



TUGAS AKHIR - TE 091399

**PELEBARAN BANDWIDTH ANTENA MIKROSTRIP DENGAN
STRUKTUR PENTANAHAN TIRUAN**

Prima Dian Permatasari
NRP 2212 106 066

Dosen Pembimbing
Eko Setijadi, ST, MT, Ph.D,
Ir. Puji Handayani, MT.

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015



TUGAS AKHIR - TE 091399

BANDWIDTH ENHANCEMENT of MICROSTRIP ANTENNA WITH ARTIFICIAL GROUND STRUCTURE

Prima Dian Permatasari
NRP 2212 106 066

Advisor
Eko Setijadi, ST, MT, Ph.D,
Ir. Puji Handayani, MT.

ELECTRICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Industrial Technology
Institute Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2015

Pelebaran Bandwidth Antena Mikrostrip dengan Struktur Pertanahan Tiruan

TUGAS AKHIR

**Ditujukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Studi Teknik Telekomunikasi Multimedia
Jurusan Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Menyetujui :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Dr. Setiadi ST, MT, Ph.D
NIP 197210012003121002

Ir. Puji Handayani, MT
NIP 196605101992032000



Januari, 2015

PELEBARAN BANDWIDTH ANTENA MIKROSTRIP DENGAN STRUKTUR PENTANAHAN TIRUAN

Nama : Prima Dian Permatasari
Dosen Pembimbing I : Eko Setijadi, ST, MT, Ph.D,
Dosen Pembimbing II : Ir. Puji Handayani, MT.

ABSTRAK

Antena mikrostrip banyak digunakan dalam aplikasi sistem telekomunikasi. Antena mikrostrip mempunyai kelebihan yaitu dimensi yang kecil, harga yang murah dan mudahnya fabrikasi. Akan tetapi antena ini memiliki kekurangan seperti bandwidth yang sempit, gain yang kecil, dan efisiensinya yang rendah. Masalah paling serius yang dihadapi oleh antena mikrostrip adalah sempitnya bandwidth yang dihasilkan.

Pada Tugas Akhir akan dibahas peningkatan lebar bandwidth antena mikrostrip menggunakan metode *Artificial Ground Structure* (AGS) yang bertindak sebagai ground plane antena. Metode AGS ini menggunakan *rectangular unit cell* yang bertindak sebagai *reflector* antena. Antena terlebih dahulu disimulasikan di *software CST Microwave Studio 2010* sampai sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan kemudian difabrikasi. Setelah difabrikasi maka akan dilakukan pengukuran.

Saat simulasi, antena tanpa AGS menghasilkan bandwidth sebesar 267 MHz untuk rentang frekuensi 6-6.3 GHz, untuk level pembacaan $VSWR < 2$, *return loss* pada f_c sebesar -28.754 dB. Sedangkan antena dengan AGS menghasilkan bandwidth 2052 MHz untuk rentang frekuensi 5.759 -7.811 GHz, *return loss* pada f_c sebesar -28.420 dB. Saat pengukuran, antena tanpa AGS mempunyai bandwidth sebesar 180 MHz untuk rentang frekuensi 6.640 – 6.6 GHz, *return loss* pada f_c sebesar -15.043 dB. Sedangkan antena dengan AGS menghasilkan bandwidth 811 MHz untuk rentang frekuensi 5.883 GHz – 6.694 GHz, *return loss* pada f_c sebesar -21.233 dB. Dengan metode AGS peningkatan bandwidth antena sebesar 77.805%

Kata Kunci : antena mikrostrip, AGS, peningkatan bandwidth, rectangular unit cell

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

ABSTRACT

Microstrip antennas have been widely used in many system telecommunication. It can be found in radar system, satellite communication, or in GPS. Microstrip antennas have several advantages such as their small dimension, low cost and ease of fabrication. But they have their disadvantages too, such as narrow bandwidth, small gain and low efficiency. But the most serious problem is how small bandwidth they produced. So, many researches are done to make microstrip antennas have wide bandwidth.

In this final project will be explained about how to increase bandwidth with a method called Artificial Ground Structure (AGS) as antenna ground plane. This method is used rectangular unit cell as reflector. Two kinds of antennas will be made, antennas without AGS and with one, and the bandwidth they produced will be compared. Before fabrication, antennas will be simulated in *software CST Microwave Studio 2010* until they find the satisfactory result, and then fabricated it.

In simulation, antennas without AGS have 267 MHz bandwidth in range frequency 6-6.3 GHz, in VSWR level < 2 , return loss in fc is -28.754 dB. Whereas antenna with AGS, it can produce bandwidth 2052 MHz for range frequency 5.759 -7.811 GHz, *return loss* in fc is -28.420 dB. In the measurement, antennas without AGS have bandwidth 180 MHz for range frequency 6.64-6.6 GHz, *return loss* in fc is - 15.043 dB. And antennas with AGS can produce bandwidth 811 MHz for range frequency 5.883 GHz – 6.694 GHz, *return loss* in fc is -21.233 dB. So, with AGS method, bandwidth antennas can be improved until 77.805%.

Key words : microstrip antennas, AGS, bandwidth improvement, rectangular unit cell

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

KATA PENGANTAR



Assalamu 'alaikum Wr. Wb.

Puji syukur kepada Allah SWT yang telah melimpahkan seluruh rahmat dan hidayat-Nya. Shalawat serta salam semoga selalu tercurahkan kepada junjungan kita, Nabi Muhammad SAW, yang telah membimbing umatnya untuk menuju ke jalan yang benar melalui agama Islam.

Akhirnya setelah melalui proses yang panjang dan melelahkan, penulis berhasil menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “**Pelebaran Bandwidth Antena Mikrostrip dengan Struktur Pentanahan Tiruan**” yang digunakan sebagai persyaratan menempuh sidang Tugas Akhir pada program Sarjana Teknik Elektro Fakultas Tehnik Industri, Institut Tehnik Sepuluh Nopember, Surabaya.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan pada perancangan dan pembuatan buku tugas akhir ini. Oleh

karena itu, besar harapan penulis untuk menerima saran dan kritik dari para pembaca.

Semoga buku ini dapat memberikan manfaat bagi para mahasiswa Institut Teknik Sepuluh Nopember pada khususnya dan dapat memberikan nilai lebih untuk para pembaca pada umumnya.

Wassalamualikum Wr. Mb.

Surabaya, Januari 2015

Penulis

DAFTAR ISI

	HALAMAN
JUDUL	
LEMBAR PENGESAHAN	
ABSTRAK.....	i
<i>ABSTRACT</i>	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI.....	iv
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL.....	xi
BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	2
1.3. Batasan Masalah	2
1.4. Tujuan Penyusunan.....	2
1.5. Metodologi Penelitian.....	3
1.6. Sistematika Penulisan	3
BAB 2 DASAR TEORI	
2.1. Antena.....	5
2.1.1 Antena Mikrostrip.....	5
2.1.2 Tehnik Pencatuan Mikrostrip.....	8
2.1.3 Dimensi Antena Mikrostrip <i>Patch Rectangular</i>	10
2.1.4. Parameter Antena Mikrostrip.....	12
2.1.4.1 <i>VSWR</i>	12
2.1.4.2 <i>Return Loss</i>	13
2.1.4.3 <i>Bandwidth</i>	13
2.1.4.4 <i>Pola Radiasi</i>	14
2.1.4.5 <i>Gain</i>	15
2.1.4.6 <i>Direktivitas</i>	16
2.1.4.7 <i>Polarisasi</i>	16
2.1.4.8 <i>Daerah Medan Radiasi Antena</i>	18
2.2. Metamaterial	20
2.2.1. <i>Artificial Magnetic Conductor</i>	21
2.2.2. <i>Artificial Ground Structure</i>	22

BAB 3 PERANCANGAN DAN REALISASI ANTENA

3.1 Perancangan Antena	25
3.2 Perancangan Antena Mikrostrip tanpa AGS	27
3.2.1. Spesifikasi dan Perhitungan Dimensi Antena	27
3.2.2. Teknik Pencatuan Antena	27
3.2.3. Substrat Antena	28
3.2.4. Perhitungan Dimensi Antena	28
3.2.5. Simulasi Antena	31
3.3 Perancangan Antena Mikrostrip dengan AGS	35
3.3.1. Simulasi Awal	35
3.3.2. Hasil Simulasi Akhir	43

BAB 4 PENGUKURAN DAN ANALISA HASIL PENGUKURAN

4.1 Pengukuran dan Alat Ukur yang Digunakan	45
4.2 Pengukuran Karakteristik Antena	45
4.1.2 Pengukuran VSWR, Return Loss dan Impedansi Karakteristik	46
4.1.2.1 Prosedur Pengukuran	46
4.1.2.2 Hasil Pengukuran VSWR, Return Loss, dan Impedansi Antena tanpa AGS	46
4.1.2.1 Hasil Pengukuran VSWR, Return Loss, dan Impedansi Antena dengan AGS	50
4.2.2 Pengukuran Pola Radiasi	53
4.2.2.1 Prosedur Pengukuran Pola Radiasi	54
4.2.2.2 Hasil Pengukuran Pola Radiasi	54
4.2.3 Pengukuran Polarisasi	58
4.2.3.1 Prosedur Pengukuran Polarisasi	58
4.2.3.1 Hasil Pengukuran Polarisasi	59
4.2.4 Pengukuran Gain	61
4.2.4.1 Prosedur Pengukuran Gain Antena	61
4.2.4.1 Hasil Pengukuran Gain	62

BAB 5 PENUTUP

5.1 Kesimpulan	65
5.2 Saran	65
DAFTAR PUSTAKA	67

DAFTAR TABEL

	HALAMAN
Tabel 2.1 Kelebihan dan Kekurangan Teknik Pencatutan pada Antena Mikrostrip	9
Tabel 3.1 Spesifikasi Substrat yang Digunakan	28
Tabel 3.2 Hasil Perhitungan Dimensi Antena	30
Tabel 3.3 Nilai Parameter Setelah Parameterisasi dengan <i>Parameter Sweep</i>	34
Tabel 3.4 Hasil Simulasi Antena	35
Tabel 3.5 Perbandingan Lebar Bandwidth dan Jumlah <i>Unit cell</i>	36
Tabel 3.6 Perbandingan Besar <i>Directivity</i> dan Jumlah <i>Unit cell</i>	36
Tabel 3.7 Dimensi Akhir Antena	42
Tabel 3.8 Hasil Simulasi Akhir	43
Tabel 4.1 Hasil Pengukuran Impedansi	50
Tabel 4.2 Perbandingan Hasil Simulasi dan Pengukuran Antena Tanpa AGS	50
Tabel 4.3 Hasil Pengukuran Impedansi	52
Tabel 4.4 Perbandingan Hasil Simulasi dan Pengukuran Antena dengan AGS	53
Tabel 4.5 Perbandingan Hasil Pengukuran Antena tanpa dan dengan AGS	53
Tabel 4.6 Hasil Pengukuran Gain Antena tanpa AGS	62
Tabel 4.7 Hasil Pengukuran Gain Antena dengan AGS	62
Tabel 4.8 Perbandingan Hasil Gain saat Simulasi dan Pengukuran	63

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

DAFTAR GAMBAR

	HALAMAN
Gambar 2.1	Antena sebagai perangkat transisi dari gelombang tepandu ke gelombang yang dipancarkan ke ruang bebas 5
Gambar 2.2	Struktur Antena Mikrostrip 7
Gambar 2.3	Berbagai bentuk <i>patch</i> antena mikrostrip 8
Gambar 2.4	Berbagai tipe microstrip <i>feed line</i> dan rangkaian penggantinya 10
Gambar 2.5	Antena Mikrostrip dengan Rectangular Patch 11
Gambar 2.6	<i>Range</i> frekuensi yang menjadi bandwidth 13
Gambar 2.7	Pola Radiasi Antena 15
Gambar 2.8	Polarisasi linier 17
Gambar 2.9	circular polarization 18
Gambar 2.10	<i>Polarization ellipse</i> 18
Gambar 2.11	Pembagian daerah radiasi antena 19
Gambar 2.12	Pengelompokan metamaterial berdasarkan $\epsilon, \mu,$ dan n 21
Gambar 2.13	(a) <i>Artificial Ground Plane</i> (b) <i>Unit cell</i> 23
Gambar 3.1	Diagram alir pengerjaan 25
Gambar 3.2	Antena Mikrostrip Tanpa AGS 29
Gambar 3.3	Antena Mikrostrip Tanpa AGS di CST 31
Gambar 3.4	Hasil simulasi parameter S11 antena mikrostrip tanpa AGS 31
Gambar 3.5	Hasil simulasi VSWR antena mikrostrip tanpa AGS 32
Gambar 3.6	Hasil simulasi <i>farfield</i> (<i>directivity</i>) antena mikrostrip tanpa AGS 32
Gambar 3.7	Hasil simulasi (<i>realized gain</i>) antena mikrostrip tanpa AGS 32
Gambar 3.8	Hasil simulasi pola radiasi antena mikrostrip tanpa AGS ($\varphi=0^\circ$) 33
Gambar 3.8	Hasil simulasi pola radiasi antena mikrostrip tanpa AGS ($\varphi=90^\circ$) 33
Gambar 3.10	Parameterisasi dimensi antena 36
Gambar 3.11	Parameterisasi lebar <i>unit cell</i> 36

Gambar 3.12	Parameterisasi Panjang <i>Unit cell</i>	36
Gambar 3.13	Besar <i>air gap</i> yang mengelilingi lebar <i>unit cell</i>	37
Gambar 3.14	Besar <i>air gap</i> yang mengelilingi panjang <i>unit cell</i>	37
Gambar 3.15	6x4 <i>unit cell</i> pada substrat untuk ground plane antena dari depan.....	38
Gambar 3.16	Antena tanpa AGS yang sudah disatukan dengan AGS dari belakang.....	38
Gambar 3.17	Desain Unit Cell pada ground plane antena AGS.....	38
Gambar 3.18	Panjang saluran pencatu.....	39
Gambar 3.19	Antena yang sudah disatukan dengan AGS dari depan.....	39
Gambar 3.20	<i>Rectangular unit cell</i> difungsikan sebagai ground plane antena.....	39
Gambar 3.21	<i>Return loss</i> < -9.54 dB.....	40
Gambar 3.22	VSWR < 2.....	40
Gambar 3.23	Directivity antena AGS.....	41
Gambar 3.24	Gain yang dihasilkan antena.....	41
Gambar 3.25	Hasil simulasi pola radiasi antena mikrostrip tanpa AGS ($\varphi=0^\circ$).....	41
Gambar 3.26	Hasil simulasi pola radiasi antena mikrostrip tanpa AGS ($\varphi=90^\circ$).....	42
Gambar 4.1	Konfigurasi pengukuran antena untuk parameter VSWR, <i>return loss</i> dan impedansi.....	47
Gambar 4.2	Hasil pengukuran VSWR antena tanpa AGS.....	48
Gambar 4.3	Hasil pengukuran <i>return loss</i> antena tanpa AGS.....	48
Gambar 4.4	Hasil pengukuran impedansi antena tanpa AGS.....	49
Gambar 4.5	Hasil pengukuran VSWR pada antena AGS.....	51
Gambar 4.6	Hasil pengukuran <i>return loss</i> pada antena AGS.....	51
Gambar 4.7	Hasil pengukuran impedansi pada antena AGS.....	52
Gambar 4.8	Konfigurasi perangkat saat pengukuran pola radiasi antena.....	54
Gambar 4.9	Hasil Simulasi pola radiasi elevasi antena tanpa AGS.....	55
Gambar 4.10	Hasil pengukuran pola radiasi elevasi antena tanpa AGS.....	55
Gambar 4.11	Hasil simulasi pola radiasi azimuth antena tanpa AGS.....	56
Gambar 4.12	Hasil pengukuran pola radiasi azimuth antena tanpa AGS.....	56

Gambar 4.13	Hasil Simulasi pola radiasi elevasi antena dengan AGS.....	57
Gambar 4.14	Hasil pengukuran pola radiasi elevasi antena dengan AGS	57
Gambar 4.15	Hasil simulasi pola radiasi azimuth antena dengan AGS.....	57
Gambar 4.16	Hasil pengukuran pola radiasi azimuth antena dengan AGS.....	58
Gambar 4.17	Hasil pengukuran polarisasi antena tanpa AGS.....	59
Gambar 4.18	Hasil pengukuran polarisasi antena dengan AGS.....	60
Gambar 4.19	Perbandingan Hasil Gain dengan Dimensi Groundplane Antena	62

[halaman ini sengaja dikosongkan]

Jurusan Teknik Elektro – FTI
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

TE 141599 TUGAS AKHIR – 4 SKS

Nama Mahasiswa : Prima Dian Permatasari
Nomor Pokok : 2212106066
Bidang Studi : Telekomunikasi Multimedia
Tugas Diberikan : Semester Gasal 2014/ 2015
Dosen Pembimbing : 1. Eko Setijadi ST, MT, Ph.D
2. Ir. Puji Handayani, MT

26 SEP 2014

Judul Tugas Akhir :
Pelebaran Bandwidth Antena Mikrostrip dengan Struktur Pentanahan Tiruan
(*Bandwidth Enhancement of Microstrip Antenna Using Artificial Ground Structure*)

Uraian Tugas Akhir :

Antena mikrostrip merupakan antena yang terdiri dari elemen konduktor yang diletakkan pada *ground plane* dimana di antaranya terdapat bahan dielektrik. Antena mikrostrip dengan polarisasi sirkular memiliki kelebihan yaitu dimensi yang kecil, harga yang murah dan mudahnya pembuatan. Akan tetapi antena ini juga memiliki kekurangan seperti bandwidth yang sempit, gain yang kecil, dan efisiensinya yang rendah. *Artificial ground structure* (AGS) adalah salah satu metode yang digunakan untuk memperlebar bandwidth antena mikrostrip, yang terdiri dari pelat logam persegi panjang atau unit sel dengan celah udara diantara sisi-sisinya. Jarak antara sel-sel persegi panjang itulah memainkan peran yang sangat penting dalam peningkatan bandwidth. Parameter yang diperiksa dalam tugas akhir ini adalah lebar bandwidth pada antena mikrostrip sebelum dan sesudah diberi *ground plane* yang dibuat dengan metode AGS. Diharapkan nantinya antena dengan AGS akan didapatkan bandwidth yang lebih lebar daripada antena mikrostrip biasa.

Kata Kunci : antena mikrostrip, *bandwidth*, *artificial ground structure*

Dosen Pembimbing 1,

Eko Setijadi ST, MT, Ph.D
NIP 197210012003121002

Dosen Pembimbing 2,

Ir. Puji Handayani, MT
NIP 196605101992032000

Mengetahui,
Jurusan Teknik Elektro FTI – ITS
Ketua

Dr. Tri Arief Sardjono, ST., MT.
NIP. 197002121995121001

Menyetujui,
Bidang Studi Telekomunikasi Multimedia
Koordinator

Dr. Ir. Endrovono, DEA
NIP. 196504041991021001

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Antena mikrostrip banyak digunakan dalam sistem telekomunikasi. Antena yang menggunakan bahan dasar mikrostrip ini bisa ditemukan di sistem radar, komunikasi satelit, atau bahkan dalam sistem GPS (*Global Positioning System*). Bentuk paling sederhana dari antena mikrostrip terdiri dari elemen peradiasi (*patch*) di satu sisi, sedangkan di sisi yang lain terdapat *groundplane*. Diantara *patch* dan *groundplane* terdapat bahan dielektrik.

Antena mikrostrip memiliki kelebihan yaitu dimensi yang kecil, harga yang murah dan mudahnya pembuatan. Selain itu antena mikrostrip juga menggunakan teknik pencatutan yang bisa langsung dieksitasi langsung ke antenanya melalui *probe coaxial* ataupun *feed line mikrostrip*. Akan tetapi antena ini juga memiliki kekurangan seperti bandwidth yang sempit, gain yang kecil, dan efisiensinya yang rendah. Masalah paling serius yang dihadapi oleh antena mikrostrip ini adalah sempitnya bandwidth yang dihasilkan. Akan sangat sulit menggunakan antena mikrostrip sebagai antena radar yang membutuhkan bandwidth yang lebar. Oleh karena itu kekurangan inilah yang mendorong banyaknya penelitian yang dilakukan untuk meningkatkan lebar bandwidth dari antena mikrostrip.

Banyak teknik yang telah dipergunakan untuk meningkatkan bandwidth antena seperti, *L-shaped probe* dengan matching impedansi. Tetapi struktur itu membutuhkan antena yang dengan dimensi yang cukup besar dan tambahan matching impedansinya membuat sulit untuk digunakan dan diimplementasikan pada antena mikrostrip. Atau menggunakan konfigurasi planar yang bisa meningkatkan BW sampai 25%[1]. Tetapi teknik ini pun mempunyai kekurangan pada besarnya dimensi yang akan terbuat dan timbulnya berbagai variasi radiasi yang muncul.

Oleh karena itu pada tugas akhir ini, akan direalisasikan antena mikrostrip dengan menggunakan metode AGS (*artificial ground structure*) yang bertujuan untuk meningkatkan lebar bandwidth. Tidak seperti metode yang disebutkan sebelumnya, antena dengan metode AGS ini meningkatkan lebar bandwidth dengan menggunakan AGS

dengan *unit cell* berbentuk persegi (*rectangular unit cell*) sebagai pengganti ground plane.

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang dibahas dalam tugas akhir ini adalah :

1. Bagaimana merancang antenna mikrostrip dengan pelebaran bandwidth dengan menggunakan metode AGS?
2. Bagaimana hasil analisis pengujian parameter-parameter antenna mikrostrip AGS pada saat disimulasi dengan menggunakan *software CST Microwave Studio 2010*??
3. Bagaimana perbandingan performansi antenna hasil simulasi menggunakan *software CST Microwave Studio 2010* dan pengukuran langsung?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dari Tugas Akhir ini adalah

1. Perancangan dan realisasi antenna berbasis mikrostrip ini bekerja pada frekuensi *C-band*
2. Pelebaran bandwidth antenna mikrostrip dengan menggunakan metode struktur pertanahan tiruan (*Artificial Ground Plane*).
3. Antena yang akan dibuat merupakan antenna *receive only* atau penerima saja

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dan manfaat dari Tugas Akhir ini adalah

1. Mendapatkan antenna mikrostrip dengan bandwidth yang lebar.
2. Mengaplikasikan metode untuk mendapatkan bandwidth yang lebar tanpa membutuhkan dimensi antenna yang besar.

1.5 Metodologi Penelitian

Secara umum, Tugas Akhir ini dilakukan dengan menggunakan metode eksperimental dengan urutan sebagai berikut :

a. Studi literatur

Mempelajari teori - teori yang dibutuhkan dalam pengerjaan proyek akhir ini melalui berbagai referensi baik buku-buku maupun jurnal – jurnal yang terkait dan juga melakukan penelitian tentang antenna yang akan dibuat.

b. Perancangan dan Simulasi

Setelah studi literatur dilakukan, kemudian dilanjutkan dengan proses perancangan dan simulasi dengan menggunakan *software CST Microwave Studio 201* berdasarkan teori-teori yang ada dalam desain antenna.

c. Realisasi dan Pengukuran

Setelah simulasi dilakukan, berikutnya dilakukan perealisasi antenna dan dilanjutkan dengan pengukuran parameter-parameter yang menentukan kualitas suatu antenna yang telah dirancang dengan spesifikasi yang telah ditentukan. Pengukuran parameter-parameter tersebut menggunakan alat *Network Analyzer, Spectrum Analyzer, dan Sweep Oscillator*. Kemudian melakukan analisa dengan membandingkan hasil pengukuran dengan hasil simulasi yang dilakukan sebelumnya.

d. Analisis

Dari hasil pengukuran yang diperoleh, maka akan dianalisis apakah sesuai dengan spesifikasi pada saat perancangan. Hal ini diperlukan untuk mendapatkan gambaran kuantitatif terhadap performansi antenna sehingga dapat diambil kesimpulan secara kuantitatif.

1.6 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan dalam menyelesaikan proposal Proyek Akhir ini dibagi dalam beberapa bab, yaitu :

BAB I: PENDAHULUAN

Bab ini berisi uraian singkat mengenai latar belakang permasalahan, tujuan penelitian, batasan masalah, metode penelitian serta sistematika penulisan.

BAB II: LANDASAN TEORI

Berisikan uraian dasar-dasar teori antenna yang berkaitan dengan antenna yang dirancang.

BAB III: PERANCANGAN DAN REALISASI ANTENA

Berisikan pembahasan tentang dasar perancangan antenna yang akan dibuat dan hasil realisasi antenanya.

BAB IV: PENGUKURAN DAN ANALISIS

Berisikan pengukuran impedansi, pengukuran *VSWR*, Z_{in} , pola radiasi, polarisasi dan pengukuran *gain* berikut analisa dan komentar hasil pengukuran.

BAB V: PENUTUP

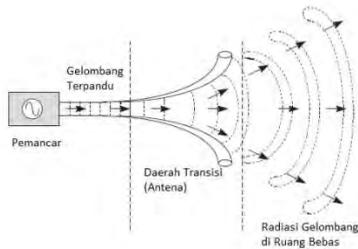
Bab ini membahas kesimpulan serta saran yang dapat ditarik dari keseluruhan Tugas Akhir ini untuk perbaikan kinerja sistem antena yang telah dibuat dan kemungkinan pengembangan yang dapat dilakukan.

BAB II DASAR TEORI

2.1 Antena

Antena didefinisikan sebagai suatu peralatan yang bersifat konduktor (biasanya berbentuk balok atau kawat) untuk memancarkan atau mengirimkan gelombang, dengan kata lain antena merupakan struktur transisi antara ruang bebas dan perangkat pemandu[1]. Perangkat itu bisa berupa saluran transmisi ataupun kabel coaxial, yang kemudian digunakan untuk membawa energi elektromagnetik dari pemancar ke antena penerima, atau dari antena pemancar ke penerima. Oleh karena itulah kita mempunyai antena pemancar dan antena penerima.

Gambar berikut ini akan menjelaskan antena sebagai perangkat transisi.



Gambar 2.1 Antena sebagai perangkat transisi dari gelombang tepandu ke gelombang yang dipancarkan ke ruang bebas [8]

2.1.1 Antena Mikrostrip

Konsep antena mikrostrip pertama kali ditawarkan oleh Deschamps pada tahun 1953, tapi antena praktis dikembangkan oleh Munson dan Howell di 1970[5]. Setelah itu penelitian tentang antena mikrostrip dilakukan secara luas dan bertujuan untuk memanfaatkan keuntungannya. Antena mikrostrip mempunyai keuntungan dibandingkan antena gelombang mikro konvensional dan oleh karena itu banyak digunakan untuk berbagai aplikasi di berbagai range frekuensi.

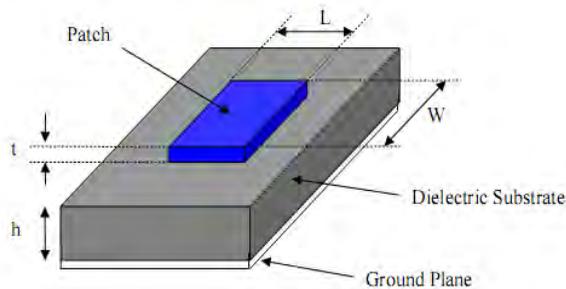
Beberapa kelebihan antena mikrostrip dibandingkan antena konvensional adalah[4] :

1. Ringan, dan dimensi kecil.
2. Harga fabrikasi yang murah, bisa dibuat dalam jumlah banyak.
3. Polarisasi linear dan circular mungkin dibuat hanya dengan *feed line* yang sederhana.
4. Antena dual frekuensi, dual polarisasi bisa dibuat dengan mudah.
5. Bisa dengan mudah diintegrasikan dengan MIC (*Microwave Integrated Circuits*).
6. *Feed line* dan *matching impedance* bisa dibuat secara simultan bersamaan dengan struktur antena.

Tetapi antena mikrostrip juga mempunyai kelemahan dibandingkan antena konvensional, yaitu :

1. Bandwidth yang sempit.
2. Rendahnya gain yang didapat.
3. Mempunyai kemurnian polarisasi yang rendah.
4. Munculnya *surface wave*.
5. Struktur *feed* yang rumit yang dibutuhkan untuk membuat antena arrays dengan performa tinggi.
6. Munculnya radiasi yang tidak diinginkan pada *feed* .

Antena mikrostrip dalam bentuk yang paling sederhana terdiri dari sebuah *patch* di satu sisi, substrat dielektrik dan ground plane di sisi lain. Struktur antena dapat lebih jelas dilihat pada Gambar 2.2 berikut. Pada dasarnya antena mikrostrip mempunyai 3 elemen dasar, yaitu *patch*, substrat dielektrik dan *ground plane*. Selain itu untuk antena mikrostrip dengan bentuk *patch* persegi panjang seperti Gambar 2.2 biasanya terdiri dari beberapa elemen seperti, L yang menunjukkan ukuran panjang *patch*, W menunjukkan ukuran lebar *patch*, t menunjukkan ukuran ketebalan *patch*, dan h menunjukkan ukuran ketebalan substrat dielektrik.



Gambar 2.2 Struktur Antena Mikrostrip[6]

Berikut ini adalah fungsi dari 3 elemen dasar antena mikrostrip

1. Patch/Conducting patch

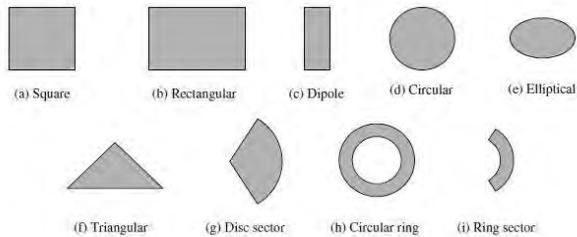
Patch merupakan lapisan paling atas dari substrat pada antena mikrostrip, biasanya terbuat dari konduktor, contohnya tembaga. *Patch* berfungsi untuk meradiasikan gelombang elektromagnetik ke udara. Pada lapisan ini ada berbagai bentuk yang bisa dibuat untuk mendapatkan suatu pola radiasi seperti yang diinginkan. Selain persegi, bentuk lain yang digunakan pada antena mikrostrip bisa berupa lingkaran, segitiga, setengah lingkaran, sektoral, dan bentuk cincin annular ditunjukkan pada Gambar 2.3

2. Substrat Dielektrik

Terletak di bagian tengah, di antara *patch* dan ground plane. Substrat mempunyai jenis berbeda-beda dan mempunyai permitivitas relative yang berbeda pula. Pada antena mikrostrip, semakin besar nilai permitivitas relative, ukuran *patch* akan semakin kecil sehingga memperkecil daerah radiasinya pula. Sedangkan ketebalan substrat berpengaruh pada bandwidth. Semakin tebal dielektrik substratnya, semakin lebar bandwidth yang dihasilkan, tetapi juga akan menambah timbulnya gelombang permukaan (*surface wave*).

3. Ground plane

Ground plane pada antena mikrostrip juga terbuat dari konduktor, berfungsi sebagai *reflector*.



Gambar 2.3 Berbagai bentuk *patch* antena mikrostrip[1]

2.1.2 Teknik Pencatuan Antena Mikrostrip

Ada beberapa macam teknik pencatuan pada antena mikrostrip, diantaranya adalah

- a. *microstrip direct coupling line feed*
- b. *coaxial probe*
- c. *aperture coupling*
- d. *proximity coupled (electromagnetic coupling)*

Masing-masing teknik pencatuan mempunyai kelebihan dan kekurangannya. Dalam teknik pencatuan yang paling penting adalah terjadinya *matching impedance*. Pada Tabel 2.1 akan dijelaskan tentang kelebihan dan kekurangan yang dimiliki oleh masing-masing teknik pencatuan.

Pada realisasi Tugas Akhir ini akan digunakan pencatuan dengan teknik *microstrip feed line*. Pencatuan dengan teknik ini dilakukan dengan cara menghubungkan *line* pencatuan dengan *patch* antena. Keuntungan dari teknik pencatuan ini antara lain :

1. Mudah dalam proses pabrikan karena *feed line* dan elemen peradiasi (*patch*) dicetak pada substrat yang sama.
2. Penyepadanan impedansi pada teknik ini juga lebih sederhana jika dibandingkan dengan teknik pencatuan yang lain.

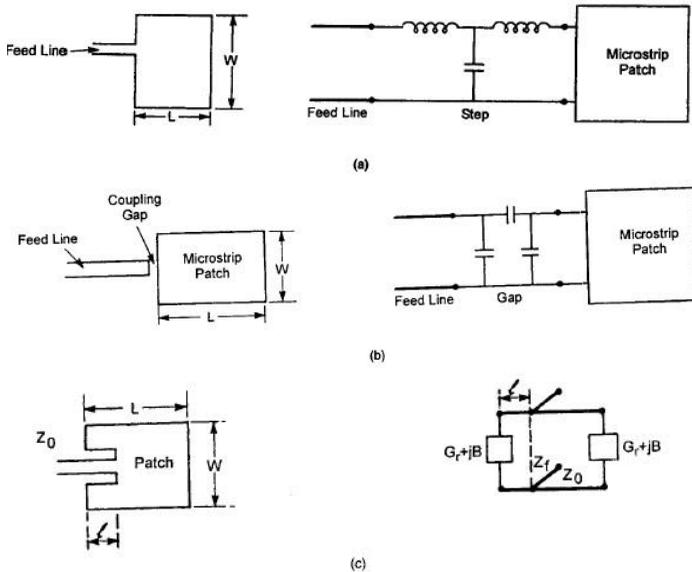
Pemilihan pencatuan dalam antena mikrostrip dengan menggunakan garis mikrostrip dalam substrat yang sama tampaknya menjadi pilihan alami karena *patch* dapat dianggap sebagai perpanjangan dari garis mikrostrip dan keduanya dapat dibuat secara bersamaan. Meskipun dengan menggunakan teknik ini terdapat kekurangannya. Kekurangan dari teknik pencatuan ini adalah :

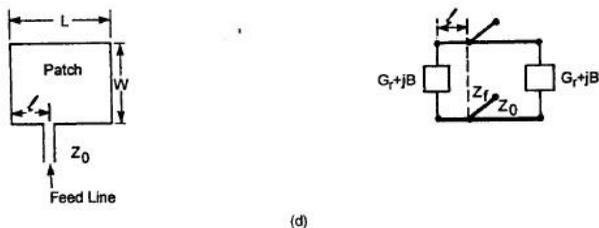
1. Muncul radiasi yang tidak diinginkan
2. Diperlukan rangkaian penyepadanan dalam pengaplikasiannya

Tabel 2.1 Kelebihan dan Kekurangan Teknik Pencatuan pada Antena Mikrostrip[4]

Karakteristik	Microstrip Feed line	Coaxial Probe	Apperture Coupling	Electromagnetic Coupling
Bandwidth	2-5%	2-5%	>10%	> 10%
Fabrikasi	Mudah	Perlu penyolderan & pengeboran	Agak Rumit	Agak Rumit
Reliability	Sangat baik	Kurang, karena ada pengaruh fabrikasi	Baik	Baik
Matching Impedance	Mudah	Mudah	Mudah	Mudah

Berikut adalah berbagai tipe pencatuan mikrostrip dengan menggunakan *feed line*. [4]



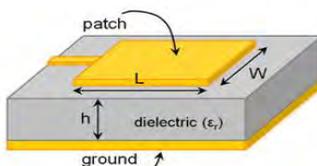


Gambar 2.4 Berbagai tipe microstrip *feed line* dan rangkaian penggantinya (a) Microstrip *feed line* pada ujung *patch* (b) Microstrip *feed line* dengan air-gap (c) Microstrip *feed line* dengan inset pada ujung *patch* (d) Mikrostrip *feed line* pada daerah non-radiasi

Pada gambar diatas terdapat beberapa jenis pencatuan mikrostrip menggunakan *feed line*. Pada Gambar 2.4 (a) merupakan pencatuan *feed line* langsung ke daerah radiasi / *patch*, (b) pencatuan *feed line* terhadap *patch* tapi tidak saling menempel / mempunyai jarak atau air gap, (c) merupakan pencatuan *feed line* dengan pemberian inset pada ujung saluran pencatu (d) merupakan pencatuan *feed line* tapi *feed line* tidak berada pada daerah *patch*.

2.1.3 Dimensi Antena Mikrostrip Patch Rectangular

Salah satu *patch* antena mikrostrip yang sering digunakan adalah *patch* rectangular dan circular. Kedua jenis *patch* ini bisa digunakan untuk aplikasi yang paling sederhana dan yang paling diperlukan. Contohnya untuk antena dual-polarisasi, dual-frekuensi, atau antena dengan bandwidth broadband. Semuanya bisa dengan mudah terpenuhi oleh kedua *patch* ini. Dengan bentuk geometri yang sederhana, analisa pun bisa dilakukan dengan mudah. Parameter yang perlu diperhatikan dalam mendesain antena dengan *patch* rectangular adalah kontanta dielectric (ϵ_r), ketebalan substrat (h), frekuensi resonansi, dan lebar *patch* (W).



Gambar 2.5 Antena Mikrostrip dengan Rectangular Patch

Berikut adalah persamaan untuk mencari lebar *patch*[1]

$$W = \frac{\lambda_o}{2} \sqrt{\left(\frac{\epsilon_r + 1}{2}\right)} \text{ dimana } \lambda_o = \frac{c}{f_o} \quad (2.1)$$

Dengan :

W = lebar *patch*

λ_o = panjang gelombang

ϵ_r = konstanta dielektrik

f_o = frekuensi kerja

c = kecepatan cahaya di ruang hampa (3×10^8)m/s

Selain itu diperlukan pula nilai permitifitas rata-rata yang dicari dengan persamaan sebagai berikut[1]

$$\epsilon_r \text{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \sqrt{1 + 12 \frac{h}{W}} \quad (2.2)$$

Dengan :

$\epsilon_r \text{eff}$ = nilai permitivitas efektif

ϵ_r = nilai konstanta dielektrik

h = tebal substrat

Pada *parallel plate waveguide*, lebar strip W diasumsikan bernilai jauh lebih besar dibandingkan tebal dielektrik sehingga *fringing field* dapat diabaikan. Sedangkan pada saluran mikrostrip, tidak selamanya lebar strip W lebih besar dibandingkan tebal dielektrik sehingga *fringe effect* pun muncul. Karena adanya pengaruh *fringe effect* panjang *patch* (L) diperlukan parameter ΔL yang merupakan pertambahan panjang dari L , dirumuskan dengan[1]

$$\frac{\Delta L}{h} = \frac{(\epsilon_r \text{eff} + 0.3) \left(\frac{W}{h} + 0.264\right)}{(\epsilon_r \text{eff} - 0.258) \left(\frac{W}{h} + 0.8\right)} \quad (2.3)$$

Karena diperpanjang pada masing-masing sisi, maka panjang *patch* efektif (L_{eff}) sekarang[1]

$$L_{\text{eff}} = L + 2\Delta L \quad (2.4)$$

Panjang *patch* sebenarnya (L) akan didapat [4]

$$L = \frac{c}{2f_o} \sqrt{\epsilon_r \text{eff}} \quad (2.5)$$

Sedangkan untuk saluran pencatu mikrostrip didapat dengan melakukan perhitungan panjang dan lebar *inset feed*. Lebar pencatu (W_o)didapat dari persamaan berikut[13]

$$W_o = \frac{\pi}{2} \left[B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} \left(\ln\{B - 1\} + 0.39 - \frac{0.61}{\epsilon_r} \right) \right] \text{ untuk } \frac{W_o}{h} \geq 2 \quad (2.6)$$

Dengan

$$B = \frac{377\pi}{2Z_o\sqrt{\epsilon_r}} \quad (2.7)$$

Sedangkan untuk panjang pencatu (Y_o) perhitungannya dapat disederhanakan seperti pada persamaan 2.8 berikut ini apabila nilai ϵ_r mulai dari 2 sampai 10[7]

$$Y_o = 10^{-4} (0.001699\epsilon_r^7 + 0.13761\epsilon_r^6 - 6.1783\epsilon_r^5 + 93.187\epsilon_r^4 - 682.69\epsilon_r^3 + 2561.9\epsilon_r^2 - 4043\epsilon_r + 6697) \frac{L}{2} \quad (2.8)$$

2.1.4 Parameter Antena Mikrostrip

Ada beberapa parameter yang perlu diperhatikan yang mempengaruhi performansi dari antena yang dibuat. Parameter yang penting dalam antena antara lain VSWR, *return loss*, gain, dsb.

2.1.4.1 Voltage Standing Wave Ratio (VSWR)

VSWR adalah perbandingan antara tegangan maksimum dan minimum dari suatu gelombang berdiri yang terjadi karena tidak-*matchingnya* saluran. Secara matematis, VSWR dituliskan sebagai berikut

$$VSWR = \frac{V_{max}}{V_{min}} = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \quad (2.9)$$

$$\text{dimana } \Gamma_L = \frac{V_o^-}{V_o^+} = \frac{Zl - Z_o}{Zl + Z_o} \quad (2.10)$$

Dengan

Γ_L = koefisien pantul

Zl = impedansi beban

Z_o = impedansi karakteristik

VSWR bernilai $1 \leq VSWR \leq \infty$, sehingga semakin besar nilai VSWR, maka makin buruk pula performansi antena. Hal ini disebabkan semakin banyaknya gelombang yang dipantulkan oleh antena seiring dengan meningkatnya nilai VSWR.

2.1.4.2 Return Loss

Ketika beban dalam keadaan *mismatch*, tidak semua daya dari sumber terkirim ke beban. Daya yang hilang inilah yang disebut return loss, dengan satuan dB. Secara matematis dapat ditulis[13]

$$RL = -20 \log \Gamma \quad (2.11)$$

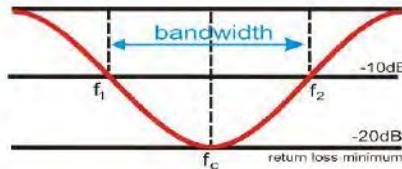
Dimana

Γ = koefisien pantul

Jadi saat keadaan *matching* ($\Gamma = 0$) RL akan bernilai ∞ yang berarti tidak ada daya yang dipantulkan kembali. Sedangkan saat keadaan ($\Gamma = 1$), RL akan bernilai 0 yang berarti semua daya dipantulkan.

2.1.4.3 Bandwidth

Bandwidth dari antenna didefinisikan sebagai "rentang frekuensi kinerja antenna, dengan beberapa karakteristik, sesuai dengan yang ditentukan oleh standart"[1]. Bandwidth dapat dianggap sebagai rentang frekuensi, dari frekuensi terendah sampai frekuensi tertinggi antenna bisa bekerja, di mana karakteristik antenna (seperti input impedansi, beamwidth, polarisasi, gain) berada dalam nilai yang dapat diterima oleh orang-orang di pusat frekuensi. Untuk antenna broadband, bandwidth biasanya dinyatakan sebagai rasio frekuensi paling atas (*upper*) dengan frekuensi bawah (*lower*). Sedangkan untuk *narrowband* antenna, maka lebar bidang antenna dinyatakan sebagai persentase dari selisih frekuensi di atas frekuensi tengah dari lebar bidang[1].



Gambar 2.6 Range frekuensi yang menjadi bandwidth

Berikut persamaan bandwidth dalam persentase[8]

$$B_p = \frac{f_u - f_l}{f_c} \times 100\% \text{ dimana } f_c = \frac{f_u + f_l}{2} \quad (2.12)$$

Dengan

B_p = bandwidth dalam %

f_u = frekuensi tertinggi

f_l = frekuensi terendah

f_c = frekuensi tengah

Besarnya bandwidth akan berdampak pada kecepatan transmisi. Data dalam jumlah besar bila melewati bandwidth yang akan menempuh waktu yang lama, oleh karena itulah bandwidth pada antenna mikrorstrip perlu ditingkatkan.

2.1.4.4 Pola Radiasi

Pola radiasi antenna didefinisikan sebagai suatu fungsi matematis atau referensi grafis dari sifat pola radiasi antenna sebagai fungsi koordinat ruang. Dalam banyak kasus pola radiasi ditentukan oleh *far-field region* dan direpresentasikan sebagai koordinat ruang [1]. Bagian-bagian dari pola radiasi disebut dengan “*lobe*” dan diklasifikasikan sebagai “*main lobe, minor lobe, back lobe, dan side lobe*” [1]. Pada bagian *main lobe* kita bisa menentukan parameter-parameter *Half Power Beamwidth (HPBW)* dan *First Null Beamwidth (FNBW)*. Perhatikan Gambar 2.7

Half Power Beamwidth (HPBW) adalah sudut yang dibentuk oleh dua arah dimana intensitas radiasi yang terbaca setengah kali lebih kecil dari pada intensitas radiasi maksimum atau -3 dB dari intensitas radiasi maksimum pada suatu bidang pengamatan contohnya bidang azimuth atau elevasi. Sedangkan *First Null Beamwidth (FNBW)* adalah sudut pengamatan dimana intensitas radiasi yang terbaca nol satuan untuk pertama kalinya.

Bagian-bagian dari radiasi antenna dari gambar diatas terdiri dari [1] :

- a. *Main lobe* atau *major lobe* atau *main beam* merupakan radiasi *lobe* yang memiliki arah radiasi maksimal
- b. *Minor lobe* adalah sebutan untuk semua *lobe* kecuali *main lobe*
- c. *Side lobe* merupakan radiasi yang terjadi di arah manapun selain dari arah *lobe* yang diinginkan
- d. *Back lobe* merupakan radiasi *lobe* yang sumbu nya membuat sudut 180° dari *main lobe*, biasanya berkenaan dengan *minor lobe* yang menempati arah yang berlawanan dengan *main lobe*

Pola radiasi terbagi menjadi 3 yaitu isotropik, *directional*, dan *omnidirectional*.

a. Isotropik

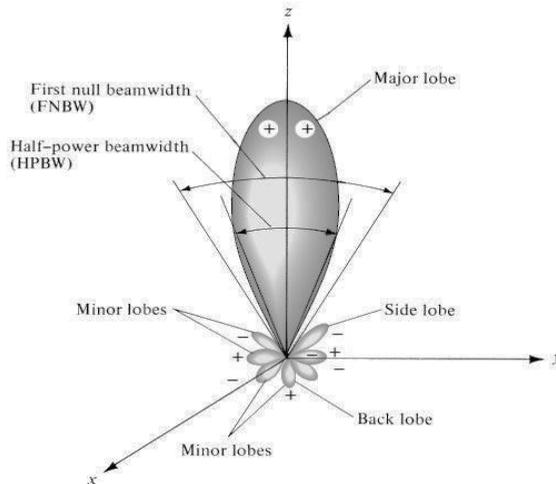
Suatu antenna yang secara hipotesa bersifat *lossless* dan mempunyai radiasi yang sama ke segala arah [1]. Antenna ideal yang secara fisik tidak mungkin direalisasikan ini, tidak jarang digunakan untuk memperlihatkan pola radiasi antenna yang sesungguhnya.

b. Directional

Antena yang mempunyai radiasi untuk menerima atau memancarkan gelombang elektromagnetik lebih efektif ke beberapa arah tapi tidak ke arah lain. Biasanya dipakai ke antena yang mempunyai direktivitas yang lebih besar dari pada antena dipol setengah gelombang.

c. Omnidirectional

Penggabungan pola dari dua bidang saling orthogonal dimana tidak berarah di bidang *azimuth* dan pola terarah di bidang elevasi[1]. Pola radiasi *omnidirectional* merupakan pola khusus dari pola *directional*.



Gambar 2.7 Pola Radiasi Antena[1]

2.1.4.5 Gain

Salah satu parameter yang berfungsi untuk melihat bagus tidaknya performansi sebuah antena adalah gain. Gain diartikan sebagai perbandingan antara intensitas radiasi maksimum antena dengan intensitas radiasi antena referensi dengan daya yang sama ketika ditransmisikan atau secara matematis dapat ditulis sebagai berikut

$$G = \frac{\text{intensitas radiasi maksimum}}{\text{intensitas radiasi maksimum dr antena referensi dgn daya yg sama}} \quad (2.13)$$

Gain antena bergantung pada direktivitas dan efisiensi antena. Penguatan antena juga bisa didapat dari persamaan antara efisiensi dan direktivitas antena yaitu

$$G = \eta \times D \quad (2.14)$$

Dimana

η = efisiensi antena ($0 \leq \eta \leq 1$)

D = direktivitas antena

Dalam proses pengukuran, perhitungan gain didapat dengan persamaan

$$G_{AUT} = P_{AUT} - P_{REF} + 2.51 \text{ dB (gain antena ref)} + M_{AUT} \quad (2.15)$$

Dimana :

G_{AUT} = gain antena yang diukur

P_{AUT} = level daya terima AUT

P_{REF} = level daya terima pada antena referensi

M_{AUT} = faktor koreksi

Faktor koreksi bisa dihitung menggunakan persamaan

$$M_{AUT} = \frac{1}{(1 - |\Gamma_{AUT}|^2)} \text{ atau } M_{AUT} = \frac{1}{\left(1 - \left(10^{\frac{s_{11ref}}{10}}\right)^2\right)} \quad (2.16)$$

2.1.4.6 Direktivitas

Diartikan sebagai “perbandingan dari intensitas radiasi ke suatu arah dari antena dengan rata-rata intensitas radiasi yang menyebar ke segala arah. Rata-rata intensitas radiasi ini sama dengan total daya yang diradiasikan antena yang dibagi dengan 4π ” [1].

$$D = \frac{U}{U_0} = \frac{4\pi U}{Prad} \quad (2.17)$$

Jika arah tidak ditentukan, itu berarti arah intensitas radiasi maksimum (direktivitas maksimum) dinyatakan sebagai

$$D = D_0 = \frac{U|_{max}}{U_0} = \frac{Umax}{U_0} = \frac{4\pi Umax}{Prad} \quad (2.18)$$

Dengan

D = Direktivitas

D_0 = Direktivitas Maksimum

$Umax$ = Intensitas Radiasi Maksimum

U_0 = Intensitas Radiasi Sumber Isotropik

U = Intensitas Radiasi

$Prad$ = Daya Total Radiasi

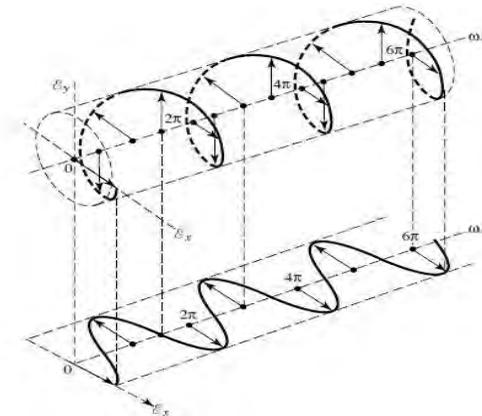
2.1.4.7 Polarisasi

Polarisasi antena adalah arah medan listrik yang diradiasikan oleh antena. Polarisasi juga dapat didefinisikan sebagai gelombang yang

diradiasikan dan diterima oleh antenna pada suatu arah tertentu. Bila arahnya tidak ditentukan, maka arah polarisasi terdapat pada polarisasi pada gain maksimum[1]. Dengan kata lain, posisi dan arah medan listrik dengan referensi terhadap permukaan bumi atau *ground* menentukan polarisasi gelombang. Polarisasi dapat diklasifikasikan sebagai *linear* (linier), *circular* (melingkar), dan *elliptical* (elips).

a. Polarisasi linier

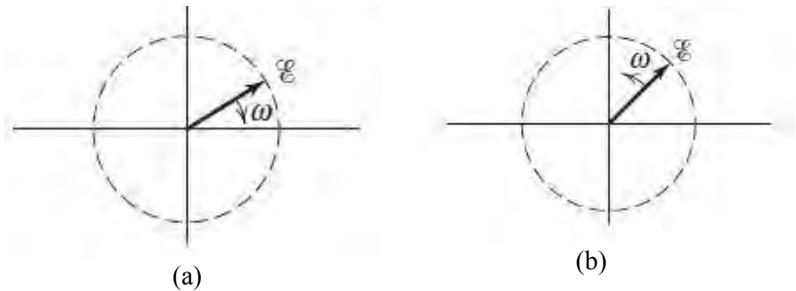
Polarisasi linier terjadi jika suatu gelombang yang berubah menurut waktu pada suatu titik di ruang memiliki vektor medan elektrik pada titik tersebut selalu berorientasi pada garis lurus yang sama pada setiap waktu[1].



Gambar 2.8 Polarisai linier[1]

b. Polarisasi Melingkar

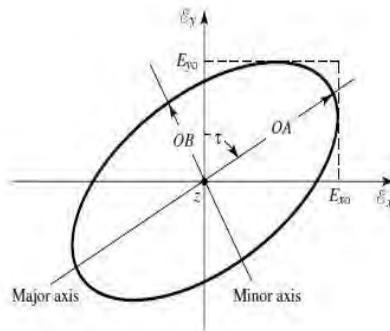
Polarisasi melingkar terjadi jika suatu gelombang yang berubah menurut waktu pada suatu titik memiliki vektor medan elektrik (magnet) pada titik tersebut berada pada jalur lingkaran sebagai fungsi waktu[1]. Terbagi menjadi dua yaitu *left-hand circular polarization* (LHCP) dan *right-hand circular polarization* (RHCP). LHCP terjadi ketika $\delta = \pi/2$ dan RHCP terjadi ketika $\delta = -\pi/2$



Gambar 2.9 (a) *left-hand circular polarization* (b) *right-hand circular polarization*[10]

c. Polarisasi *Ellipse*

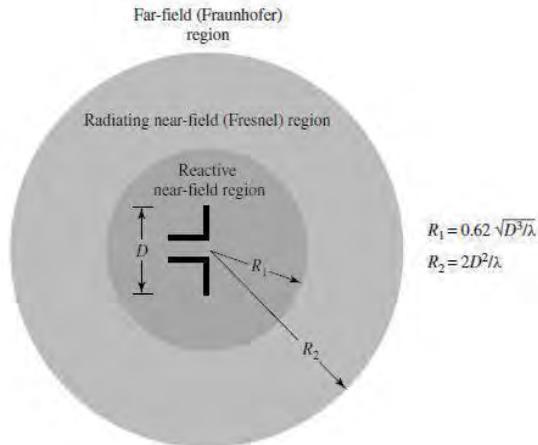
Polarisasi elips terjadi ketika gelombang yang berubah menurut waktu memiliki vektor medan (elektrik atau magnet) berada pada jalur kedudukan elips pada ruang.



Gambar 2.10 Polarization ellipse[1]

2.1.4.8 Daerah Medan Radiasi Antena

Daerah radiasi yang mengelilingi antena dibagi menjadi 3 bagian yaitu: (a)*reactive near-field* (b)*radiating near-field (Fresnel)* dan (c)*far-field (Fraunhofer)*[1].



Gambar 2.11 Pembagian daerah radiasi antenna

a. *Reactive near-field*

Daerah interior dari *far-field* disebut *near-field* terbagi menjadi dua yaitu *reactive near-field* dimana medan radiatif lebih mendominasi medan radiasi dan daerah medan radiasi (*radiating near-field*). Untuk dipole ideal, batas antara daerah *reactive* dan *radiating near-field* terjadi saat $r = \lambda/2\pi$ dari permukaan antenna. Daerah ini merupakan daerah paling dekat dengan antenna dimana medan radiasi pada daerah ini belum stabil sehingga belum dapat digunakan sebagai medan propagasi dari antenna untuk transmisi [7]. Batas terluar dari daerah ini

$$R < 0.62 \sqrt{D^3/\lambda} \tag{2.19}$$

Dimana

D = dimensi terluar antenna

λ = panjang gelombang

b. *Radiating near-field (Fresnel)*

Merupakan daerah medan antenna yang terletak antara daerah medan reaktif dan daerah *far-field*. Pada daerah ini medan radiasi dominan dan distribusi medan tergantung pada jarak antenna. Radiusnya adalah [12]

$$0.62 \sqrt{\frac{D^3}{\lambda}} \leq R < 2 \frac{D^2}{\lambda} \tag{2.20}$$

c. *Far-field (Fraunhofer)*

Daerah medan antenna dimana distribusi medan sudah tidak lagi tergantung pada jarak jauh-dekatnya antenna. Pada daerah inilah biasanya dilakukan pengukuran parameter antenna seperti pola radiasi dan gain, karena pada daerah ini medan radiasinya sudah stabil. Jika antenna mempunyai maksimum dimensi D maka, medan jauh *Fraunhofer* ini akan bertempat pada

$$R > \frac{2D^2}{\lambda} \quad (2.21)$$

2.2 Metamaterial

Elektromagnetik metamaterial didefinisikan secara luas sebagai bahan atau material buatan yang mempunyai struktur elektromagnetik yang homogen yang berbeda dengan karakteristik lainnya yang ditemukan di alam[2]. Struktur elektromagnetik homogenik adalah struktur yang rata-rata ukuran cellnya sebesar p lebih kecil dari panjang gelombang λg . Biasanya, rata-rata ukuran cellnya sedikitnya lebih kecil dari seperempat panjang gelombang, $p < \lambda g/4$. Disini akan ditunjukkan kondisi dimana $p = \frac{\lambda g}{4}$ sebagai batas/limit dari elektromagnetik homogen[2]. Kondisi ini akan terpenuhi dengan adanya dua parameter yaitu, permitivitas ϵ dan permeabilitas μ yang berhubungan dengan index bias n [2].

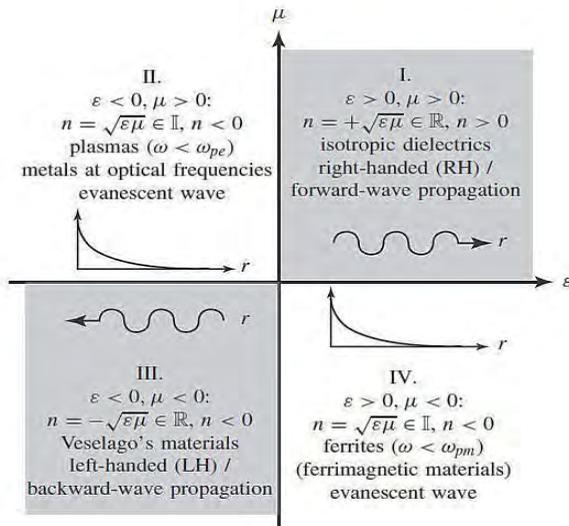
$$n = \pm \sqrt{\epsilon_r \mu_r} \quad (2.22)$$

Permitivitas (ϵ) adalah suatu parameter yang mengukur tentang efek suatu medan listrik pada suatu medium. Atau bisa dijelaskan sebagai ukuran seberapa besar perubahan sebuah medium untuk menyerap energi listrik ketika dipaparkan ke sebuah medan listrik[7]. Permitivitas pada ruang hampa udara bernilai $\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12}$ F/m. sedangkan permitivitas relative (ϵ_r) adalah perbandingan antara suatu permitivitas material dengan permitivitas di ruang bebas.

Sementara itu, permeabilitas (μ) adalah ukuran magnetisasi yang terjadi pada sebuah material sebagai respon terhadap medan magnet yang mengenyainya[7]. Medan magnet \mathbf{H} merupakan representasi dari pengaruh flux magnetic \mathbf{B} terhadap susunan dipol-dipol magnetik dari suatu medium, termasuk perpindahan dipol dan perubahan arahnya. Satuan permeabilitas adalah Henry per meter (H/m) atau Newton per Ampere kuadrat (N/A^2). Permeabilitas pada ruang hampa bernilai $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$.

Dalam metamaterial, suatu material disebut dengan metamaterial apabila material itu mempunyai permitivitas negatif atau permeabilitas negatif atau keduanya. Apabila hanya salah satu dari kedua parameter tersebut yang negatif maka disebut *Single Negatif Material* (SNG), bila keduanya mempunyai nilai negatif maka disebut *Double Negatif* (DNG), *Left Handed Medium*, *Negatif Refractive Index* (NRI), atau *Backward-wave Medium* (BWM)[2].

Pada Gambar 2.12 bisa dilihat tentang klasifikasi material. Pada kuadran I merupakan material yang bisa dengan mudah dijumpai di alam, karena material ini mempunyai permeabilitas dan permitivitas yang bernilai positif. Pada kuadran I inilah banyak penelitian dilakukan. Metamaterial bisa digolongkan epada material untuk kuadran II,III dan IV yang mempunyai nilai permitivitas atau permeabilitas negatif. Pada kuadran ini masih sangat jarang dilakukan penelitian.



Gambar 2.12 Pengelompokan metamaterial berdasarkan ε, μ , dan n [2]

2.2.1 Artificial Magnetic Conductor

Artificial Magnetic Conductor (AMC) adalah suatu permukaan yang berimpedansi yang tinggi atau *High Impedance Surface* (HIS) yang memantulkan gelombang datang, umumnya terbagi menjadi 3 kategori

yaitu *Photonic Bandgap Structure* (PBG), *Electromagnetic Band gap Structure* (EBG) dan *Artificial Ground* (AG) *Structure*. HIS juga bisa digolongkan ke kelompok metamaterial karena biasanya permukaan HIS menggunakan metamaterial. Kadang-kadang, AMC juga sering disebut sebagai EBG.

Sebuah AMC terdiri dari lapisan konduktor, lapisan *ground plane* dan via. Lapisan konduktor dibentuk pertama kali dalam jumlah banyak dalam bentuk cell-cell. Sedangkan via, adalah penghubung dari layer konduktor ke *ground plane*. Ide akan sebuah konduktor magnetik yang sempurna atau *Perfect Magnetic Conductor* (PMC) adalah hal yang mendasari terbentuknya AMC. Dengan PMC sebagai *ground plane* pada antena, maka akan tercipta arus positif pada antena dipole parallel di atasnya. Kondisi dari AMC atau PMC dikarakteristikan sebagai frekuensi yang mempunyai magnitudo dari koefisien pantulnya adalah +1 dan fasanya 0° , mempunyai impedansi permukaan (Z_s) yang tinggi, dan akan memantulkan gelombang elektromagnetik tanpa pembalikan fasa[19].

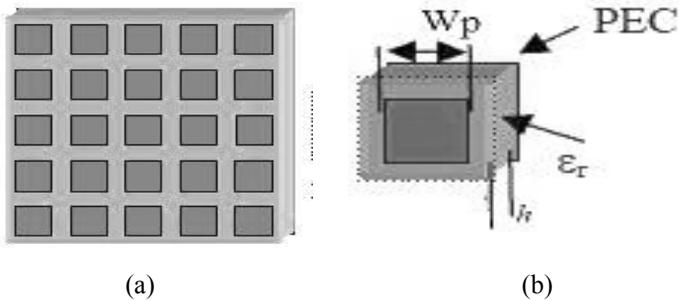
2.2.2 Artificial Ground Structure

Jika AMC/EBG merupakan permukaan dengan impedansi tinggi yang dihubungkan oleh via antar lapisan konduktor dan *ground planenya*, maka AGS merupakan bentuk dari AMC yang tidak menggunakan via. Sebuah struktur planar AG digunakan sebagai *reflector*, terbuat dari piringan metal berbentuk persegi panjang atau biasa disebut *unit cell* dengan *air gap* yang mengelilinginya. Struktur AG biasanya digunakan untuk meningkatkan bandwidth dalam mikrostrip antena dan *air gapnya* memerankan peran penting didalamnya.

AGS tidak memiliki *band gap* seperti halnya pada EBG dan mengubah pantulan fasa sesuai dengan keadaan polarisasi pada gelombang datang. Dengan menggabungkan gelombang yang ditransmisikan dengan gelombang pantulan dari AGS maka akan didapat antena broadband seperti pada prinsip gelombang superposisi yang akan saling menguatkan apabila memiliki fasa yang sama[15]. AGS bisa melebarkan bandwidth karena adanya unit cell yang dimilikinya. Dengan unit cell dan *air gap* yang berukuran sama akan menciptakan kondisi *boundary* yang bersifat periodik yang nanti akan berfungsi mengubah nilai konstanta dielektrik sehingga mendapatkan nilai konstanta dielektrik ‘buatan’ dengan dielektrik substrat yang biasa

ditemukan di alam. Diketahui bahwa semakin rendah nilai konstanta dielektrik pada subtrat dan semakin tebal subtrat akan berhasil meningkatkan lebar bandwidth. Nilai konstanta dielektrik hanya berkisar 2.2 sampai 16, dengan metode metamaterial bisa dihasilkan nilai konstanta dielektrik dengan nilai negatif sehingga peningkatan bandwidth yang dihasilkan oleh antena mikrostrip pun semakin besar.

Pantulan fase mengikuti keadaan polarisasi dari gelombang datang karena adanya hubungan dengan lebar *patch* dan lebar unit cell yang berbeda satu sama lain. Struktur ini didesain untuk mempunyai refleksi berfasa -90° untuk polarisasi Y dan $+90^\circ$ untuk polarisasi X [15]. Ukuran pada



Gambar 2.13 (a) Artificial Ground Plane (b) Unit cell[18]

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

BAB III

PERANCANGAN DAN REALISASI ANTENA

3.1 Perancangan Antena

Pada bab ini akan dibahas tentang pelaksanaan simulasi untuk menghasilkan antena sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan. Perancangan antena terdiri atas langkah-langkah berikut ini, yaitu :

1. Menentukan Spesifikasi

Pada proses ini dilakukan penentuan spesifikasi antena yang diinginkan seperti frekuensi kerja, gain, lebar bandwidth, dan pola radiasi

2. Perhitungan Dimensi Antena

Setelah ditentukan frekuensi kerja yang diinginkan, maka dilakukan perhitungan dimensi untuk *patch* yang diinginkan yaitu rectangular. Perhitungan dimensi antena ini meliputi lebar (W), panjang (L), panjang dan lebar ground plane, panjang saluran pencatu (Y_0), lebar saluran pencatu (W_0), panjang dan lebar *unit cell*.

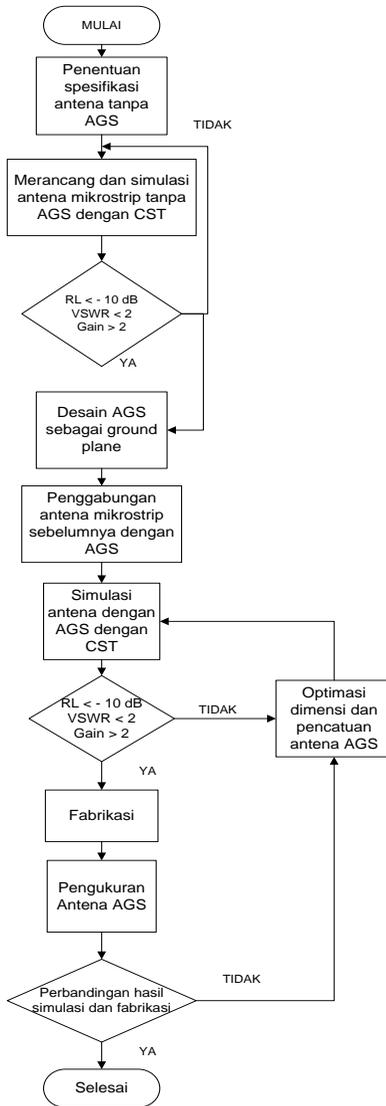
3. Perancangan di software

Setelah melakukan perhitungan dimensi antena, dilakukan simulasi di *software CST Microwave Studio 2011*. Simulasi dilakukan untuk menguji parameter perancangan dan melakukan optimasi antena .

4. Realisasi

Pada proses ini, dilakukan realisasi dari desain antena dan dilakukan pengukuran antena baik pengukuran dalam maupun pengukuran luar.

Berikut diagram alir dalam pengerjaan tugas akhir mengenai antena mikrostrip dengan AGS.



Gambar 3.1 Diagram alir pengerjaan

3.2 Perancangan Antena Mikrostrip Tanpa AGS

Hal pertama yang dilakukan pada Tugas Akhir ini adalah dengan menentukan spesifikasi antena yang diinginkan.

3.2.1 Spesifikasi dan Perhitungan Dimensi Antena

Antena mikrostrip dengan AGS yang ingin direalisasikan dalam Tugas Akhir ini mempunyai spesifikasi sebagai berikut :

- Frekuensi kerja : 6-6.3GHZ
- VSWR : ≤ 2
- Impedansi terminal : 50Ω
- Pola radiasi : *omnidirectional*
- Gain : ≥ 2 dB
- *Return loss* : ≥ -9.54 dB
- Polarisasi : Linear

Kemudian bahan dielektrik yang digunakan sebagai substrat pada antena ini adalah *epoxy* FR4. Karakteristik dasar *epoxy* FR4 sebagai bahan dielektrik yang digunakan untuk realisasi antena ini adalah sebagai berikut :

- Permittivitas relatif : 4.3
- Ketebalan dielektrik : 1.6 mm

Antena ini bekerja pada frekuensi *C-band*, selain itu antena ini berfungsi sebagai antena penerima saja.

3.2.2 Teknik Pencatuan Antena

Teknik pencatuan yang digunakan untuk antena ini adalah dengan menggunakan pencatuan pada *line* mikrostrip. Teknik ini dilakukan karena elemen strip konduktor dapat dihubungkan secara langsung ke tepi *patch* dan dapat dicetak dengan substrat yang sama. Sedangkan untuk konektornya digunakan konektor SMA.

3.2.3 Substrat Antena

Substrat merupakan bahan dielektrik yang memiliki nilai konstanta dielektrik (ϵ_r), dielektrik *loss tangent* ($\tan \delta$), dan ketebalan (h) tertentu. Ketiga nilai tersebut mempengaruhi frekuensi kerja, *bandwidth*, dan juga efisiensi dari antena yang akan dibuat. Pada antena mikrostrip, semakin besar nilai konstanta dielektrik, ukuran *patch* akan semakin

kecil sehingga memperkecil daerah radiasinya pula. Ukuran elemen peradiasi dan saluran mikrostrip berbanding terbalik dengan konstanta dielektrik. Sedangkan ketebalan substrat berpengaruh pada bandwidth. Semakin tebal dielektrik substratnya, semakin lebar bandwidth yang dihasilkan, tetapi juga akan menambah timbulnya gelombang permukaan (*surface wave*).

Tabel 3.1 Spesifikasi Substrat yang Digunakan

Jenis substrat	FR4 (<i>epoxy</i>)
Konstanta Dielektrik (ϵ_r)	4.3
Dielektrik <i>loss tangent</i> ($\tan \delta$)	0.2
Ketebalan (h)	1.6 mm

3.2.4 Perhitungan Dimensi Antena

Sebelum melakukan perancangan antena dengan modifikasi *ground plane* AGS, dilakukan perancangan antena mikrostrip tanpa AGS yang memiliki bentuk *patch* persegi atau *rectangular patch*. Dengan menggunakan persamaan 2.1 pada bab sebelumnya

$$W = \frac{\lambda_o}{2} \sqrt{\left(\frac{\epsilon_r + 1}{2}\right)} \text{ dimana } \lambda_o = \frac{c}{f_o} \quad (3.1)$$

$$W = \frac{0.05}{2} \sqrt{\left(\frac{4.3 + 1}{2}\right)} \text{ dimana } \lambda_o = \frac{3 \times 10^8}{6 \times 10^9}$$

$$\text{Sehingga } W = 0.015357 \text{ m} = 15.357 \text{ mm}$$

Nilai permitifitas rata-rata yang dicari dengan persamaan 2.2

$$\epsilon_r \text{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \sqrt{1 + 12 \frac{h}{W}} \quad (3.2)$$

$$\epsilon_r \text{eff} = \frac{4.3 + 1}{2} + \frac{4.3 - 1}{2} \sqrt{1 + 12 \frac{1.6}{15.357}} = 4.38602$$

Telah dijelaskan pada bab sebelumnya, karena adanya pengaruh *fringe effect* panjang *patch* (L) diperlukan parameter ΔL yang merupakan pertambahan panjang dari L .

$$\frac{\Delta L}{h} = \frac{(\epsilon_r \text{eff} + 0.3) \left(\frac{W}{h} + 0.264 \right)}{(\epsilon_r \text{eff} - 0.258) \left(\frac{W}{h} + 0.8 \right)} \quad (3.3)$$

$$\frac{\Delta L}{1.6} = \frac{(4.38602 + 0.3) \left(\frac{15.357}{1.6} + 0.264 \right)}{(4.38602 - 0.258) \left(\frac{15.357}{1.6} + 0.8 \right)}$$

$$\Delta L = 0.709733$$

Lalu panjang L sebenarnya

$$L = \frac{c}{2f_o} \sqrt{\epsilon_{r\text{eff}}} - 2\Delta L \quad (3.4)$$

$$L = \frac{3 \times 10^8}{2 \times 6 \times 10^9} \sqrt{4.38602} - 2(0.709733) = 10.517795 \text{ mm}$$

Untuk lebar pencatu (W_o) dari antenna mikrostrip didapat dengan persamaan

$$B = \frac{377\pi}{2Z_o \sqrt{\epsilon_r}} = \frac{377\pi}{2 \times 50 \sqrt{4.3}} = 5.7087 \quad (3.5)$$

$$W_o = \frac{\pi}{2} \left[B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} \left(\ln\{B - 1\} + 0.39 - \frac{0.61}{\epsilon_r} \right) \right]$$

$$= \frac{\pi}{2} \left[5.7087 - 1 - \ln(2 \times 5.7087 - 1) + \frac{4.3 - 1}{2 \times 4.3} \left(\ln\{5.7087 - 1\} + 0.39 - \frac{0.61}{4.3} \right) \right]$$

$$= 4.322384 \quad (3.6)$$

Sedangkan untuk panjang pencatu (Y_o) perhitungannya sebagai berikut, valid apabila nilai ϵ_r mulai dari 2 sampai 10

$$\begin{aligned}
Y_o &= 10^{-4}(0.001699\varepsilon_r^7 + 0.13761\varepsilon_r^6 - 6.1783\varepsilon_r^5 + 93.187\varepsilon_r^4 \\
&\quad - 682.69\varepsilon_r^3 + 2561.9\varepsilon_r^2 - 4043\varepsilon_r + 6697)\frac{L}{2} \\
&= 10^{-4}(0.001699x4.3^7 + 0.13761x4.3^6 - 6.1783x4.3^5 + \\
&\quad 93.187x4.3^4 - 682.69x4.3^3 + 2561.9x4.3^2 - 4043x4.3 + \\
&\quad 6697)\frac{10.517795}{2} = 3.2054
\end{aligned} \tag{3.7}$$

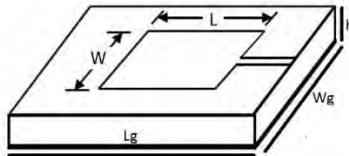
Sedangkan untuk lebar *ground planenya*

$$L_g \geq 6h + L = 6x1.6 + 10.517795 = 20.1177 \tag{3.8}$$

$$W_g \geq 6h + W = 6x1.6 + 15.357 = 24.957 \tag{3.9}$$

Table 3.2 Hasil Perhitungan Dimensi Antena

Parameter	Hasil Perhitungan (mm)
Lebar Patch (W)	15.357
Panjang Patch (L)	10.517795
Lebar Saluran Pencatu (Wo)	4.322384
Panjang Saluran Pencatu (Yo)	3.2054
Lebar Groundplane (Wg)	20.1177
Panjang Ground Plane (Lg)	24.957



Gambar 3.2 Antena Mikrostrip Tanpa AGS

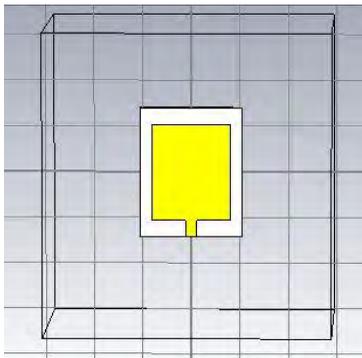
Kemudian dilakukanlah simulasi pada *software CST Microwave Studio 2010* dengan bentuk pada antena seperti gambar diatas menggunakan ukuran pada Tabel 3.2.

3.2.5 Simulasi Antena

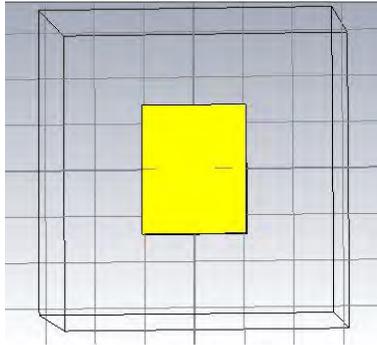
Setelah didapatkan dimensi untuk tiap parameter antena, kemudian disimulasikan ke dalam *software CST Microwave Studio 2010*. Simulasi dilakukan dengan tujuan untuk memperoleh dimensi

antena yang tepat agar sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan. Langkah awal dalam mendesain antena pada *software CST Microwave Studio 2010* adalah menentukan satuan yang digunakan. Untuk mempermudah dalam perancangan, karena dimensi antena mikrostrip berbentuk kecil, maka digunakan satuan milimeter (mm) dan satuan frekuensi menggunakan gigahertz (GHz). Kemudian pilih material penyusun dari setiap elemen sesuai perencanaan. Setelah dilakukan desain antena dengan *patch* persegi ke dalam *software CST* kemudian dilakukan *running* program.

Simulasi disini bertujuan untuk mengetahui seberapa bagus performansi antena sebelum nanti direalisasikan. Setelah hasil simulasi keluar, bisa dilihat hasil dari antena tersebut sudah memenuhi spesifikasi atau belum. Yang dibuat pertama kali disini adalah antena tanpa menggunakan AGS. Akan dilihat seberapa besar lebar bandwidth yang akan dihasilkan oleh antena tanpa AGS ini dan kemudian nanti akan dibandingkan dengan antena yang menggunakan *ground plane* AGS.

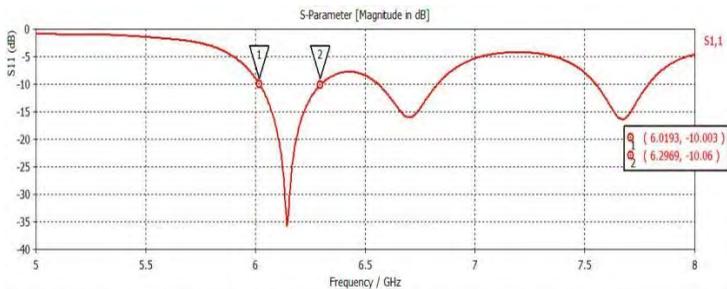


(a)



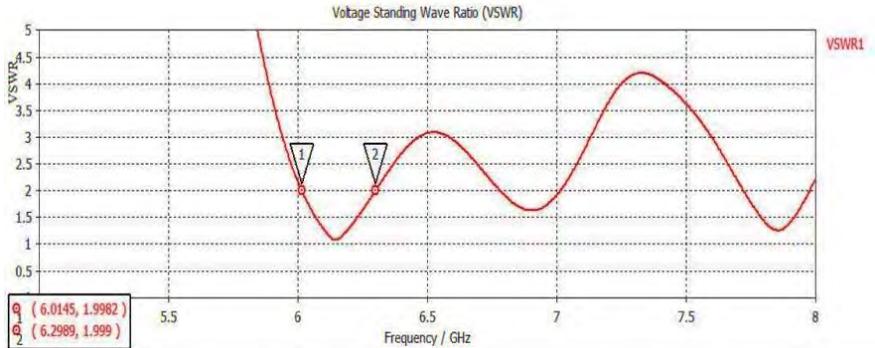
(b)
Gambar 3.3 Antena mikrostrip tanpa AGS di CST (a) Tampak Depan (b) Tampak Belakang

Pada simulasi awal dengan ukuran yang telah dihitung sebelumnya, ternyata hasilnya belum sesuai yang diinginkan. Setelah melakukan parameterisasi dengan menggunakan menu *parameter sweep* yang terdapat pada CST terhadap parameter *feed line*, *patch* dan *ground plane* antena, didapatkanlah hasil yang paling maksimal dari antena mikrostrip tanpa AGS ini.



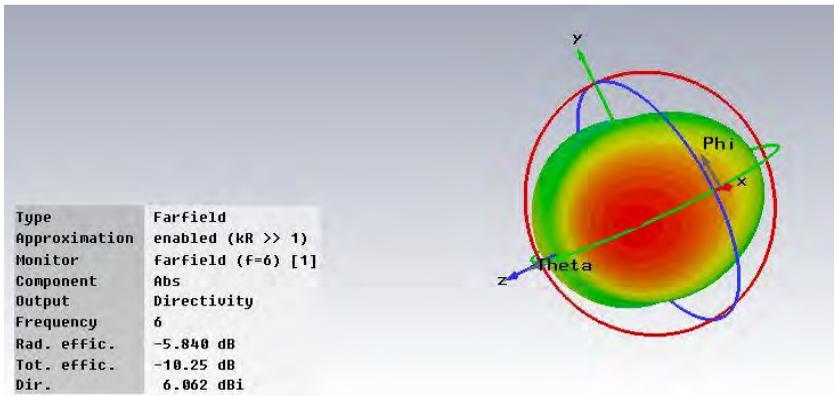
Gambar 3.4 Hasil simulasi parameter S11 antena mikrostrip tanpa AGS

Bisa dilihat pada gambar diatas, bahwa dengan antena mikrostrip tanpa AGS pada frekuensi kerja 6.0-6.3 GHz hanya didapatkan bandwidth sekitar kurang lebih 277 MHz untuk pembacaan bandwidth yang diukur pada level *return loss* < -9.54 dB.

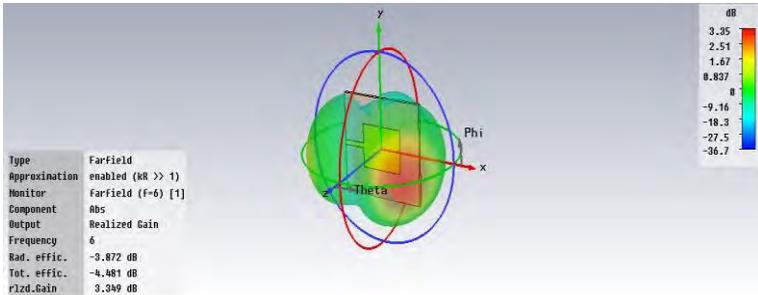


Gambar 3.5 Hasil simulasi VSWR antenna mikrostrip tanpa AGS

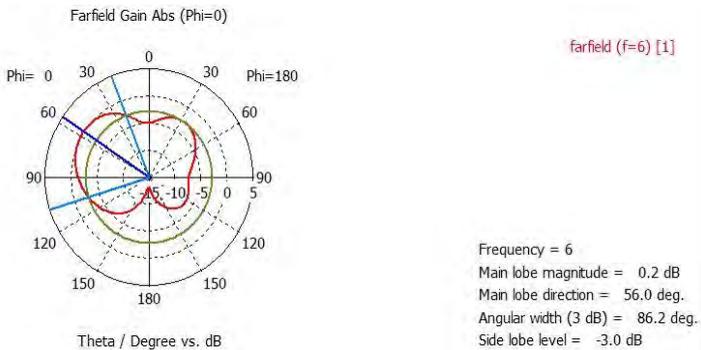
Untuk pembacaan level VSWR dengan 1:2 hasilnya kurang lebih sama, bandwidth yang didapatkan selebar 284 MHz. Sedangkan direktivitas yang didapat untuk antenna ini adalah 6.062 dBi dan gainnya sebesar 3.349 dB. Untuk lebih jelasnya, dapat dilihat pada gambar berikut ini.



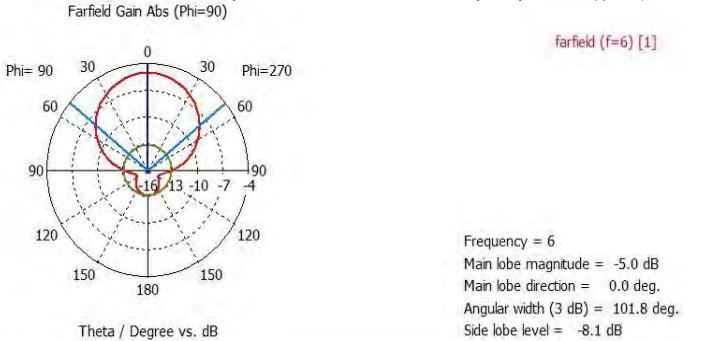
Gambar 3.6 Hasil simulasi farfield (directivity) antenna mikrostrip tanpa AGS



Gambar 3.7 Hasil simulasi *farfiled* (realized gain) antenna mikrostrip tanpa AGS



Gambar 3.8 Hasil simulasi pola radiasi antenna mikrostrip tanpa AGS ($\varphi=0^\circ$)



Gambar 3.9 Hasil simulasi pola radiasi antenna mikrostrip tanpa AGS ($\varphi=90^\circ$)

Dari Gambar 3.3-3.8 telah diperoleh nilai parameter antenna. Untuk lebih memudahkan pembacaannya, dapat dilihat pada Tabel 3.3 dan 3.4 berikut ini.

Tabel 3.3 Nilai Parameter Setelah Parameterisasi dengan *Parameter Sweep*

Parameter	Setelah Parameterisasi (mm)
Lebar <i>Patch</i> (<i>W</i>)	21.0011
Panjang <i>Patch</i> (<i>L</i>)	17.0155
Lebar Saluran Pencatu (<i>Wo</i>)	2.322384
Panjang Saluran Pencatu (<i>Yo</i>)	3.2054
Lebar Groundplane (<i>Wg</i>)	28.0011
Panjang Ground Plane (<i>Lg</i>)	21.0011

Tabel 3.4 Hasil Simulasi Antena

Parameter	Hasil Simulasi
Frekuensi kerja (<i>return loss</i> < -9.54dB)	6.0193 – 6.288 GHz
Frekuensi tengah	6.288 GHz
<i>Return loss</i> pada F_c	-28.754 dB
Bandwidth	277 MHz
VSWR pada F_c	1.033
<i>Directivity</i>	6.062 dBi
Realized Gain	3.349 dB

3.3 Perancangan Antena Mikrostrip dengan AGS

Karena tidak diperoleh rumusan perhitungan secara spesifik dari *unit cell* yang digunakan pada AGS ini, maka untuk mendapatkan karakteristik-karakteristik dari antena yang bekerja pada frekuensi tertentu, maka dimensi dari *unit cell* pada AGS diperoleh dari jurnal-jurnal terkait dan referensi dari buku-buku. Untuk rentang frekuensi pada *C-band* diperoleh *unit cell* dengan format 6x4. Oleh karena itu hal yang dilakukan setelah mendapatkan parameter untuk antena mikrostrip tanpa AGS adalah

1. Mengubah *groundplane* yang awalnya mengikuti bentuk substrat menjadi persegi panjang dengan ukuran tertentu atau disebut *unit cell* sebanyak 24 buah
2. *Unit cell* tersebut diletakkan di substrat yang terpisah dari substrat *patch*
3. Panjang dan lebar substrat pada *patch* ukurannya disesuaikan dengan panjang dan lebar substrat yang mempunyai *unit cell* persegi panjang

4. Tembaga yang berfungsi sebagai *ground plane* pada substrat *patch*, dihilangkan. Sehingga nantinya yang berfungsi sebagai *ground plane* adalah substrat yang berisi 24 *unit cell*.

3.3.1 Simulasi Awal

Seperti yang telah dijelaskan diawal, hal yang pertama kali dilakukan adalah membuat *unit cell* untuk *ground plane*. Berikut adalah perbandingan lebar bandwidth dengan banyak *unit cell* yang dibuat yang telah dicoba disimulasikan sebelumnya.

Tabel 3.5 Perbandingan Lebar Bandwidth dan Jumlah Unit cell

Jumlah Cell	Lebar Bandwidth (GHz)
4x4	0.5164
4x5	0.4069
6x4	2.0516
6x5	1.5560
6x6	1.1585

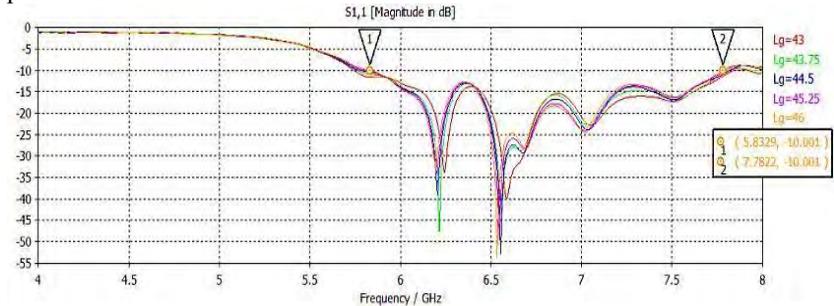
Bisa dilihat dari tabel diatas bahwa bandwidth paling lebar didapat pada jumlah *unit cell* 24 buah, sedangkan perbandingan besar *directivity* untuk masing-masing jumlah cell dapat dilihat pada Tabel 3.6

Karena tujuan dalam Tugas Akhir ini adalah untuk memperlebar bandwidth antenna mikrostrip, maka parameter yang diutamakan adalah lebar bandwidth dan bukan besar gain. Oleh karena itu untuk perealisasi antenna, dipilih *unit cell* 6x4. Selain itu bila diperhatikan, metode AGS ini meskipun menggunakan 16 *unit cell*, kenaikan besar gain diperoleh cukup signifikan. Di antenna mikrostrip tanpa AGS *directivity* yang diperoleh adalah 6.062 dBi, sedangkan dengan metode AGS, *directivity* yang terkecil yang didapat adalah 7.204 dBi.

Tabel 3.6 Perbandingan Besar *Directivity* dan Jumlah *Unit cell*

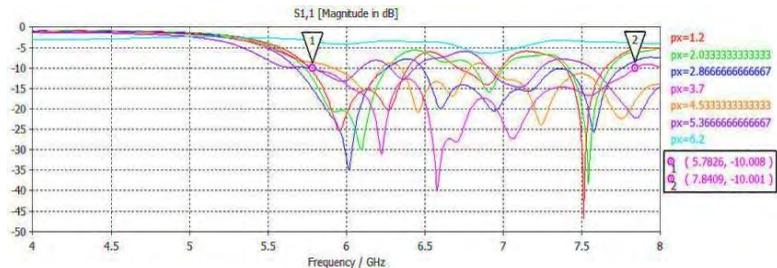
Jumlah Cell	<i>Directivity</i> (dBi)
4x4	7.204
4x5	7.255
6x4	7.699
6x5	7.753
6x6	8.203

Seperti yang dijelaskan di awal setelah ditentukan jumlah *unit cell* yang dipergunakan, maka yang dilakukan selanjutnya adalah parameterisasi dimensi antenna yang sudah ditambahkan dengan ground plane AGS.



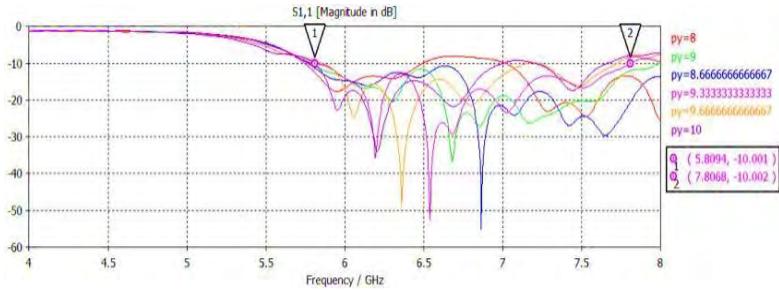
Gambar 3.10 Parameterisasi dimensi antenna

Dari gambar diatas bisa dilihat bahwa dengan panjang 43.75 mm, dihasilkan range *return loss* paling lebar, yaitu dari range frekuensi 7.782-5.832 GHz. Kemudian setelah dipilih dimensi substrat antenna dan ground plane kemudian kita parameterisasi panjang dan lebar dari *unit cell* yang berbentuk persegi panjang.

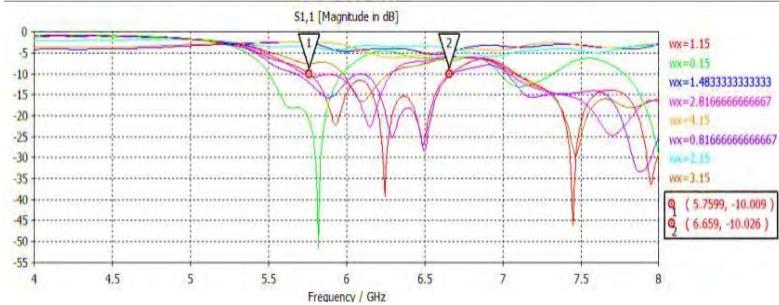


Gambar 3.11 Parameterisasi lebar *unit cell*

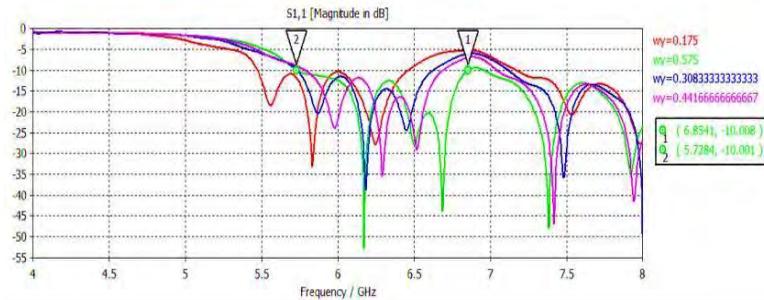
Dari Gambar 3.11, lebar *unit cell* yang paling bagus adalah 3.7 mm, sedangkan untuk panjang *unit cell* yang paling bagus adalah 9.3 mm. Setelah didapatkan panjang dan lebar dari *unit cell*, kemudian dicari lebar *air gap* yang mengelilingi tiap *unit cell*.



Gambar 3.12 Parameterisasi Panjang *Unit cell*



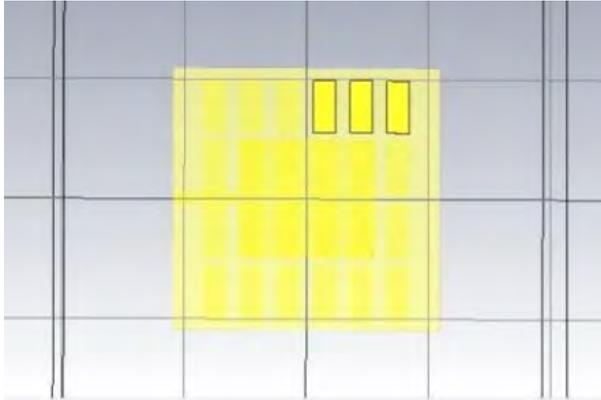
Gambar 3.13 Besar *air gap* yang mengelilingi lebar *unit cell*



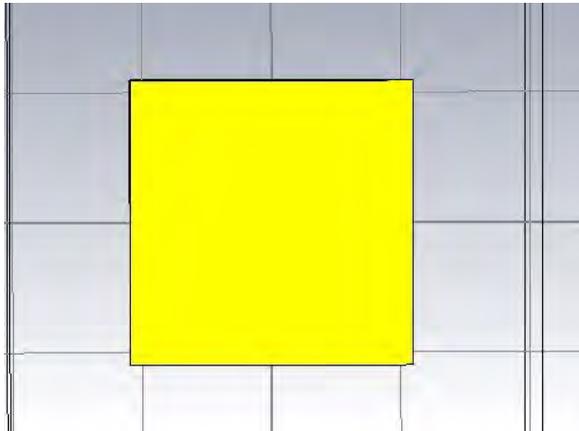
Gambar 3.14 Besar *air gap* yang mengelilingi panjang *unit cell*

Sama seperti memilih panjang dan lebar *unit cell*, untuk besar *air gap* yang dipilih pun merupakan hasil yang maksimal. Untuk *air gap* yang mengelilingi lebar *unit cell* dipilih 1.15 mm, dan 0.575 mm untuk *air gap* yang mengelilingi panjang *unit cell*. Setelah ditemukan semua parameter pembentuk *ground plane* AGS kemudian semua *unit cell*

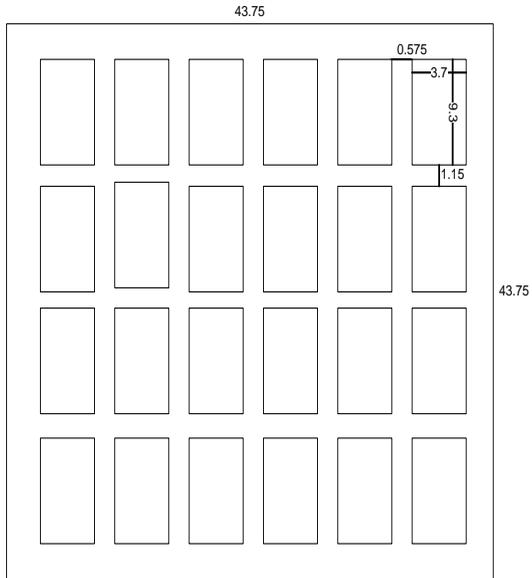
tersebut dipetakan ke substrat yang berbeda dengan substrat *patch*, dan disatukan ke antenna tanpa AGS yang disimulasikan terlebih dahulu sebelumnya.



Gambar 3.15 6x4 unit cell pada substrat untuk ground plane antenna dari depan

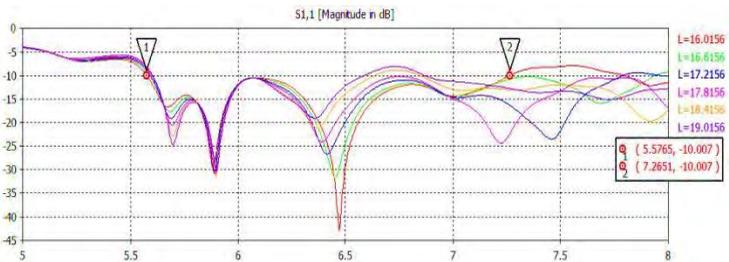


Gambar 3.16 Antena tanpa AGS yang sudah disatukan dengan AGS dari belakang



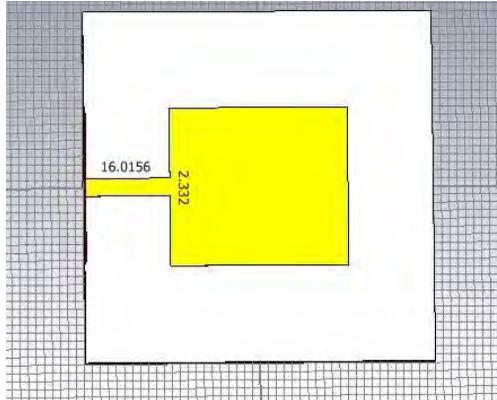
Gambar 3.17 Desain Unit Cell pada ground plane antenna AGS

Kemudian substrat dimensi antenna tanpa AGS disamakan dengan panjang dan lebar substrat ground plane AGS. Karena dimensi antenna sebelum dan sesudah disatukan dengan AGS berbeda maka diperlukan saluran pencatu dengan panjang yang berbeda pula. Melalui *parameter sweep* kemudian didapatkan panjang pencatu sebesar 16.0156 mm.

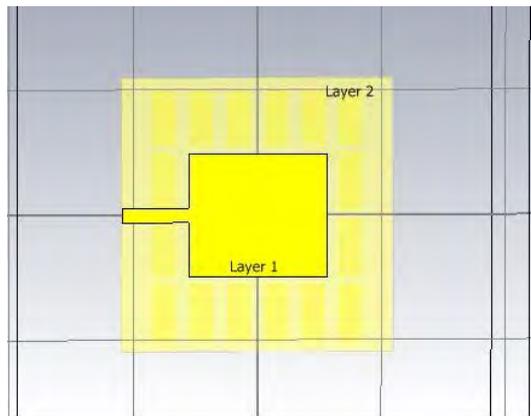


Gambar 3.18 Panjang saluran pencatu

Sehingga antenna dengan *ground plane* AGS akan didapatkan bentuk sebagai berikut.



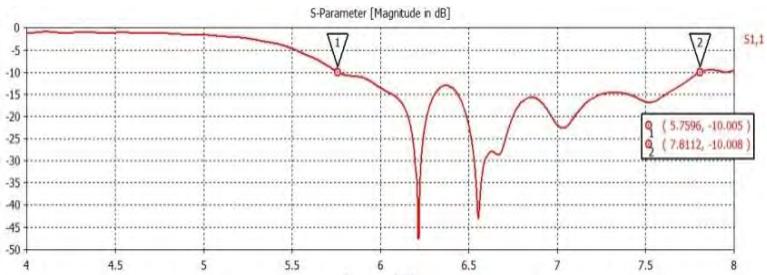
Gambar 3.19 Antena yang sudah disatukan dengan AGS dari depan



Gambar 3.20 *Rectangular unit cell* yang difungsikan sebagai ground plane antena

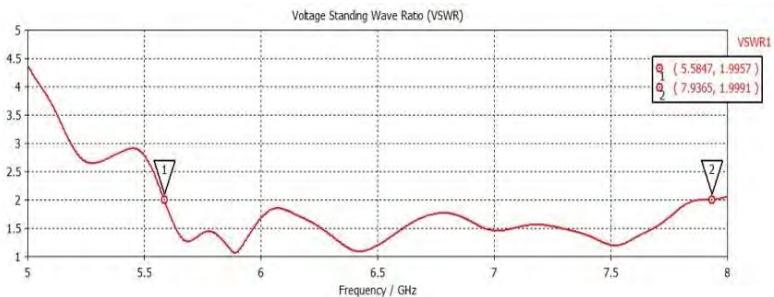
Pada Gambar 3.19 dan 3.20 merupakan bentuk akhir dari antena AGS, untuk patchnya ukurannya tidak berubah, hanya berbeda pada panjang saluran pencatu. Bila antena pertama hanya menggunakan satu layer substrat, maka antena dengan AGS ini menggunakan dua layer substrat, dimana layer kedua masih menggunakan bahan yang sama yaitu epoxy FR4. Layer kedua berfungsi sebagai ground plane dan merupakan tempat didesainnya unit cell AGS.

Setelah semua parameter dibentuk dan dioptimasi, maka setelah disimulasi akan didapatkan hasil sebagai berikut



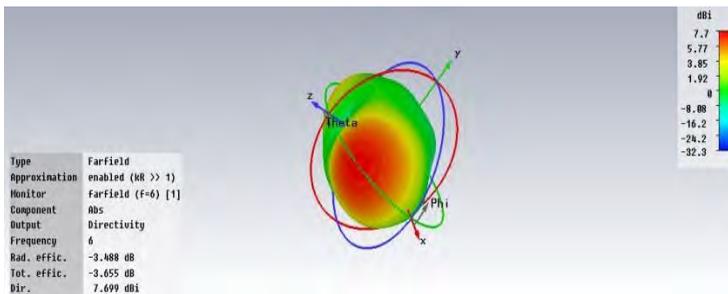
Gambar 3.21 Return loss < -9.54 dB

Range *return loss* yang didapat dari 5.759 – 7.811 GHz atau sebesar 2.052 GHz. Sedangkan untuk level pembacaan VSWR < 2 adalah sebesar 2351 MHz dari frekuensi 5.5847-7.9365 GHz.



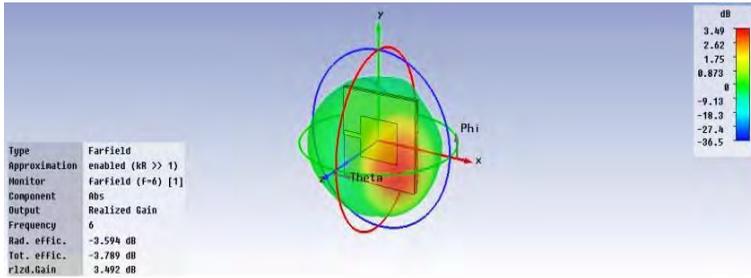
Gambar 3.22 VSWR < 2

Sedangkan direktivitas yang dihasilkan untuk antenna ini adalah 7.699 dBi

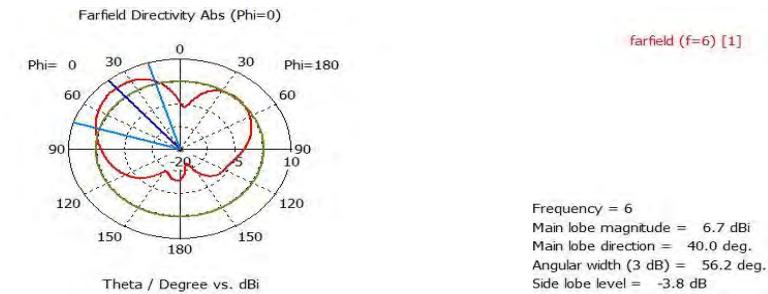


Gambar 3.23 Directivity antenna AGS

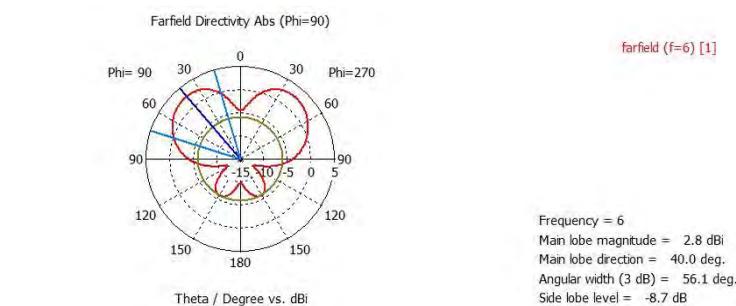
Untuk gain yang dihasilkan adalah sebesar 3.492 dB



Gambar 3.24 Gain yang dihasilkan antenna



Gambar 3.25 Hasil simulasi pola radiasi antenna mikrostrip tanpa AGS ($\varphi=0^\circ$)



Gambar 3.26 Hasil simulasi pola radiasi antenna mikrostrip tanpa AGS ($\varphi=90^\circ$)

3.3.2 Hasil Simulasi Akhir

Antena tanpa AGS dibuat dengan tujuan untuk membandingkan bandwidth yang dihasilkannya dengan antena dengan *ground plane* AGS. Perubahan yang dilakukan pada dimensi *patch* antena sebelum dan sesudah menggunakan *ground plane* AGS adalah panjang dari saluran pencatunya.

Tabel 3.7 Dimensi Akhir Antena

Parameter	Hasil Perhitungan (mm)
Lebar <i>Patch</i> (W)	21.0011
Panjang <i>Patch</i> (L)	17.0155
Lebar Saluran Pencatu (W_o)	2.322384
Panjang Saluran Pencatu (Y_o)	16.0156
Lebar Groundplane (W_g)	43.75
Panjang Ground Plane (L_g)	43.75
Lebar <i>Unit cell</i> (P_x)	3.7
Panjang <i>Unit cell</i> (P_y)	9.3
<i>Air gap</i> pada Panjang <i>Unit cell</i> (W_y)	0.575
<i>Air gap</i> pada Lebar <i>Unit cell</i> (W_x)	1.15

Tabel 3.8 Hasil Simulasi Akhir

Parameter	Antena tanpa AGS	Antena dengan AGS
Frekuensi kerja (<i>return loss</i> < -9.54dB)	6.021 – 6.288 GHz	5.759 -7.811 GHz
Frekuensi tengah	6.288 GHz	6.785 GHz
<i>Return loss</i> pada F_c	-28.754 dB	-28.420 dB
Bandwidth	267 MHz	2052 MHz
VSWR pada F_c	1.033	1.078
<i>Directivity</i>	6.062 dBi	7.699 dBi
Realized Gain	3.349 dB	3.492 dB

Selain bandwidth yang melebar, parameter lainya yang bertambah adalah gain, yang semula 3.349 dB menjadi 3.492 dB. Tapi hal tersebut bisa dimengerti karena dimensi antena dengan AGS juga bertambah lebih besar, dikarenakan gain berbanding lurus dengan dimensi antena, sehingga semakin besar dimensi antena maka akan semakin besar pula gain yang dihasilkan.

Besar bandwidth pada antena AGS meningkat dengan drastis.

Dari yang semula hanya 267 MHz menjadi 2052 MHz. Sehingga :

Bandwidth antena tanpa AGS = 277 MHz

Bandwidth antena dengan AGS = 2052 MHz

Maka, kenaikan bandwidthnya menjadi sebesar

$$\frac{2052 - 277}{2052} \times 100\% = 86.5\%$$

Sehingga dapat dilihat bahwa dengan metode AGS, bandwidth yang dihasilkan mengalami peningkatan sebesar 86.5%

BAB IV

PENGUKURAN DAN ANALISA HASIL PENGUKURAN

4.1 Pengukuran dan Alat Ukur yang Digunakan

Setelah dilakukan fabrikasi terhadap antena yang dirancang, maka yang selanjutnya dilakukan adalah pengukuran terhadap antena tersebut. Pengukuran dilakukan untuk membandingkan hasil fabrikasi dengan hasil simulasi yang diperoleh sebelumnya untuk kemudian dianalisa. Pengukuran karakteristik antena yang dilakukan adalah pengukuran VSWR, *bandwidth*, pola radiasi, *gain*, dan *return loss* antena

Dalam Tugas Akhir ini alat ukur yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Network Analyzer

Alat ukur ini digunakan dalam pengukuran VSWR, *bandwidth*, dan impedansi antena. *Network analyzer* akan menampilkan grafik hasil ukur berupa VSWR fungsi frekuensi, dan impedansi dalam bentuk *smith chart*.

2. Spectrum Analyzer

Alat ukur ini digunakan dalam pengukuran *gain*, dan pola radiasi, dari antena yang diukur. Dalam penggunaannya, *spectrum analyzer* ditempatkan pada antena penerima (Rx) yang akan menampilkan level daya terima (RSL). Melalui pengukuran inilah dapat diketahui karakteristik level sinyal pada antena penerima.

3. Sweep Oscillator

Alat ukur ini digunakan dalam pengukuran *gain*, pola radiasi, dan polarisasi dari antena yang diukur. Dalam pengukuran, *Sweep oscillator* ditempatkan pada antena pemancar (Tx) yang berfungsi memberikan level daya dan frekuensi.

Pengukuran dilakukan di Lab. Antena dan Telekomunikasi di Universitas Indonesia, Depok

4.2 Pengukuran Karakteristik Antena

4.2.1 Pengukuran VSWR, *Return loss*, dan Impedansi Karakteristik

Untuk pengukuran ketiga parameter ini dilakukan di dalam ruangan, karena factor lingkungan tidak memberikan pengaruh terhadap hasil pengukuran. VSWR adalah perbandingan antara tegangan maksimum

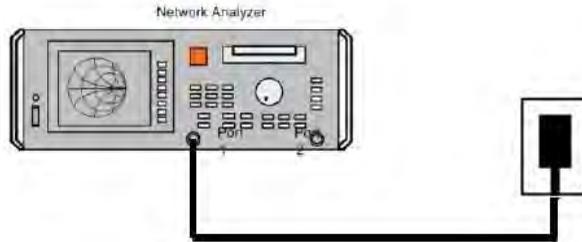
dan minimum dari suatu gelombang berdiri yang terjadi karena tidak-*matching*nya saluran. Pengukuran VSWR menggunakan alat *Network Analyzer* yaitu dengan membaca parameter S11 yang merepresentasikan perbandingan daya yang dikirim ke beban dengan daya yang dipantulkan kembali. Nilai VSWR adalah 1 sampai ∞ . Semakin tinggi nilai VSWR maka semakin tinggi *mismatch* dan semakin rendah nilai VSWR maka semakin *matching* antara saluran dan beban.

Pengukuran *return loss* bertujuan untuk mengetahui nilai *return loss* pada masing-masing frekuensi dan mengetahui seberapa banyak daya yang hilang pada beban. Sedangkan, pengukuran impedansi antena dilakukan untuk mengetahui impedansi antena.

4.2.1.1 Prosedur Pengukuran

Berikut adalah prosedur pengukuran VSWR, *Return loss*, dan Impedansi Antena:

1. Memasang *probe* 50 Ω pada input *Network Analyzer* (*probe 1*)
2. Mengkalibrasi *Network Analyzer* beserta kabel koaksial menggunakan *calibration kit*. Kalibrasi yang baik adalah yang memenuhi kriteria yaitu, SWR = saat beban dilepas, SWR = 1 saat beban dipasang, nilai *return loss* mendekati nol untuk semua frekuensi.
3. Menghubungkan antena yang akan diukur (AUT) dengan *probe 1* yang terpasang pada *Network Analyzer*.
4. Memasukkan frekuensi kerja yang diinginkan, tekan START untuk frekuensi awal 4 GHz dan tekan STOP untuk frekuensi akhir 8 GHz.
5. Menampilkan masing-masing parameter yang diinginkan melalui tombol FORMAT, kemudian grafik hasil pengukuran tersebut dicatat.
6. Lalu memilih parameter satu persatu, tekan tombol SWR untuk menampilkan grafik SWR terhadap frekuensi kerjanya, tombol *smithchart* untuk menampilkan besar impedansi, dan tombol *log mat* untuk menampilkan grafik *return loss*.
7. Menekan tombol *marker* untuk melihat *bandwidth* pada grafik SWR untuk mengetahui nilai tepat SWR pada satu frekuensi yang ditunjukkan oleh *marker*.



Gambar 4.1 Konfigurasi pengukuran antenna untuk parameter VSWR, *return loss* dan impedansi

Antena yang diukur adalah antena yang tidak menggunakan AGS dan setelah menggunakan AGS untuk mendapatkan perbandingan hasil bandwidthnya.

4.2.1.2 Hasil Pengukuran Parameter VSWR, *return loss*, dan impedansi antena tanpa AGS

Berikut adalah hasil pengukuran antena tanpa AGS dengan rentang frekuensi 6-6.3 GHz

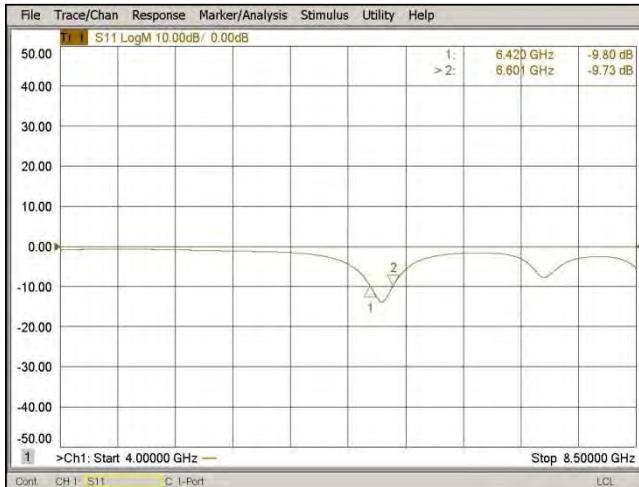
a. VSWR dan bandwidth

Dari Gambar 4.2 bisa dilihat pada level pembacaan $VSWR < 2$, frekuensi kerja antena bergeser ke 6.420 – 6.60 GHz dengan lebar bandwidth 180 MHz. Pada frekuensi tengahnya yaitu 6.51 GHz mempunyai VSWR 1.48. Banyak faktor yang menyebabkan bergesernya frekuensi kerja antena ini. Antara lain rugi-rugi koaksial, konektor dan dalam hal penyolderannya, atau pengaruh perbedaan nilai ϵ_r pada saat simulasi dan yang ada digunakan saat fabrikasi. Pada saat simulasi substrat antena menggunakan *epoxy* FR4 dengan permitivitas relatif 4.3 (default yang ada pada software CST) sedangkan yang saat fabrikasi *epoxy* FR4 yang digunakan mempunyai permitivitas relatif 4.65.



Gambar 4.2 Hasil pengukuran VSWR antenna tanpa AGS

b. Return loss



Gambar 4.3 Hasil pengukuran *return loss* antenna tanpa AGS

Pada frekuensi tengah, *return loss* yang didapat adalah

$$RL = -20 \log |\Gamma| \quad (4.1)$$

Dimana $|\Gamma|$ didapat dari

$$VSWR = \frac{1+|\Gamma|}{1-|\Gamma|} \quad (4.2)$$

$$1,43 = \frac{1+|\Gamma|}{1-|\Gamma|}$$

$$1,43 - 1 = 1,43 |\Gamma| + |\Gamma|$$

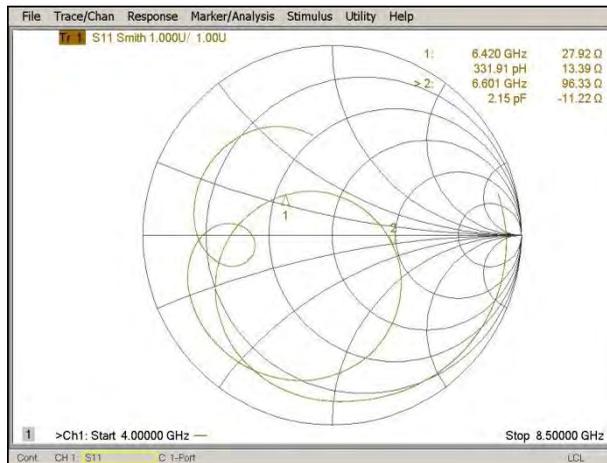
$$0,43 = 2,43 |\Gamma|$$

$$|\Gamma| = 0,17695$$

$$RL = -20 \log 0,17695 = 15,043 \text{ dB.}$$

Sehingga *return loss* yang didapatkan pada frekuensi tengahnya memenuhi spesifikasi yaitu kurang dari -9.54 dB. Sedangkan untuk frekuensi *upper* dan *lowernya*, *return loss* yang didapat adalah -9.8 dan -9.73 dB.

c. Impedansi



Gambar 4.4 Hasil pengukuran *return loss* antenna tanpa AGS

Impedansi antenna diukur pada titik catu antenna. Dari pengukuran impedansi untuk hasil pengukuran antenna didapatkan nilai impedansi yang terukur pada frekuensi tengah adalah $44.489 - j.9866 \Omega$. Kondisi yang tidak *match* antara antenna dengan saluran transmisi dapat mempengaruhi koefisien pantul dan SWR, dimana semakin tidak *match*

antara antenna dengan saluran transmisi maka nilai koefisien pantul akan semakin besar sehingga menyebabkan nilai SWR semakin besar pula.

Tabel 4.1 Hasil Pengukuran Impedansi

Frekuensi (GHz)	Pengukuran Impedansi
6.420	$27.92 + 1339j \Omega$
6.510	$44.489 - j.9866 \Omega$
6.60	$96.33 - 11.22j \Omega$

Keadaan yang tidak *match* sangat dihindari dalam perancangan antenna sebab daya yang datang sebagian akan dipantulkan. Salah satu alasannya adalah alat yang digunakan untuk mengukur tidak ada yang 100 % ideal menggambarkan kondisi antenna, sedangkan kondisi sewaktu disimulasi adalah kondisi pengukuran yang sangat ideal.

Tabel 4.2 Perbandingan Hasil Simulasi dan Pengukuran Antena Tanpa AGS

Parameter	Hasil Pengukuran	Hasil Simulasi
Frekuensi Kerja	6.640 – 6.6 GHz	6.0193 – 6.288 GHz
Frekuensi Tengah (F_c)	6.510 GHz	6.288 GHz
Bandwidth	180 MHz (2.76%)	277 MHz (4.27%)
<i>Return loss</i> pada F_c	- 15.043 dB	-28.754 dB
VSWR pada F_c	1.43	1.033

4.2.1.3 Hasil Pengukuran Parameter VSWR, *return loss*, dan impedansi antenna dengan AGS

Berikut ini adalah hasil pengukuran antenna yang sudah ditambah AGS sebagai ground planenya.

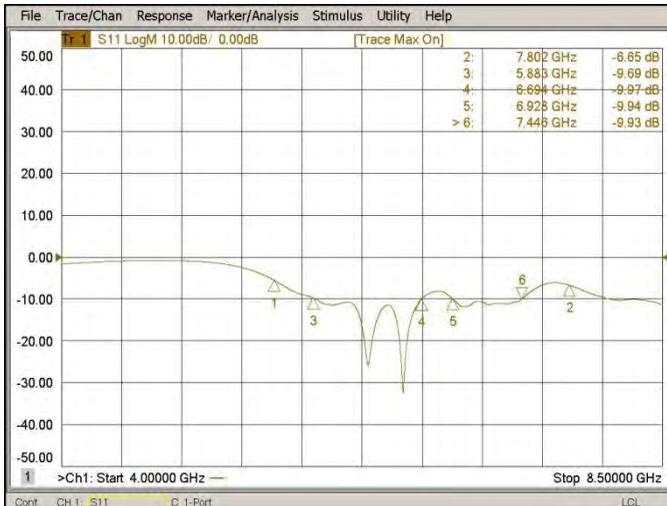
a. VSWR dan bandwidth

Pada Gambar 4.4 bisa dilihat bahwa rentang frekuensi untuk pembacaan VSWR < 2 adalah dari 5.883 GHz – 6.694 GHz dengan nilai VSWR 1.97 dan 1.93 untuk masing-masing frekuensi *upper* dan *lower*. Frekuensi kerja ini lebih sempit dibandingkan pada saat simulasi dimana pada saat simulasi frekuensi kerja mencapai 5.759 -7.811 GHz. Untuk frekuensi tengahnya yaitu 6.288 GHz mempunyai VSWR 1.19.



Gambar 4.5 Hasil pengukuran VSWR pada antenna AGS

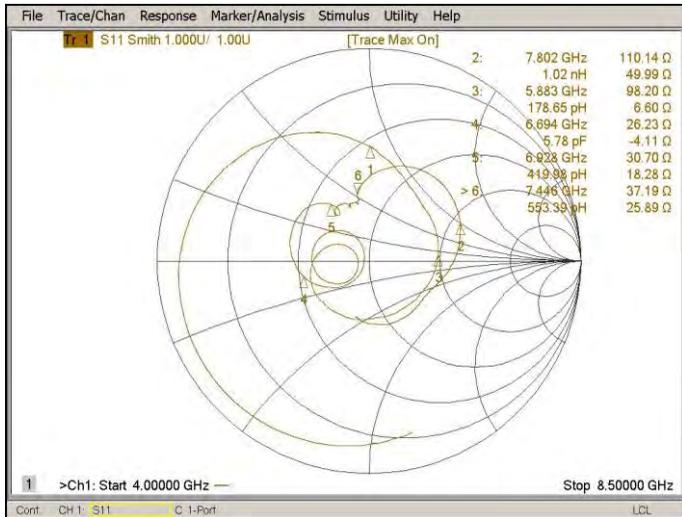
b. Return Loss



Gambar 4.6 Hasil pengukuran *return loss* pada antenna AGS

Pada Gambar 4.5 untuk frekuensi 5.883 GHz didapatkan *return loss* sebesar -9.69 dB sedangkan untuk frekuensi 6.694 didapat -9.97 dB. Frekuensi tengah 6.288 GHz mempunyai *return loss* sebesar -21.233 dB.

c. Impedansi



Gambar 4.7 Hasil pengukuran impedansi pada antenna AGS

Impedansi yang didapat untuk antenna dengan AGS didapatkan sebagai berikut

Tabel 4.3 Hasil Pengukuran Impedansi

Frekuensi (GHz)	Pengukuran Impedansi
5.883	98.20 + 6.60 j Ω
6.288	47.13 + 19.59 j Ω
6.694	26.23 - 4.11 j Ω

Dari hasil pengukuran diatas, meskipun terdapat perbedaan dengan hasil simulasi, tetapi antenna dengan AGS ini sudah menunjukkan bisa memperbesar lebar bandwidth. Berikut perbandingan keseluruhan antara simulasi dan pengukuran antenna tanpa AGS dan dengan menggunakan AGS.

Tabel 4.4 Perbandingan Hasil Simulasi dan Pengukuran Antena dengan AGS

Parameter	Hasil Simulasi	Hasil Pengukuran
Frekuensi Kerja	5.759 -7.811 GHz	5.883 GHz – 6.694 GHz
Frekuensi Tengah (F_c)	6.785 GHz	6.288 GHz
Bandwidth	2052 MHz (30.24%)	811 MHz (12.89%)
<i>Return loss</i> pada F_c	-28.420 dB	-21.233 dB
VSWR pada F_c	1.078	1.19

Sedangkan perbandingan hasil pengukuran antena dengan AGS dan tanpa AGS adalah sebagai berikut :

Tabel 4.5 Perbandingan Hasil Pengukuran Antena tanpa dan dengan AGS

Parameter	Antena tanpa AGS	Antena dengan AGS
Frekuensi Kerja	6.640 – 6.6 GHz	5.883 GHz – 6.694 GHz
Frekuensi Tengah (F_c)	6.510 GHz	6.288 GHz
Bandwidth	180 MHz (2.76%)	811 MHz (12.89%)
<i>Return loss</i> pada F_c	- 15.043 dB	-21.233 dB
VSWR pada F_c	1.43	1.19

Sehingga perbandingan lebar bandwidth yang didapatkan pada saat pengukuran antena tanpa dan dengan AGS adalah

$$\text{Bandwidth antena tanpa AGS} = 180 \text{ MHz}$$

$$\text{Bandwidth antena dengan AGS} = 811 \text{ MHz}$$

Maka, kenaikan bandwidthnya menjadi sebesar

$$\frac{811 - 180}{180} \times 100\% = 77.805\%$$

Sehingga dapat dilihat bahwa dengan metode AGS, bandwidth yang dihasilkan mengalami peningkatan sebesar 77.805%

4.2.2 Pengukuran Pola Radiasi

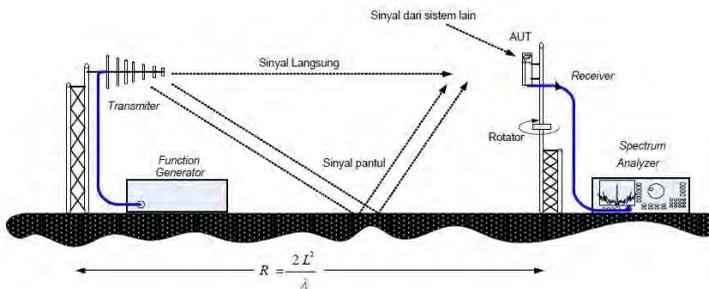
Pola radiasi dari suatu antena merupakan gambaran dari intensitas pancaran antena sebagai fungsi dari parameter koordinat bola (θ, ϕ). Pengukuran pola radiasi antena bertujuan untuk mengetahui gambaran grafis dari intensitas pancaran antena atau untuk mengetahui arah pancar antena serta besarnya pengarahan antena. Pengukuran pola radiasi merupakan pengukuran *outdoor* karena dilakukan di luar ruangan.

Pengukuran pola radiasi antenna dilakukan pada frekuensi tengah dari C band (4-8 GHz) yaitu 6 GHz.

4.2.2.1 Prosedur Pengukuran Pola Radiasi

Untuk melakukan pengukuran pola radiasi, berikut adalah langkah-langkah yang harus dilakukan.

1. Menghubungkan antenna pemancar ke *Sweep Oscillator* dan *Antena Under Test* (AUT) yang kemudian dihubungkan ke *Spectrum Analyzer*.
2. Mengatur jarak pengukuran untuk medan jauh kemudian *Sweep Oscillator* dan *Spectrum Analyzer* dinyalakan. Frekuensi yang digunakan adalah 6 GHz
3. AUT diputar setiap 10° secara manual.
4. Level daya terima yang terbaca pada *Spectrum Analyzer* dicatat sebanyak dua kali dalam waktu yang sama dengan tujuan untuk mencari nilai rata-rata akibat dari fluktuasi level daya yang terus berubah-ubah. Namun, dalam Tugas Akhir ini level terima yang dicatat hanya satu kali karena keterbatasan waktu pengukuran.
5. Hasil pengukuran level daya terima dimasukkan ke dalam *software Ms. Excel* dan dinormalisasikan daya terima dengan daya terima maksimum yang didapat.

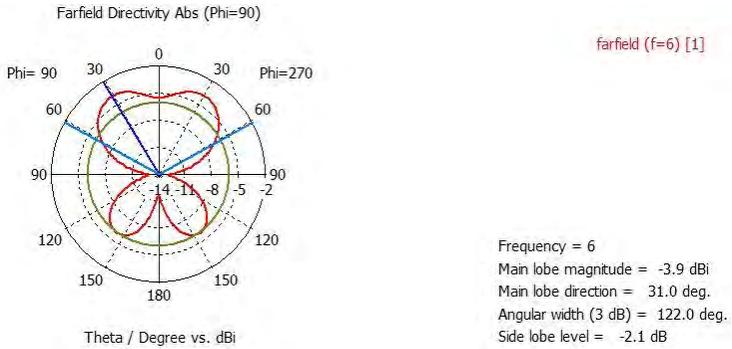


Gambar 4.8 Konfigurasi perangkat saat pengukuran pola radiasi antenna

4.2.2.2 Hasil Pengukuran Pola Radiasi

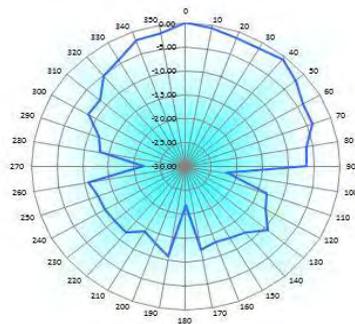
Berikut adalah hasil pengukuran pola radiasi pada saat azimuth dan elevasi untuk antenna tanpa AGS dan dengan AGS.

- a. Pola Radiasi Antena Tanpa AGS

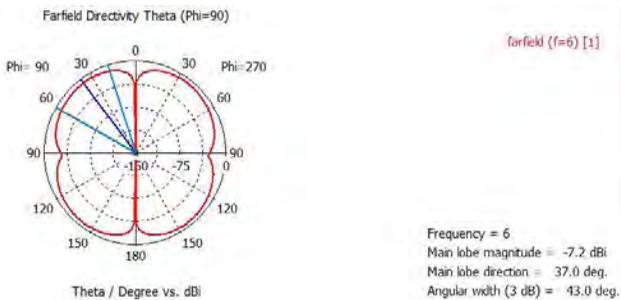


Gambar 4.9 Hasil Simulasi pola radiasi elevasi antenna tanpa AGS

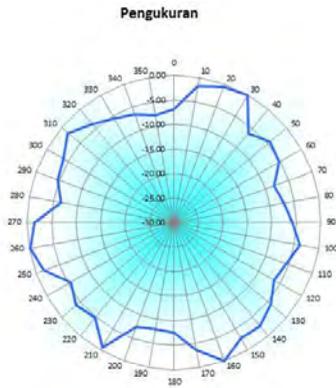
Pengukuran



Gambar 4.10 Hasil pengukuran pola radiasi elevasi antenna tanpa AGS



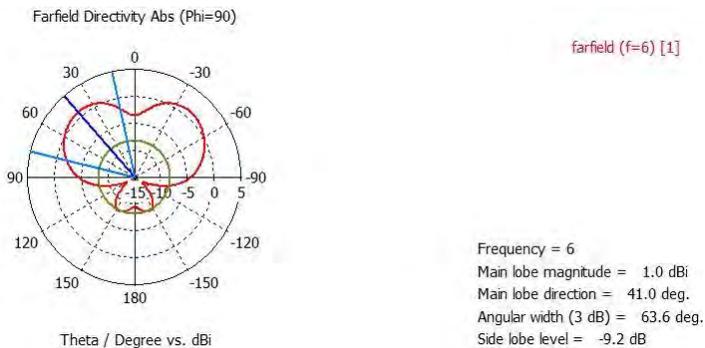
Gambar 4.11 Hasil simulasi pola radiasi azimuth antenna tanpa AGS



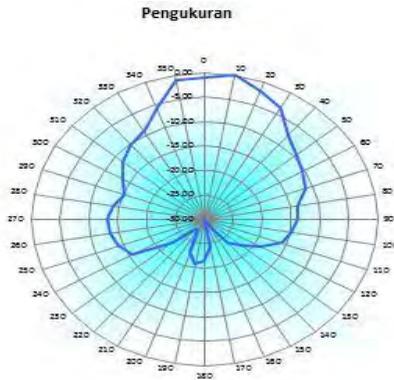
Gambar 4.12 Hasil pengukuran pola radiasi azimuth antenna tanpa AGS

Pada Gambar 4.9 - 4.12 bisa dilihat perbedaan hasil simulasi dan pengukuran pola radiasi antenna tanpa AGS pada saat elevasi dan azimuth. Pada saat simulasi elevasi, hasil pola radiasi yang dihasilkan adalah bidireksional, sedangkan pada pengukuran dihasilkan unidireksional. Sedangkan pada saat azimuth, hasil simulasi dan pengukuran sama-sama menghasilkan pola omnidireksional.

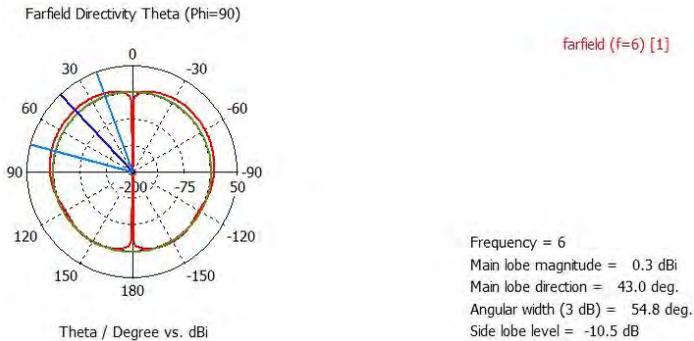
b. Pola Radiasi Antena dengan AGS



Gambar 4.13 Hasil Simulasi pola radiasi elevasi antenna dengan AGS

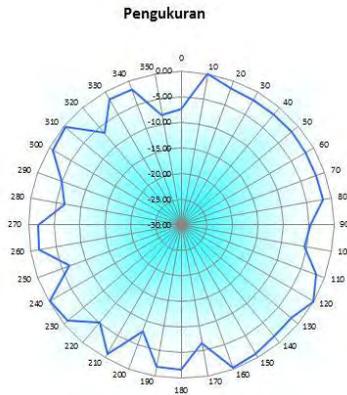


Gambar 4.14 Hasil pengukuran pola radiasi elevasi antenna dengan AGS



Gambar 4.15 Hasil simulasi pola radiasi azimuth antenna dengan AGS

Pada Gambar 4.13 - 4.16 bisa dilihat perbedaan hasil simulasi dan pengukuran pola radiasi antenna dengan AGS pada saat elevasi dan azimuth. Pada saat simulasi elevasi, hasil pola radiasi yang dihasilkan adalah unidireksional, sedangkan pada pengukuran dihasilkan omnidireksional. Sedangkan pada saat azimuth, hasil simulasi dan pengukuran sama-sama menghasilkan pola omnidireksional.



Gambar 4.16 Hasil pengukuran pola radiasi azimuth antenna dengan AGS

4.2.3 Pengukuran Polarisasi

Polarisasi merupakan arah medan elektrik yang dilihat dari bidang yang tegak lurus terhadap arah rambat gelombang. Polarisasi perlu diketahui agar dalam pemasangan antenna tidak sembarangan sehingga bisa disesuaikan dengan polarisasi dari antenna pengirim. Jika polarisasi antenna pemancar dengan penerima tidak *match* maka daya yang diterima akan kecil. Hal ini dikarenakan adanya *polarization loss factor* (PLF). Bentuk polarisasi antenna ada 3 macam yaitu *linier*, *circular*, dan *ellips*. Pengukuran polarisasi antenna dilakukan pada frekuensi tengah dari *C band* (4-8 GHz) yaitu 6 GHz

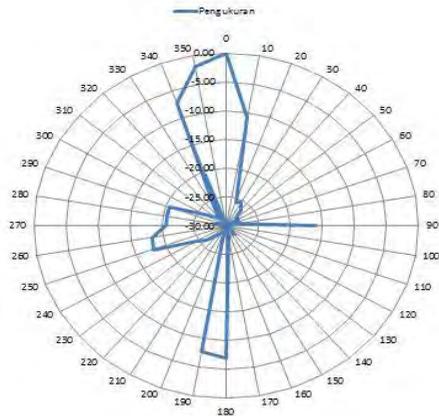
4.2.3.1 Prosedur Pengukuran Polarisasi

Langkah-langkah untuk melakukan pengukuran polarisasi ini adalah dengan menggunakan *sweep oscillator* yang kemudian disambungkan dengan antenna horn yang diketahui mempunyai polarisasi linier vertikal sebagai pemancar dan pada sisi penerima terdapat *antenna Under Test (AUT)* yang kemudian dihubungkan ke *spectrum analyzer*.

Antenna AUT diputar setiap 10° secara vertikal sampai satu putaran atau 360° dengan konektor pada antenna sebagai sumbu putarnya sehingga pada akhirnya akan didapatkan level penerimaan saat maksimum (sumbu mayor) dan saat minimum (sumbu minor). Frekuensi *Sweep Oscillator* diatur pada 6 GHz. Kemudian daya yang diterima dicatat dan diolah di software Ms. Excel

4.2.3.2 Hasil Pengukuran Polarisasi

Berikut adalah hasil pengukuran polarisasi untuk antenna tanpa dan dengan AGS.

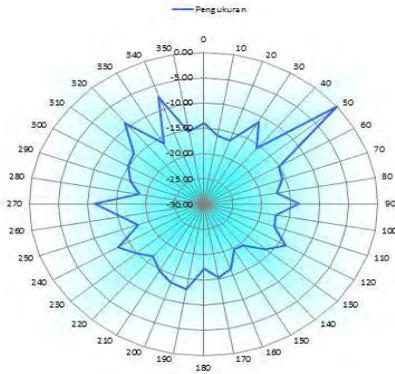


Gambar 4.17 Hasil pengukuran polarisasi antenna tanpa AGS

Pada gambar diatas bisa dilihat bahwa polarisasi untuk antenna tanpa AGS adalah polarisasi linier vertikal.

Sedangkan untuk antenna dengan AGS, hasil polarisasinya didapat saat pengukuran antenna ini didapatkan daya minimum pada sudut 50° dan daya maksimum pada 300° .

- Daya terima minimum (sumbu mayor) = $-89.539\text{dBm} = 1 \times 10^{-9} \text{ W}$
- Daya terima maksimum (sumbu minor) = $-63.719 \text{ dBm} = 0.424 \times 10^{-6} \text{ W}$



Gambar 4.18 Hasil pengukuran polarisasi antenna dengan AGS

Kemudian dengan cara sebelumnya didapatkan rasio kuat medan elektriknya (numerik)

$$\begin{aligned}
 AR &= \frac{\text{mayor}}{\text{minor}} \\
 &= \frac{\sqrt{P_{\text{watt mayor}} \times 377}}{\sqrt{P_{\text{watt minor}} \times 377}} = \frac{\sqrt{0.424 \times 10^{-6} \times 377}}{\sqrt{1 \times 10^{-9} \times 377}} \\
 &= 20.59 \tag{4.10}
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan rasio kuat medan elektrik dapat diketahui bahwa antenna dengan AGS berpolarisasi elips. Karena polarisasi *elips axial ratio*-nya adalah $1 < AR < \infty$, sedangkan *axial ratio* untuk polarisasi *sirkular* sama dengan 1. Hasil pengukuran ini berbeda dengan hasil pengukuran polarisasi antenna tanpa AGS. Kemungkinan dikarenakan adanya lapisan AGS sebagai groundplane mengubah polarisasi antenna dari linier menjadi elips.

4.2.4 Pengukuran Gain

Pengukuran *gain* bertujuan untuk mengetahui perbandingan antara intensitas radiasi maksimum antenna yang diuji dengan intensitas radiasi antenna referensi dengan daya yang sama ketika ditransmisikan. Antena referensi yang digunakan adalah antenna horn yang telah diketahui mempunyai gain sebesar 2,51 dB. Pengukuran gain dilakukan pada ruangan *anechoic chamber*.

4.2.4.1 Prosedur Pengukuran Gain Antena

Untuk melakukan pengukuran gain, hal yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Antena yang akan diuji (AUT) ditempatkan sebagai antena penerima yang diletakkan pada tempat bebas interferensi atau level interferensi terendah. Kemudian arahkan pada sumbu utama pola pancarnya. Tulis daya yang terbaca pada *Spectrum Analyzer* (dBm).
2. Ganti AUT dengan antena *horn* sebagai antena referensi. Catat daya yang terbaca pada *Spectrum Analyzer*.
3. Bandingkanlah kedua hasil, kemudian *gain* antena hasil pengukuran dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$G_{AUT} = P_{AUT} - P_{REF} + 2.51 \text{ dB (gain antena ref)} \quad (4.11)$$

Dimana :

G_{AUT} = *gain* antena yang diukur

P_{AUT} = level daya terima AUT

P_{REF} = level daya terima pada antena referensi

4.2.4.2 Hasil Pengukuran Gain

Pengukuran gain antena ini dilakukan sebanyak sepuluh kali karena adanya fluktuasi di level daya penerimaan, yang nantinya hasil ini akan diambil nilai rata-ratanya. Dari pengukuran yang dilakukan, maka didapatkan hasil gain sebagai berikut :

Tabel 4.6 Hasil Pengukuran Gain Antena tanpa AGS

Pengukuran	AUT		Antena Referensi	
	Level terima (-dBm)	Level terima (dBm)	Level terima (-dBm)	Level terima (dBm)
1	31.21	-31.21	35.23	-35.23
2	32.8	-32.80	37.12	-37.12
3	33.14	-33.14	36.16	-36.16
4	31.98	-31.98	37.67	-37.67
5	34.13	-34.13	33.25	-33.25
6	32.11	-32.11	31.29	-31.29
7	31.75	-31.75	36.28	-36.28
8	31.23	-31.23	30.05	-30.05
9	31.27	-31.27	33.31	-33.31

Pengukuran	AUT		Antena Referensi	
	Level terima (-dBm)	Level terima (dBm)	Level terima (-dBm)	Level terima (dBm)
10	31.35	-31.35	38.11	-38.11
Rata-rata	32.097	-32.097	34.847	-34.847

Sedangkan untuk antenna dengan AGS, hasil pengukurannya adalah sebagai berikut :

Tabel 4.7 Hasil Pengukuran Gain Antena dengan AGS

Pengukuran	AUT		Antena Referensi	
	Level terima (-dBm)	Level terima (dBm)	Level terima (-dBm)	Level terima (dBm)
1	41.11	-41.11	43.23	-39.44
2	41.83	-41.83	45.09	-38.89
3	40.45	-40.45	40.24	-40.15
4	42.91	-42.91	43.41	-39.18
5	40.87	-40.87	45.01	-39.45
6	42.66	-42.66	42.87	-40.23
7	40.36	-40.36	49.09	-38.84
8	41.77	-41.77	47.08	-37.95
9	42.39	-42.39	45.91	-38.35
10	41.39	-41.39	45.67	-39.12
Rata-rata	41.574	-41.574	44.76	-44.76

Setelah didapatkan hasil pengukuran gain pada kedua antenna, maka gain pada antenna bisa dihitung dengan menggunakan persamaan 4.11. sehingga besar gain antenna adalah

a. Antena tanpa AGS

$$G_{AUT} = P_{AUT} - P_{REF} + 2.51 \text{ dB (besar gain antenna ref)}$$

$$= -32.097 - (-34.847) + 2.51 = 5.26 \text{ dB}$$

b. Antena dengan AGS

$$G_{AUT} = P_{AUT} - P_{REF} + 2.51 \text{ dB (besar gain antena ref)} + 3 \text{ dB}$$

$$= -41.547 - (-44.76) + 2.51 + 3 = 8.695 \text{ dB}$$

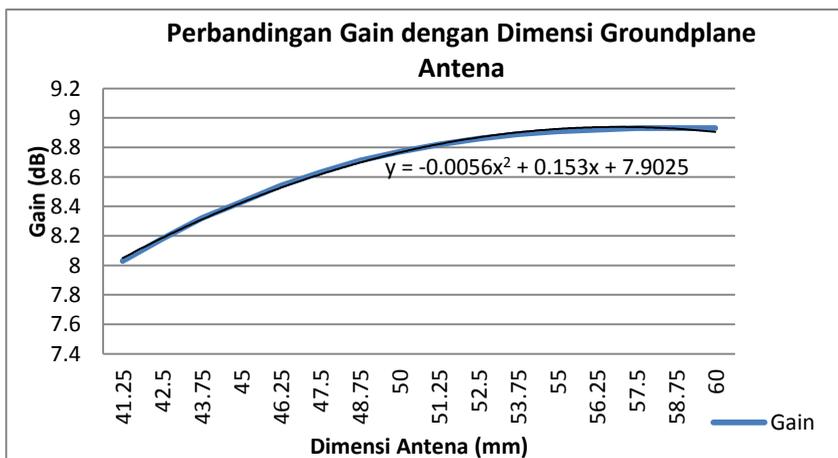
Sehingga apabila dibandingkan dengan gain pada hasil simulasi adalah sebagai berikut :

Tabel 4.8 Perbandingan Hasil Gain saat Simulasi dan Pengukuran

Kondisi	Antena tanpa AGS	Antena dengan AGS
Simulasi	3.349 dB	3.492 dB
Pengukuran	5.26 dB	8.523 dB

Dengan demikian, hasil pengukuran saat simulasi dan perbandingan didapatkan hasil gain yang berbeda. Faktor yang menyebabkan berbedanya hasil gain saat simulasi dan pengukuran adalah adanya perbedaan nilai substrat yang dipakai saat fabrikasi dan simulasi.

Berikut ini adalah perbandingan gain dengan besar dimensi groundplane antena saat disimulasikan dengan keadaan nilai konstanta dielektrik bernilai sama saat fabrikasi dengan nilai gain optimal yang dicapai adalah 8.93 dB.



Gambar 4.19 Perbandingan Grafik Gain Antena dengan Dimensi Groundplane Antena

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari seluruh proses perancangan, simulasi dan realisasi antenna mikrostrip *patch* rectangular adalah sebagai berikut

1. Metode Artificial Ground Structure (AGS) terbukti bisa melebarkan bandwidth antenna mikrostrip
2. Saat perealisasi antenna mikrostrip pada Tugas Akhir ini didapatkan kenaikan bandwidth sebesar 77.805% dari 180 MHz ke 811 MHz saat $VSWR < 2$ dan $return\ loss \geq -9.54$ dB dengan frekuensi kerja 6.640 – 6.6 GHz untuk antenna tanpa AGS dan 5.883 GHz – 6.694 GHz untuk antenna dengan AGS.
3. Bandwidth selebar > 800 MHz dicapai dengan dimensi antenna berukuran 43.75 x 43.75 mm untuk groundplane dan 17 x 21 mm untuk patch.
4. Pada pengaplikasian antenna tanpa AGS digunakan *single layer substrat* sedangkan pada antenna dengan AGS menggunakan *double layer substrat*.
5. Hasil pengukuran kedua antenna mendapatkan hasil yang cukup bagus meskipun terdapat perbedaan antara simulasi dan saat pengukuran. Perbedaan ini bisa disebabkan adanya kurang idealnya proses fabrikasi dan saat pengukuran antenna

5.2 Saran

Agar didapatkan hasil yang maksimal untuk performansi antenna, maka ada beberapa hal yang perlu diperhatikan untuk kedepannya yaitu:

1. Pemahaman terhadap *software CST Microwave Studio 2010* yang lebih diperdalam lagi.
2. Pemilihan jenis substrat dengan kualitas terbaik. Usahakan untuk nilai permitivitas relative bahan substrat saat simulasi

dan fabrikasi bernilai sama sehingga tidak terjadi pergeseran frekuensi.

3. Dalam melakukan pengukuran *outdoor* untuk hasil yang lebih akurat sebaiknya dilakukan di tempat yang bebas dari benda-benda yang dapat mempengaruhi hasil pengukuran dan sebaiknya pengukuran dilakukan di ruangan *anechoic chamber*.

LAMPIRAN A

PENGUKURAN ELEVASI, AZIMUTH DAN

POLARISASI

**Tabel A.1 Pengukuran Pola Radiasi Arah Elevasi Antena
tanpa AGS**

Sudut	Level terima (-dBm)	Level terima (-dBm)	Level terima (dBm)	Level terima (dBm)	Rata-Rata	Normalisasi	Numerik
0	37.01	36.12	-37.01	-36.12	-36.54	-0.01	0.99659755
10	37.71	36.87	-37.71	-36.87	-37.27	-0.74	0.842891489
20	38.31	37.98	-38.31	-37.98	-38.14	-1.61	0.68953658
30	38.47	35.19	-38.47	-35.19	-36.53	0.00	1
40	37.77	38.72	-37.77	-38.72	-38.22	-1.69	0.677386267
50	39.19	38.99	-39.19	-38.99	-39.09	-2.56	0.554445759
60	40.78	39.84	-40.78	-39.84	-40.28	-3.76	0.421000104
70	40.81	39	-40.81	-39.00	-39.81	-3.28	0.469467851
80	43.19	41.78	-43.19	-41.78	-42.43	-5.90	0.257004781
90	43.59	42.45	-43.59	-42.45	-42.98	-6.46	0.226190211
100	58.92	57.87	-58.92	-57.87	-58.36	-21.84	0.006552537
110	50.19	49.04	-50.19	-49.04	-49.58	-13.05	0.049549507
120	49.21	48.33	-49.21	-48.33	-48.75	-12.22	0.059974833
130	46.27	45.66	-46.27	-45.66	-45.95	-9.43	0.114107465
140	49.08	48.42	-49.08	-48.42	-48.74	-12.21	0.060116889
150	49.8	48.85	-49.80	-48.85	-49.30	-12.77	0.052824621
160	50.19	49	-50.19	-49.00	-49.55	-13.03	0.04980892
170	49.21	49.67	-49.21	-49.67	-49.43	-12.91	0.051209755

Sudut	Level terima (-dBm)	Level terima (-dBm)	Level terima (dBm)	Level terima (dBm)	Rata-Rata	Normalisasi	Numerik
180	58.98	57.87	-58.98	-57.87	-58.39	-21.86	0.006512993
190	47.81	48.13	-47.81	-48.13	-47.97	-11.44	0.071785811
200	49.89	49.04	-49.89	-49.04	-49.44	-12.92	0.051088148
210	51.18	50.76	-51.18	-50.76	-50.96	-14.44	0.03599577
220	49.01	48.99	-49.01	-48.99	-49.00	-12.47	0.056590704
230	49.07	49.02	-49.07	-49.02	-49.04	-12.52	0.056008139
240	48.97	48.76	-48.97	-48.76	-48.86	-12.34	0.058394355
250	48.9	49.89	-48.90	-49.89	-49.37	-12.84	0.052006642
260	47.81	47.22	-47.81	-47.22	-47.50	-10.98	0.079844515
270	58.92	58.56	-58.92	-58.56	-58.74	-22.21	0.006013355
280	50.19	50.76	-50.19	-50.76	-50.47	-13.94	0.040381125
290	49.21	48.65	-49.21	-48.65	-48.92	-12.39	0.057629644
300	45.18	44.77	-45.18	-44.77	-44.97	-8.44	0.143128987
310	45.31	49.73	-45.31	-49.73	-46.98	-10.45	0.090095447
320	42.22	43.79	-42.22	-43.79	-42.93	-6.41	0.228717924
330	41.19	43.65	-41.19	-43.65	-42.25	-5.72	0.267876033
340	38.98	39.76	-38.98	-39.76	-39.35	-2.83	0.52178635
350	38.78	39.88	-38.78	-39.88	-39.30	-2.77	0.528709771

Tabel A.2 Pengukuran Pola Radiasi Arah Elevasi Antena dengan AGS

Sudut	Level terima (-dBm)	Level terima (-dBm)	Level terima (dBm)	Level terima (dBm)	Rata-Rata	Normalisasi	Numerik
0	31.19	37.29	-31.19	-37.29	-33.25	-2.09	0.617438629
10	30.09	37.27	-30.09	-37.27	-32.34	-1.19	0.760899222
20	31.98	37.4	-31.98	-37.40	-33.89	-2.74	0.531943004
30	33.76	37.6	-33.76	-37.60	-35.27	-4.12	0.387629639
40	37.59	37.6	-37.59	-37.60	-37.59	-6.44	0.226877014
50	39.51	39.67	-39.51	-39.67	-39.59	-8.44	0.143338841
60	40.51	40.53	-40.51	-40.53	-40.52	-9.37	0.115688812
70	41.5	41.53	-41.50	-41.53	-41.51	-10.36	0.092001054
80	43.81	43.81	-43.81	-43.81	-43.81	-12.66	0.05423632
90	43.89	43.89	-43.89	-43.89	-43.89	-12.74	0.053246395
100	44.71	44.81	-44.71	-44.81	-44.76	-13.61	0.043583188
110	45.89	45.12	-45.89	-45.12	-45.49	-14.34	0.036854836
120	48.98	48.76	-48.98	-48.76	-48.87	-17.72	0.016921135
130	51.87	51.19	-51.87	-51.19	-51.52	-20.36	0.00919644

Sudut	Level terima (-dBm)	Level terima (-dBm)	Level terima (dBm)	Level terima (dBm)	Rata-Rata	Normalisasi	Numerik
140	53.76	53.29	-53.76	-53.29	-53.52	-22.37	0.005799969
150	58.78	58.22	-58.78	-58.22	-58.49	-27.34	0.001845832
160	60.09	60.65	-60.09	-60.65	-60.36	-29.21	0.00120003
170	54.35	54.43	-54.35	-54.43	-54.39	-23.24	0.004745791
180	51.44	51.25	-51.44	-51.25	-51.34	-20.19	0.009569607
190	50.88	50.27	-50.88	-50.27	-50.56	-19.41	0.011451446
200	52.88	52.19	-52.88	-52.19	-52.52	-21.37	0.007297248
210	57.8	57.29	-57.80	-57.29	-57.54	-26.38	0.002298997
220	57.31	57.11	-57.31	-57.11	-57.21	-26.06	0.002479735
230	52.8	52.29	-52.80	-52.29	-52.54	-21.38	0.007270067
240	45.67	45.19	-45.67	-45.19	-45.42	-14.27	0.037407012
250	44.31	44.1	-44.31	-44.10	-44.20	-13.05	0.049535566
260	43.44	43.34	-43.44	-43.34	-43.39	-12.24	0.059747397
270	43.11	43.28	-43.11	-43.28	-43.19	-12.04	0.062499046
280	43.99	43.91	-43.99	-43.91	-43.95	-12.80	0.052518055
290	45.31	45.71	-45.31	-45.71	-45.51	-14.35	0.036707141

Sudut	Level terima (-dBm)	Level terima (-dBm)	Level terima (dBm)	Level terima (dBm)	Rata-Rata	Normalisasi	Numerik
300	43.86	43.65	-43.86	-43.65	-43.75	-12.60	0.054943602
310	41.66	41.38	-41.66	-41.38	-41.52	-10.36	0.091942398
320	40.1	40.71	-40.10	-40.71	-40.39	-9.24	0.119085894
330	39.09	39.12	-39.09	-39.12	-39.10	-7.95	0.160248068
340	35.78	35.82	-35.78	-35.82	-35.80	-4.65	0.34300055
350	31.29	31.02	-31.29	-31.02	-31.15	0.00	1

Tabel A.3 Pengukuran Pola Radiasi Arah Azimuth Antena tanpa AGS

Sudut	Level terima (-dBm)	Level terima (-dBm)	Level terima (dBm)	Level terima (dBm)	Rata-Rata	Normalisasi	Numerik
0	27.51	27.89	-27.51	-27.89	-27.70	-1.00	0.79496325
10	28.21	27.39	-28.21	-27.39	-27.78	-1.08	0.779585985
20	29.11	27.54	-29.11	-27.54	-28.25	-1.56	0.699017136
30	30.21	27.17	-30.21	-27.17	-28.43	-1.73	0.671436715
40	30.24	29.09	-30.24	-29.09	-29.63	-2.93	0.509597114
50	30.42	28.65	-30.42	-28.65	-29.45	-2.75	0.531357792
60	31.52	29.01	-31.52	-29.01	-30.09	-3.39	0.458477284
70	31.62	28.51	-31.62	-28.51	-29.79	-3.09	0.490563083
80	31.45	28.21	-31.45	-28.21	-29.53	-2.84	0.520559465
90	32.61	29.11	-32.61	-29.11	-30.52	-3.82	0.415217002
100	31.35	29.15	-31.35	-29.15	-30.11	-3.41	0.455738542
110	32.02	28.99	-32.02	-28.99	-30.25	-3.55	0.441913385
120	31.66	27.54	-31.66	-27.54	-29.13	-2.43	0.571555883
130	31.12	27.17	-31.12	-27.17	-28.71	-2.01	0.629320159
140	30.42	27.78	-30.42	-27.78	-28.90	-2.20	0.602129952
150	30.74	27.60	-30.74	-27.60	-28.89	-2.19	0.6035488
160	28.45	28.10	-28.45	-28.10	-28.27	-1.57	0.696280217
170	29.09	28.45	-29.09	-28.45	-28.76	-2.06	0.622457102
180	28.51	29.09	-28.51	-29.09	-28.79	-2.09	0.617872813

Sudut	Level terima (-dBm)	Level terima (-dBm)	Level terima (dBm)	Level terima (dBm)	Rata-Rata	Normalisasi	Numerik
190	28.19	28.51	-28.19	-28.51	-28.35	-1.65	0.684268003
200	27.07	29.19	-27.07	-29.19	-28.00	-1.30	0.740868378
210	27.17	29.03	-27.17	-29.03	-28.00	-1.30	0.740992672
220	28.24	29.55	-28.24	-29.55	-28.85	-2.15	0.610031538
230	28.72	28.01	-28.72	-28.01	-28.35	-1.65	0.683724074
240	29.44	27.13	-29.44	-27.13	-28.13	-1.43	0.718807158
250	29.36	27.54	-29.36	-27.54	-28.36	-1.66	0.68296188
260	28.77	27.70	-28.77	-27.70	-28.20	-1.50	0.707487147
270	29.19	27.71	-29.19	-27.71	-28.39	-1.69	0.677962658
280	29.95	27.13	-29.95	-27.13	-28.32	-1.62	0.689333303
290	30.20	27.54	-30.20	-27.54	-28.67	-1.97	0.63531074
300	29.44	27.70	-29.44	-27.70	-28.48	-1.78	0.663113752
310	28.27	27.71	-28.27	-27.71	-27.98	-1.28	0.74444661
320	27.70	27.54	-27.70	-27.54	-27.62	-0.92	0.809105674
330	27.71	27.70	-27.71	-27.70	-27.70	-1.01	0.793289774
340	25.88	27.71	-25.88	-27.71	-26.70	0.00	1
350	27.16	27.88	-27.16	-27.88	-27.51	-0.81	0.830657398

Tabel A.4 Pengukuran Pola Radiasi Arah Azimuth Antena dengan AGS

Sudut	Level terima (-dBm)	Level terima (-dBm)	Level terima (dBm)	Level terima (dBm)	Rata-Rata	Normalisasi	Numerik
0	28.8	29.98	-28.80	-29.98	-29.35	-2.55	0.556052095
10	29.17	30.21	-29.17	-30.21	-29.66	-2.86	0.517875999
20	29.77	29.01	-29.77	-29.01	-29.37	-2.57	0.553070442
30	28.16	29.32	-28.16	-29.32	-28.70	-1.90	0.645626858
40	28.12	27.12	-28.12	-27.12	-27.59	-0.79	0.833665817
50	29.03	28.65	-29.03	-28.65	-28.84	-2.03	0.625944147
60	29.81	29.01	-29.81	-29.01	-29.39	-2.59	0.55075642
70	29.7	28.51	-29.70	-28.51	-29.06	-2.26	0.593858908
80	29.54	28.21	-29.54	-28.21	-28.82	-2.02	0.627612566
90	30.84	29.11	-30.84	-29.11	-29.89	-3.09	0.491109119
100	30.56	29.15	-30.56	-29.15	-29.80	-3.00	0.501553603
110	29.06	28.99	-29.06	-28.99	-29.02	-2.22	0.599286097
120	28.67	27.54	-28.67	-27.54	-28.07	-1.27	0.746938753
130	28.99	27.17	-28.99	-27.17	-27.99	-1.18	0.761351127
140	28.75	27.78	-28.75	-27.78	-28.24	-1.44	0.718327704
150	28.45	27.60	-28.45	-27.60	-28.00	-1.20	0.758047309
160	28.71	28.10	-28.71	-28.10	-28.39	-1.59	0.692931349
170	29.67	28.45	-29.67	-28.45	-29.02	-2.22	0.60033

Sudut	Level terima (-dBm)	Level terima (-dBm)	Level terima (dBm)	Level terima (dBm)	Rata-Rata	Normalisasi	Numerik
180	30.01	29.09	-30.01	-29.09	-29.53	-2.72	0.534012831
190	29	28.51	-29.00	-28.51	-28.75	-1.95	0.638720413
200	28.7	29.19	-28.70	-29.19	-28.94	-2.14	0.611379393
210	29.98	29.03	-29.98	-29.03	-29.48	-2.68	0.539774719
220	28.65	29.55	-28.65	-29.55	-29.08	-2.28	0.592171234
230	27.88	28.01	-27.88	-28.01	-27.94	-1.14	0.768544005
240	26.98	27.13	-26.98	-27.13	-27.05	-0.25	0.943376071
250	26.17	27.54	-26.17	-27.54	-26.80	0.00	1
260	28.7	27.70	-28.70	-27.70	-28.17	-1.37	0.729444064
270	28.95	27.71	-28.95	-27.71	-28.29	-1.48	0.710445416
280	29.76	27.13	-29.76	-27.13	-28.25	-1.45	0.716525362
290	28.16	27.54	-28.16	-27.54	-27.84	-1.04	0.787454652
300	27.65	27.70	-27.65	-27.70	-27.67	-0.87	0.817762694
310	28.19	27.71	-28.19	-27.71	-27.94	-1.14	0.768746066
320	29.01	27.54	-29.01	-27.54	-28.21	-1.41	0.722454006
330	27.87	27.70	-27.87	-27.70	-27.78	-0.98	0.797449655
340	27.16	27.71	-27.16	-27.71	-27.43	-0.63	0.865944749
350	28.87	27.88	-28.87	-27.88	-28.35	-1.55	0.700543273

Tabel A.5 Pengukuran Polarisasi Antena tanpa AGS

Sudut	Level terima (-dBm)	Level terima (-dBm)	Level terima (dBm)	Level terima (dBm)	Rata-Rata	Normalisasi	Numerik
0	-72.250	-72.250	72.25	72.25	72.25	-19.17	0.012100408
10	-65.922	-65.922	65.92	65.92	65.92	-25.50	0.002818383
20	-72.379	-72.379	72.38	72.38	72.38	-19.04	0.012465221
30	-72.035	-72.035	72.04	72.04	72.04	-19.39	0.011515956
40	-69.332	-69.332	69.33	69.33	69.33	-22.09	0.006180164
50	-66.629	-66.629	66.63	66.63	66.63	-24.79	0.003316653
60	-73.684	-73.684	73.68	73.68	73.68	-17.74	0.016834491
70	-65.902	-65.902	65.90	65.90	65.90	-25.52	0.002805434
80	-79.559	-79.559	79.56	79.56	79.56	-11.86	0.065117842
90	-75.398	-75.398	13.66	75.40	72.39	-19.03	0.012490226
100	-71.473	-71.473	9.50	71.47	68.46	-22.96	0.005059065
110	-70.262	-70.262	70.26	70.26	70.26	-21.16	0.007655966
120	-91.422	-91.422	91.42	91.42	91.42	0.00	1
130	-72.258	-72.258	72.26	72.26	72.26	-19.16	0.012122718
140	-68.715	-68.715	68.72	68.72	68.72	-22.71	0.005361669
150	-69.668	-69.668	69.67	69.67	69.67	-21.75	0.006677286
160	-71.258	-71.258	71.26	71.26	71.26	-20.16	0.009629417
170	-71.426	-71.426	71.43	71.43	71.43	-20.00	0.010009215
180	-68.543	-68.543	68.54	68.54	68.54	-22.88	0.005153473

Sudut	Level terima (-dBm)	Level terima (-dBm)	Level terima (dBm)	Level terima (dBm)	Rata-Rata	Normalisasi	Numerik
190	-70.273	-70.273	70.27	70.27	70.27	-21.15	0.007675382
200	-73.160	-73.160	73.16	73.16	73.16	-18.26	0.014921071
210	-72.090	-72.090	72.09	72.09	72.09	-19.33	0.011662724
220	-69.039	-69.039	69.04	69.04	69.04	-22.38	0.005776969
230	-70.781	-70.781	70.78	70.78	70.78	-20.64	0.008627799
240	-76.043	-76.043	76.04	76.04	76.04	-15.38	0.028980108
250	-68.867	-68.867	68.87	68.87	68.87	-22.56	0.005552646
260	-73.016	-73.016	73.02	73.02	73.02	-18.41	0.014434442
270	-67.551	-67.551	67.55	67.55	67.55	-23.87	0.004101097
280	-68.750	-68.750	68.75	68.75	68.75	-22.67	0.005405054
290	-87.945	-87.945	87.95	87.95	87.95	-3.48	0.449055479
300	-70.562	-70.562	70.56	70.56	70.56	-20.86	0.008203515
310	-74.184	-74.184	74.18	74.18	74.18	-17.24	0.01888861
320	-79.449	-79.449	79.45	79.45	79.45	-11.97	0.063489221
330	-71.703	-71.703	71.70	71.70	71.70	-19.72	0.010668417
340	-78.746	-78.746	78.75	78.75	78.75	-12.68	0.054000776
350	-70.180	-70.180	70.18	70.18	70.18	-21.24	0.007512768

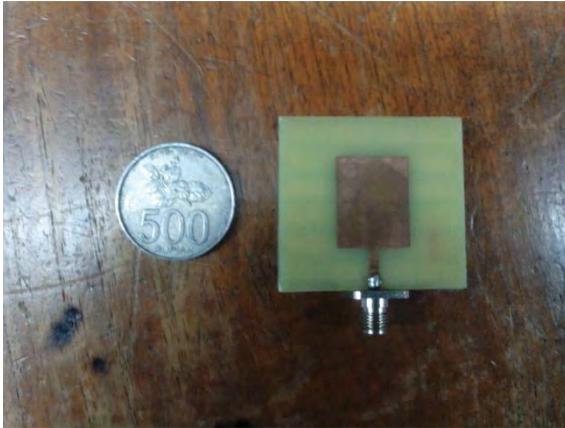
Tabel A.6 Pengukuran Polarisasi Antena dengan AGS

Sudut	Level terima (-dBm)	Level terima (-dBm)	Level terima (dBm)	Level terima (dBm)	Rata-Rata	Normalisasi	Numerik
0	-69.70	-69.70	69.70	69.70	69.70	-19.84	0.010384845
10	-70.07	-70.07	70.07	70.07	70.07	-19.47	0.011290157
20	-77.88	-77.88	77.88	77.88	77.88	-11.66	0.068296744
30	-72.63	-72.63	72.63	72.63	72.63	-16.91	0.020370421
40	-89.54	-89.54	89.54	89.54	89.54	0.00	1
50	-73.85	-73.85	73.85	73.85	73.85	-15.69	0.026996036
60	-73.30	-73.30	73.30	73.30	73.30	-16.24	0.02375746
70	-71.68	-71.68	71.68	71.68	71.68	-17.86	0.016371935
80	-75.87	-75.87	75.87	75.87	75.87	-13.67	0.042973428
90	-72.18	-72.18	13.66	72.18	69.17	-20.37	0.009176364
100	-68.77	-68.77	9.50	68.77	65.76	-23.78	0.00419151
110	-74.78	-74.78	74.78	74.78	74.78	-14.76	0.033434898
120	-71.82	-71.82	71.82	71.82	71.82	-17.72	0.016908302
130	-66.99	-66.99	66.99	66.99	66.99	-22.55	0.005557763
140	-67.57	-67.57	67.57	67.57	67.57	-21.97	0.006354772
150	-68.49	-68.49	68.49	68.49	68.49	-21.05	0.007857782
160	-71.24	-71.24	71.24	71.24	71.24	-18.30	0.014787679
170	-70.13	-70.13	70.13	70.13	70.13	-19.41	0.011444584
180	-75.51	-75.51	75.51	75.51	75.51	-14.03	0.039563982

Sudut	Level terima (-dBm)	Level terima (-dBm)	Level terima (dBm)	Level terima (dBm)	Rata-Rata	Normalisasi	Numerik
190	-72.76	-72.76	72.76	72.76	72.76	-16.78	0.020984566
200	-71.56	-71.56	71.56	71.56	71.56	-17.98	0.015922087
210	-70.97	-70.97	70.97	70.97	70.97	-18.57	0.01388673
220	-72.54	-72.54	72.54	72.54	72.54	-17.00	0.019952623
230	-67.45	-67.45	67.45	67.45	67.45	-22.09	0.006180164
240	-68.00	-68.00	68.00	68.00	68.00	-21.54	0.007009709
250	-67.28	-67.28	67.28	67.28	67.28	-22.26	0.005940185
260	-77.90	-77.90	77.90	77.90	77.90	-11.64	0.068485716
270	-66.37	-66.37	66.37	66.37	66.37	-23.17	0.004817259
280	-71.38	-71.38	71.38	71.38	71.38	-18.16	0.015261598
290	-63.72	-63.72	63.72	63.72	63.72	-25.82	0.002618183
300	-68.84	-68.84	68.84	68.84	68.84	-20.70	0.008521185
310	-64.20	-64.20	64.20	64.20	64.20	-25.34	0.002926847
320	-68.53	-68.53	68.53	68.53	68.53	-21.01	0.007921365
330	-79.61	-79.61	79.61	79.61	79.61	-9.93	0.101531312
340	-71.90	-71.90	71.90	71.90	71.90	-17.64	0.017214721
350	-72.86	-72.86	72.86	72.86	72.86	-16.68	0.021478305

LAMPIRAN B

ANTENA



(a) Antena dengan AGS dari depan



(b) Antena dengan AGS dari belakang



(c) Lapisan AGS untuk groundplane (kiri) dan Antena tanpa AGS (kanan)

DAFTAR PUSTAKA

- [1] **Balanis, C. A.** (2005). *Antenna Theory Analysis and Design 3rd Edition*. Canada: John Wiley & Sons, Inc.
- [2] **CALOZ, C.** (2006). *ELECTROMAGNETIC METAMATERIALS: TRANSMISSION LINE THEORY AND MICROWAVE APP.* New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- [3] **Fang, D.** (2010). *Antenna theory and microstrip antennas*. United States of America: Taylor and Francis Group, LLC.
- [4] **Garg, R.** (2001). *Microstrip Antenna Design Handbook*. Boston : Artech House.
- [5] **Kumar, G.** (2003). *Broadband Microstrip Antennas*. Boston: Artech House.
- [6] **Maula, M. A.** (2012). *RANCANG BANGUN DAN REALISASI ANTENA MIKROSTRIP MENGGUNAKAN METODE ARRAY PADA FREKUENSI 2,6 – 2,7 GHZ UNTUK APLIKASI LTE*. Bandung: Institut Teknologi Telkom Bandung.
- [7] **S, N. A.** (2013). *Rancang Bangun Antena Mikrostrip Susun Dua Elemen dengan Penambahan Struktur LEFT-HANDED Metamaterial untuk Aplikasi LTE 2.3-2.4 Ghz*. DEPOK: Universitas Indonesia.
- [8] **SAUNDERS, S. R.** (2007). *ANTENNAS AND PROPAGATION FOR WIRELESS COMMUNICATION SYSTEMS*. England: JohnWiley & Sons Ltd.

- [9]SETIANI, DWI. I. (2013). *RANCANG BANGUN ANTENA BERBENTUK ELIPS ULTRA WIDEBAND (UWB) BERBASIS MIKROSTRIP UNTUK MONITORING RADAR*. Bandung: INSTITUT TEKNOLOGI TELKOM.
- [10]Stutzman, W. L. (2013). *Antenna Theory and Design 3rd Edition*. United States of America: John Wiley & Sons, Inc.
- [11]WONG, K.-L. (2002). *Compact and Broadband Microstrip Antennas*. New York: JOHN WILEY & SONS, INC.
- [12]Yuswardi, W. (2011). *Rancang Bangun Antena Mikroskrip dengan Metamaterial CRLH pada Frekuensi 3.3-3.4 GHz*. Depok: Universitas Indonesia.
- [13]Pozar, D. M. (2001). *Microwave and RF Design Of Wireless Systems*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- [14]Krishna. Deepti Das. *Investigation On Broadband Planar Monopole and Slot Radiators and Their Suitability For UWB Applications*. Cochin University of Science and Technology. India.
- [15]Fukusako, T. (2011). Broadband Design of Circularly Polarized Microstrip Patch Antenna Using Artificial Ground Structure With Rectangular Unit Cell. *IEEE TRANSACTIONS ON ANTENNAS & PROPAGATION VOL.59 NO.6*, 2103.
- [16]Fukusako, T. (NOVEMBER 2014). An Interpretative Study on Circularly Polarized Patch. *IEEE TRANSACTIONS ON ANTENNAS AND PROPAGATION, VOL. 62, NO. 11*, 5919.
- [17]Hosseini, M. (17-18 March 2008). CIRCULARLY POLARIZED RADIATION BY A DIPOLE ANTENNA OVER AN INNOVATIVE ARTIFICIAL GROUND PLANE. *Loughborough Antennas & Propagation Conference*, 454.

- [18]Al-Nuaimi, M. K. (2010). Low Profile Dipole Antenna Design Using Square SRRs Artificial Ground Plane. *European Wireless Conference*, 191.
- [19]ABU, M. (2012). Single-band and Dual-band Artificial Magnetic Conductor Ground Planes for Multi-band Dipole Antenna. *RADIOENGINEERING, VOL. 21, NO. 4*, 999.

RIWAYAT PENULIS



Prima Dian Permatasari dilahirkan di Magetan, 01 September 1990. Merupakan anak pertama dari dua bersaudara pasangan Rohmat dan Supini. Lulus dari SDN Candirejo 1 pada tahun 2003 dan melanjutkan ke SMPN 1 Magetan. Pada tahun 2006 melanjutkan ke SMA N 1 Magetan dan kemudian kuliah D3 Teknik Telekomunikasi di Institut Teknologi Telkom Bandung yang sekarang menjadi Universitas Telkom. Lulus dari ITT pada tahun 2012 dan melanjutkan studi S1

Teknik Elektro ke Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya melalui program lintas jalur pada tahun 2013. Pada bulan Januari 2015 penulis mengikuti seminar dan Tugas Akhir di Bidang Studi Telekomunikasi Multimedia dengan judul “Pelebaran Bandwidth Antena Mikrostrip dengan Metode *Artificial Ground Structure*” sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik.

Email : primadianp@gmail.com