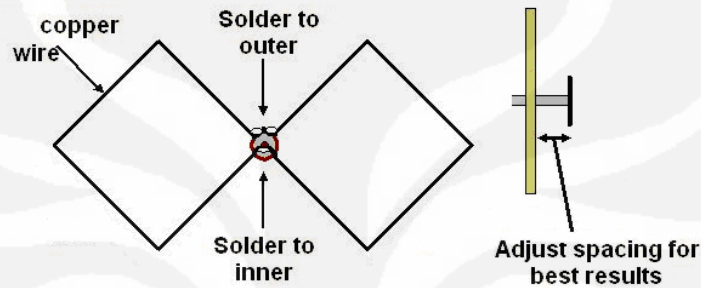
Selain *absolute gain* juga ada *relative gain*. *Relative gain* didefinisikan sebagai perbandingan antara perolehan daya pada sebuah arah dengan perolehan daya pada antenna referensi pada arah yang direferensikan juga. Daya masukan harus sama di antara kedua antenna itu. Akan tetapi, antenna referensi merupakan sumber isotropik yang *lossless* ($P_{in}(lossless)$). Secara rumus dapat dihubungkan sebagai berikut [4]:

$$G = \frac{4\pi U(\theta, \phi)}{P_{in}(lossless)} \quad (2-14)$$

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

2.5. ANTENA MIKROSTRIP *PATCH BIQUAD*

Patch berbentuk BiQuad merupakan bentuk yang tidak pernah dibuat sebelumnya. Antena Biquad sebelumnya menggunakan bahan *wire* yang dibentuk *quad* atau segiempat. Antena biquad memiliki sepasang quad yang saling berhadapan.



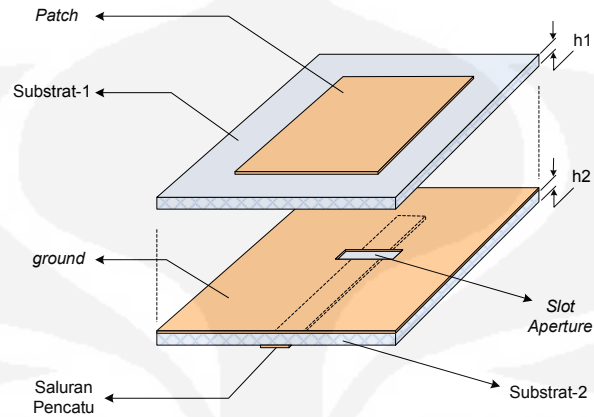
Gambar 2.14 Disain Antena Biquad Dengan Bahan *Wire*

Pada Gambar 2.14 diatas merupakan dimensi antena biquad dengan menggunakan wire. Pada perencanaan antena biquad diperlukan *adjust spacing* untuk mengatur atau mendapatkan hasil yang terbaik. Ada beberapa parameter yang harus diperhatikan dalam perancangan antena biquad tersebut. Panjang kawat adalah $\frac{1}{4}$ *lamda* (λ) dari frekuensi yang dipergunakan kemudian jarak *spacing* antara $\frac{1}{8} \lambda$ sampai $\frac{1}{4} \lambda$ yang harus diatur untuk mendapatkan hasil yang maskimal.

2.6. TEKNIK PENCATUAN *APERTURE COUPLED*

Teknik pencatuan pada antena mikrostrip merupakan teknik untuk mentransmisikan energi elektromagnetik ke antena mikrostrip. Terdapat berbagai konfigurasi teknik yang telah dikembangkan yang masing-masingnya tentu memiliki kelebihan dan kekurangan. Salah satu teknik yang populer, sederhana dan mudah dipabrikasi adalah teknik *line feed*, tetapi teknik ini menghasilkan *bandwidth* yang tidak lebar (biasanya 2-5%)[4]. Untuk kebutuhan mendapatkan *bandwidth* yang lebar, salah satu teknik yang dapat digunakan adalah dengan

teknik pencatuan *aperture coupled*. Arsitektur teknik pencatuan ini ditunjukkan pada Gambar 2.15.



Gambar 2.15. Teknik Pencatuan *Aperture Coupled* [16]

Pada konfigurasi teknik pencatuan *aperture coupled*, pengkopelan dari saluran pencatu (*feed-line*) ke *patch* melalui sebuah *aperture* kecil yang berupa *slot* pada bidang pentanahan (*ground plane*). Bentuk, ukuran, dan lokasi penempatan *slot aperture* dapat mempengaruhi pengkopelan dari saluran pencatu ke *patch*, begitu juga dengan tinggi substrat yang digunakan dapat bervariasi dengan susunan yang berlapis-lapis (*multilayer*). Umumnya *slot aperture* tersebut ditempatkan di tengah bawah dari *patch* [15].

Teknik pencatuan jenis ini pertama sekali dibuat pada tahun 1985 yang bertujuan untuk meningkatkan *bandwidth* dari antena mikrostrip. Dengan pengoptimalan beberapa parameter termasuk dimensi *slot aperture*, maka dapat dicapai *bandwidth* mendekati 70 % [15]. Untuk menentukan dimensi *slot aperture* dari teknik pencatuan ini dapat digunakan Persamaan (2-19) dan (2-20) [16].

Panjang *slot aperture* (L_a):

$$L_a = (0,1 - 0,2)\lambda_0 \quad (2-15)$$

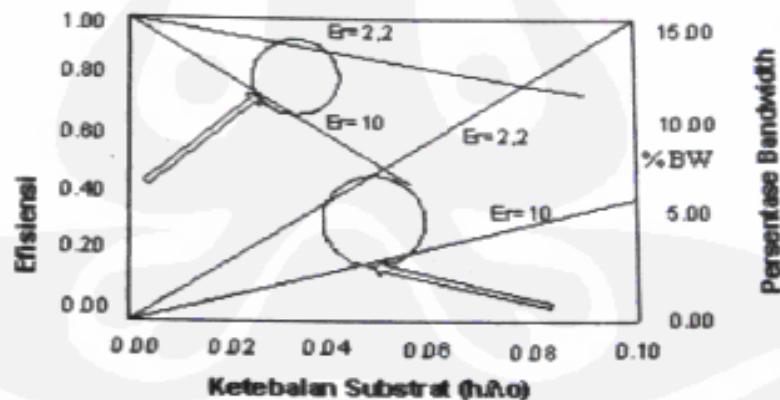
Lebar *slot aperture* (W_a):

$$W_a = 0,10L_a \quad (2-16)$$

2.7 MECHANICAL TUNING DENGAN MENGATUR JARAK SUBSTRAT

Antenna mikrostrip patch memiliki faktor kualitas yang sangat tinggi. Faktor kualitas (Q) menunjukkan rugi – rugi yang berhubungan dengan antenna dan nilai Q yang besar juga menunjukkan *bandwidth* yang sempit dan efisiensi yang rendah. Nilai Q dapat diperkecil dengan meningkatkan ketebalan dari substrat *dielektrik*. Akan tetapi seiring kenaikan tebal dari substrat maka akan meningkatkan hasil bagi jumlah total daya yang dihantarkan oleh sumbar yang berubah menjadi gelombang permukaan (*surface wave*). Gelombang permukaan dianggap sebagai rugi daya yang tidak diinginkan kerana gelombang ini berasal dari hamburan yang terdapat pada *dielektrik bends* dan mengakibatkan penurunan performa antenna.

Impedance bandwidth dari suatu patch memiliki nilai yang bervariasi dan berbanding terbalik dengan Faktor Kualitas (Q). Sehingga, parameter substrat seperti ϵ_r (*konstanta dielektrik relatif*) dan h (tebal substrat) dapat divariasi untuk mendapatkan nilai (Q) yang berbeda, dan secara mutlak akan meningkatkan *impedance bandwidth*.

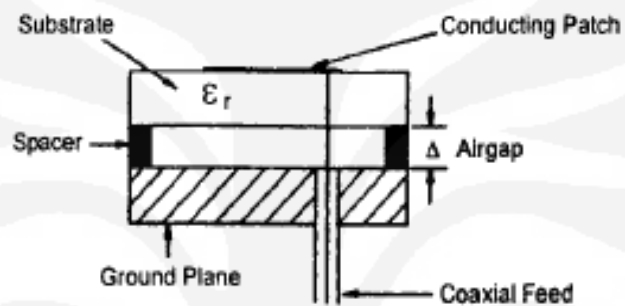


Gambar 2.16 Hubungan Antara Parameter Substrat Terhadap *Bandwidth* [17]

Pada Gambar 2.16 ditunjukkan efek dari ketebalan substrat terhadap *impedance bandwidth* dan efisiensi untuk dua nilai *konstanta dielektrik relatif* [17]. Pada gambar tersebut terlihat bahwa *impedance bandwidth* akan naik secara *linier* terhadap ketebalan substrat, sedangkan nilai *konstanta dielektrik* akan

semakin kecil ketika terjadi kenaikan *bandwidth*. Fenomena ini dapat dijelaskan dengan melihat perubahan nilai faktor kualitas (Q).

Dengan karakteristik dari antenna mikrostrip yang memiliki *bandwidth* yang sempit maka diperlukan suatu teknik yang dapat memperlebar *bandwidth*. Salah satunya adalah dengan *mechanical tuning* dengan mengatur jarak substrat (*air gap*) yang ditunjukkan pada Gambar 2.17.



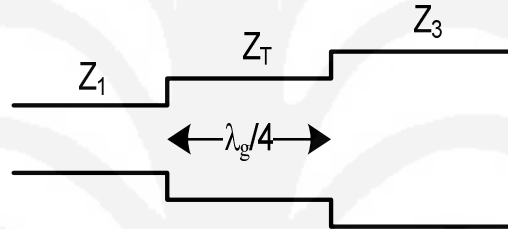
Gambar 2.17 *Tuning* Dengan Mengatur Jarak Substrat (*Air Gap*)

Gambar 2.17 menunjukkan susunan dimana terdapat jarak antar substrat *patch* dengan *substrat ground*. Elemen peradiasi dieksitasi oleh saluran koaksial dan *Tuning* dapat dilakukan dengan mengatur jarak dari kedua substrat. Prinsip kerja dari metode ini sangat mudah. *Konstanta dielektrik* dari patch antenna adalah fungsi dari *tuning* jarak dari udara yang ditambahkan diantar substrat. Ketika ukuran dari jarak tersebut berubah secara mekanik, maka nilai dari *konstanta dielektrik* juga akan berubah dan menghasilkan frekuensi resonan yang baru. Hasil dari *tuning*, *Bandwidth* dari antenna akan semakin meningkat karena nilai *konstanta dielektrik* yang rendah dan meningkatnya jarak antar substrat[4].

2.8. IMPEDANCE MATCHING

Impedance matching merupakan cara atau teknik yang dipakai untuk menyesuaikan dua impedansi yang tidak sama, yaitu impedansi karakteristik saluran (Z_0) dan impedansi beban (Z_L). Beban dapat berupa antenna atau rangkaian lain yang mempunyai *impedansi ekuivalen*.

Impedance matching mempunyai peranan yang sangat penting untuk memaksimalkan transfer daya dari sumber sinyal ke beban. Kondisi yang sesuai (*match*) antara impedansi karakteristik saluran dengan beban akan menghasilkan transfer daya yang maksimal, karena redaman yang disebabkan daya pantul akan diminimalkan. Pada prinsipnya, untuk menyesuaikan impedansi saluran dengan impedansi beban dilakukan dengan menyisipkan suatu “*transformator impedansi*” yang berfungsi mengubah impedansi beban sama dengan impedansi karakteristik saluran. Ada beberapa bentuk atau model teknik penyesuaian impedansi ini, diantaranya adalah *balun (balance to unbalance)* transformator, transformator $\frac{1}{4}\lambda$, *single stub tuner*, *double stub tuner*, dan *lumped circuit* [18]. Pada tugas akhir ini digunakan teknik transformator $\frac{1}{4}\lambda$ (Gambar 2.18).



Gambar 2.18. Pemberian Transformator $\frac{1}{4}\lambda$ Untuk Memperoleh *Impedance Matching* [18]

Transformator $\frac{1}{4}\lambda$ adalah suatu teknik impedance matching dengan cara memberikan saluran transmisi dengan impedansi Z_T di antara dua saluran transmisi yang tidak match. Panjang saluran transformator $\frac{1}{4}\lambda$ ini adalah sebesar $l = \frac{1}{4} \lambda_g$, di mana λ_g merupakan panjang gelombang pada bahan dielektrik yang besarnya dapat dihitung dengan Persamaan 2-21.

$$\lambda_g = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_{\text{eff}}}} \quad (2-17)$$

dimana λ_0 adalah panjang gelombang pada ruang bebas. Nilai impedansi Z_T dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 2-22.

$$Z_T = \sqrt{Z_1 \cdot Z_3} \quad (2-18)$$

BAB 3

PERANCANGAN ANTENA DAN METODOLOGI PENGUKURAN

Pada bab ini dibahas mengenai perancangan antenna mikrostrip *patch Biquad* yang dapat beroperasi pada frekuensi 2,3 GHz (2,3 – 2,4 GHz) untuk diaplikasikan pada teknologi *WiMAX*.

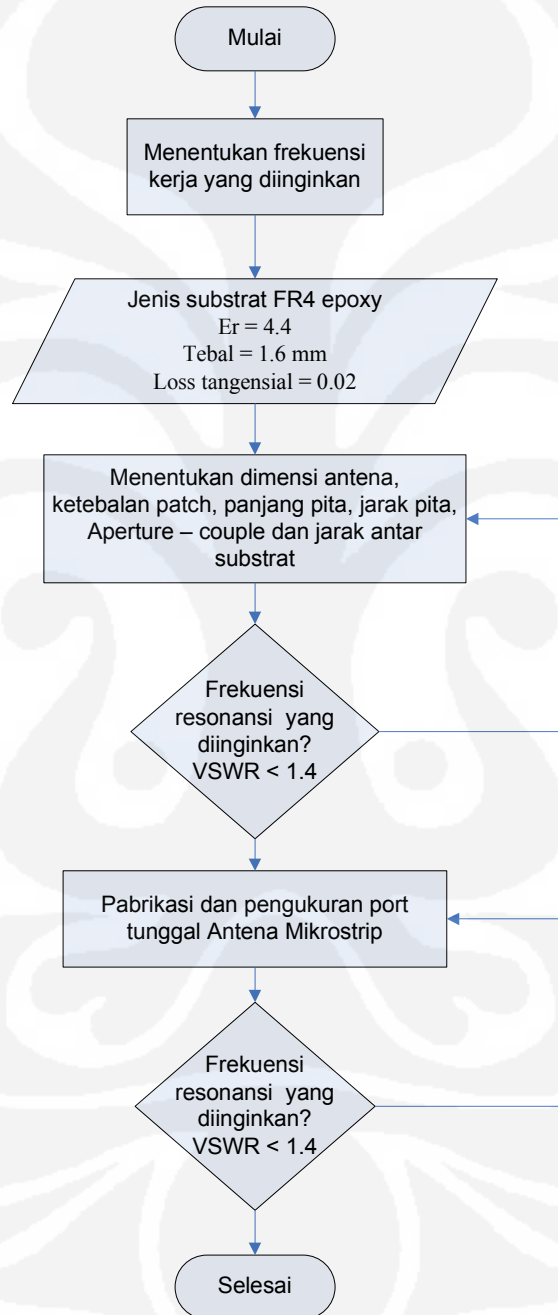
Secara umum, perancangan antenna mikrostrip *patch Biquad* didisain untuk konfigurasi elemen tunggal. Kegiatan yang dilakukan pada tahapan ini adalah penentuan frekuensi resonansi yang diinginkan, penentuan spesifikasi substrat yang akan digunakan, penentuan dimensi *patch* antenna dan *slot* pada bidang pentanahan, serta penentuan dimensi saluran pencatunya. Jenis antenna mikrostrip yang dirancang adalah antenna dengan *patch* berbentuk *Biquad* dengan teknik pencatuan *aperture-coupled*. Keuntungan rancangan ini adalah bentuk *patch* yang sederhana dan mudah proses fabrikasinya serta teknik pencatuan yang dapat menghasilkan *bandwidth* yang lebar sehingga mampu memenuhi spesifikasi yang dibutuhkan. Selain itu dengan *mechanical tuning* yaitu dengan mengatur jarak udara (*air gap*) untuk mendapatkan hasil yang terbaik. Ada empat langkah penting yang dilakukan untuk menghasilkan antenna seperti yang diinginkan :

1. Perancangan dan perhitungan dimensi antenna beserta saluran pencatu secara manual dan dibantu dengan perangkat lunak *PCAAD 3.0* sesuai dengan karakteristik yang diinginkan.
2. Simulasi disain yang telah dirancang dengan perangkat lunak *Microwave Office 2002 V.5.53*
3. Pabrikasi antenna
4. Pengukuran antenna

Langkah – langkah diatas dijelaskan lebih detail dalam diagram alir rancangan.

3.1. DIAGRAM ALIR PROSES PENELITIAN

Penelitian yang dilakukan akan melalui beberapa tahap, untuk memudahkan dalam proses penelitian maka tahap tersebut akan ditampilkan dalam bentuk diagram alir (*flowchart*). Pada Gambar 3.1 diperlihatkan diagram alir penelitian yang akan dilakukan.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2. PERLENGKAPAN YANG DIGUNAKAN

Peralatan yang digunakan dalam perancangan ini terdiri dari perangkat keras dan perangkat lunak. Perangkat lunak digunakan untuk melakukan simulasi dan untuk mengetahui karakteristik antena yang dirancang. Sedangkan perangkat keras digunakan untuk alat pensimulasi, pabrikan dan pengukuran.

3.2.1. Perangkat Lunak

- a. *Microwave Office 2004 V.6.51*, program ini sangat membantu dalam perancangan. Dengan bantuan program ini, rancangan fisik antena mikrostrip dapat dimodelkan dan disimulasikan serta dapat dilihat parameter hasilnya seperti *impedansi input*, *VSWR*, *return loss*, pola radiasi dan frekuensi kerja.
- b. *PCAAD 3.0* untuk menentukan impedansi karakteristik dan lebar saluran mikrostrip.
- c. *Microsoft Excel 2003*, perangkat lunak ini digunakan untuk mengolah data hasil simulasi dan hasil pengukuran.
- d. *Microsoft Visio 2003*, digunakan untuk melakukan visualisasi desain perancangan dan juga berbagai macam visualisasi yang digunakan dalam tesis ini.

3.2.2. Perangkat Keras

- a. *Network Analyzer Hewlett Packard 8753E (30 KHz-6GHz)*, yang digunakan untuk mengukur karakteristik antena, seperti *return loss*, *VSWR*, impedansi masukan, *bandwidth*, dan frekuensi resonansi.
- b. Substrat mikrostrip FR4 (*evoksi*).
- c. *Probe* dan konektor dengan impedansi karakteristik 50 Ohm.
- d. *Spacer* dan baut yang terbuat dari bahan plastik.

3.3. PERANCANGAN ANTENA

3.3.1. Menentukan Karakteristik Antena

Pada rancangan antena ini, diinginkan antena yang mampu bekerja pada frekuensi 2,3-2,4 GHz. Hal ini berarti, frekuensi resonansinya adalah 2,3-2,4 GHz dengan frekuensi tengah 2,35 GHz. Frekuensi tengah resonansi ini, selanjutnya akan menjadi nilai parameter frekuensi dalam menentukan parameter-parameter lainnya seperti panjang gelombang, panjang sisi biquad antena, serta panjang dan lebar saluran pencatu. Pada rentang frekuensi kerja tersebut (2,3-2,4 GHz), diharapkan antena memiliki parameter $VSWR \leq 1,4$ atau $return\ loss \leq -15,6$ dB.

3.3.2. Jenis Substrat yang Digunakan

Dalam pemilihan jenis substrat sangat dibutuhkan pengetahuan tentang spesifikasi umum dari substrat tersebut, kualitasnya, ketersediaan dipasaran, dan yang tidak kalah penting adalah harga atau biaya yang harus dikeluarkan untuk mendapatkannya, karena akan mempengaruhi nilai jual ketika akan dipabrikasi secara massal untuk dipasarkan.

Jenis substrat yang digunakan pada perancangan antena ini adalah substrat jenis FR4 (*evoksi*) dengan ketebalan 1,6 mm. Adapun parameter substrat dapat dilihat 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

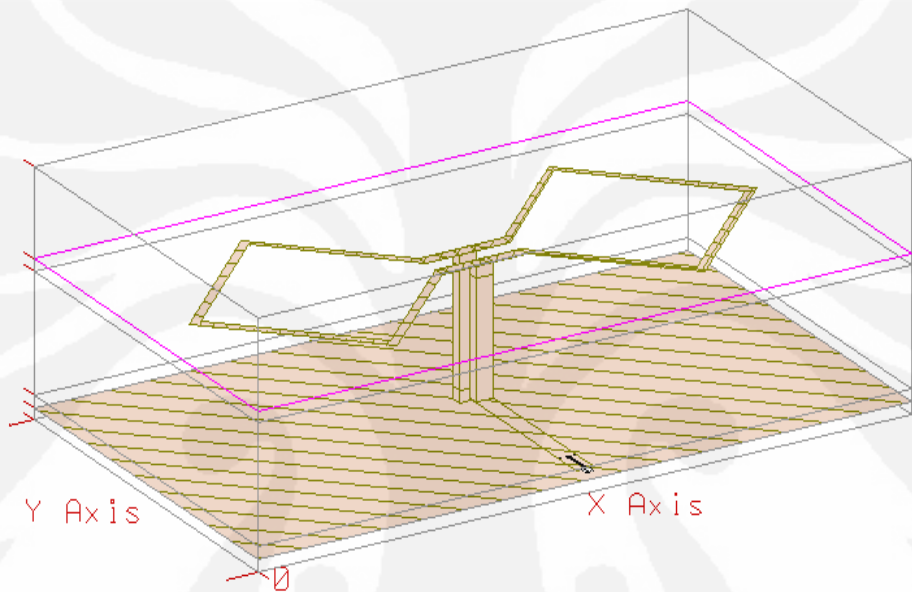
3.3.3. Perancangan Dimensi Antena *Biquad* Mikrostrip

Antena yang akan dirancang pada penelitian ini adalah antena mikrostrip *Biquad* dengan frekuensi kerja 2,35 GHz (2,3-2,4 GHz). Untuk perancangan awal dari dimensi antena perlu diketahui panjang gelombang dari frekuensi yang digunakan. Dimana frekuensi yang digunakan adalah frekuensi tengah 2.3 GHz –

2.4 GHz yaitu 2.35 GHz. Sesuai dengan persamaan 2-6 maka panjang gelombang (λ) dapat diketahui.

$$\begin{aligned} \text{Panjang gelombang } (\lambda) &= \frac{3 \times 10^8}{2.35 \times 10^9} \text{ m} \\ &= 0.1276 \text{ m} \approx 127.6 \text{ mm}. \end{aligned}$$

Panjang untuk setiap sisi pada dimensi biquad adalah $\frac{1}{4} \lambda$, sehingga panjang setiap sisinya : $\frac{1}{4} \times 127.6 \text{ mm} = 31.9 \approx 32 \text{ mm}$.



Gambar 3.2 Disain Antena Biquad Mikrostrip

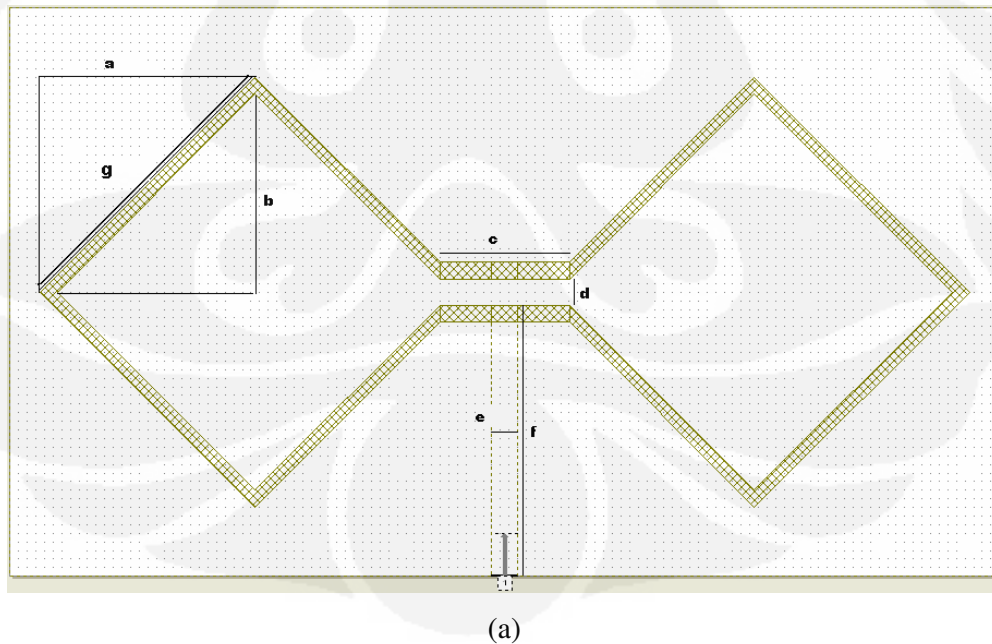
Pada perancangan antenna ini akan dibuat antenna biquad dalam suatu bahan mikrostrip seperti pada Gambar 3.2. Simulasi disain antenna biquad mikrostrip tersebut menggunakan *software Microwave Office (MWO) 2004* dimana dapat mensimulasikan disain antenna mikrostrip dengan baik. Untuk mendisain antenna mikrostrip biquad pada MWO seperti pada Gambar 3.2 diperlukan beberapa layer untuk mempresentasikannya yang ditunjukkan pada Tabel 3.2.

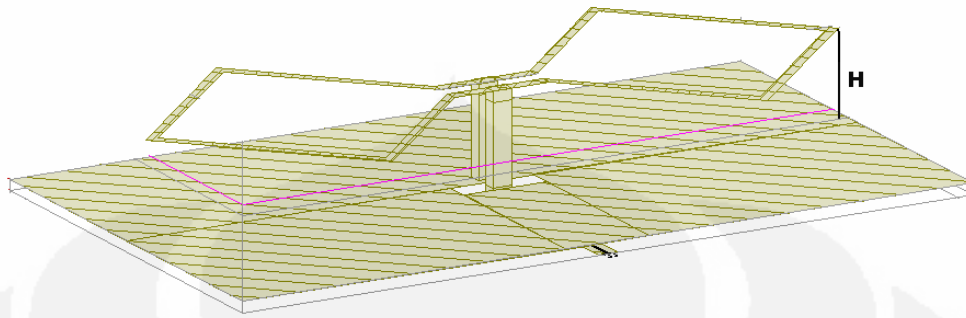
Tabel 3.2 Susunan Layer Disain Antena Biquad Mikrostrip Pada *Microwave Office* (MWO)

No. Layer	Thickness	ϵ_r	Loss Tangent
Layer 1	12	1	0
Layer 2	1.6	4.4	0.02
Layer 3	16	1	0
Layer 4	1.6	4.4	0.02
Layer 5	1.6	4.4	0.02

Tabel 3.2 diatas menunjukkan dimensi ketebalan dan ϵ_r layer – leyer yang mempresentasikan disain antena mikrostrip biquad pada software MWO. Layer 1 mewakili udara sebagai arah pancar antena. Layer 2 sebagai substrat FR4 (*evoksi*) untuk *patch* biquad Mikrostrip. Dari susunan layer antena biquad mikrostrip diatas dapat mudah diketahui dengan melihat nilai ϵ_r pada setiap layer. Untuk nilai $\epsilon_r = 1$ menunjukkan kontanta dielektrik dari udara sedangkan nilai $\epsilon_r = 4.4$ menunjukkan bahan substrat yang dipergunakan. Dimana pada perancangan ini bahan yang digunakan FR4 (*evoksi*).

Sesuai dengan tujuan dari perancangan antena mikrostrip biquad ini yaitu dapat berkerja di frekuensi 2.35 GHz, Maka dirancang antena biquad mikrostrip seperti ditunjukkan pada Gambar 3.2.





(b)

Gambar 3.3 Disain Antena Mikrostrip Biquad Dengan *Microwave Office* (a) Tampak Atas
(b) Tampak 3 Dimensi.

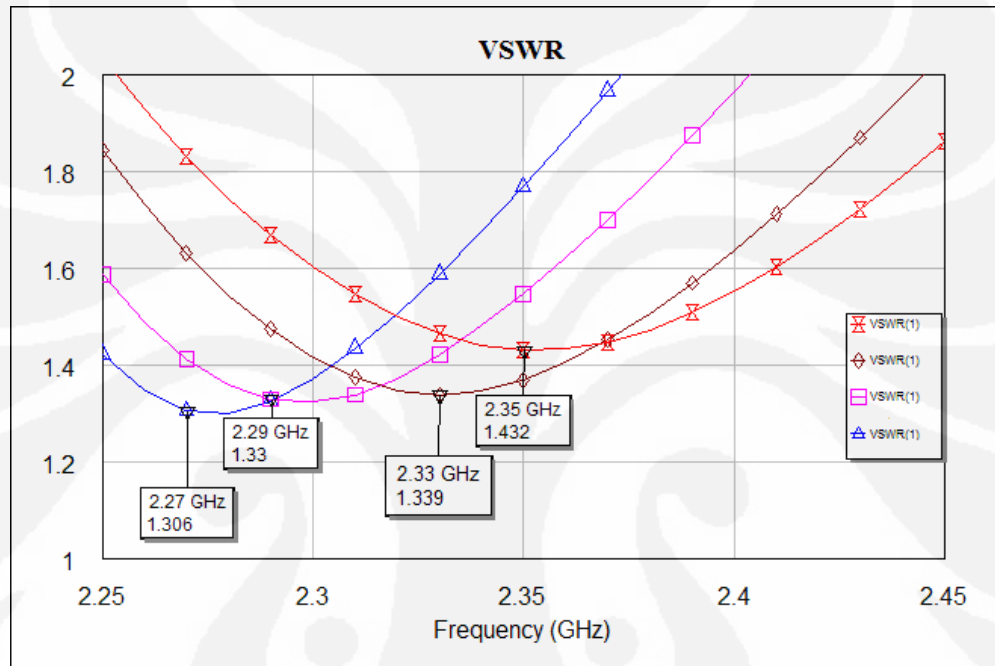
Tujuan dari disain antena biquad mikrostrip ini yaitu mendapatkan antena yang dapat bekerja pada frekuensi 2.35 GHz dengan *bandwidth* 100 MHz pada $VSWR \leq 1.4$. Ada beberapa parameter yang berpengaruh pada disain antena biquad mikrostrip terhadap unjuk kerja dari antena tersebut. Simbul dimensi dari antena yang ditunjukkan pada Gambar 3.3 (a) tampilan disain antena biquad mikrostrip dari atas dan (b) menunjukkan adanya jarak yang disimbulkan dengan huruf H pada disain antena biquad mikrostrip selanjutnya diuraikan pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Penjelasan Simbul Disain Antena Biquad Mikrostrip

Simbul	Keterangan	Simbul	Keterangan
a	Dimensi Terluar Biquad	e	Lebar <i>Feeding</i>
b	Dimensi dalam Biquad	f	Panjang <i>Feeding</i>
c	Panjang Pita	g	Panjang sisi
d	Jarak Pita	H	Jarak <i>Air gap</i>

Dengan menggunakan *software* MWO, disain antena disimulasikan dengan melakukan itersi berbagai dimensi antena biquad mikrostrip untuk mendapatkan spesifikasi yang diinginkan. Untuk mendapatkan disain antena biquad mikrostrip dengan resonansi pada frekuensi 2.35 GHz dilakukan dengan iterasi pada beberapa parameter yang ditunjukkan pada Gambar 3.3 (a) dan (b). Hasil simulasi disain antena biquad mikrostrip yang ditampilkan sebagai acuan adalah nilai $VSWR$ dan frekuensi resonan (GHz).

Pada Gambar 3.3 (a), parameter panjang sisi loop antenna ditunjukkan dengan simbol a dan b dalam satuan milimeter. Lebar dari patch biquad diketahui dengan pengurangan panjang a dan b. Lebar parameter ini disesuaikan dengan diameter kawat yang biasa digunakan pada antenna biquad yaitu sekitar 2 mm. Hasil simulasi untuk panjang sisi dimensi antenna biquad mikrostrip tersebut ditunjukkan pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Nilai VSWR Disain Antena Biquad Mikrostrip Dengan Iterasi Pada Dimensi Biquad

Gambar 3.4 merupakan hasil simulasi dengan iterasi terhadap panjang sisi dimensi antenna mikrostrip biquad. Dimana pada setiap simulasi tersebut menggunakan parameter yang sama dan hanya membedakan panjang sisi dari antenna biquad mikrostrip. Hasil simulasi tersebut dirangkum pada Tabel 3.4.

Dari Tabel 3.4 tersebut, dapat diketahui bahwa dari keempat disain antenna biquad mikrostrip dimana semakin besar dimensi atau panjang sisi dari antenna biquad mikrostrip maka akan semakin rendah frekuensi resonansinya.

Tabel 3.4 Parameter Dan Hasil Simulasi Iterasi Terhadap Dimensi Antena.

Label	Dimensi a (mm)	Panjang sisi g (mm)	Frekuensi Resonan (GHz)			
			2.27	2.29	2.33	2.35
Diagonal A	↓	↓	-	-	-	1.432
Diagonal B			-	-	1.339	-
Diagonal C			-	1.33	-	-
Diagonal D			1.306	-	-	-

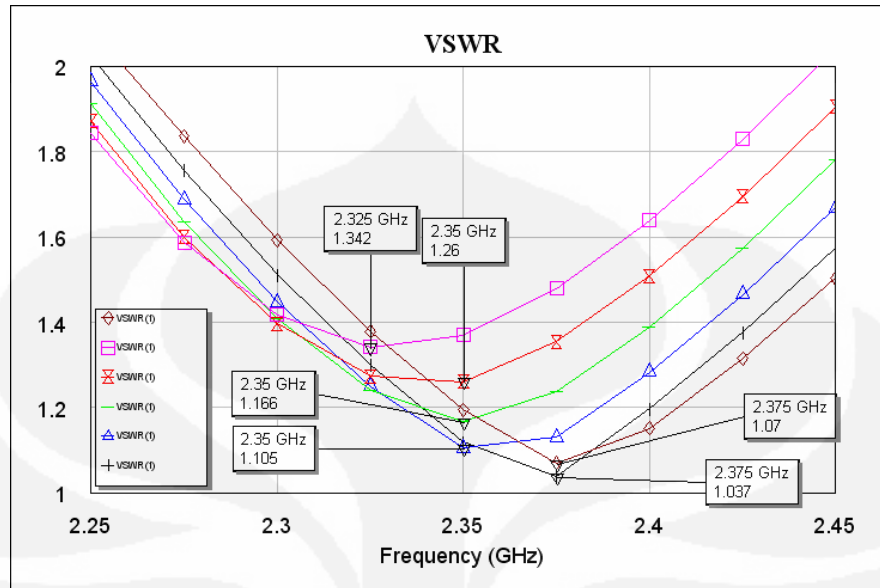
Dari iterasi panjang sisi ini dapat diperoleh sebuah rumusan dengan perbandingan panjang sisi dan panjang gelombang yaitu 0.274λ . Hal tersebut dapat digunakan untuk mendisain dengan frekuensi yang diinginkan.

Iterasi selanjutnya adalah pada jarak *air gap* dengan patch biquad (H) yang pada fabrikasinya dihubungkan dengan kawat tembaga. Hasil simulasi dari iterasi jarak *air gap* dengan patch biquad ditunjukkan pada Tabel 3.5. Sedangkan hasil simulasi dengan menggunakan software MWO ditunjukkan pada Gambar 3.5.

Tabel 3.5 Parameter Iterasi Jarak Antara Patch Biquad Dengan *Air gap* (H)

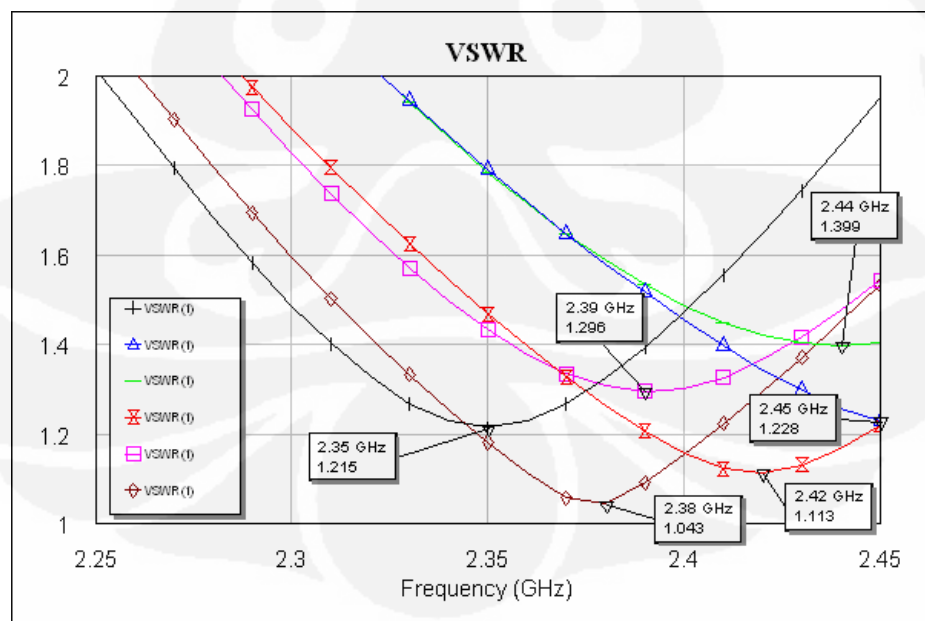
Label	Jarak H (mm)	Frekuensi Resonan (GHz)		
		2.325	2.35	2.375
1 Elemen A	↓	-	-	1.07
1 Elemen B		1.342	-	-
1 Elemen C		-	1.26	-
1 Elemen D		-	1.166	-
1 Elemen E		-	1.105	-
1 Elemen F		-	-	1.037

Pada Tabel 3.5 dan Gambar 3.5 dapat diketahui bahwa semakin besar nilai jarak *air gap* dengan patch Biquad akan menyebabkan pergeseran frekuensi resonan ke frekuensi yang lebih rendah. Dari iterasi jarak reflektor dengan patch biquad dapat diperoleh sebuah rumusan dengan perbandingan jarak reflektor dan panjang gelombang yaitu 0.109λ . Hal tersebut dapat digunakan untuk mendisain dengan frekuensi yang diinginkan.



Gambar 3.5 Nilai VSWR Disain Antena Biquad Mikrostrip Hasil Iterasi Jarak *Air gap* Dengan *Patch Biquad*

Parameter disain antena biquad mikrostrip yang perlu diperhitungkan selanjutnya adalah panjang pita yang disimbulkan dengan simbol c dan jarak antar pita yang disimbulkan dengan simbol d . Pada Gambar 3.6 ditunjukkan beberapa iterasi yang dilakukan pada panjang pita dalam satuan mm.



Gambar 3.6 Nilai VSWR Disain Antena Mikrostrip Biquad Hasil Iterasi Panjang Pita.

Gambar 3.6 menunjukkan hasil iterasi panjang pita dari antenna biquad mikrostrip. Hasil iterasi tersebut menunjukkan bahwa semakin pendek panjang pita maka frekuensi resonan yang didapat semakin tinggi. Akan tetapi terjadi perbedaan hasil simulasi pada saat panjang pita 10 mm. Pada panjang tersebut frekuensi resonan berubah menjadi rendah.

Dari Gambar diatas dapat diambil informasi yang disajikan pada Tabel 3.6.

Tabel 3.6 Parameter Iterasi Panjang Pita Pada Disain Antena Mikrostrip Biquad

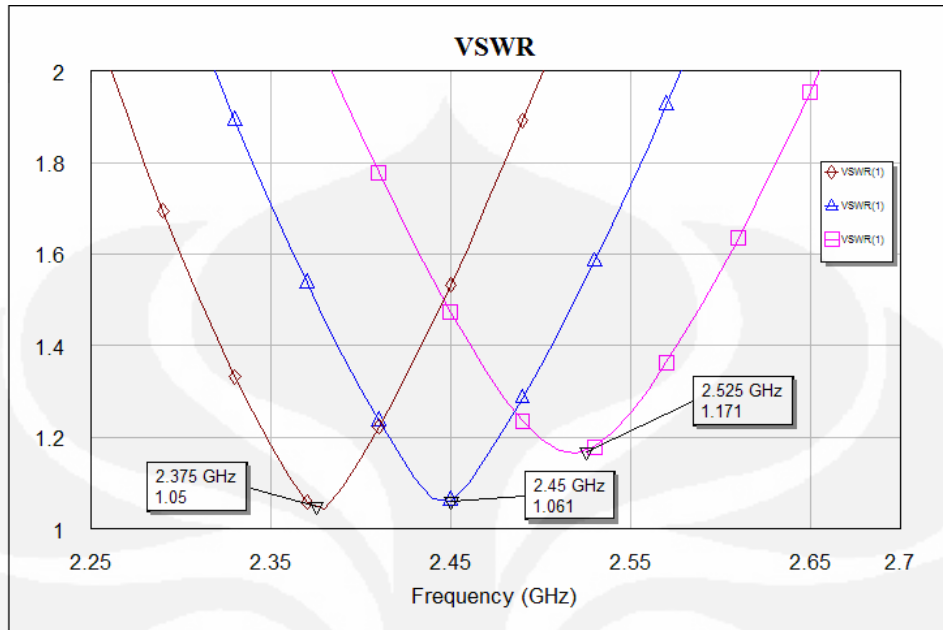
Label	Panjang Pita c (mm)	Frekuensi Resonan (GHz)					
		2.35	2.38	2.39	2.42	2.44	2.45
Panjang A	↓	1.215	-	-	-	-	-
Panjang B		-	-	-	-	-	1.228
Panjang C		-	-	-	-	1.339	-
Panjang D		-	-	-	1.113	-	-
Panjang E		-	-	1.296	-	-	-
Panjang F		-	1.043	-	-	-	-

Iterasi dimensi antenna biquad mikrostrip selanjutnya adalah jarak pita yang ditunjukkan pada Gambar 3.3 dengan simbol d. Ada perubahan hasil frekuensi resonan pada saat dilakukan perbedaan jarak pita tersebut. Pergeseran frekuensi resonansi terhadap iterasi jarak pita ditunjukkan pada Gambar 3.7.

Tabel 3.7 Parameter Iterasi Jarak Pita Pada Disain Antena Mikrostrip Biquad

Label	Jarak Pita d (mm)	Frekuensi Resonansi (GHz)		
		2.375	2.45	2.525
Pita A	↓	1.05	-	-
Pita B		-	1.061	-
Pita C		-	-	1.71

Data hasil simulasi iterasi panjang pita dari antenna biquad mikrostrip ditunjukkan pada Tabel 3.7.



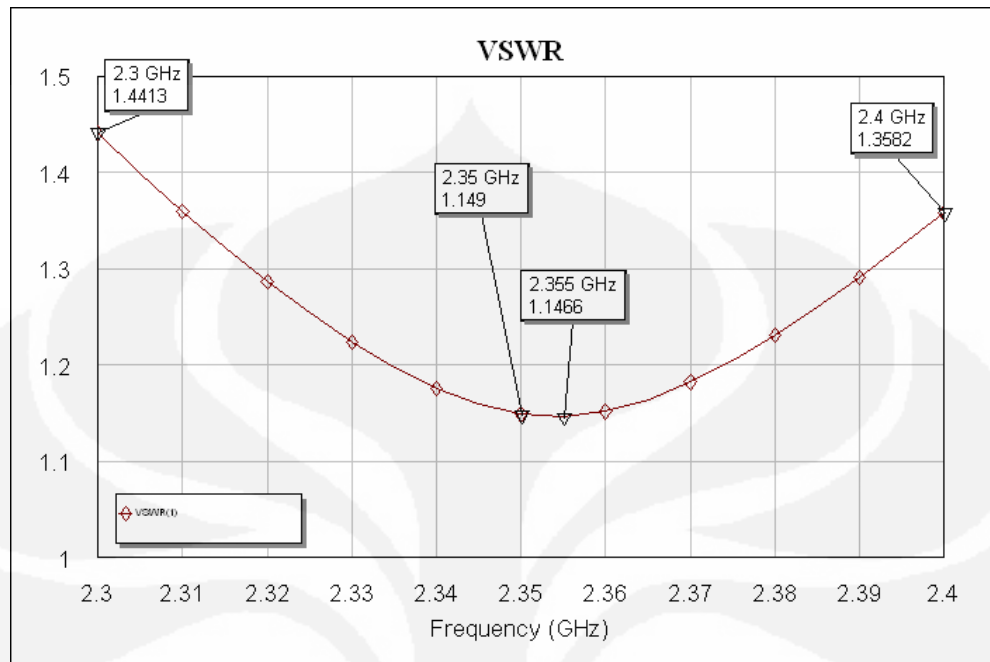
Gambar 3.7 Nilai VSWR Disain Antena Mikrostrip Biquad Hasil Iterasi Jarak Pita

Dari hasil iterasi antena biquad mikrostrip terhadap jarak pita yang ditunjukkan pada Gambar 3.7 dapat diketahui bahwa ada pergeseran yang besar pada iterasi jarak pita. Hasil pergeseran tersebut sebesar 75 MHz dengan perubahan setiap 1 mm dan jarak terkecil dari simulasi adalah 2 mm.

Dari semua hasil iterasi yang dilakukan untuk mendapatkan dimensi dari antena biquad mikrostrip yang sesuai dengan frekuensi 2.3 GHz – 2.4 GHz, maka diambil beberapa parameter hasil simulasi untuk mendapatkan hasil tersebut. Beberapa parameter tersebut ditunjukkan pada Tabel 3.8.

Tabel 3.8 Parameter Disain Antena Mikrostrip Biquad

Parameter	Hasil Simulasi
Frekuensi Kerja (<i>Bandwidth</i> / BW)	2.3 – 2.4 GHz
Dimensi a / Panjang sisi g	Satuan mm
Jarak <i>Air gap</i> H	Satuan mm
Panjang Pita c	Satuan mm
Jarak Pita d	Satuan mm
Lebar <i>Feeding</i> e	Satuan mm
Panjang <i>Feeding</i> f	Satuan mm



Gambar 3.8 Nilai VSWR Disain Antena Mikrostrip Biquad

Dari hasil simulasi dengan menggunakan software MWO didapat hasil VSWR sebesar 1.441 pada frekuensi 2.3 GHz dan 1.358 pada frekuensi 2.4 GHz yang ditunjukkan pada Gambar 3.8. Hasil simulasi antena biquad mikrostrip tersebut memenuhi spesifikasi untuk aplikasi *WIMAX*. Sehingga dapat dilakukan pabrikasi yang kemudian dilakukan pengukuran antena tersebut.

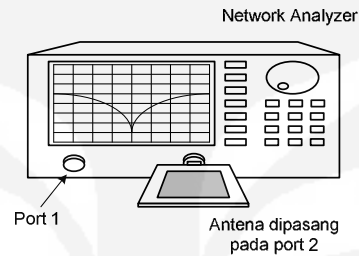
3.4. METODOLOGI PENGUKURAN PARAMETER ANTENA

Parameter antena yang diukur pada tugas akhir ini adalah *return loss*, VSWR, impedansi masukan, pola radiasi, dan *gain*. Kelima parameter antena yang akan diukur ini dikelompokkan menjadi tiga bagian, yaitu pengukuran *port* tunggal (untuk mengukur *return loss*, VSWR, dan impedansi masukan), pengukuran *port* ganda untuk mengukur pola radiasi, dan pengukuran *gain*.

Pengukuran ini menggunakan *Network Analyzer 8753E* yang memiliki 2 buah *port*. Sebelum digunakan, hal yang penting dilakukan adalah melakukan kalibrasi pada *port* yang akan dipasang.

3.4.1. Pengukuran *Port Tunggal*

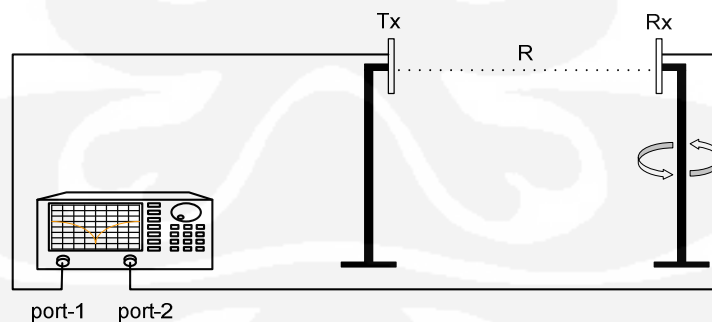
Pengukuran *port tunggal* merupakan pengukuran parameter sebuah antenna tanpa melibatkan antenna lain sebagai pemancar atau penerima. Pada pengukuran *port tunggal* ini, parameter yang diukur adalah *return loss*, VSWR, dan impedansi masukan. Konfigurasi pengukuran *port tunggal* terlihat pada Gambar 3.9.



Gambar 3.9. Konfigurasi Pengukuran *Port Tunggal*

3.4.2. Pengukuran *Port Ganda*

Pada pengukuran *port ganda* digunakan dua buah *port* yaitu *port-1* dan *port-2* dari *Network Analyzer*. Pengukuran ini membutuhkan sebuah antenna lain selain dari antenna yang ingin diukur dan harus memiliki frekuensi kerja yang sama. Antenna yang ingin diukur dihubungkan dengan *port 2* dan antenna lain tersebut dihubungkan dengan *port 1*. Konfigurasi pengukuran *port ganda* diperlihatkan pada Gambar 3.10.



Gambar 3.10. Konfigurasi Pengukuran *Port Ganda*

Pengukuran *port ganda* ini digunakan untuk mengukur karakteristik pola radiasi dari antenna yang telah difabrikasi. Dari Gambar 3.10 dapat dilihat bahwa antenna pemancar (Tx) dan penerima (Rx) dipisahkan sejauh R. Jarak pisah ini

miliki nilai minimum yang harus dipenuhi agar antenna bekerja pada medan jauhnya (*far-field*). Jarak minimum tersebut dapat dihitung dengan Persamaan 3.1.

$$R_{\min} = \frac{2D^2}{\lambda} \quad (3-1)$$

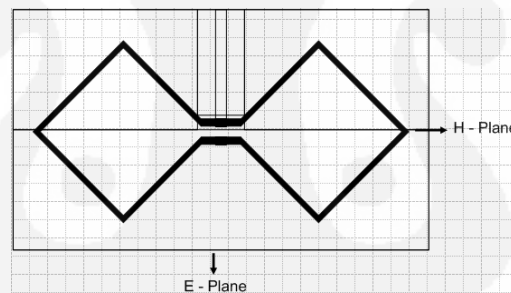
Di mana : R_{\min} = jarak minimum pemancar dan penerima (cm)

D = dimensi terbesar dari antenna (cm)

λ = panjang gelombang (cm)

Format pengukuran digunakan parameter S21 yang artinya antenna pemancar di *port* 1 dan antenna penerima di *port* 2.

Pengukuran pola radiasi dilakukan pada frekuensi kerja antenna (yaitu frekuensi pada saat nilai *return loss* minimum). Antenna penerima diputar dari posisi sudut $0^{\circ} - 360^{\circ}$ dengan interval 10° . Pengukuran dilakukan sebanyak 2 kali, yaitu untuk medan H dan medan E. Orientasi dari medan E dan medan H antenna diilustrasikan pada Gambar 3.11.



Gambar 3.11. Orientasi Medan E Dan Medan H Antena

Pengukuran *axial ratio* dilakukan pada frekuensi yang diamati, yaitu antara 2,3 – 2,4 GHz. Pada masing-masing frekuensi diukur medan E-co, E-cross, H-co dan H-cross. Selisih antara medan co dan cross tersebut merupakan nilai *axial ratio*. Jika nilai *axial ratio* ≤ 3 dB, maka antenna berada pada polarisasi melingkar. Sedangkan jika nilai *axial ratio* $\gg 3$ dB, maka dapat dikatakan polarisasi yang dihasilkan adalah linier.

3.4.3. Pengukuran *Gain* Absolut

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

$$(G_{ot})_{dB} + (G_{or})_{dB} = 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi R}{\lambda} \right) + 10 \log_{10} \left(\frac{P_r}{P_t} \right) \quad (3-2)$$

di mana :

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 penerima (Watt).

3.4.3.1. Metode 2 Antena

Metode 2 antena dipakai jika antena pemancar dan antena penerima identik (bentuk *patch*, ukuran *patch*, *gain*, pola radiasi, dll) [9]. Dengan mengukur R, λ , dan perbandingan P_r/P_t, maka nilai *gain* antena dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.3.

$$(G_{ot})_{dB} = (G_{or})_{dB} = \frac{1}{2} \left[20 \log_{10} \left(\frac{4\pi R}{\lambda} \right) + 10 \log_{10} \left(\frac{P_r}{P_t} \right) \right] \quad (3-3)$$

3.4.3.2. Metode 3 Antena

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

a. Kombinasi 1-2 :

$$(G_1)_{dB} + (G_2)_{dB} = 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi R}{\lambda} \right) + 10 \log_{10} \left(\frac{P_{r_2}}{P_{t_1}} \right) \quad (3-4)$$

b. Kombinasi 1-3 :

$$(G_1)_{dB} + (G_3)_{dB} = 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi R}{\lambda} \right) + 10 \log_{10} \left(\frac{P_{r_3}}{P_{t_1}} \right) \quad (3-5)$$

c. Kombinasi 2-3 :

$$(G_2)_{dB} + (G_3)_{dB} = 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi R}{\lambda} \right) + 10 \log_{10} \left(\frac{Pr_3}{Pt_2} \right) \quad (3-6)$$

Ketiga persamaan di atas dapat dituliskan sebagai:

$$G_1 (dB) + G_2 (dB) = A$$

$$G_1 (dB) + G_3 (dB) = B$$

$$G_2 (dB) + G_3 (dB) = C$$

Dengan demikian penyelesaian untuk ketiga persamaan di atas adalah:

$$G_1 (dB) = \frac{1}{2} (A + B - C) \quad (3-7)$$

$$G_2 (dB) = \frac{1}{2} (A - B + C) \quad (3-8)$$

$$G_3 (dB) = \frac{1}{2} (-A + B + C) \quad (3-9)$$

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

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

BAB 4 PENGUKURAN DAN ANALISIS ANTENA

4.1. HASIL PENGUKURAN PARAMETER ANTENA

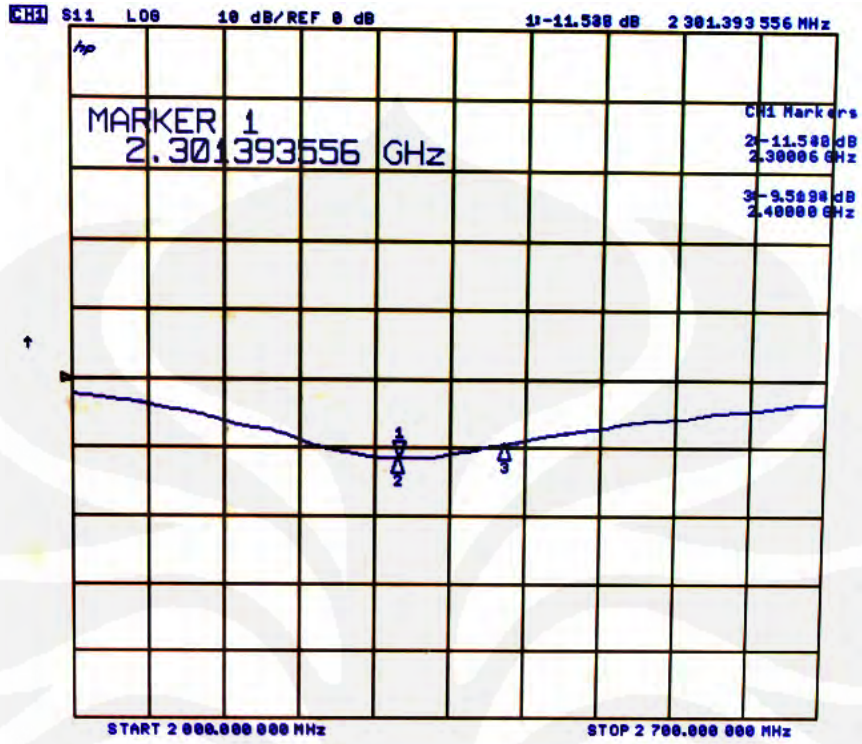
Langkah selanjutnya setelah proses simulasi dengan menggunakan perangkat lunak AWR *Microwave Office* 2004 adalah pabrikasi. Pabrikasi dapat dilakukan secara manual (*hand made*) dengan teknik sablon dan proses *etching* atau menggunakan jasa perusahaan, namun yang terpenting adalah akurasi dimensi antena yang dibuat harus sesuai dengan perancangan. Setelah pabrikasi berhasil, barulah dilakukan proses pengukuran. Pengukuran parameter – parameter antena dilakukan di ruang *Anechoic Chamber* Departemen Elektro FTUI yang mampu menyerap gelombang elektro magnet sehingga mengurangi pantulan dan interferensi gelombang terhadap hasil pengukuran antena. Hal ini untuk menghasilkan pengukuran yang akurat.

4.1.1. Pengukuran *Port* Tunggal

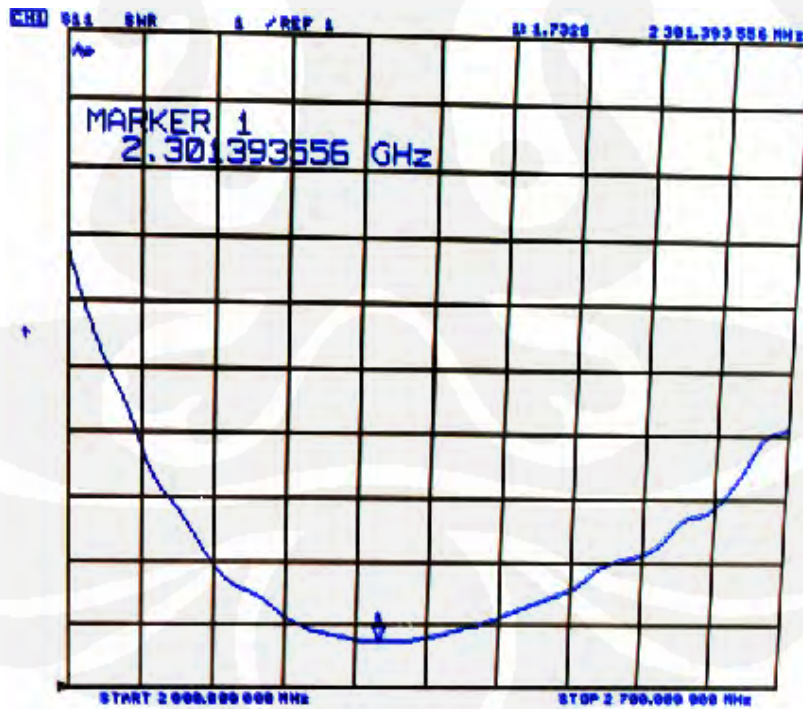
Pengukuran *port* tunggal merupakan pengukuran antena tanpa melibatkan antena lain sebagai pemancar / penerima dengan menggunakan *Network Analyzer hp 8753E*. Parameter antena yang dapat diukur pada pengukuran ini antara lain frekuensi resonansi, VSWR, *Return Loss*, impedansi masukan, *bandwidth* antena.

Pada penelitian ini, pengukuran *port* tunggal dilakukan pada *port* 1 *network analyzer* dengan format S11. Format S11 ini merupakan perbandingan antara tegangan yang direfleksikan dengan tegangan yang dikirimkan, dimana tegangan tersebut masuk melalui *port* 1 dan keluar juga melalui *port* 1. Antena hasil pabrikasi dihubungkan dengan *port* 1 melalui konektor SMA.

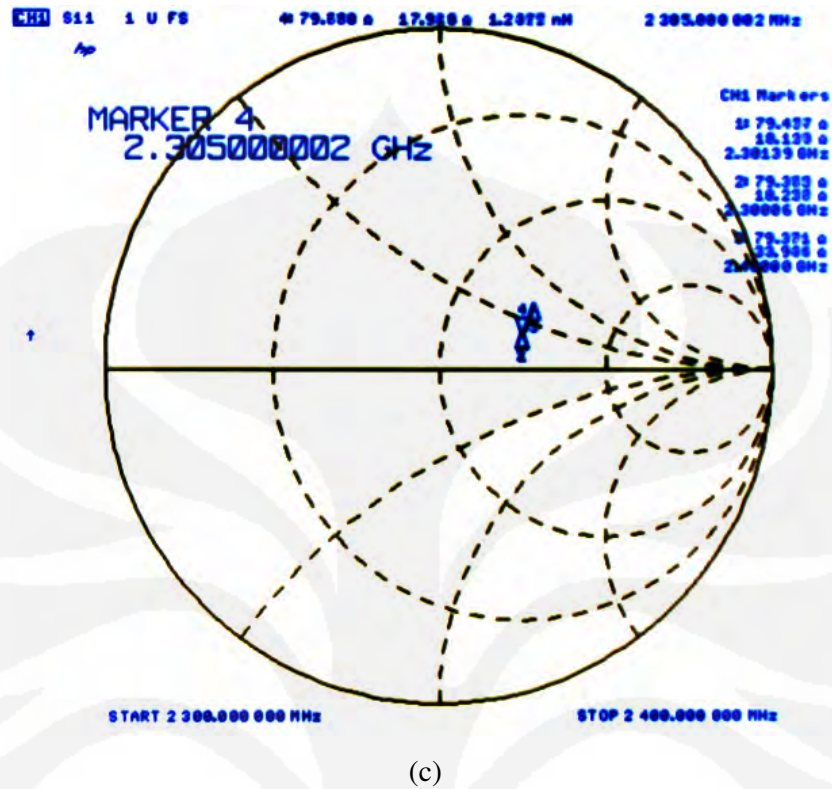
Hasil pengukuran *port* tunggal terhadap antena elemen tunggal berupa grafik *return loss*, VSWR, dan *Smith Chart* impedansi masukan dapat dilihat pada Gambar 4.1 Hasil Pengukuran Antena dengan *Network Analyzer* secara berturut.



(a)



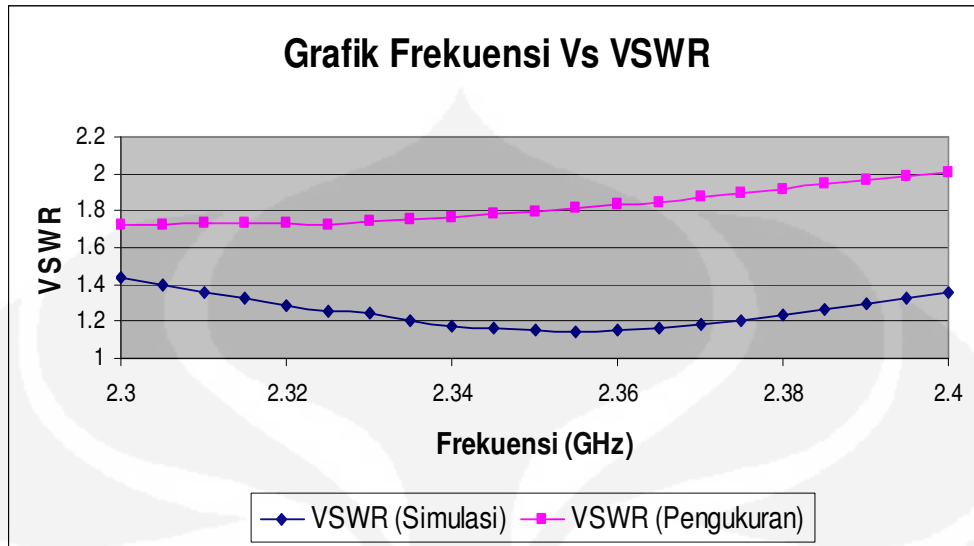
(b)



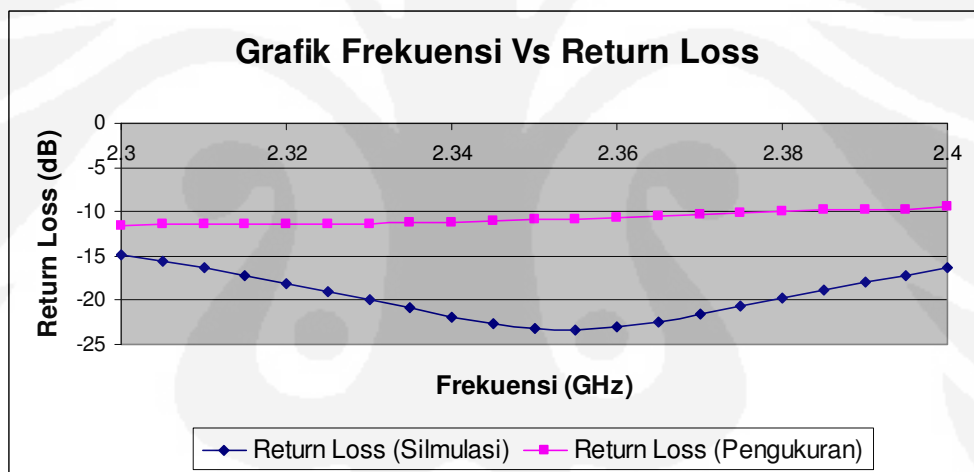
Gambar 4.1. Hasil Pengukuran Antena Dengan *Network Analyzer*, (a) *Return Loss*, (b) VSWR, Dan (c) Impedansi Masukan

Dari Gambar 4.1 (a) dapat dilihat bahwa nilai *return loss* yang diperoleh pada frekuensi 2,3 GHz dan 2,4 GHz masing-masing adalah -11.508 dB dan -9.509 dB. Nilai *return loss* terendah yang diperoleh adalah -11.508 dB pada frekuensi 2,3 GHz. Sedangkan nilai VSWR yang diperoleh pada frekuensi 2,3 GHz dan 2,4 GHz ditunjukkan pada Gambar 4.1 (b), masing-masing adalah 1,723 dan 2.011. Nilai VSWR terendah mencapai 1,723 pada frekuensi 2,30. Impedansi masukan antenna yang ditunjukkan Gambar 4.1 (c) pada rentang frekuensi 2,3-2,4 GHz berkisar 79, 497 Ω hingga 79,371 Ω . Dari hasil pengukuran ini dapat diketahui bahwa ada perbedaan yang sangat jauh antar simulasi dengan hasil pengukuran yang dilakukan.

Frekuensi terendah pada pengukuran pada frekuensi 2,30 GHz dengan nilai VSWR 1.723 dan *Return Loss* -11.508. Sedangkan pada perancangan antenna biquad mikrostrip ini adalah mampu berkerja pada frekuensi 2.3 GHz – 2.4 GHz dengan frekuensi resonan di 2.35 GHz dan VSWR \leq 1.4. Perbandingan antar hasil penukuran dan simulasi ditunjukkan pada Gambar 4.2 (a) dan (b).



(a)

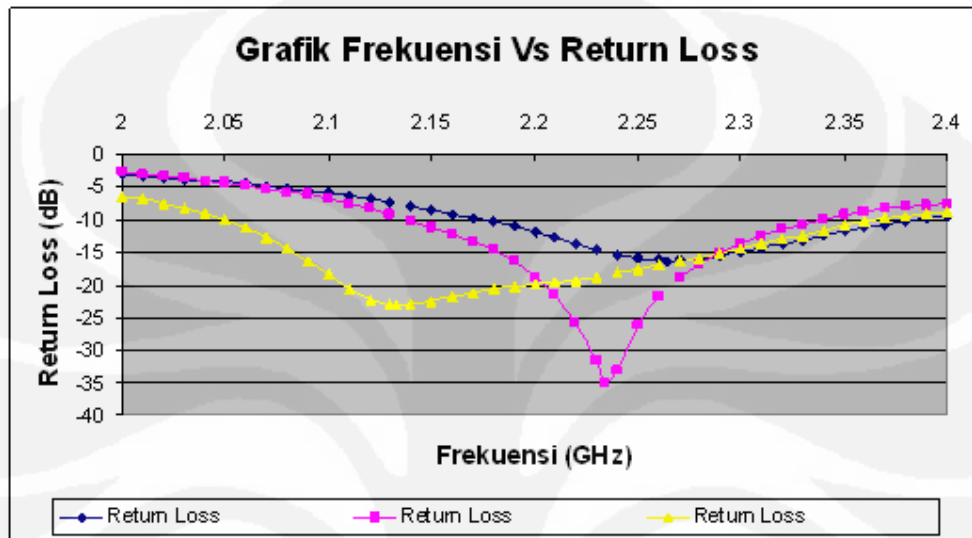


(b)

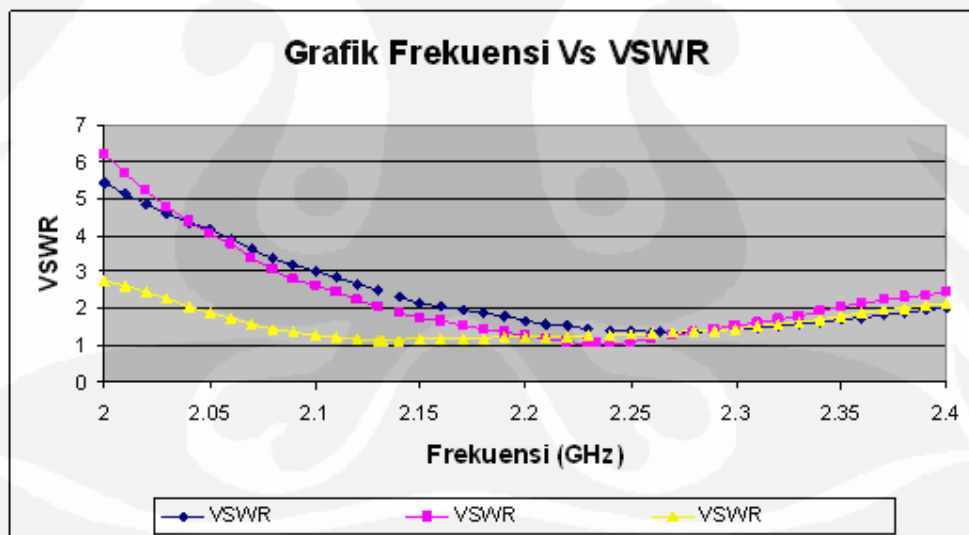
Gambar 4.2 Perbandingan Antara Hasil Pengukuran dan Simulasi, (a) VSWR Dan (b) *Return Loss*

Gambar 4.2 (a) dan (b) menunjukkan perbedaan antar hasil pengukuran dengan simulasi yang terjadi. Seperti diketahui bahwa dari hasil pengukuran didapat nilai VSWR 1.723 dan *Return Loss* -11.508 pada frekuensi resonan 2.30 GHz sedangkan pada simulasi, nilai VSWR 1.149 pada frekuensi resonan 2.35 GHz dan VSWR 1.442 – 1.358 pada frekuensi *bandwidth* yang diinginkan.

Karena perbedaan yang terjadi sangat besar sehingga perlu dilakukan iterasi terhadap hardware untuk mendapatkan nilai sesuai dengan spesifikasi aplikasi yang digunakan.



(a)



(b)

Gambar 4.3 Hasil Iterasi Hardware menggunakan *mechanical tuning* dengan mengatur jarak udara / *air gap* (H), (a) *Return Loss*, dan (b) *VSWR*

Gambar 4.3 menunjukkan hasil iterasi *hardware* menggunakan teknik *mechanical tuning* dengan mengatur jarak udara / *air gap* (H). Teknik

mechanical tuning digunakan untuk mendapatkan frekuensi resonan yang baru dengan nilai VSWR yang lebih baik. Proses iterasi dilakukan dengan variasi jarak satuan mm. Hasil iterasi *mechanical tuning* ditunjukkan pada Tabel 4.1.

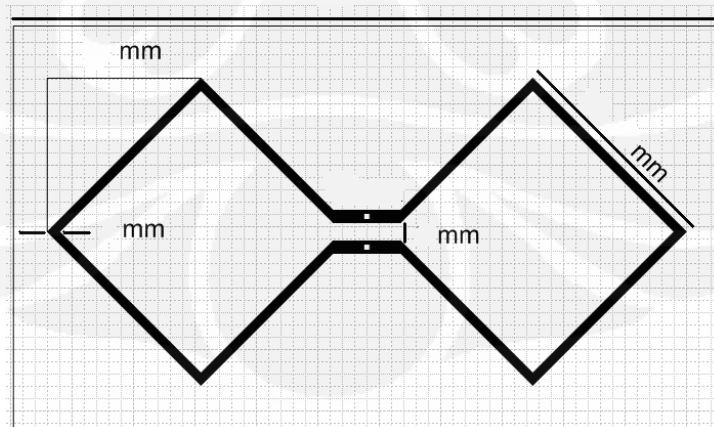
Tabel 4.1 Hasil Iterasi Dengan Beberapa Jarak Udara / *Air Gap* (H)

Parameter Antena	Jarak <i>air gap</i> (H)		
	—————→		
Frekuensi Resonan (GHz)	2.264	2.234	2.1325
<i>Return Loss</i> minimum (dB)	-16.354	-35.124	-23.124
VSWR minimum	1.362	1.038	1.149

4.2 PENCAPAIAN SPESIFIKASI ANTENA

4.2.1 Simulasi Dengan Nilai ϵ_r Tetap

Hasil pengukuran antena biquad mikrostrip yang telah dipabrikasi dengan ukuran pada perancangan awal terjadi pergeseran frekuensi jika dibandingkan dengan simulasi menggunakan *Microwave Office* yaitu sebesar 200 MHz. Oleh karena itu, dengan menganalisa hasil pengukuran tersebut maka didisain ulang melalui MWO suatu antena biquad mikrostrip dengan menggeser frekuensi resonansi sebesar 200 MHz dengan mempertahankan $\epsilon_r = 4.4$. Hasil disain antena biquad mikrostrip dengan spesifikasi yang baru ditunjukkan pada Gambar 4.4.

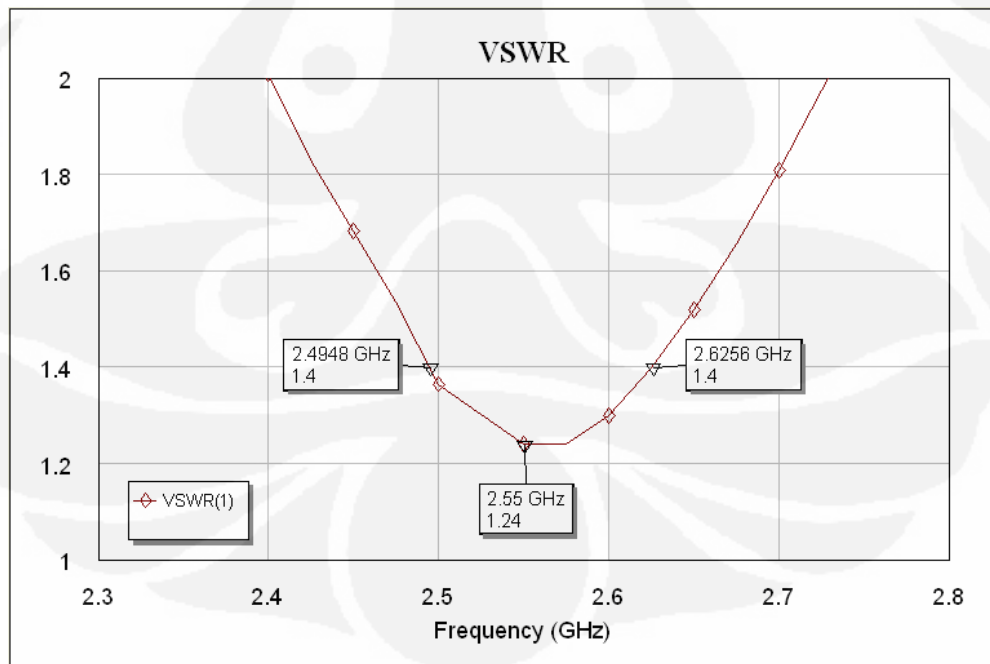


Gambar 4.4 Dimensi Antena Biquad Mikrostrip Untuk Aplikasi *WiMAX*

Gambar 4.4 merupakan disain antenna biquad mikrostrip yang didapat dengan melakukan simulasi pada MWO dengan melakukan pergeseran frekuensi resonan dari pergeseran frekuensi yang terjadi pada hasil pengukuran yang pertama. Untuk mencapai spesifikasi yang dibutuhkan dari aplikasi *WiMAX* dilakukan beberapa modifikasi disain. Konstruksi disain antenna biquad mikrostrip yang telah dimodifikasi tersebut ditunjukkan pada Tabel 4.2.

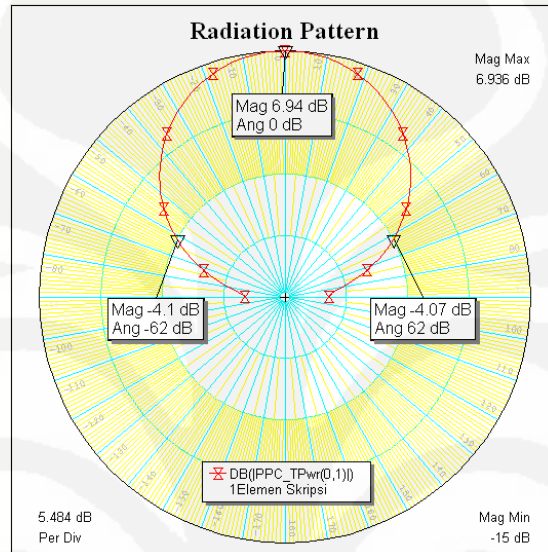
Tabel 4.2 Pencapaian Spesifikasi Antena Biquad Mikrostrip Dengan Software MWO

Dimensi Antena	Ukuran
Dimensi a	Satuan mm
Panjang Sisi g	Satuan mm
Panjang Pita c	Satuan mm
Jarak Pita d	Satuan mm
Jarak <i>Air gap</i> H	Satuan mm
Lebar <i>Feeding</i> e	Satuan mm
Panjang <i>Feeding</i> f	Satuan mm



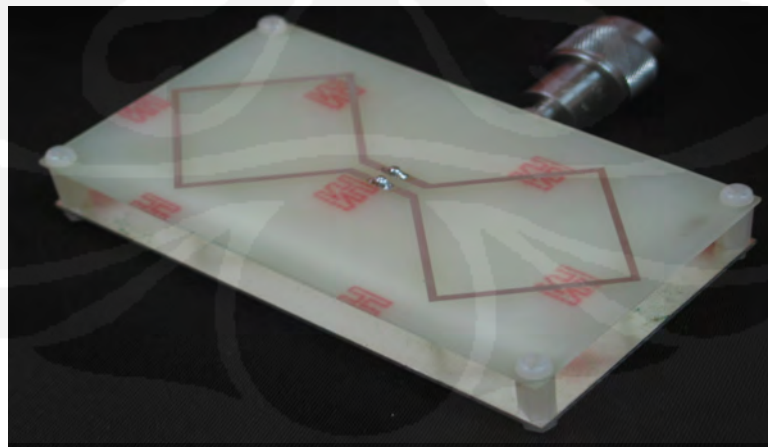
Gambar 4.5 Nilai VSWR Hasil Simulasi Disain Antena Biquad Mikrostrip Dengan MWO

Gambar 4.5 merupakan hasil simulasi disain antenna biquad mikrostrip dengan melakukan pergeseran ± 200 MHz untuk mendapatkan frekuensi resonan di 2.35 GHz. Disain dimensi antenna biquad mikrostrip ditunjukkan pada Tabel 4.2 yang kemudian dilakukan pabrikan dan pengukuran.



Gambar 4.6. Hasil Simulasi Pola Radiasi Antena Biquad Mikrostrip

Pada Gambar 4.6 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 62° dan *magnitude* tertinggi berada pada sudut 0° .



Gambar 4.7 Antena Biquad Mikrostrip

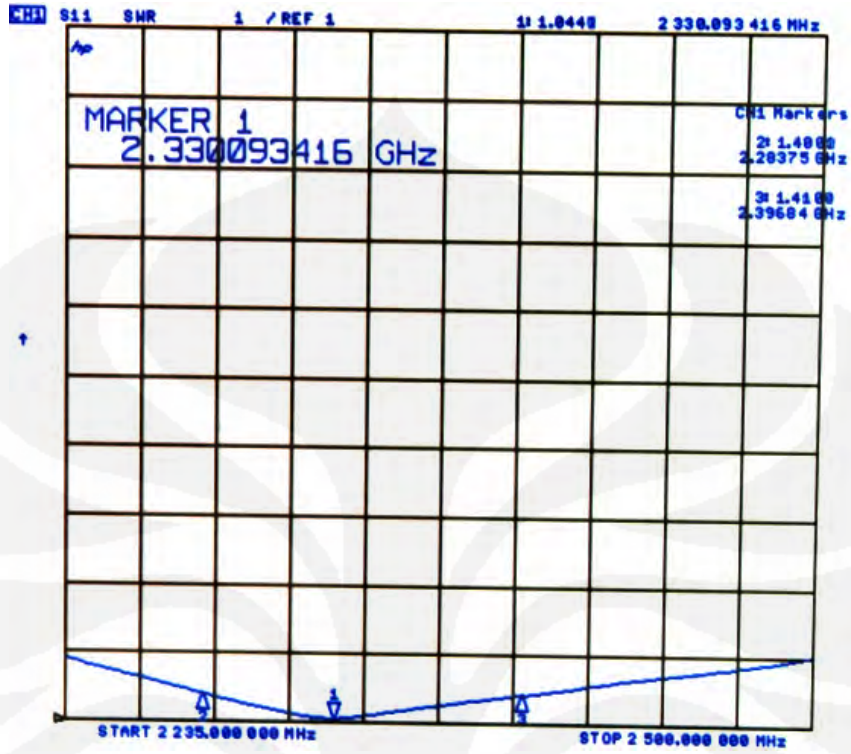
Tabel 4.3 Disain Pencapaian spesifikasi Antena Biquad Mikrostrip Dengan MWO

Dimensi Antena	Ukuran
Dimensi a	Satuan mm
Panjang Sisi g	Satuan mm
Panjang Pita c	Satuan mm
Jarak Pita d	Satuan mm
Jarak <i>Air gap</i> H	Satuan mm
Lebar <i>Feeding</i> e	Satuan mm
Panjang <i>Feeding</i> f	Satuan mm

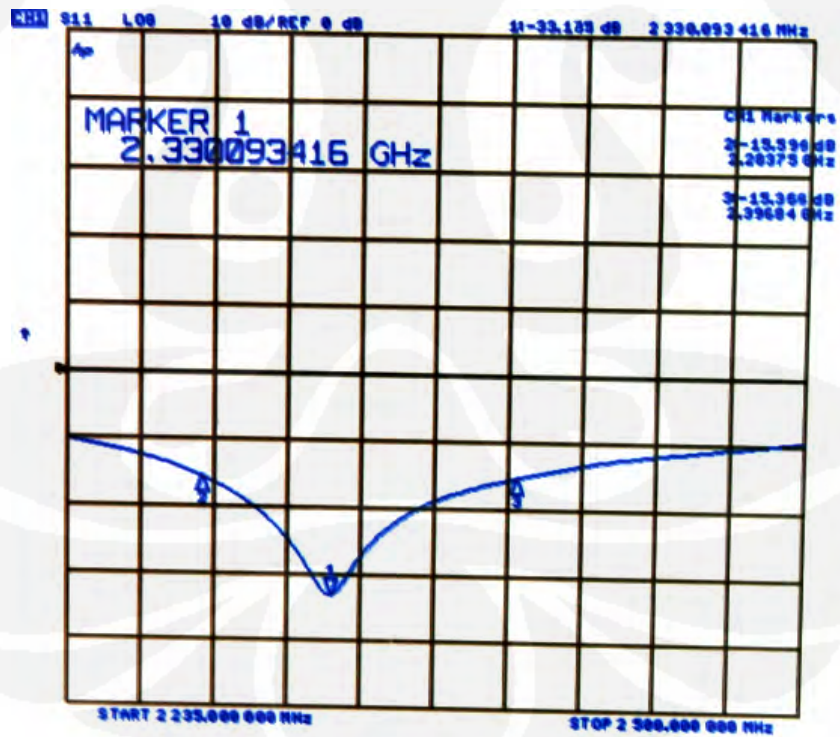
Gambar 4.7 merupakan antena biquad mikrostrip yang telah dipabrikasi dan dilakukan pengukuran dengan spesifikasi Tabel 4.3.

4.2.1.1 Hasil Pengukuran *Port* Tunggal

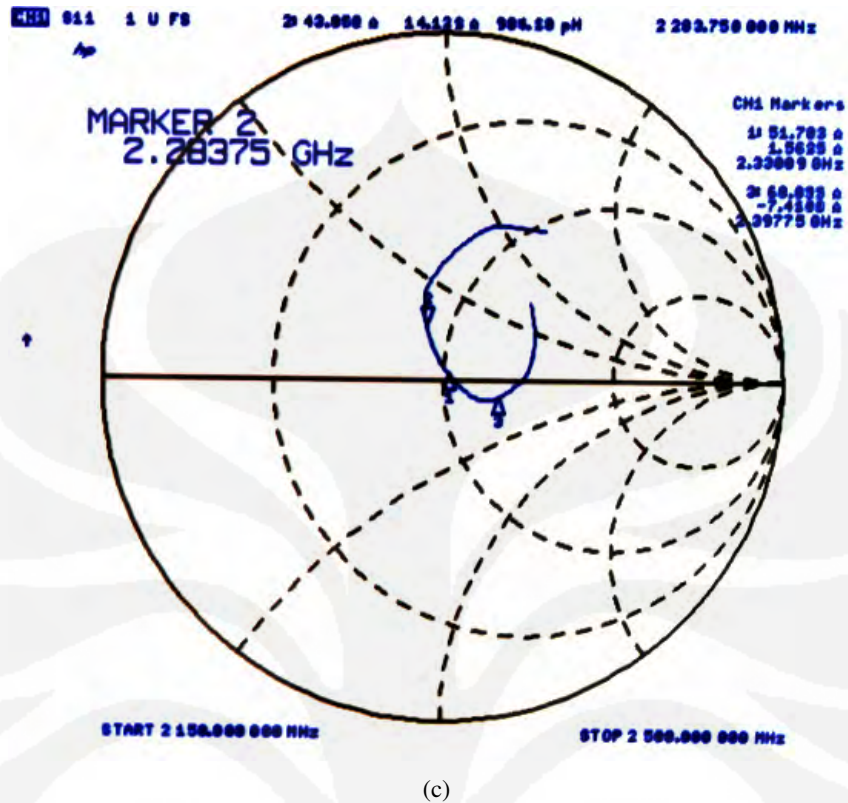
Dari pengukuran hasil pabrikan antena biquad mikrostrip, dilakukan *mechanical tuning* untuk mendapatkan nilai frekuensi yang optimal. Dari hasil simulasi *air gap* 12 mm namun setelah *mechanical tuning* diperoleh jarak *air gap* 18 mm. Hasil pengukuran VSWR, *return loss* dan *Impedance* masukan dari antena yang telah didisain ditunjukkan pada Gambar 4.5 (a), (b), dan (c) secara berurut.



(a)



(b)



Gambar 4.8. Hasil Pengukuran Antena dengan *Network Analyzer*, (a) VSWR, (b) *Return Loss*, dan (c) Impedansi Masukan

Dari hasil pengukuran yang dilakukan, ditunjukkan pada Gambar 4.6 (a) diperoleh VSWR minimum sebesar 1.045 pada frekuensi 2.33 GHz. *Bandwidth* antenna biquad mikrostrip yang didisain mengacu pada $VSWR \leq 1.4$, diperoleh rentang frekuensi 2.283 -2.396 GHz, adapun pada frekuensi 2.3 GHz diperoleh VSWR sebesar 1.241 dan pada frekuensi 2.4 GHz diperoleh VSWR 1.421. Dari hasil pengukuran VSWR dapat diketahui bahwa pada rentang frekuensi 2,283-2,396 GHz, antenna yang didisain dapat bekerja pada nilai $VSWR \leq 1,4$ dengan *bandwidth*:

$$Bandwidth_{(VSWR \leq 1.4)} = \frac{2.396 - 2.283}{2.33} \times 100 \% = 4.84 \% (113 \text{ MHz})$$

Pada Gambar 4.5 (b) dapat dilihat bahwa nilai *return loss* yang diperoleh pada frekuensi 2,3 GHz sebesar -19.357 dB dan pada frekuensi 2,4 GHz diperoleh - 15.161 dB. Nilai *return loss* terendah yang diperoleh adalah -33.314

dB pada frekuensi 2,33 GHz. Adapun *impedance bandwidth* pada nilai *return loss* ≤ -15.545 diperoleh rentang frekuensi 2.283 - 2.396 GHz.

Impedansi masukan antenna pada frekuensi *bandwidth* Gambar 4.5 (c) berkisar $43 + j13.89\Omega$ hingga $68.79 - j7.62\Omega$. Pada frekuensi resonansi 2.33 GHz didapat impedansi sebesar $51.715 + j1.37 \Omega$ yang paling mendekati kondisi ideal.

Jika dibandingkan antara hasil simulasi disain antenna biquad mikrostrip dengan hasil pengukuran maka dapat diketahui adanya *error* pada frekuensi bawah (f_l) dan frekuensi atas (f_u). Dari perbandingan hasil pengukuran tersebut pada frekuensi bawah (f_l) diperoleh error sebesar 8.4 % dan pada frekuensi atas (f_u) sebesar 8.7 %.

Tabel 4.4 memperlihatkan hasil pengukuran antenna biquad mikrostrip untuk aplikasi *WiMAX* yang berkerja pada frekuensi 2.3 – 2.4 GHz.

Tabel 4.4 Pencapaian Hasil Spesifikasi Antena Biquad Mikrostrip

Parameter	Hasil Pengukuran
Rentang Frekuensi Kerja (BW)	2,283 - 2,396 GHz
Frekuensi Resonansi	2.33 GHz
<i>Return Loss</i> pada BW	-15.545 dB
<i>Return Loss</i> minimum	-33.314 dB
VSWR pada BW	1.4
VSWR minimum pada BW	1.045
Impedansi Masukan	$51.715 + j1.37 \Omega$

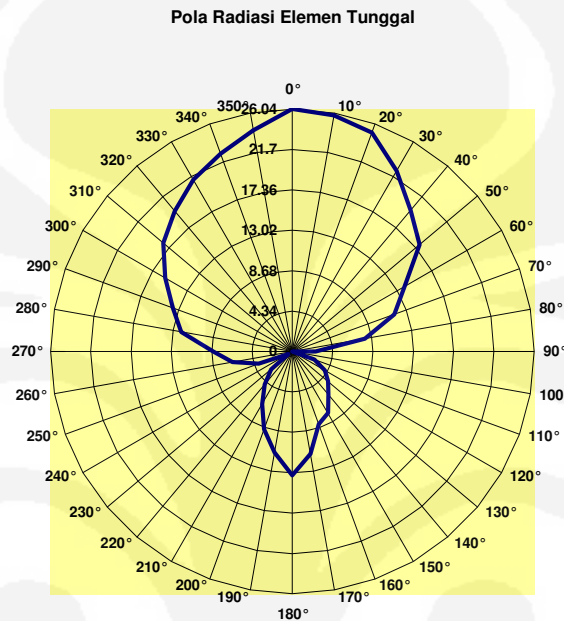
Dari Tabel 4.3 di atas dapat dilihat bahwa antenna biquad mikrostrip yang telah dibuat sudah hampir memenuhi spesifikasi untuk parameter dari aplikasi *WiMAX*. Penelitian ini dapat dikembangkan untuk menjadi antena susun sehingga dapat memenuhi spesifikasi lain dari *WiMAX*.

4.2.1.2 Hasil Pengukuran *Port* Ganda

A. Pola Radiasi

Parameter yang diukur pada pengukuran *port* ganda ini adalah parameter pola radiasi antenna. Hasil pengukuran pola radiasi ditunjukkan pada Gambar 4.9.

Data tersebut telah dinormalisasikan terhadap nilai maksimum. Hasil normalisasi selanjutnya di-plot ke dalam grafik radar. Pengolahan data ini dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak *Microsoft Excel 2003*.



Gambar 4.9. Hasil Pengukuran Pola Radiasi Antena Biquad Mikrostrip

Pada Gambar 4.9 menunjukkan bahwa pola radiasi maksimum (*main lobe*) pada sudut 0° dan menghasilkan bentuk pola radiasi *directional* dengan lebar berkas *half power beamwidth* (HPBW) sebesar 47° . Pada hasil pengukuran pola radiasi tersebut terdapat pula *back lobe* pada sudut 180° .

B. Penguatan (*gain*)

Pengukuran *gain* menggunakan perhitungan secara teori yang ditunjukkan pada Persamaan (3-2) dibawah ini.

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

Dari persamaan tersebut digunakan jarak antar antenna (R) dari 0,6 meter sampai dengan 1 meter. *Power Transmit* yang digunakan adalah 1 Watt dan

Power Receive menggunakan *range* 1 Watt sampai dengan 0,1 Watt. Secara perhitungan teori dapat dilakukan sebagai berikut :

Dengan jarak *R* sebesar 1 meter dengan *Power Transmit* sebesar 1 Watt dan *Power Receive* sebesar 1 Watt maka dapat diketahui *gain* tersebut :

$$\begin{aligned} \text{Gain} &= 20 \log \frac{4.3,14.1}{0.127} + 10 \log \left(\frac{1}{1} \right) \\ &= 20 \log 98,897 + 10 \log 1 = 39.9 \text{ dB.} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan *gain* dengan parameter yang lain ditunjukkan pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Perhitungan *Gain* Antena Biquad Mikrostrip

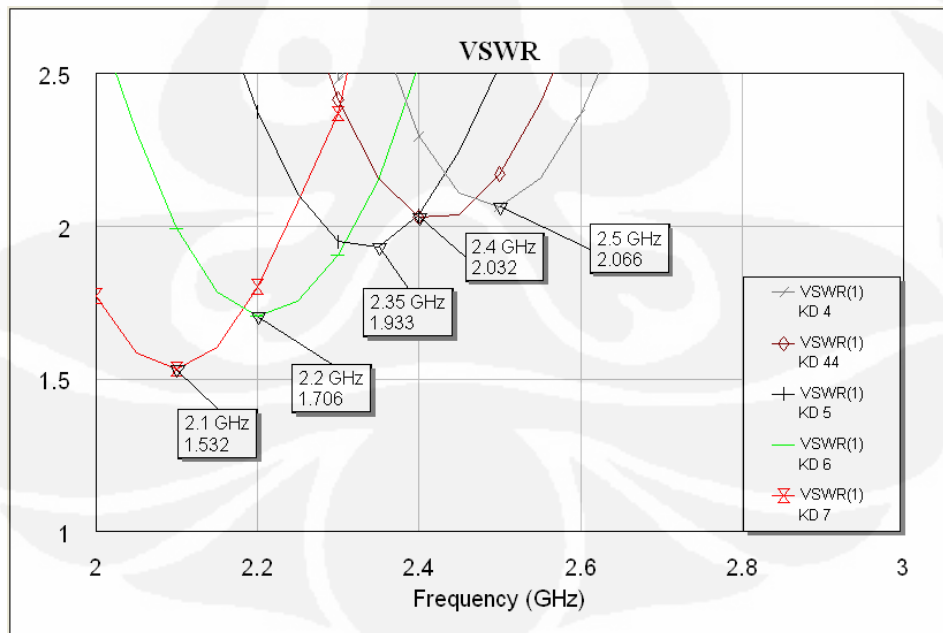
R (m)	Pt (W)	Pr (W)	10 log Pr/Pt	Gain (dB)	R (m)	Pt (W)	Pr (W)	10 log Pr/Pt	Gain (dB)
1	1	1	0	39.9	0.7	1	1	0	36.805
		0.9	-0.457	39.443			0.9	-0.457	36.348
		0.8	-0.969	38.931			0.8	-0.969	35.836
		0.7	-1.549	38.351			0.7	-1.549	35.256
		0.6	-2.218	37.682			0.6	-2.218	34.587
		0.5	-3.01	36.89			0.5	-3.01	33.795
		0.4	-3.979	35.921			0.4	-3.979	32.826
		0.3	-5.228	34.672			0.3	-5.228	31.577
		0.2	-6.989	32.911			0.2	-6.989	29.816
		0.1	-10	29.9			0.1	-10	26.805
0.9	1	1	0	38.988	0.6	1	1	0	35.466
		0.9	-0.457	38.531			0.9	-0.457	35.009
		0.8	-0.969	38.019			0.8	-0.969	34.497
		0.7	-1.549	37.439			0.7	-1.549	33.917
		0.6	-2.218	36.77			0.6	-2.218	33.248
		0.5	-3.01	35.978			0.5	-3.01	32.456
		0.4	-3.979	35.009			0.4	-3.979	31.487
		0.3	-5.228	33.76			0.3	-5.228	30.238
		0.2	-6.989	31.999			0.2	-6.989	28.477
		0.1	-10	28.988			0.1	-10	25.466
0.8	1	1	0	37.965					
		0.9	-0.457	37.508					
		0.8	-0.969	36.996					
		0.7	-1.549	32.333					
		0.6	-2.218	35.747					
		0.5	-3.01	34.955					
		0.4	-3.979	33.986					
		0.3	-5.228	32.737					
		0.2	-6.989	30.976					
		0.1	-10	27.965					

Pada Tabel 4.5 diatas menggunakan panjang gelombang (λ) pada frekuensi 2.35 Ghz yaitu 0,127 meter. Dari data tersebut dapat diketahui bahwa nilai *gain* antenna dipengaruhi oleh besarnya *power receive* yang diterima oleh antenna dan jarak (R) antar antenna. Dari hasil tersebut diketahui nilai *gain* tertinggi pada jarak 1 meter dengan nilai *power receive* sama dengan *power transmit*.

4.2.2 Simulasi Dengan Nilai ϵ_r Berubah

Dari data hasil pengukuran yang ada, maka dilakukan beberapa simulasi untuk mengetahui *error* yang terjadi pada hasil simulasi dengan pengukuran. Indikasi awal dari *error* yang terjadi dikarenakan bahan substrat yang digunakan mempunyai nilai konstanta dielektrik (ϵ_r) yang berubah dari spesifikasi awal yaitu $\epsilon_r = 4.4$.


Dari indikasi tersebut dilakukan beberapa simulasi dengan merubah nilai ϵ_r dengan menggunakan MWO agar diperoleh disain yang sama dengan parameter dimensi antenna yang ditunjukkan pada Tabel 4.3 dipertahankan tetap. Simulasi dengan merubah ϵ_r ditunjukkan pada Gambar 4.10.



Gambar 4.10 Hasil Simulasi Disain Antena Biquad Mikrostrip Dengan Nilai ϵ_r Yang Berbeda.

Pada Gambar 4.10 diketahui bahwa adanya pengaruh yang besar dari perbedaan nilai dari konstanta dielektrik (ϵ_r) bahan yang digunakan pada disain antenna mikrostrip terhadap frekuensi kerjanya. Tabel 4.6 menunjukkan hasil simulasi dengan menggunakan MWO dengan nilai ϵ_r yang berbeda.

Tabel 4.6 Hasil Simulasi Antena Biquad Mikrostrip Dengan Konstanta Dielektrik (ϵ_r) Yang Berbeda.

Nilai Konstanta dielektrik (ϵ_r)	Frekuensi Resonansi (GHz)
	2.5
	2.4
	2.35
	2.2
	2.1

Dari Tabel 4.6 menunjukkan semakin besar nilai konstanta dielektrik bahan mikrostrip yang digunakan maka semakin rendah frekuensi resonannya. Nilai konstanta dielektrik (ϵ_r) pada bahan sangat berpengaruh pada hasil pengukuran yang dilakukan. Nilai konstanta dielektrik (ϵ_r) yang mendekati antara simulasi dan pengukuran adalah saat konstanta dielektrik (ϵ_r) bernilai (ϵ_r).

4.3. ANALISIS KESALAHAN UMUM

Setelah pengukuran yang telah dilakukan, ada perbedaan antara hasil simulasi dengan hasil pengukuran pabrikasi. Hal ini dikarenakan adanya ketidaksesuaian parameter antar simulasi dengan pabrikasi sehingga didapat hasil pengukuran yang tidak sesuai. Salah satu dari kesalahan yang mungkin terjadi yaitu bahan substrat yang dipergunakan pada pabrikasi. Bahan yang digunakan terkadang tidak sesuai dengan bahan yang digunakan pada simulasi. Dari hasil pabrikasi, diketahui adanya lapisan tambahan yaitu perak yang melapisi bahan tembaga sehingga menimbulkan *loss tangen* dan *permitivitas* yang berbeda.

Jika dibandingkan dengan simulasi disain antenna biquad mikrostrip dengan nilai ϵ_r yang berbeda – beda maka diketahui nilai ϵ_r yang memiliki nilai

frekuensi resonan 2.35 GHz adalah 5. Dari hasil simulasi yang menggunakan ϵ_r berbeda didapat error antara simulasi dengan pengukuran sebesar 20 MHz. Pergeseran frekuensi resonan sebesar 20 MHz masih masuk dalam toleransi karena masih ada beberapa parameter dari antenna yang dapat mempengaruhinya.

Secara garis besar ada beberapa penyebab yang menyebabkan hasil pengukuran parameter antenna tidak akurat. Penyebab-penyebab itu antara lain :

1. Bahan substrat yang dipergunakan pada pabrikasi tidak sesuai dengan bahan yang digunakan pada simulasi.
2. Adanya lapisan tambahan (perak) pada saat pabrikasi menimbulkan *loss tangent* dan konstanta *dielektrik* (ϵ_r) yang berbeda.
3. Dimensi kawat yang berbentuk tabung tidak dapat disimulasikan oleh AWR *Microwave Office* 2004 maka disimulasikan dalam bentuk persegi sehingga mempengaruhi hasil pengukuran.
4. Proses penyolderan konektor SMA dengan saluran pencatu mikrostrip dan penyolderan kawat yang kurang baik dapat mengakibatkan rugi-rugi tambahan. Adanya rugi-rugi pada *port* SMA, tembaga/konduktor pada substrat, dan konektor pada *network analyzer*.
5. Adanya pengaruh benda-benda yang ada di ruang *anechoic chamber* yang menyebabkan refleksi gelombang yang dipancarkan antenna. Benda-benda tersebut antara lain manusia, *network analyzer*, kabel – kabel, dan konektor.

BAB 5 KESIMPULAN

Pada tugas akhir ini telah dirancang sebuah antena mikrostrip *patch* biquad dengan pencatu *aperture-coupled* untuk aplikasi *WiMAX*. Berdasarkan data hasil pengukuran dan analisis diperoleh beberapa kesimpulan, yaitu :

1. Antena mikrostrip *patch* biquad yang dihasilkan dapat bekerja pada frekuensi 2,283 GHz - 2,396 GHz (*Impedance bandwidth* 4.84 % atau 113 MHz) dengan nilai *VSWR* minimum 1,045 atau *return loss* minimum - 33.314 dB.
2. *Impedansi* masukan paling mendekati ideal didapat dari antena mikrostrip *patch* biquad pada frekuensi 2.33 GHz sebesar $51.715 + j1.37 \Omega$.
3. Antena Mikrostrip *patch* biquad ini dapat diaplikasikan pada *bandwidth* aplikasi *WiMAX* dengan frekuensi 2.3 – 2.4 GHz, namun gain dan pola radiasi dari antena tidak dapat diukur karena keterbatasan alat.

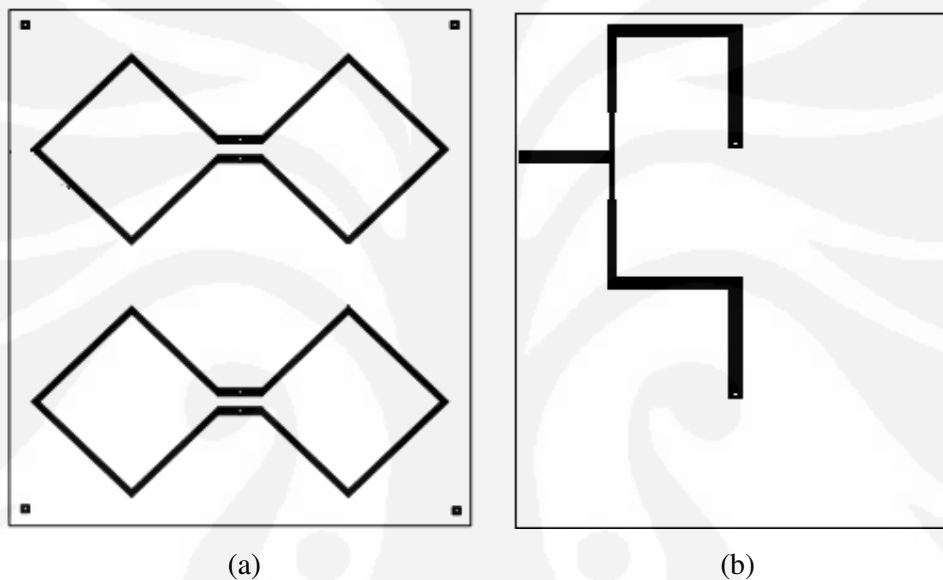
DAFTAR ACUAN

- [1] Gunawan Wibisono, Dwi H. G., *WiMAX, Teknologi BWA Kini dan Masa Depan*, (Bandung: Informatika, 2006).
- [2] reva_24art, *Antenna Pada Komunikasi Data*, diakses 10 Desember 2008, Jam 18:00 WIB.
http://24artcentral.blogspot.com/2008_08_01_archive.html
- [3] Garg, R., Bhartia, P, Bhahl, I, Ittipiboon, A., *Microstrip Design Handbook*, (Artech House. Inc, Nrwood, MA, 2001) hal. 1 – 25 .
- [4] Constantine A. Balanis, *Antena Theory : Analysis and Design*, (John Willey and Sons, USA, 1997), hal 722 – 775.
- [5] *IEEE 802.16* and WiMAX, Broadband Wireless Access for Everyone*, diakses 20 November 2008, Jam 06:00 WIB.
http://www.intel.com/ebusiness/pdf/intel/80216_wimax.pdf
- [6] *WiMAX The Critical Wireless Standard*, diakses Desember 2008, Jam 22:00 WIB
http://www.eyeforwireless.com/wimax_report.pdf
- [7] Hayri, *WiMAX : Koneksi Broadband Lewat Wireless*, Majalah PC Media Edisi Juli 2004.
- [8] Philippe. L, Dietrich. B, Christophe. B, Laurence. F, *WiMAX, Making Ubiquitous High Speed Data Services a Reality*, diakses
http://www.alcatel.com/wimax_report.pdf,
- [9] Paranhos. B, *Security Implications in WirelessMANTM Technology (IEEE 802.16 Standard*, diakses 13 November 2008
http://www.giac.org/practical/GSEC/Bruno_Paranhos_GSEC.pdf
- [10] Ramesh Garg, *et al.*, *Microstrip Design Handbook*, (Norwood: Artech House. Inc, 2001).
- [11] Wikipedia, <http://en.wikipedia.org> Diakses 5 November 2008.
- [12] David M. Pozar, *A Review of Bandwidth Enhancement Techniques for Microstrip Antenna*, (New York: IEEE Press, 1995).
- [13] Fawwaz T. Ulaby, *Fundamentals of applied Electromagnetics*, (USA: Prentice Hall, 2001).

- [14] Dirjen Pos dan Telekomunikasi Indonesia, *Rancangan Peraturan Tentang Persyaratan Teknis Alat dan Perangkat Telekomunikasi Antena BWA Nmadic pada Pita Frekuensi 2,3 GHz*, <http://www.postel.go.id> diakses 12 November 2008.
- [15] Girish Kumar, K.P. Ray, *Broadband Microstrip Antennas*, (London: Artech House, 2003).
- [16] Adel Bedair Abdel-Mooty Abdel-Rahman, *Design and Development of High Gain Wideband Microstrip Antenna and DGS Filters Using Numerical Experimentation Approach*, Disertasi, University Magdeburg, 2005.
- [17] Hirasawa, K. and M. Zhang, X. Ye, and Y. Rahmat-Samii, "Wide-band E-Shaped Patch Antenna for Wireless Communications", *IEEE Trans. Antena Propagat.*, vol. 49, no. 7, pp. 1094-110, july 2001.
- [18] Dr. E.H. Focks dan Dr. R.A. Zakarevicius, *Microwave Engineering Using Microstrip Circuits*, (Australia: Prentice Hall, 1990)

Data Hasil Simulasi Dan Pengukuran Antena Biquad Mikrostrip *Array* 2 Elemen

Simulasi Antena Biquad Mikrostrip *Array* 2 Elemen disimulasikan dengan *Microwave Office* 2004. Disain antena biquad mikrostrip *array* 2 elemen ditunjukkan pada Gambar dibawah ini.



Gambar Dimensi Antena Biquad Mikrostrip *Array* 2 Elemen Untuk Aplikasi WiMAX
 (a) *Patch* Biquad 2 Elemen (b) *Feeding* 2 Elemen

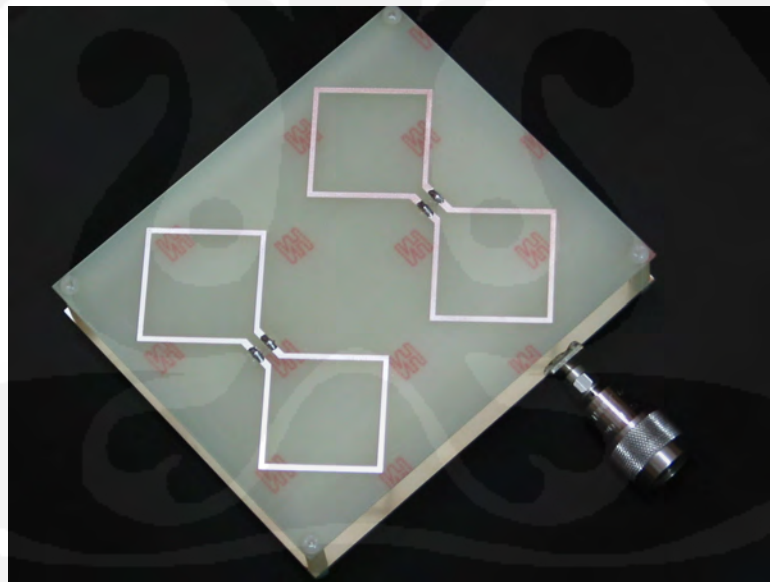
Gambar diatas merupakan disain antena biquad mikrostrip *array* 2 elemen yang didapat dengan melakukan simulasi pada MWO. Perancangan antena *array* 2 elemen tersebut menggunakan data yang telah diperoleh dari hasil rancangan antena elemen tunggal (seperti dimensi *patch*, *slot aperture*, panjang pita, jarak pita, *air gap*). Setelah penentuan jenis konfigurasi *array*, selanjutnya adalah merancang konfigurasi saluran pencatu bagi setiap elemen. Perancangan konfigurasi saluran ini sangat kompleks, karena parameter yang mempengaruhinya sangat bervariasi. Namun secara sederhana, proses perancangan antena biquad mikrostrip *array* 2 elemen ini dapat dibuat pada Gambar (b).

(lanjutan)

Spesifikasi disain antenna biquad mikrostrip *array* 2 elemen tersebut ditunjukkan pada Tabel dibawah ini.

Tabel Pencapaian Spesifikasi Antena Biquad Mikrostrip *Array* 2 Elemen Dengan Software MWO

Dimensi Antena	Ukuran
Dimensi a	Satuan mm
Panjang Sisi g	Satuan mm
Panjang Pita c	Satuan mm
Jarak Pita d	Satuan mm
Jarak <i>Air gap</i> H	Satuan mm
Lebar <i>Feeding</i> e	Satuan mm
Panjang <i>Feeding</i> f	Satuan mm
Jarak Antar Elemen	Satuan mm



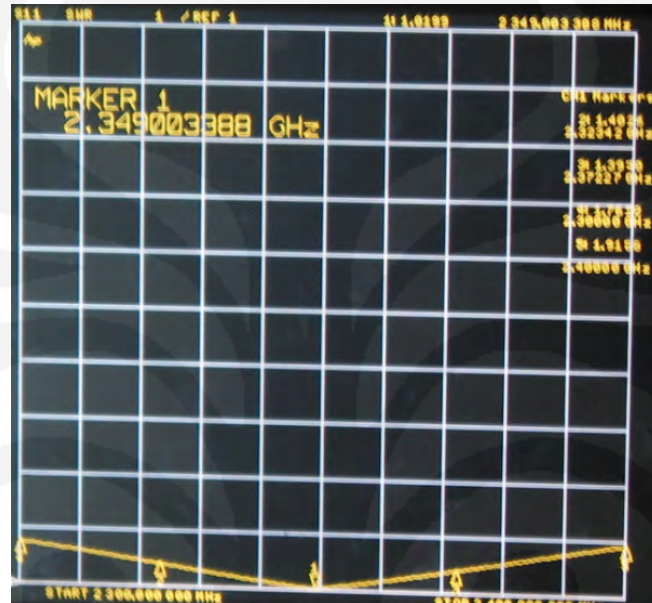
Gambar Antena Biquad Mikrostrip *Array* 2 Elemen

Gambar diatas merupakan antenna biquad mikrostrip *array* 2 elemen yang telah dipabrikasi dan akan dilakukan pengukuran.

(lanjutan)

Hasil Pengukuran *Port* Tunggal

Dari pengukuran hasil pabrikasi antenna biquad mikrostrip *array* 2 elemen, didapat hasil pengukuran VSWR, *return loss* dan *Impedance* masukan dari antenna yang telah didisain ditunjukkan pada Gambar (a), (b), dan (c) secara berurut.



(a)



(b)

(lanjutan)



(c)

Gambar Hasil Pengukuran Antena dengan *Network Analyzer*, (a) VSWR, (b) *Return Loss*, dan (c) Impedansi Masukan

Dari hasil pengukuran yang dilakukan, ditunjukkan pada Gambar (a) diperoleh VSWR minimum sebesar 1.0199 pada frekuensi 2.349 GHz. *Bandwidth* antenna biquad mikrostrip yang didisain mengacu pada $VSWR \leq 1.4$, diperoleh rentang frekuensi 2.323 - 2.372 GHz, adapun pada frekuensi 2.3 GHz diperoleh VSWR sebesar 1.769 dan pada frekuensi 2.4 GHz diperoleh VSWR 1.915. Dari hasil pengukuran VSWR dapat diketahui bahwa pada rentang frekuensi 2.323 - 2.372 GHz, antenna yang didisain dapat bekerja pada nilai $VSWR \leq 1.4$ dengan *bandwidth*:

$$Bandwidth_{(VSWR \leq 1.4)} = \frac{2.372 - 2.323}{2.349} \times 100 \% = 2.086 \% (40 \text{ MHz})$$

Pada Gambar 4.5 (b) dapat dilihat bahwa nilai *return loss* yang diperoleh pada frekuensi 2,3 GHz sebesar -11.216 dB dan pada frekuensi 2,4 GHz diperoleh -10.056 dB. Nilai *return loss* terendah yang diperoleh adalah -41.346 dB pada frekuensi 2,349 GHz. Adapun *impedance bandwidth* pada nilai *return loss* ≤ -15.545 diperoleh rentang frekuensi 2.323 - 2.372 GHz.

Impedansi masukan antenna pada frekuensi *bandwidth* Gambar (c) berkisar $83.624 + j 15.67 \Omega$ hingga $26.354 - j 0.314 \Omega$. Pada frekuensi resonansi

(lanjutan)

2.349 GHz didapat impedansi sebesar $50.048 + j 0.752 \Omega$ yang paling mendekati kondisi ideal.

Tabel dibawah ini memperlihatkan hasil pengukuran antenna biquad mikrostrip *array* 2 elemen untuk aplikasi *WiMAX* yang berkerja pada frekuensi 2.3 – 2.4 GHz.

Tabel 4.4 Pencapaian Hasil Spesifikasi Antena Biquad Mikrostrip

Parameter	Hasil Pengukuran
Rentang Frekuensi Kerja (BW)	2.323 - 2.372 GHz
Frekuensi Resonansi	2.349 GHz
<i>Return Loss</i> pada BW	-15.545 dB
<i>Return Loss</i> minimum	-41.346 dB
VSWR pada BW	1.4
VSWR minimum pada BW	1.0199
Impedansi Masukan	$50.048 + j 0.752 \Omega$

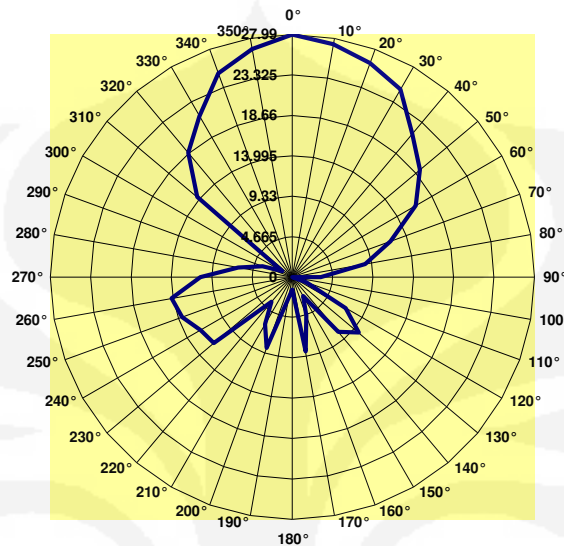
Dari Tabel 4.3 di atas dapat dilihat bahwa antenna biquad mikrostrip yang telah dibuat sudah hampir memenuhi spesifikasi untuk parameter dari aplikasi *WiMAX*. Penelitian ini dapat dikembangkan untuk menjadi antena susun sehingga dapat memenuhi spesifikasi lain dari *WiMAX*.

Hasil Pengukuran *Port* Ganda

A. Pola Radiasi

Parameter yang diukur pada pengukuran *port* ganda ini adalah parameter pola radiasi antenna. Hasil pengukuran pola radiasi ditunjukkan pada Gambar Pola Radiasi *Array* 2 Elemen. Data tersebut telah dinormalisasikan terhadap nilai maksimum. Hasil normalisasi selanjutnya di-plot ke dalam grafik *radar*. Pengolahan data ini dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak *Microsoft Excel* 2003.

Pola Radiasi Array 2 Elemen



Gambar Pola Radiasi Array 2 Elemen

Pada Gambar Pola Radiasi Array 2 Elemen diatas menunjukkan bahwa pola radiasi maksimum (*main lobe*) gelombang pada sudut 0° dan menghasilkan bentuk pola radiasi *directional* dengan lebar berkas *half power beamwidth* (HPBW) sebesar 54° . . Pada hasil pengukuran pola radiasi tersebut terdapat pola radiasi gelombang dengan nilai yang lebih rendah dalam *minor lobe*.

B. Penguatan (*gain*)

Pengukuran *gain* menggunakan perhitungan secara teori yang ditunjukkan pada persamaan (3-2). Dari persamaan tersebut digunakan jarak antar antenna (R) dari 0,6 meter sampai dengan 1 meter. *Power Transmit* yang digunakan adalah 1 Watt dan *Power Receive* menggunakan range 1 Watt sampai dengan 0,1 Watt. Hasil perhitungan *gain* ditunjukkan pada Tabel dibawah ini.

(lanjutan)

Tabel Perhitungan Gain Antena Biquad Mikrostrip

R (m)	Pt (W)	Pr (W)	10 log Pr/Pt	Gain (dB)	R (m)	Pt (W)	Pr (W)	10 log Pr/Pt	Gain (dB)
1	1	1	0	39.9	0.7	1	1	0	36.805
		0.9	-0.457	39.443			0.9	-0.457	36.348
		0.8	-0.969	38.931			0.8	-0.969	35.836
		0.7	-1.549	38.351			0.7	-1.549	35.256
		0.6	-2.218	37.682			0.6	-2.218	34.587
		0.5	-3.01	36.89			0.5	-3.01	33.795
		0.4	-3.979	35.921			0.4	-3.979	32.826
		0.3	-5.228	34.672			0.3	-5.228	31.577
		0.2	-6.989	32.911			0.2	-6.989	29.816
		0.1	-10	29.9			0.1	-10	26.805
0.9	1	1	0	38.988	0.6	1	1	0	35.466
		0.9	-0.457	38.531			0.9	-0.457	35.009
		0.8	-0.969	38.019			0.8	-0.969	34.497
		0.7	-1.549	37.439			0.7	-1.549	33.917
		0.6	-2.218	36.77			0.6	-2.218	33.248
		0.5	-3.01	35.978			0.5	-3.01	32.456
		0.4	-3.979	35.009			0.4	-3.979	31.487
		0.3	-5.228	33.76			0.3	-5.228	30.238
		0.2	-6.989	31.999			0.2	-6.989	28.477
		0.1	-10	28.988			0.1	-10	25.466
0.8	1	1	0	37.965					
		0.9	-0.457	37.508					
		0.8	-0.969	36.996					
		0.7	-1.549	32.333					
		0.6	-2.218	35.747					
		0.5	-3.01	34.955					
		0.4	-3.979	33.986					
		0.3	-5.228	32.737					
		0.2	-6.989	30.976					
		0.1	-10	27.965					

Pada Tabel diatas menggunakan panjang gelombang (λ) pada frekuensi 2.35 Ghz yaitu 0,127 meter. Dari data tersebut dapat diketahui bahwa nilai *gain* antena dipengaruhi oleh besarnya *power receive* yang diterima oleh antena dan jarak (R) antar antena. Dari hasil tersebut diketahui nilai *gain* tertinggi pada jarak 1 meter dengan nilai *power receive* sama dengan *power transmit*.