

**RANCANG BANGUN DEFECTED GROUND  
STRUCTURE (DGS) PADA ANTENA  
TRIPLEBAND WiMAX**

**TESIS**

**Oleh**

**DESI MARLENA**  
NPM. 0606003240



**PROGRAM PASCASARJANA  
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA  
2007/2008**

**RANCANG BANGUN DEFECTED GROUND  
STRUCTURE (DGS) PADA ANTENA 2 ELEMEN  
TRIPLEBAND WiMAX**

**TESIS**

Oleh

**DESI MARLENA**  
NPM. 0606003240



**TESIS INI DIAJUKAN UNTUK MELENGKAPI SEBAGIAN  
PERSYARATAN MENJADI MASTER TEKNIK**

**PROGRAM PASCASARJANA  
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA  
2007/2008**

## PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa tesis dengan judul :

### **RANCANG BANGUN DEFECTED GROUND STRUCTURE (DGS) PADA ANTENA 2 ELEMEN TRIPLEBAND WiMAX**

yang dibuat untuk melengkapi sebagian persyaratan menjadi Master Teknik pada program studi Teknik Elektro Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Indonesia, sejauh yang saya ketahui bukan merupakan tiruan atau duplikasi dari seminar yang sudah dipublikasikan dan atau pernah dipakai untuk mendapatkan gelar kesarjanaan di lingkungan Universitas Indonesia maupun di Perguruan Tinggi atau instansi manapun, kecuali bagian yang sumber informasinya dicantumkan sebagaimana mestinya.

Depok, 22 Juli 2008

(Desi Marlana)  
0606003240

# PENGESAHAN

Tesis dengan judul :

## **RANCANG BANGUN DEFECTED GROUND STRUCTURE (DGS) PADA ANTENA 2 ELEMEN TRIPLEBAND WiMAX**

dibuat untuk melengkapi sebagian persyaratan kurikulum Program Pascasarjana Bidang Ilmu Teknik untuk memperoleh gelar Magister Teknik pada Program Pascasarjana Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

Depok, 22 Juli 2008

Dosen Pembimbing II

Dosen Pembimbing I

Fitri Yuli Zulkifli, S.T., M.Sc.  
NIP. 132 206 671

Prof. Dr. Ir. Eko Tjipto Rahardjo, M.Sc.  
NIP. 131 122 083

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada :

**Prof. Dr. Ir. Eko Tjipto Rahardjo, M.Sc.**

selaku dosen pembimbing, dan kepada :

**Fitri Yuli Zulkifli, ST, MSc.**

selaku ko-dosen pembimbing,

yang telah bersedia meluangkan waktu untuk memberi pengarahan, diskusi, bimbingan, dan memberikan tempat untuk eksperimen serta menyetujui sebagai bagian dari penelitian pada *Antenna and Microwave Research Group (AMRG)* sehingga Tesis ini dapat diselesaikan dengan baik.

Depok, 22 Juli 2008

Penulis,

Desi Marlana  
NPM 06 06 00 32 40

## ABSTRAK

Desi Marlana  
NPM 0606003240

Dosen Pembimbing I  
Prof.Dr.Ir. Eko Tjipto Rahardjo, M.Sc  
Dosen Pembimbing II  
Fitri Yuli Zulkifli, ST., M.Sc.

Departemen Teknik Elektro

### **RANCANG BANGUN DEFECTED GROUND STRUCTURE (DGS) PADA ANTENA 2 ELEMEN TRIPLEBAND WiMAX**

#### **ABSTRAK**

Tulisan ini membahas mengenai rancang bangun *Defected Ground Structure* (DGS) berbentuk empat buah *dumbbell* pada antena mikrostrip 2 elemen *tripleband* WiMAX untuk menekan terjadinya gelombang permukaan sehingga diharapkan dapat memperbaiki karakteristik antena mikrostrip.

Bentuk dari pola DGS yang dibangun dalam tulisan ini adalah empat buah *dumbbell* yang sederhana dan mudah untuk dibuat pada substrat mikrostrip yang ada. Penelitian mengenai perancangan DGS ini dibuat pada antena mikrostrip 2 elemen yang beroperasi pada aplikasi WiMAX, yaitu pada frekuensi pada 2.3 Ghz, 3.3 Ghz dan 5.8 Ghz.

Penerapan empat buah unit DGS berbentuk *Dumbbell* pada antena mikrostrip 2 elemen *tripleband* WiMAX mengakibatkan adanya penekanan terhadap gelombang permukaan, hal ini terbukti dengan tercapainya penekanan nilai mutual coupling sampai dengan 14,7 dB, perbaikan nilai *return loss* sampai dengan 8,4 dB dan nilai VSWR yang semakin mendekati nilai 1.

**Kata kunci : Antena Mikrostrip, Gelombang permukaan, Defected Ground Structure.**

# ABSTRACT

Desi Marlana  
NPM 0606003240

Supervisor I  
Prof. Dr. Ir. Eko Tjipto Rahardjo, M.Sc  
Supervisor II  
Fitri Yuli Zulkifli, ST., M.Sc.

Department of Electrical Engineering

## DESIGN OF DEFECTED GROUND STRUCTURE (DGS) FOR TWO ELEMENT TRIPLEBAND WiMAX ANTENNA

### ABSTRACT

This paper discusses about Dumbbell Shape Defected Ground Structure (DGS) on microstrip antenna design to reduce the effect of surface wave and to improve the characteristic of two element tripleband WiMAX microstrip antenna.

The form of DGS discussed in this paper is simple and easy to be made on regular microstrip substrate. Research about the design of this DGS is made on two element microstrip antenna for WiMAX application which operates at 2.3 GHz, 3.3 GHz and 5.8 GHz frequency.

The usage of four dumbbell DGS on two element microstrip antenna for WiMAX application succeeded to suppress the surface waves, and proved by a mutual coupling reduction until 14,7 dB, return loss improvement until 8,4 dB and VSWR of nearly 1 was achieved.

**Key words : Microstrip Antenna, Surface Wave, Dumbbell ,Defected Ground Structure, WiMAX**

# DAFTAR

## DAFTAR ISI

SAMPUL DALAM .....	ii
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS .....	iii
PERSETUJUAN .....	iv
UCAPAN TERIMA KASIH .....	v
ABSTRAK.....	vi
ABSTRACT.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR .....	x
DAFTAR TABEL .....	xi
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1. LATAR BELAKANG .....	1
1.2. TUJUAN PENULISAN .....	2
1.3. BATASAN MASALAH .....	2
1.4. SISTEMATIKA PENELITIAN .....	2
<b>BAB II ANTENA MIKROSTRIP .....</b>	<b>3</b>
2.1. ANTENA SECARA UMUM .....	3
2.2. DAERAH ANTENA .....	4
2.3. ANTENA MIKROSTRIP .....	6
2.3.1. Karakteristik Dasar Antena Mikrostrip .....	6
2.3.2. Metode Pemodelan Analisis Model Cavity .....	7
2.3.3. Mikrostrip Segi Empat.....	9
2.3.4. Teknik Pencatuan Electromagnetically Coupled .....	11
2.4. PARAMETER UMUM ANTENA MIKROSTRIP.....	13
2.4.1. Frekuensi resonansi .....	13
2.4.2. Keterarahan ( <i>directivity</i> ).....	13



2.4.3. Penguatan ( <i>gain</i> ) .....	13
2.4.4. Efisiensi radiasi .....	14
2.4.5. Polarisasi.....	14
2.4.6. Impedansi masukan .....	15
2.4.7. Return Loss .....	15
2.4.8. Bandwidth Antenna.....	16
2.5. GELOMBANG PERMUKAAN ( <i>SURFACE WAVE</i> ).....	17
2.6. DEFECTED GROUND STRUCTURE (DGS).....	17
2.7. DGS <i>DUMBBELL</i> .....	19
<b>BAB III PERANCANGAN ANTENA DAN DGS</b> .....	<b>23</b>
3.1. UMUM.....	23
3.2. PERLENGKAPAN YANG DIGUNAKAN .....	23
3.3. DIAGRAM ALIR PERANCANGAN ANTENA .....	25
3.4. PERANCANGAN ANTENA 2 ELEMENT TRIPLEBAND.....	26
3.5. PERANCANGAN SLOT DGS .....	28
3.6. HASIL SIMULASI.....	40
<b>BAB IV HASIL PENGUKURAN</b> .....	<b>46</b>
4.1. PEMBUATAN ANTENA.....	46
4.2. HASIL PENGUKURAN ANTENA.....	46
<b>BAB V KESIMPULAN</b> .....	<b>64</b>
DAFTAR ACUAN.....	xii
LAMPIRAN .....	65

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Daerah Medan Antena.....	5
Gambar 2.2.	Bentuk Geometri antena Microstrip	6
Gambar 2.3.	Konfigurasi antena mikrostrip .....	9
Gambar 2.4.	Geometri <i>patch</i> antena dengan teknik <i>electromagnetically coupled</i>	12
Gambar 2.5.	Skema pencatuan <i>Electromagnetically Coupled</i> .....	12
Gambar 2.6.	Medan E dan H pada gelombang elektromagnetik yang merambat ke sumbu z .....	15
Gambar 2.7.	Saluran transmisi.....	15
Gambar 2.8.	Garis-garis medan radiasi dari <i>patch</i> antena.....	18
Gambar 2.9.	Propagasi gelombang permukaan .....	19
Gambar 2.10	Berbagai bentuk DGS.....	19
Gambar 2.11	Bentuk-bentuk lain dari <i>slot dumbbell</i> .....	20
Gambar 3.1.	Diagram alir perancangan antena 2 element dengan <i>slot</i> DGS ....	22
Gambar 3.2.	Desain <i>patch</i> antena tripleband single elemen.....	24
Gambar 3.3.	Desain antena 2 elemen <i>tripleband</i> .....	24
Gambar 3.4.	Bentuk 1 buah <i>dumbbell</i> .....	27
Gambar 3.5.	Bentuk 2 buah <i>dumbbell</i> .....	28
Gambar 3.6.	Bentuk 3 buah <i>dumbbell</i> .....	29
Gambar 3.7.	Bentuk 4 buah <i>dumbbell</i> .....	29
Gambar 3.8.	Grafik Return Loss Beda panjang <i>slot</i> .....	30
Gambar 3.9.	Grafik Return Loss Beda lebar <i>slot</i> .....	31
Gambar 3.10	Grafik Return Loss Beda posisi .....	32
Gambar 3.11	Grafik Return Loss Beda Luas Kepala <i>dumbbell</i> .....	33
Gambar 3.12	Geometri hasil perancangan <i>patch</i> elemen tunggal .....	34
Gambar 3.13	Grafik Return Loss Beda jarak antara <i>slot</i> .....	35
Gambar 3.14	Slot DGS 4 Buah <i>dumbbell</i> .....	36
Gambar 3.15	Posisi Slot DGS 4 Buah <i>dumbbell</i> .....	37
Gambar 4.1	Grafik Return Loss Terbaik .....	38
Gambar 4.2	Grafik VSWR Terbaik .....	39
Gambar 4.3	Grafik Mutual Coupling .....	40

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1.	Spesifikasi Substrat yang Digunakan.....	23
Tabel 3.2.	Karakteristik Saluran Catu Antena Referensi.....	24
Tabel 3.3.	Karakteristik Slot DGS 4 Dumbbell Variasi panjang slot Dumbbell .....	29
Tabel 3.4.	Karakteristik Slot DGS 4 Dumbbell Variasi lebar slot Dumble ..	30
Tabel 3.5.	Karakteristik Slot DGS 4 Dumbbell Variasi Posisi slot dumbbell.	31
Tabel 3.6.	Karakteristik Slot DGS 4 Dumbbell Variasi Luas Kepala slot dumbbell.....	32
Tabel 3.7.	Karakteristik Slot DGS 4 Dumbbell Variasi jarak antara slot dumbbell.....	33
Tabel 4.1.	Perbandingan hasil simulasi Return Loss.....	38
Tabel 4.2.	Perbandingan hasil simulasi VSWR .....	39
Tabel 4.3.	Perbandingan hasil simulasi Mutual Coupling .....	41

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 LATAR BELAKANG

WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*) merupakan teknologi *wireless* yang menawarkan jasa telekomunikasi dengan *bandwidth* yang lebar dan *bit rate* yang besar sehingga mampu menyediakan berbagai aplikasi meliputi suara, video dan data dengan kecepatan yang tinggi [1].

Komunikasi data pada aplikasi WiMAX sangat dipengaruhi oleh perangkat-perangkat yang digunakan dalam sistem tersebut. Antena sebagai salah satu dari perangkat *transmitter* maupun *receiver* sinyal gelombang elektromagnetik ke medium bebas atau udara sangat berpengaruh pada performansi maupun keefektifan sinyal yang ditransmisikan ke udara.

Berbagai jenis antena telah banyak diciptakan dan dikembangkan untuk beragam aplikasi seperti radar, telemetri, biomedik, radio bergerak, penginderaan jauh, dan komunikasi satelit. Antena mikrostrip merupakan salah satu jenis antena yang pengembangannya dimulai sejak tahun 1970an dan hingga kini masih menjadi jenis antena yang terus dikembangkan. Hal yang menjadi alasan dalam pemilihan antena mikrostrip pada berbagai aplikasi adalah bahannya yang sederhana dan murah tetapi mampu memberikan unjuk kerja (*performance*) yang cukup baik.

Adapun salah satu kelemahan antena mikrostrip adalah munculnya gelombang permukaan. Gelombang permukaan timbul ketika antena mikrostrip meradiasikan gelombang ke udara, tetapi ada gelombang yang terjebak di dalam substrat. Gelombang-gelombang ini membentuk gelombang permukaan. Gelombang ini dapat mengurangi efisiensi antena dan *gain*, membatasi *bandwidth*, meningkatkan radiasi *end-fire*, meningkatkan *cross-polarization*, dan membatasi rentang frekuensi kerja dari antena mikrostrip[2]. Terlebih lagi, gelombang permukaan dapat mengakibatkan pada penurunan performansi antena tidak semua gelombang diradiasikan ke udara .

Efek gelombang permukaan ini mengakibatkan penurunan performansi antena, seperti *VSWR*, *return loss*, dan efisiensi antena. Oleh karena itu dibutuhkan suatu cara

untuk menekan gelombang permukaan. Salah satu cara untuk menekan gelombang permukaan adalah dengan menggunakan teknik DGS atau *Defected Ground Structure* (DGS)[3]. Teknik DGS yang diterapkan pada penelitian ini yaitu dengan cara mencacatkan bidang *ground* pada antenna mikrostrip.

Pencacatan yang dimaksud pada penelitian ini yaitu dibuatnya suatu *slot* dengan meng-*etching* *groud plane* antenna mikrostrip. Ada berbagai bentuk *slot* DGS yang telah diteliti sebelumnya, diantaranya lingkaran[3], *concentric ring-shape*[3], *dumbbell*[4,5,6], dan spiral[7]. Adapun yang akan diteliti pada tulisan ini adalah teknik DGS yang menggunakan *slot dumbbell*. Bentuk ini diambil oleh penulis dengan alasan telah ada beberapa penelitian yang membuktikan bahwa *slot* DGS bentuk *dumbbell* terbukti dapat memperbaiki nilai  $S_{21}$  suatu antenna *array* secara signifikan[4].

Selain alasan tersebut, alasan lain yang membuat penulis memilih bentuk *dumbbell* adalah karena proses pembuatan pada *software* yang cukup sederhana dan proses iterasi yang lebih singkat dibandingkan bentuk spiral, lingkaran atau *concentric ring-shape*.

Pada [4], *slot* DGS *dumbbell* yang diteliti berjumlah satu buah, dan diaplikasikan pada antenna *array* yang bekerja pada satu frekuensi, yaitu frekuensi 6 GHz. Adapun hasil penelitian tersebut menampilkan hasil iterasi terhadap nilai  $S_{21}$  atau nilai *mutual coupling* dari antenna. Sedangkan pada penelitian ini, penulis bermaksud meneliti *slot* DGS *dumbbell* beserta karakteristiknya, yang diaplikasikan pada antenna 2 elemen *tripleband* yang beroperasi pada frekuensi 2.3 GHz, 3.3 GHz dan 5.8 GHz untuk aplikasi WiMAX. Dan parameter antenna yang akan dilihat hasilnya berdasarkan hasil iterasi dan pengukuran adalah *return loss*, *VSWR*, pola radiasi, *mutual coupling* dan gain antenna .

## 1.2 TUJUAN PENELITIAN

Tujuan penulisan penelitian ini adalah rancang bangun *slot* DGS atau *Defected Ground Structure* berbentuk *dumbbell* pada antenna 2 elemen *tripleband* yang bekerja pada frekuensi 2.3 GHz, 3.3 GHz dan 5.8 GHz untuk aplikasi WiMAX untuk memperbaiki karakteristik antenna tersebut. Penelitian ini akan memperbaiki karakteristik antenna 2 elemen *tripleband* yaitu *return loss*, *VSWR*, *gain*, dan *mutual coupling*.

Perbaikan karakteristik antenna ini dilakukan dengan cara menekan gelombang permukaan pada substrat mikrostrip dengan teknik *Defected Ground Structure* sehingga efek *mutual coupling* akibat gelombang permukaan dengan menggunakan teknik DGS dapat ditekan atau dikurangi.

### 1.3 BATASAN MASALAH

Permasalahan yang akan dibahas pada penelitian ini dibatasi pada penelitian antenna 2 elemen *tripleband* yang bekerja pada frekuensi sekitar 2.3 GHz, 3.3 GHz dan 5.8 GHz. Adapun parameter atau karakteristik antenna yang akan diteliti meliputi *return loss*, VSWR, pola radiasi dan gain antenna yang dibandingkan antara antenna 2 elemen *tripleband* tanpa DGS dan antenna 2 elemen *tripleband* dengan menggunakan teknik DGS berbentuk *dumbbell*.

### 1.4 SISTEMATIKA PENULISAN

Pembahasan yang dilakukan pada penelitian ini meliputi lima bab, yaitu:

#### Bab 1 Pendahuluan

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

#### Bab 2 Landasan Teori

Bagian ini berisi akan teori-teori dasar yang digunakan pada perancangan, yaitu mengenai antenna mikrostrip, teknik pencatutan, parameter umum antenna, serta DGS.

#### Bab 3 Perancangan Antena Mikrostrip dan DGS *Dumbbell* .

Menjelaskan mengenai perlengkapan yang dibutuhkan dalam perancangan, substrat yang digunakan, penentuan dimensi antenna beserta *Slot* DGS, prosedur perancangan dan algoritma seluruh prosedur penelitian berupa diagram alir serta membahas hasil perancangan dari simulasi.

#### Bab 4 Hasil Pengukuran dan Analisis Antena

Bagian ini membahas mengenai pabrikan, hasil simulasi, pengukuran dan analisis

data dari hasil simulasi dan pengukuran.yang telah dilakukan.

## Bab 5 Penutup

Bagian ini berisikan kesimpulan dari penelitian.



## BAB 2

### ANTENA MIKROSTRIP

#### 2.1 ANTENA SECARA UMUM

Antena merupakan suatu alat yang dapat merubah besaran listrik dari saluran transmisi menjadi suatu gelombang elektromagnetik (GEM) untuk diradiasikan ke udara bebas. Sebaliknya antena juga dapat menangkap GEM dari udara bebas untuk kemudian dijadikan besaran listrik kembali melalui saluran transmisi. Atau dengan kata lain, antena adalah suatu transformator antara gelombang terbimbing dengan gelombang bebas dan sebaliknya.

Ditemukannya fenomena arus pergeseran oleh Maxwell menjadi inti dari konsep perambatan GEM dari antena ke udara. Suatu distribusi arus akan membangkitkan medan magnet, dan medan magnet akan menghasilkan medan listrik. Hal ini dapat ditunjukkan oleh dua persamaan Maxwell berikut ini:

$$\nabla \times \bar{H} = \bar{J} + \frac{\partial D}{\partial t} \quad (2.1)$$

$$\nabla \times \bar{E} = -\frac{\partial \bar{B}}{\partial t} \quad (2.2)$$

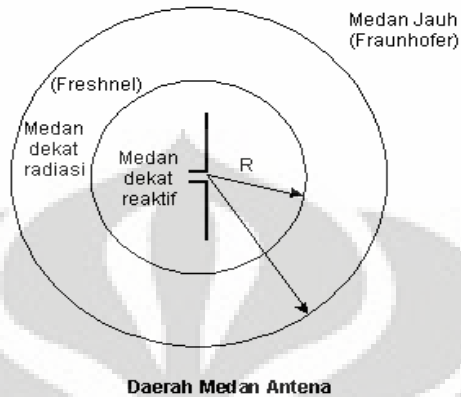
Persamaan 2.1 menunjukkan bahwa arus pergeseran ( $J$ ) dan medan listrik yang berubah terhadap waktu akan dapat menimbulkan medan magnet. Sedangkan persamaan 2.2 menjelaskan bahwa medan magnet yang berubah terhadap waktu akan membangkitkan medan listrik. Demikianlah medan listrik dan medan magnet selanjutnya akan saling membangkitkan dan menjadi sumber GEM yang dapat merambat melalui udara.

Secara umum antena memiliki karakteristik yang didasarkan pada luas penampang antena (*aperture*), Pola pancar radiasi antena, lebar pita frekuensi (*bandwidth*), Impedansi input, faktor kualitas, direktivitas, gain, efisiensi, dan lain sebagainya. Karakteristik-karakteristik di atas selanjutnya disebut sebagai parameter-parameter dalam merancang suatu antena, dimana satu sama lainnya saling berhubungan.



## 2.2 DAERAH ANTENA

Daerah antenna merupakan pembatas dari karakteristik gelombang elektromagnetika yang dipancarkan oleh antenna[8]. Ruang di sekeliling antenna biasanya dibagi dalam 3 daerah:



2.1 Daerah Medan Antena [8]

Dengan:

$D$  = Dimensi terluar antenna,  $\lambda$  = panjang gelombang, dan  $R$  = Radius masing-masing daerah antenna, maka :

- a. Daerah medan dekat reaktif

Daerah ini didefinisikan sebagai bagian dari daerah medan dekat di sekitar antenna, dimana daerah reaktif lebih dominan. Untuk kebanyakan antenna batas terluar daerah ini adalah

$$R < 0,62\sqrt{D^3 / \lambda} \quad (2.3)$$

dari permukaan antenna, dimana  $\lambda$  adalah panjang gelombang dan  $D$  adalah dimensi terluar antenna.

- b. Daerah medan dekat radiasi

Didefinisikan sebagai daerah medan antenna antara medan-dekat reaktif dan daerah medan jauh dimana medan radiasi dominan dan distribusi medan bergantung pada jarak dari antenna. Daerah ini disebut daerah Freshnel. Radiusnya

$$0,62\sqrt{\frac{D^3}{\lambda}} \leq R < 2\frac{D^2}{\lambda} \quad (2.4)$$

- c. Daerah medan jauh

Merupakan daerah medan antenna dimana distribusi medan tidak lagi bergantung

pada jarak dari antenna. Di daerah ini, komponen medan transversal dan distribusi angular tidak bergantung pada jarak radial dimana pengukuran dibuat. Semua spesifikasi diperoleh dari pengukuran yang dilakukan di daerah ini.

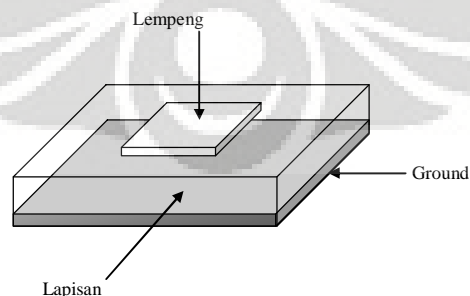
$$R > 2 \frac{D^2}{\lambda} \quad (2.5)$$

### 2.3 ANTENA MIKROSTRIP

Konsep dari radiasi mikrostrip pertama kali diperkenalkan oleh Deschamps pada tahun 1953 dan dipatenkan di Prancis pada tahun 1955 oleh Gutton dan Baissinot. Pertumbuhan teknologi mikrostrip pada tahun 1970 sangat cepat seiring tersedianya kualitas substrat yang sangat baik dengan *loss tangent* yang rendah. Antena mikrostrip yang pertama di buat oleh Howell dan Munson. Setelah itu, penelitian yang luas dan pembuatan mikrostrip antena bertujuan untuk meneliti keuntungan dari antena mikrostrip seperti massa yang ringan, kompak, murah, dapat diintegrasikan dengan *divais* MIC (*Microwave Integrated Circuits*).

#### 2.3.1 Karakteristik Dasar Antena Mikrostrip

Antena mikrostrip merupakan sebuah antena yang memiliki banyak keuntungan, sehingga antena ini dalam perkembangannya banyak digunakan dalam komunikasi satelit dan komunikasi nirkabel. Antena mikrostrip memiliki berbagai bentuk seperti segi empat, segitiga, lingkaran dan lain-lain. Dalam pabrikasinya antena ini relatif lebih mudah dibandingkan jenis antena lainnya. Antena ini juga lebih handal, relatif tipis dan ringan.



2.2 Bentuk Geometri antena Microstrip [2]

Antena mikrostrip pada dasarnya adalah antena planar memiliki karakteristik fisik yang lebih sederhana, dan bandwidth yang cukup lebar. Antena planar secara umum terdiri dari 3 bagian utama yaitu : *ground plane*, *substrate* dan *patch* peradiasi. *Patch* berfungsi untuk meradiasikan gelombang elektromagnetik, sedangkan *groundplane* berfungsi sebagai reflektor seperti tembaga atau perak. Proses transformasinya gelombang ke udara terjadi ketika gelombang tersebut mencapai tepian dari *patch* yang kemudian sebagian gelombang dipantulkan dan sebagian lagi dipancarkan. Sedangkan *substrate* yang merupakan bidang antara *patch* dan *groundplane*, memiliki peranan yang signifikan dalam proses pemancaran gelombang. Faktor disipasi, kekuatan, kelenturan bahan, permitivitas dan daya absorpsi air merupakan hal yang harus diperhatikan dalam pemilihan *substrate*. Beberapa material yang biasa digunakan sebagai *substrate* adalah *polytetrafluorethylene (PTFE)* dan *epoxy*.

Idealnya, konstanta dielektrik ( $E_r$ ) dari substrat antena mikrostrip harus rendah  $E_r < 2.5$  untuk memperbaiki kualitas medan tepi (*fringing fields*) yang akan mempengaruhi radiasi. Ketebalan substrat sangat penting untuk diperhatikan ketika akan mendisain antena mikrostrip. Umumnya substrat yang digunakan untuk kehandalan suatu antena dipilih yang tebal dengan konstanta dielektrik rendah, hal ini cenderung menghasilkan antena dengan *bandwidth* yang lebar dan efisiensi yang tinggi akibat bebas dari loncatan medan tepi yang berasal dari *patch* peradiasi dan berpropagasi ke dalam substrat. Namun hal ini menyebabkan volume antena menjadi besar dan mengakibatkan bertambahnya pengaruh gelombang permukaan yang akan mempengaruhi performa antena mikrostrip tersebut. Disisi lain, substrat yang tipis dengan konstanta dielektrik yang tinggi dapat mengurangi ukuran antena tetapi karena adanya disipasi faktor yang lebih tinggi, menyebabkan efisiensinya menjadi rendah dan *bandwidth* yang kecil[2].

### 2.3.2 Metode Pemodelan Analisis Model Cavity

Salah satu alasan pengembangan metode pemodelan analisis yang akurat dalam perancangan antena adalah untuk menyediakan alat bantu yang handal

dalam pendesainan antenna tersebut. Dari metode pemodelan analisis ini selanjutnya bisa didapatkan nilai-nilai parameter yang cukup penting dalam perancangan antenna seperti medan dekat, medan jauh, impedansi input, faktor kualitas, efek rugi-rugi, pola radiasi, direktivitas, dan lain-lain.

Model *cavity* atau rongga telah banyak digunakan dalam menganalisa antenna mikrostrip[2]. Metode ini mengasumsikan bidang antara *ground plane* dan *patch* peradiasi antenna sebagai sebuah resonator rongga. Pada metode ini bidang peradiasi dan *ground plane* diasumsikan sebagai dinding elektrik dan empat buah dinding vertikal diasumsikan sebagai dinding magnetik. Model *cavity* ini dapat digunakan untuk substrat yang tipis, dimana tebal substrat jauh lebih kecil dari pada panjang gelombang ( $h \ll \lambda_0$ ). Model ini merupakan model pendekatan yang berprinsip pada impedansi masukan reaktif dan tidak meradiasikan daya.

Ketika antenna mikrostrip diberikan energi, distribusi muatan dibentuk pada bagian atas dan bawah permukaan dari *patch* tersebut, dan juga pada bagian pentanahan (*ground*).

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

$$\nabla \times E = -j\omega\mu_0 H \quad (2.6)$$

$$\nabla \times H = j\omega\epsilon E + J \quad (2.7)$$

$$\nabla \cdot E = \frac{\rho}{\epsilon} \quad (2.8)$$

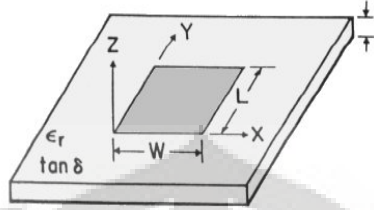
$$\nabla \cdot H = 0 \quad (2.9)$$

$\epsilon$  merupakan permitivitas dari substrat, dimana  $\epsilon = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r$  dan  $\mu_0$  merupakan permeabilitas bahan tersebut.  $J$  merupakan vektor kerapatan arus yang mengalir, sedangkan  $\rho$  merupakan rapat muatan.

### 2.3.3 Mikrostrip Segi Empat

Konfigurasi elemen peradiasi dari suatu antenna mikrostrip segi empat

diperlihatkan pada 2.3. Pada konfigurasi tersebut dimensi elemen peradiasi terdiri atas parameter lebar (W) dan panjang (L).



2.3 Konfigurasi antena mikrostrip [2]

Dengan menggunakan model *cavity*, dimensi *patch* antena segi empat untuk frekuensi kerja yang diinginkan dapat ditentukan dengan persamaan [2]:

1. Pada mode  $TM_{100}$ ,

$$W_e = W [1 + \Delta(W)] \frac{\sqrt{\epsilon_e(W) \epsilon_e(L)}}{\epsilon_r} \quad (2.10)$$

$$L_e = L \quad (2.11)$$

2. Pada mode  $TM_{010}$ ,

$$W_e = W \quad (2.12)$$

$$L_e = L [1 + \Delta(L)] \frac{\sqrt{\epsilon_e(L) \epsilon_e(W)}}{\epsilon_r} \quad (2.13)$$

dengan :

$$\Delta(x) = \frac{t}{x} \left\{ 0.882 + \frac{0.164(\epsilon_r - 1)}{\epsilon_r^2} + \frac{\epsilon_r + 1}{\pi \epsilon_r} \left[ 0.758 + \ln \left( \frac{x}{t} + 1.88 \right) \right] \right\} \quad (2.14)$$

$$\epsilon_e(x) = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left( 1 + 10 \frac{t}{x} \right)^{-\frac{1}{2}} \quad (2.15)$$

dengan  $m$  dan  $n$  adalah indeks mode pada arah  $x$  dan  $y$ ,  $W$  dan  $L$  adalah lebar dan panjang *patch* antena segi empat,  $W_e$  dan  $L_e$  adalah lebar dan panjang efektif dari *patch* antena segi empat,  $t$  tebal substrat,  $\Delta(x)$  adalah perpanjangan panjang / lebar secara elektrik yang harus diperhitungkan akibat adanya efek medan tepi,  $\epsilon_r$

konstanta dielektrik, sedangkan  $\epsilon_e$  adalah konstanta dielektrik efektif.

Penghitungan dimensi *patch* antenna segiempat dapat disederhanakan dengan menggunakan persamaan :

**a. Bentuk *Patch* Persegi Panjang [2]** Frekuensi resonansi dirumuskan dengan :

$$f_{mn} = \frac{c}{2\sqrt{\epsilon_e}} \left[ \left( \frac{m}{L} \right)^2 + \left( \frac{n}{W} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2.16)$$

Efek medan tepi pada elemen peradiasi :

$$\Delta L = 0.412h \frac{(\epsilon_e + 0.3) \left( \frac{W}{h} + 0.264 \right)}{(\epsilon_e - 0.258) \left( \frac{W}{h} + 0.8 \right)} \quad (2.17)$$

Panjang elemen peradiasi efektif :

$$L_{eff} = L + 2\Delta L \quad (2.18)$$

atau

$$L_{eff} = \frac{c}{2f_o \sqrt{\epsilon_e}} \quad (2.19)$$

Lebar elemen Peradiasi :

$$W = \frac{c}{2f_o \sqrt{\frac{(\epsilon_r + 1)}{2}}} \quad (2.20)$$

Nilai konstanta dielektrik efektif :

$$\epsilon_e = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left( \frac{1}{\sqrt{1 + 12h/L}} \right) \quad (2.21)$$

dengan  $c$  adalah kecepatan cahaya serta  $f_r$  adalah frekuensi operasi dalam GHz.  $\epsilon_e$  adalah konstanta dielektrik efektif dan  $\Delta L$  merupakan perubahan panjang.

**b.. Bentuk *Patch* Persegi [2]:**

Lebar dan panjang elemen peradiasi :

$$L = W = \frac{0.49 \times \lambda_0}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (2.22)$$

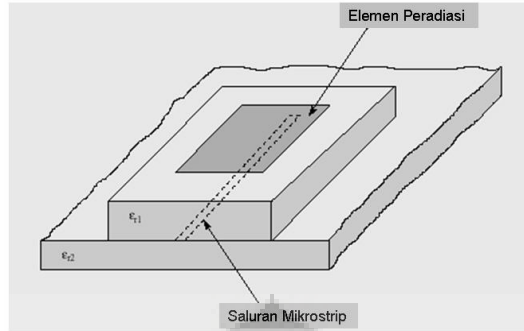
dengan  $\lambda_0$  merupakan panjang gelombang dari frekuensi resonansi di udara bebas.

### 2.3.5 Teknik Pencatuan Electromagnetically Coupled

Antena mikrostrip mempunyai elemen peradiasi pada salah satu sisi dari substrat dielektrik dan antena tersebut dapat menggunakan *feeding* atau pencatu berupa saluran mikrostrip atau *coaxial probe* pada *ground plane*. Setelah itu, beberapa teknik *feeding* banyak mengalami perbaikan berdasarkan hasil penelitian. Teknik pencatu itu antara lain *coaxial feed*, *microstrip (coplanar) feed*, *proximity coupled microstrip feed*, *aperture-coupled microstrip feed* dan *coplanar waveguide feed*.

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

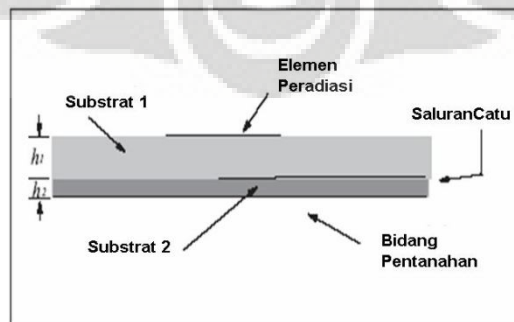
Salah satu kelemahan antena mikrostrip adalah *bandwidth* yang sempit. Akan tetapi banyak cara yang digunakan untuk mengatasi kelemahan ini, antara lain dengan menggunakan substrat yang tebal, dengan menambahkan elemen parasitic agar mendapat tanggapan resonansi ganda. Kemudian dengan menggunakan saluran mikrostrip yang dikopel secara *proximity* pada *patch* yang terletak pada lapisan di atas saluran. Dengan posisi saluran catu di atas *patch*, maka saluran tersebut dapat dibawa ke bagian bawah antena, sehingga ada dua substrat yang digunakan pada teknik ini yang berada di atas bidang pentanahan, dengan menghilangkan bidang pentanahan pada substrat yang berada di atas. Geometri antena mikrostrip yang menggunakan saluran mikrostrip yang dikopel secara *proximity* diperlihatkan pada 2.4.



2.4 Geometri *patch* antenna dengan teknik *electromagnetically coupled* [2]

Dua substrat dielektrik akan digunakan jika teknik pencatuan ini diterapkan. Saluran pencatu terletak diantara dua substrat tersebut dan elemen peradiasi terletak pada substrat bagian atas. Keuntungan utama dari teknik pencatuan ini adalah teknik pencatuan ini mampu mengeliminasi radiasi pada elemen pencatu (*spurious feed radiation*) dan mampu menghasilkan bandwidth yang tinggi (13%) [2], karena meningkatkan ketebalan dari microstrip *patch* antenna. Pada teknik pencatuan ini dapat digunakan dua substrat dielektrik yang berbeda (ketebalan dan konstanta dielektrik substrat), satu untuk elemen peradiasi dan satu substrat lainnya untuk saluran pencatu.

Substrat bagian atas (*upper substrate*) yaitu substrat dimana antenna berada membutuhkan substrat yang relatif tebal dengan nilai konstanta dielektrik yang relatif kecil. Hal tersebut untuk meningkatkan bandwidth dan performa radiasi dari antenna. Substrat bagian bawah yaitu substrat dengan saluran pencatu membutuhkan substrat yang tipis dengan konstanta dielektrik yang relatif lebih tinggi dari substrat pada bagian atas. Skema tersebut seperti yang diperlihatkan pada 2.5.



2.5 Skema pencatuan *Electromagnetically Coupled* [2]



## 2.4 PARAMETER UMUM ANTENA MIKOSTRIP

Seperti pada bentuk antena-antena yang lain, *performance* dari suatu antena mikrostrip dilihat berdasarkan parameter-parameter antena tersebut yang pengertiannya akan dijelaskan pada sub bab berikut ini.

### 2.4.1 Frekuensi resonansi

Untuk mencari frekuensi kerja dengan model *cavity* perlu diketahui nilai eigen ( $k_{mn}$ ). Frekuensi resonansi ( $f_{mn}$ ) dirumuskan dengan [2]:

$$f_{mn} = \frac{k_{mn}}{2\pi\sqrt{\epsilon_r\epsilon_0\mu_0}} \quad (2.23)$$

dengan nilai eigen diberikan oleh [2]:

$$k_{mn} = \left[ \left( \frac{m\pi}{W_e} \right)^2 + \left( \frac{n\pi}{L_e} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2.24)$$

### 2.4.2 Keterarahan (*directivity*)

Keterarahan (D) merupakan perbandingan intensitas radiasi pada arah tertentu dari antena terhadap intensitas rata-rata pada semua arah. Keterarahan dapat dirumuskan sebagai [2] :

$$\text{Keterarahan} = 4\pi \frac{\text{Intensitas radiasi pada arah tertentu}}{\text{Intensitas radiasi rata - rata yang diradiasikan}} = 4\pi \frac{U(\theta, \phi)}{\text{Pr ad}} \quad (2.25)$$

Sebagai perbandingan, antena isotropik memiliki keterarahan sebesar 1 untuk setiap arahnya.

### 2.4.3 Penguatan (*gain*)

Penguatan (G) pada antena mikrostrip merupakan perbandingan intensitas radiasi pada arah tertentu terhadap intensitas radiasi yang diterima jika daya yang diterima berasal dari antena isotropik. Penguatan dapat dirumuskan sebagai [2] :

$$\text{Gain} = 4\pi \frac{\text{Intensitas radiasi pada arah tertentu}}{\text{Intensitas radiasi yang diterima}} = 4\pi \frac{U(\theta, \phi)}{\text{Pin}} \quad (2.26)$$

#### 2.4.4 Efisiensi radiasi

Efisiensi antena mikrostrip ( $\eta$ ) merupakan perbandingan antara daya yang diradiasikan dan daya input yang diberikan. Efisiensi diekspresikan dengan persamaan [2]:

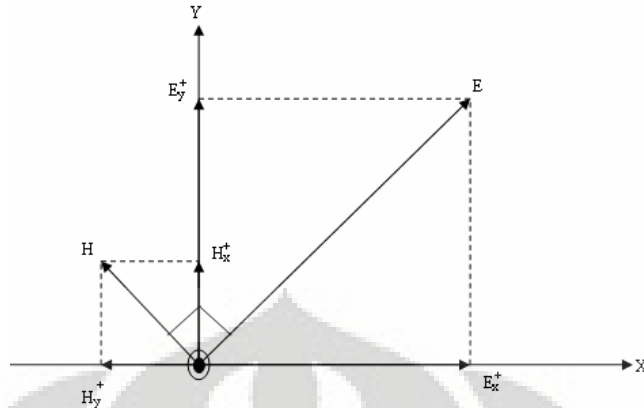
$$\eta = \frac{P_r}{P_{in}} = \frac{Q_r}{Q_r} = \frac{G}{D} \quad (2.27)$$

dengan  $P_{in}$  adalah penjumlahan daya yang diradiasikan dengan daya yang hilang dalam elemen konduktor dan bidang pentanahan. Dari persamaan 2.27 dapat diketahui juga bahwa perbandingan *gain* dan keterarahan merupakan nilai dari efisiensi. Jadi semakin besar nilai keterarahan, *gain* yang dihasilkan juga semakin besar.

Antena mikrostrip memiliki efisiensi yang cukup besar, namun faktor rugi-rugi dari pencatu tidak dapat diabaikan, karena dapat mengurangi besarnya efisiensi antena. Untuk menekan rugi-rugi dari pencatu tersebut, harus dipilih posisi titik catu pada antena mikrostrip yang memiliki impedansi masukan yang sesuai dengan impedansi karakteristik pencatu. Dengan kondisi yang demikian, nilai VSWR dapat ditekan sekecil mungkin hingga mendekati 1.

#### 2.4.5 Polarisasi

Salah satu parameter penting dalam sebuah antena adalah polarisasi. Polarisasi mengacu pada gelombang elektromagnetik yang diradiasikan oleh antena. Polarisasi dapat didefinisikan sebagai bentuk dan tempat kedudukan dari ujung vektor medan listrik  $E$  (pada bidang yang tegak lurus dengan arah propagasi) pada suatu titik dalam ruang sebagai fungsi waktu [2]. Gelombang elektromagnetik terdiri dari osilasi medan listrik dan osilasi medan magnet yang saling tegak lurus dan keduanya tegak lurus dengan arah propagasi gelombang. Seperti yang terlihat pada 2.6, untuk gelombang elektromagnetik yang merambat ke sumbu  $z$  maka medan listrik  $E$  akan terdiri dari koinponen  $E_x$  dan  $E_y$  dimana kedua komponen ini dapat mempunyai magnitudo dan fasa yang berbeda.



2.6 Medan E dan H pada gelombang elektromagnetik yang merambat ke sumbu z [2]

### 2.4.6 Impedansi masukan

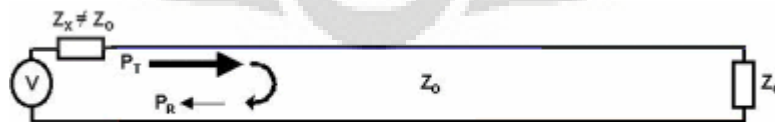
Impedansi masukan dari suatu antenna dapat dilihat sebagai impedansi dari antenna tersebut pada terminalnya. Impedansi masukan,  $Z_m$  terdiri dari bagian real ( $R_{in}$ ) dan imajiner ( $X_{in}$ ).

$$Z_{in} = R_{in} + jX_{in} \Omega \quad (2.28)$$

Dari persamaan  $Z_{in}$  komponen yang diharapkan adalah daya real ( $R_{in}$ ) yang mengkan banyaknya daya yang hilang melalui panas ataupun radiasi. Komponen imajiner ( $X_{in}$ ) mewakili reaktansi dari antenna dan daya yang tersimpan pada medan dekat antenna.

### 2.4.7 Return Loss

*Return loss* dari suatu saluran transmisi adalah rasio atau perbandingan antara daya yang direfleksikan/dipantulkan kembali menuju saluran terhadap daya yang ditransmisikan ke saluran seperti digambarkan pada Gambar 2.7:



2.7. Saluran transmisi [10]

Daya yang direfleksikan ini terjadi akibat adanya kondisi yang tidak *matching*

(cocok) antara impedansi beban dengan impedansi saluran. Return loss biasanya dinyatakan dalam satuan dB dengan persamaannya [2]:

$$RL = 20 \log_{10} \left| \frac{Z_o + Z_x}{Z_o - Z_x} \right| \quad (2.29)$$

dengan  $Z_o$  = impedansi kearah sumber dan  $Z_x$  = impedansi ke arah beban.

#### 2.4.9 Bandwidth Antenna

Dalam menentukan *bandwidth* antenna penting untuk menspesifikasikan kriteria apa saja yang digunakan karena tidak terdapat definisi yang baku dari *bandwidth*. Jadi *bandwidth* suatu antenna ditentukan oleh parameter apa yang digunakan. Beberapa definisi dari *bandwidth* yang berhubungan dengan antenna mikrostrip adalah [2]:

- *Impedance Bandwidth* adalah rentang frekuensi tertentu dimana *patch* antenna *matching* dengan saluran catunya. Hal ini terjadi karena impedansi dari elemen antenna (*patch* dan saluran catu) bervariasi nilainya menurut frekuensi. Kondisi *matching* dari suatu elemen antenna dapat dilihat dari *return loss* atau VSWR. Batas nilai *return loss* yang umum digunakan adalah kurang dari - 9.54 dB. Sedangkan batas nilai VSWR yang umum digunakan adalah kurang dari 2.
- *Pattern bandwidth* adalah rentang frekuensi dengan *beamwidths*, *sidelobe*, atau *gain* memenuhi nilai tertentu. Nilai tersebut harus kita tentukan sehingga besarnya *bandwidth* dapat ditentukan. Seperti properti antenna lainnya, *beamwidths*, *sidelobe*, dan *gain* juga bervariasi menurut frekuensi.

*Bandwidth* (BW) antenna biasanya ditulis dalam bentuk persentase *bandwidth* karena bersifat relatif lebih konstan terhadap frekuensi dan dirumuskan sebagai :

$$BW = \frac{f_h - f_l}{f_c} \times 100 \% \quad (2.30)$$

dengan:  $f_h$  = frekuensi tertinggi dalam *band* (GHz)  
 $f_l$  = frekuensi terendah dalam *band* (GHz)

$$f_c = \text{frekuensi tengah dalam band (GHz)}, \quad f_c = \frac{f_h + f_l}{2}$$

Selain itu *Bandwidth* antena mikrostrip juga dapat direpresentasikan sebagai jangkauan frekuensi antara kenaikan nilai VSWR ( $S$ ) dari satu sampai batas nilai yang dapat ditoleransi. Besarnya *bandwidth* pada antena mikrostrip dapat dihitung dengan menggunakan besaran dari faktor kualitas ( $Q_o$ ) dan VSWR ( $S$ ) yang diinginkan, dan dinyatakan dengan persamaan [2] :

$$BW = \frac{S-1}{Q_o \sqrt{S}} \quad (2.31)$$

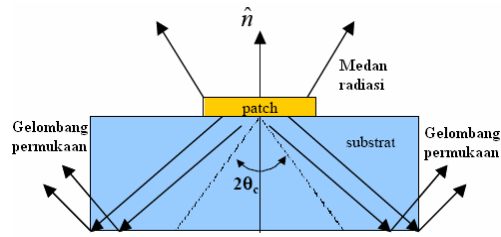
## 2.5 GELOMBANG PERMUKAAN (*SURFACE WAVE*)

Gelombang permukaan yang terjadi pada antena-antena mikrostrip dibangkitkan ketika substrat memiliki nilai  $\epsilon_r > 1$ . Keberadaan gelombang permukaan ini sangat tidak diinginkan, karena gelombang permukaan dapat meningkatkan nilai *coupling* antar berbagai elemen array (*mutual coupling*), dan juga meningkatnya nilai *standing wave* yang pada akhirnya dapat menurunkan nilai gain dan efisiensi antena [2].

*Mutual coupling* adalah suatu efek gandingan yang terjadi pada antena array. Salah satu penyebabnya adalah karena munculnya gelombang permukaan. *Mutual coupling* didefinisikan sebagai bagian dari energi datang pada satu atau kedua elemen antena array yang dapat dihamburkan kembali pada arah yang berbeda seperti suatu *transmitter* yang baru [4].

Bersamaan dengan *patch* antena beradiasi, sebagian dari daya total yang diradiasikan akan terjebak/terkurung sepanjang permukaan substrat. Energi elektromagnetik yang terjebak ini menyebabkan pembentukan gelombang permukaan. Pada kenyataannya, perbandingan daya yang meradiasi ke dalam substrat dibandingkan daya meradiasi ke udara mendekati  $\epsilon^{3/2}:1$ . Hal ini ditentukan oleh aturan *total internal reflection*, yang menyatakan bahwa garis medan apapun yang diradiasikan ke dalam substrat pada sudut yang lebih besar dibandingkan sudut kritis ( $\theta_c = \sin^{-1}(\epsilon^{-1/2})$ ) keseluruhannya akan dipantulkan pada bagian atas dan bawah permukaan. Hal ini dapat diilustrasikan pada 2.8, sehingga untuk substrat dengan konstanta dielektrik  $\epsilon = 10,2$ , sedikitnya 1/3 dari daya total yang diradiasikan akan terkurung didalam substrat dengan

sudut kritis kasarnya 18,2 derajat.

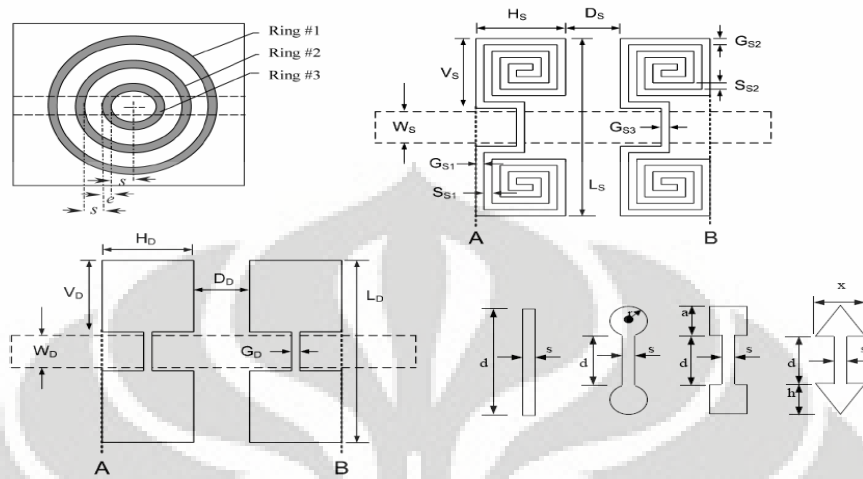


2.8 Propagasi gelombang permukaan dalam substrat antenna patch [2]

## 2.6 DEFECTED GROUND STRUCTURE (DGS)

Akhir-akhir ini telah terjadi perkembangan yang menarik pada aplikasi gelombang mikro dan milimeter dalam rangkaian-rangkaian *Electromagnetic Band Gap* (EBG). Beberapa rangkaian dilaporkan telah dihasilkan dengan menggunakan suatu struktur yang dinamakan *Defected Ground Structur* (DGS)[6.7]. DGS merupakan bentuk pola tersketsa pada bidang *ground*. Struktur DGS biasanya digunakan pada rangkaian filter dalam *microstrip line* yang akan menolak suatu frekuensi tertentu atau *bandgap* seperti halnya pada struktur EBG. Selain diaplikasikan pada *microstrip line* dan rangkaian filter, DGS juga dapat diaplikasikan pada antenna mikrostrip, khususnya antenna *array*[3,4].

Metode DGS didasarkan dari EBG untuk merubah sifat dari gelombang dengan cara membuat satu atau lebih pola EBG pada bidang *ground*. Pola periodik yang dibuat pada bidang *ground* ini menyerupai pola-pola periodik pada EBG. Bentuk dari DGS dimodifikasi mulai dari *slot* yang mudah menjadi bentuk yang lebih kompleks. Beberapa bentuk dari pola DGS telah ditemukan sebagai satuan unit DGS-nya. Pada Gambar 2.9 dapat kita lihat beberapa macam bentuk DGS, diantaranya *Concentric Rings*, *Square Spiral*, persegi panjang dan bentuk-bentuk *dumbbell* dengan berbagai bentuk kepala *dumbbell* yang berbeda.



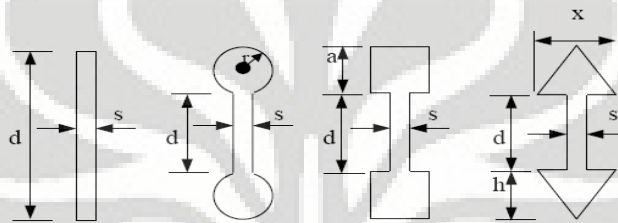
2.9. Berbagai bentuk DGS

## 2.7 DGS DUMBBELL

Seperti yang telah dijabarkan sebelumnya, banyak penelitian yang berkenaan dengan unit DGS dengan berbagai bentuk telah dilakukan, begitu juga bentuk unit DGS *dumbbell* untuk aplikasi pada filter mikrostrip[11-13]. Adalah bentuk unit DGS *dumbbell* yang akan menjadi tujuan dari penelitian ini, yaitu untuk menyelidiki efek dari suatu *slot* DGS berbentuk *dumbbell* pada antena 2 elemen *Tripleband* untuk aplikasi pada WiMAX. Bentuk ini diambil oleh penulis dengan alasan proses pembuatannya yang cukup sederhana dan proses iterasi yang lebih singkat dibandingkan bentuk spiral, lingkaran atau *concentric ring-shape*.

Seperti pada Gambar 2.10, bentuk DGS *dumbbell* yang pernah diteliti ada berbagai macam, yaitu *dumbbell* dengan bentuk kepala *dumbbell* lingkaran, segitiga, persegi panjang ataupun lingkaran. Adapun bentuk *dumbbell* yang diteliti pada penelitian ini adalah *dumbbell* dengan kepala *dumbbell* berbentuk segi empat sama sisi atau *square*. Selain letak atau posisi DGS *dumbbell* [11], hal lain yang sangat menentukan pada perubahan performansi suatu Filter adalah dimensi daripada *dumbbell* tersebut, baik luas kepala *dumbbell*, panjang *slot dumbbell*,

posisi *slot* terhadap antenna 2 elemen, lebar *slot dumbbell* dan jarak antara masing-masing *slot dumbbell* itu sendiri [12]. Selain itu, jumlah daripada *slot dumbbell* itu pun berpengaruh, berdasarkan [12], semakin banyak jumlah *slot dumbbell*, maka akan mengakibatkan kurva  $S_{21}$  suatu filter akan semakin tajam. Pada [11], dikatakan bahwa frekuensi resonansi suatu filter akan menurun secara linier bila panjang *slot* antara kedua kepala *dumbbell* bertambah panjang. Selain itu frekuensi kerja suatu Filter juga dapat disesuaikan dengan mengubah-ubah luas dari pada kedua kepala *dumbbell* [13].



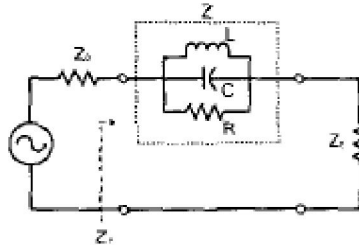
2.10 Bentuk-bentuk lain dari *slot dumbbell* [6]

Pengaruh dari penghilangan sebagian lapisan (*etched defect*) pada *groundplane* dan gap pada *microstrip line* mengakibatkan terganggunya distribusi arus yang terjadi ada lapisan *ground*. Hal ini mengakibatkan adanya perubahan terhadap karakteristik dari *transmission line*, dalam hal ini kapasitansi dan induktansinya[6]. Suatu slot DGS dapat direpresentasikan dalam suatu rangkaian R,L dan C. R diartikan sebagai efek dari radiasi, L atau Induktansi diartikan sebagai flux magnetik yang melewati *groundplane*, sedangkan Kapasitansi atau C, dapat diartikan sebagai besarnya Gap kapasitansi [5].

Performansi dari sirkuit R,L,C tersebut berkaitan erat dengan bentuk dan ukuran dari slot DGS-nya. ketika luas dari kepala *dumbbell* ditambah, hal ini mengakibatkan nilai induktansi L, meningkat. Sedangkan, jika lebar slot (s) antara kedua kepala *dumbbell* ditambah, maka efek terhadap kapasitansi, C juga bertambah. Begitu juga halnya dengan panjang slot (d), ketika panjang slot ditambah, hal ini berakibat pada nilai induktansi dari sirkuit semakin bertambah[6].

Gambar.211 merupakan rangkaian ekuivalen R,L,C untuk DGS berbentuk Dumbbell, khususnya Dumbbell dengan bentuk kepala kotak (*square haead dumbbell*) [5].





### 2.11. Rangkaian R,L,C DGS bentuk *Dumbbell*[5]

Untuk mendapatkan nilai dari R, L dan C, maka dapat dilakukan perhitungan dengan menggunakan persamaan [5]:

$$C = \frac{\omega_c}{2Z_0(\omega_0 - \omega_0)} \quad (2.32)$$

$$L = \frac{\omega_c}{4\pi^2 f_0^2 C} \quad (2.33)$$

$$R = \frac{2Z_0}{\sqrt{\frac{1}{|S_{11}(\omega)|^2} - \left(2Z_0\left(\omega C - \frac{1}{\omega L}\right)\right)^2} - 1} \quad (2.34)$$

Dengan:  $f_0$  = frekwensi resonansi

$f_c$  = frekwensi *cutoff* 3dB

$\omega_0$  =  $2\pi f_0$

$\omega_c$  =  $2\pi f_c$

$\omega L$  =  $2\pi fL$

$Z_0$  = 50 Ohm

$S_{11} \omega$  =  $(Z_{in} - Z_0) / (Z_{in} + Z_0)$

# BAB 3

## PERANCANGAN

### ANTENA DAN DGS *DUMBBELL*

#### 3.1 UMUM

Pada penelitian ini akan dirancang sebuah antena mikrostrip *2 element tripleband* untuk aplikasi *WiMAX* dengan *Slot DGS* yang diterapkan pada bidang *ground* untuk melihat efek dari penambahan slot DGS tersebut terhadap parameter antena. Adapun parameter yang akan di teliti adalah *return loss*, *VSWR*, Pola Radiasi dan *Gain*.

Tapan pertama dalam perancangan antena ini adalah penentuan spesifikasi substrat yang akan digunakan, penentuan dimensi substrat, perancangan antena 2 elemen tanpa DGS, penentuan bentuk *slot DGS*, penentuan ukuran awal *slot DGS dumbbell*, penentuan karakteristik dari *slot DGS*, baik panjang *slot*, lebar *slot*, luas kepala *dumbbell* dan jarak antara masing-masing *slot dumbbell*, posisi dari *slot DGS* pada bidang *ground* dan jumlah *slot DGS* yang optimal.

#### 3.2 PERLENGKAPAN YANG DIGUNAKAN

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari perangkat keras dan perangkat lunak. Peralatan tersebut digunakan untuk berbagai keperluan dalam proses simulasi, perhitungan, merancang gambar antena, dan proses pengukuran hasil pabrikan. Perangkat keras yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

1. *Personal Computer* (PC) untuk melakukan simulasi dengan perangkat lunak *Microwave Office 2004 V.6.51*.
2. *Network Analyzer Hewlett Packard 8753E* (30 kHz - 6 GHz)

Alat ini dapat digunakan untuk pengukuran *port* tunggal dan *port* ganda. Pengukuran *port* tunggal meliputi pengukuran *VSWR*, frekuensi resonansi, impedansi masukan, *return loss*, dan *bandwidth*, sedangkan pengukuran *port* ganda meliputi pengukuran pola radiasi dan *gain*. Alat ini dapat digunakan untuk pengukuran *port* ganda karena mempunyai 2 *port* (satu untuk pengirim dan satu untuk penerima) dan mempunyai *sweeper* internal yang dapat membangkitkan gelombang dengan frekuensi 30 kHz – 6 GHz.

3. *Connector SMA 50*
4. *Kabel Coaxial 50 ohm*
5. *substrat Taconic TLY-5-0600-CI/CI, solder, dan timah.*

Sedangkan perangkat lunak yang digunakan meliputi :

1. *PCAAD 3.0*

*PCAAD 3.0* digunakan untuk menentukan impedansi karakteristik dan lebar saluran dari saluran mikrostrip.

2. *Microwave Office 2004 V.6.51*

Program ini sangat bermanfaat dalam perancangan. Dengan program ini, dapat disimulasikan desain antena mikrostrip yang digunakan dan dapat dilihat parameter hasilnya seperti impedansi input, *VSWR*, *return loss*, *Axial ratio*, pola radiasi dan frekuensi kerja.

3. *Microsoft Excel 2003*

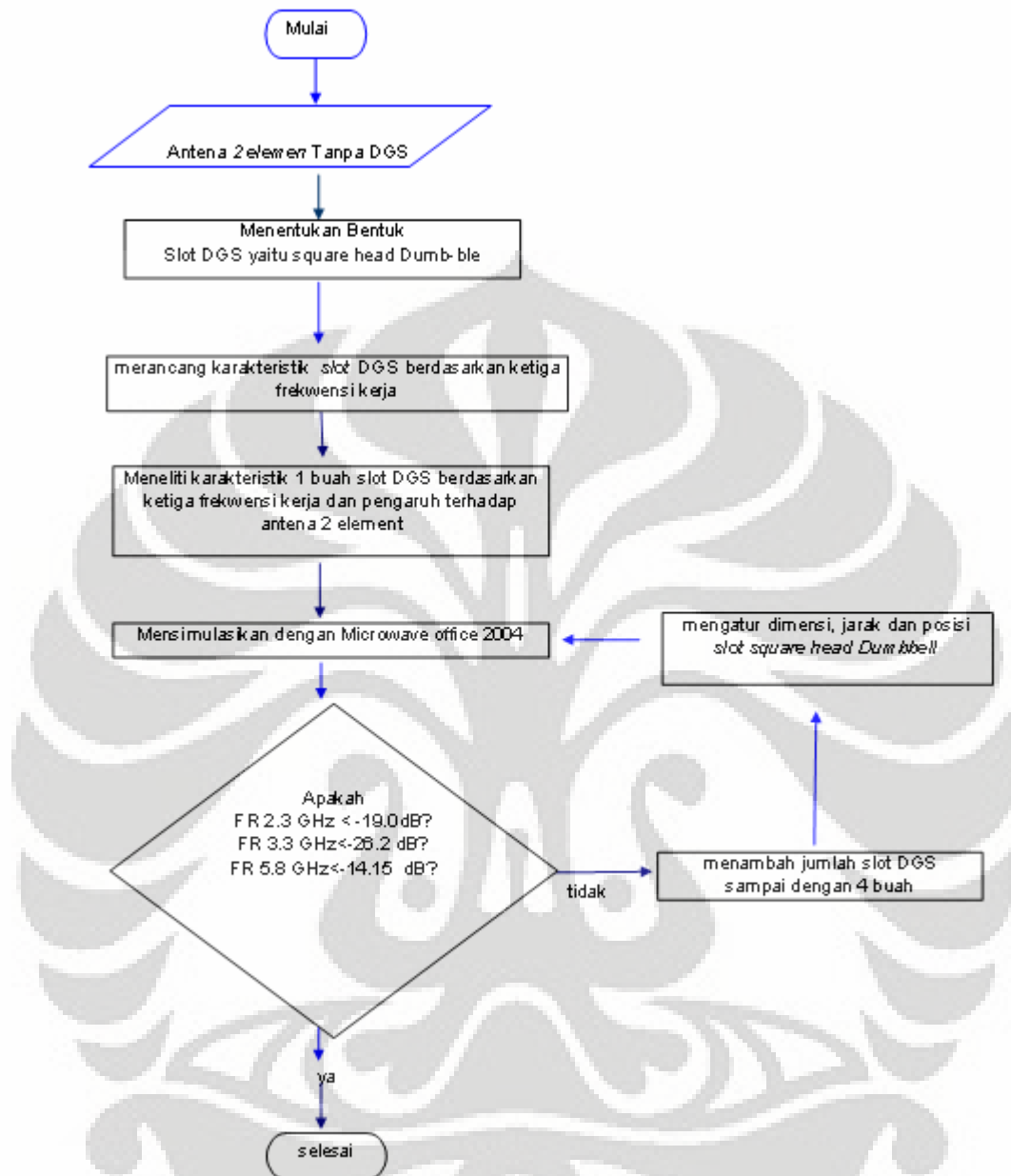
Perangkat lunak ini digunakan untuk mengolah data hasil simulasi dan pengukuran.

4. *Microsoft Visio 2003*

Program ini digunakan untuk melakukan visualisasi desain perancangan dan juga berbagai macam visualisasi yang digunakan dalam penelitian ini.

### **DIAGRAM ALIR PERANCANGAN ANTENA**

Dalam merancang antena diperlukan tahapan-tahapan untuk membantu proses perancangan. Gambar 3.1 merupakan gambar diagram alir (*flowchart*) dari perancangan antena pada penelitian ini.



**Gambar 3.1 Diagram alir perancangan antena 2 elemen dengan slot DGS**

Berikut adalah langkah-langkah perancangannya:

1. Menentukan Antena 2 elemen *tripleband* tanpa DGS yang bekerja pada frekuensi 2.3GHz, 3.3 GHz dan 5.8 GHz sebagai antena yang akan diteliti, dengan menggunakan substrat TLY-5-0600-C1/C1, yang memiliki konstanta dielektrik sebesar 2.2 dan ketebalan 0.061 inch (1.52 mm),
2. Untuk merancang antena 2 elemen *tripleband* dengan tambahan slot DGS, hal

pertama yang dilakukan adalah menentukan terlebih dahulu bentuk *slot* DGS yang akan diteliti, dalam penelitian ini adalah *slot* DGS *square Head Dumbbell*.

3. Setelah bentuknya ditentukan, berikutnya adalah perancangan ukuran dari bentuk tersebut, dimana sebagai acuan awal menggunakan rumus *patch* segi empat yang berdasarkan kepada ketiga frekuensi kerja antenna.
4. Setelah itu dilakukan simulasi dengan menggunakan AWR *Microwave Office* 2004 untuk mengetahui karakteristik antenna, yaitu nilai *return loss*. Proses ini dilakukan dengan melakukan iterasi terhadap perubahan jumlah *slot* DGS, karakteristik *slot* DGS, serta penempatan atau posisi *slot* DGS. Langkah ini berakhir ketika nilai *return loss* antenna 2 elemen *tripleband* dengan *slot* DGS lebih baik daripada antenna 2 elemen *tripleband* tanpa *slot* DGS.

### 3.4 PERANCANGAN ANTENA 2 ELEMEN TRIPLEBAND

Sebelum merancang *slot* DGS pada antenna 2 elemen *tripleband*, perlu diketahui rancangan antenna tanpa DGS terlebih dahulu. Tabel 3.1 merupakan tabel spesifikasi substrat referensi dan tabel 3.2 merupakan tabel karakteristik saluran catu antenna 2 elemen *tripleband*.

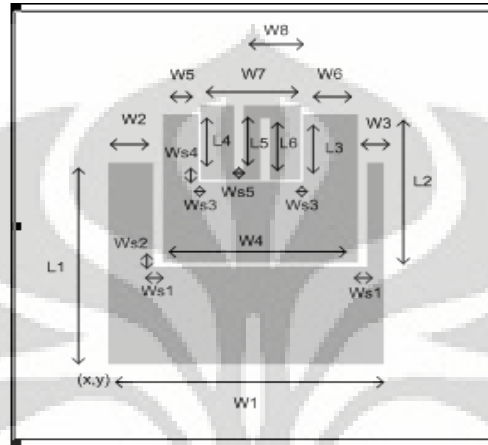
**Tabel 3.1 Spesifikasi Substrat yang Digunakan**

Jenis Substrat	Taconic TLY-5-0600-CI/CI
Konstanta Dielektrik Relatif ( $\epsilon_r$ )	2.2
Ketebalan Substrat (h)	1.52 mm
Rugi Tangensial ( $\tan \delta$ )	0.0009
Tebal Elemen Penghantar	0.0001 mm
Konduktivitas Bahan	$5.8 \times 10^7$ (copper)

**Tabel 3.2 Karakteristik saluran catu antenna referensi.**

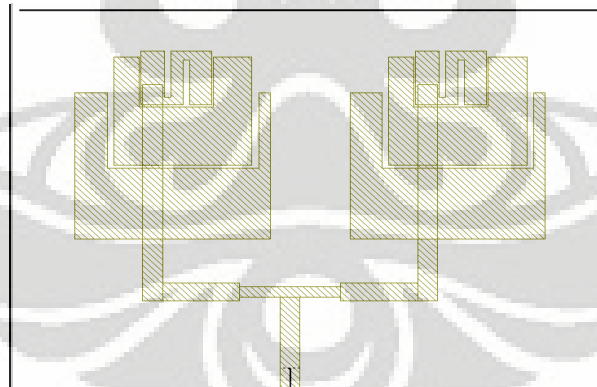
Parameter	Spesifikasi	Spesifikasi
Lebar saluran	2.68 mm	4.68 mm
Permitivitas efektif	1.9197	1.9197
Impedansi saluran	70,7Ohm	50 Ohm

*Patch* antenna 2 element *tripleband* terdiri dari dua elemen antenna yang masing-masing elemen terdiri dari tiga *patch* yang bekerja pada frekuensi yang berbeda-beda yang disusun pada satu lapisan. Sedangkan teknik pencatuan yang digunakan pada perancangan antenna ini adalah teknik *electromagnetically coupled*.



**Gambar 3.2 Desain patch antenna tripleband single elemen[16]**

Gambar 3.2 merupakan desain antenna *single* elemen *tripleband*, sedangkan gambar 3.3 merupakan rancangan antenna 2 elemen *tripleband* beserta pencatunya. Pada saat pabrikan, bagian yang berwarna putih merupakan bagian yang di-*etching*.



**Gambar 3.3 Desain antenna 2 elemen tripleband**

### 3.5 PERANCANGAN SLOT DGS

Perancangan *slot* DGS dimulai dengan menentukan dimensi yang akan didesain. Pada penelitian ini dirancang *slot* DGS berbentuk *dumbbell*, dan bentuk kepala *dumbbell* adalah *square*. Setelah ditentukan bentuk *slot* DGS yang akan di buat, maka langkah

berikutnya menentukan dimensi bentuk tersebut, yaitu luas kepala *dumbbell*, lebar *slot*, panjang *slot*, jarak antar masing-masing *slot dumbbell*, juga letak keempat *dumbbell* DGS untuk mendapatkan karakteristik DGS yang optimal.

Awalnya digunakan pendekatan luasan *patch* antenna segi empat untuk menentukan ukuran *slot* DGS, yang disesuaikan dengan frekuensi kerja antenanya, yaitu menggunakan rumus-rumus berikut:

Frekuensi resonansi dirumuskan dengan:

$$f_{mn} = \frac{c}{2\sqrt{\epsilon_e}} \left[ \left( \frac{m}{L_{eff}} \right)^2 + \left( \frac{n}{W} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2.18)$$

Efek medan tepi pada elemen peradiasi:

$$\Delta L = 0.412h \frac{(\epsilon_e + 0.3) \left( \frac{W}{h} + 0.264 \right)}{(\epsilon_e - 0.258) \left( \frac{W}{h} + 0.8 \right)} \quad (2.19)$$

Panjang elemen peradiasi efektif:

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

atau

$$L_{eff} = \frac{c}{2f_{10}\sqrt{\epsilon_e}} \quad (2.21)$$

Lebar elemen Peradiasi:

$$W = \frac{c}{2f_o \sqrt{\frac{(\epsilon_r + 1)}{2}}} \quad (2.22)$$

Nilai konstanta dielektrik efektif :

$$\varepsilon_e = \frac{\varepsilon_r + 1}{2} + \frac{\varepsilon_r - 1}{2} \left( \frac{1}{\sqrt{1 + 12h/W}} \right) \quad (2.23)$$

Dimensi dari *slot* DGS berbentuk *Dumbbell* ditentukan dengan menggunakan persamaan diatas, sehingga didapatkan ukuran yang berbeda untuk ketiga frekuensi kerjanya.

Untuk Frekwensi kerja 2.3 GHz,

$$W=L = \frac{3 \times 10^8}{\frac{2(2.3 \times 10^9) \sqrt{(2.2+1)}}{2}} = \frac{3 \cdot 10^8}{(4.6 \times 10^9)(1.26)} = 0.051 \text{ m} = 51 \text{ mm}$$

Maka Luas patch awalnya adalah 2601 mm<sup>2</sup>

Untuk Frekwensi kerja 3.3 GHz,

$$W=L = \frac{3 \times 10^8}{\frac{2(3.3 \times 10^9) \sqrt{(2.2+1)}}{2}} = \frac{3 \cdot 10^8}{(6.6 \times 10^9)(1.26)} = 0.036 \text{ m} = 36 \text{ mm}$$

Maka Luas patch awalnya adalah 1296 mm<sup>2</sup>

Untuk Frekwensi kerja 5.8 GHz,

$$W=L = \frac{3 \times 10^8}{\frac{2(5.8 \times 10^9) \sqrt{(2.2+1)}}{2}} = \frac{3 \cdot 10^8}{(11.6 \times 10^9)(1.26)} = 0.02052 \text{ m} = 20 \text{ mm}$$

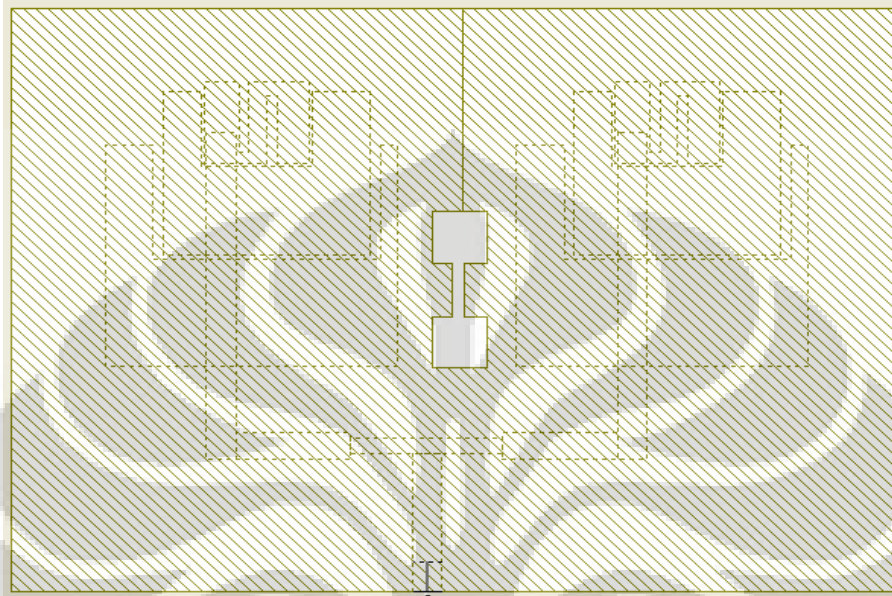
Maka Luas patch awalnya adalah 401 mm<sup>2</sup>

Setelah dihitung, maka diperoleh Luas total dari *slot dumbbell* pada frekuensi 2.3 GHz adalah 2601mm<sup>2</sup>, dengan pembulatan menjadi 2600mm<sup>2</sup>. Untuk Luas total dari *slot dumbbell* pada frekuensi 3.3 GHz adalah 1296mm<sup>2</sup>, dengan pembulatan menjadi 1300mm<sup>2</sup>. Sedangkan untuk Luas total dari *slot dumbbell* pada frekuensi 5.8 GHz adalah 401mm<sup>2</sup>, dengan pembulatan menjadi 400 mm<sup>2</sup>.

Setelah mendapatkan acuan ukuran diatas sebagai tahap awal, langkah berikutnya



yaitu memodifikasi ukuran tersebut ke bentuk 1 buah *dumbbell*. Ada pun bentuk dan letak *slot* DGS 1 buah *dumbbell* tersebut dapat dilihat pada gambar berikut 3.4:



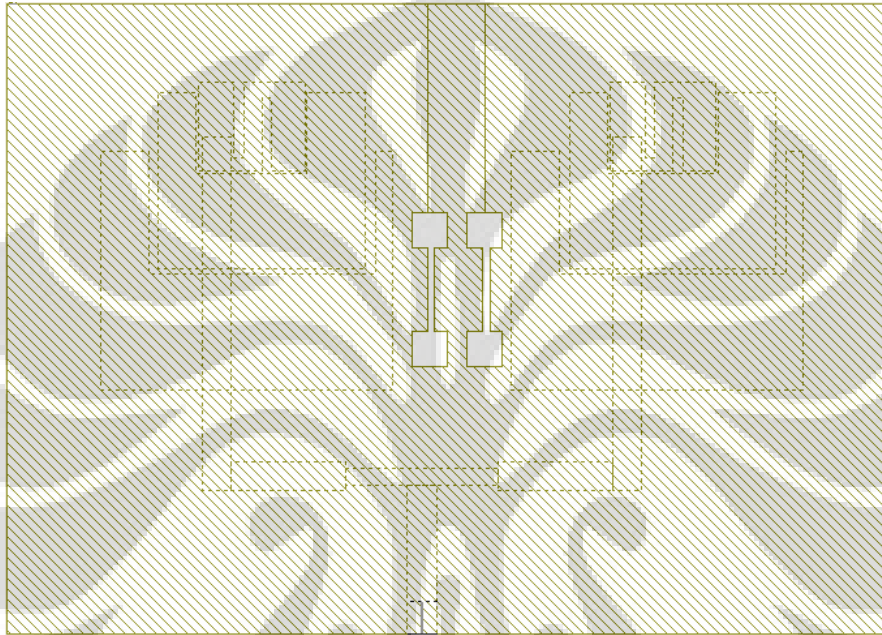
Gambar 3.4 Bentuk 1 buah *dumbbell* Luas  $40 \text{ mm}^2$

Setelah didapat ukuran untuk 1 buah slot untuk ketiga frekuensi kerja, selanjutnya adalah melakukan simulasi dengan menggunakan *Microwave Office 6.51*. Selama proses iterasi, dilakukan berbagai perubahan ukuran pada setiap dumbbell, baik ukuran Luas kepala *dumbbell*, panjang *slot*, lebar *slot* dan posisi *slot*. Namun untuk posisi atau letak penempatan slot DGS ini, posisi tetap dipertahankan berada diantara kedua element antena, sesuai dengan penelitian sebelumnya [15], bahwa posisi yang optimal untuk penempatan suatu slot DGS yaitu diantara kedua antena, hanya digeser-geser saja sedikit untuk merubah koordinat (x,y), untuk mendapatkan posisi terbaik dan nilai *Return Loss* yang optimal.

Setelah dilakukan banyak simulasi terhadap 1 buah *slot dumbbell*, dan hasil dari simulasi tersebut terdapat pada lampiran A, ternyata masih belum menampakkan hasil *Return Loss* yang diharapkan, maka langkah selanjutnya adalah melakukan beberapa simulasi lagi dengan menambah jumlah *slot dumbbell* menjadi 2 buah *dumbbell*. Dengan dirubahnya jumlah slot DGS menjadi 2, maka ukuran setiap slot menjadi berubah, yaitu

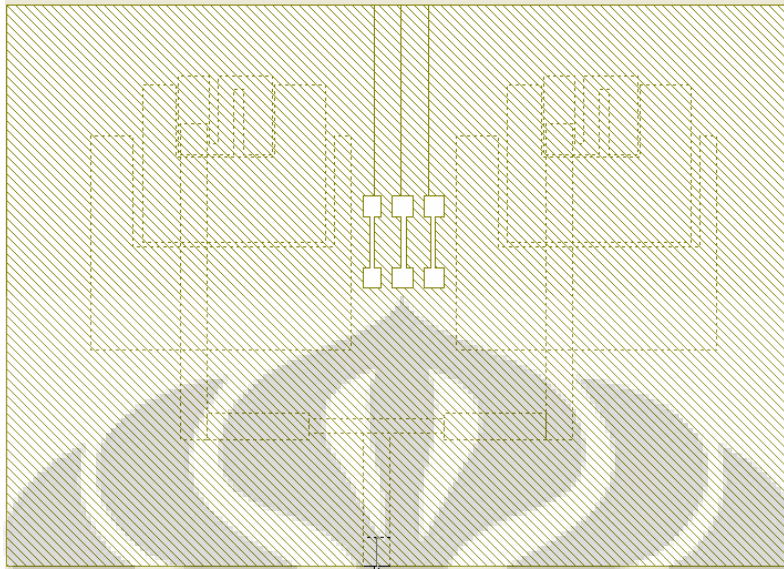
berturut-turut menjadi  $1300 \text{ mm}^2$ ,  $650 \text{ mm}^2$  dan  $200 \text{ mm}^2$  untuk frekuensi 2.3 GHz, 3.3 GHz dan 5.8 GHz. Selama proses iterasi ini pun, dilakukan berbagai perubahan ukuran pada setiap *dumbbell*, baik ukuran Luas kepala *dumbbell*, panjang *slot*, lebar *slot*, posisi *slot* dan jarak antara kedua *slot* pun di rubah-rubah.

Ada pun bentuk dan letak *slot* DGS 2 buah *dumbbell* tersebut dapat dilihat pada gambar 3.5:



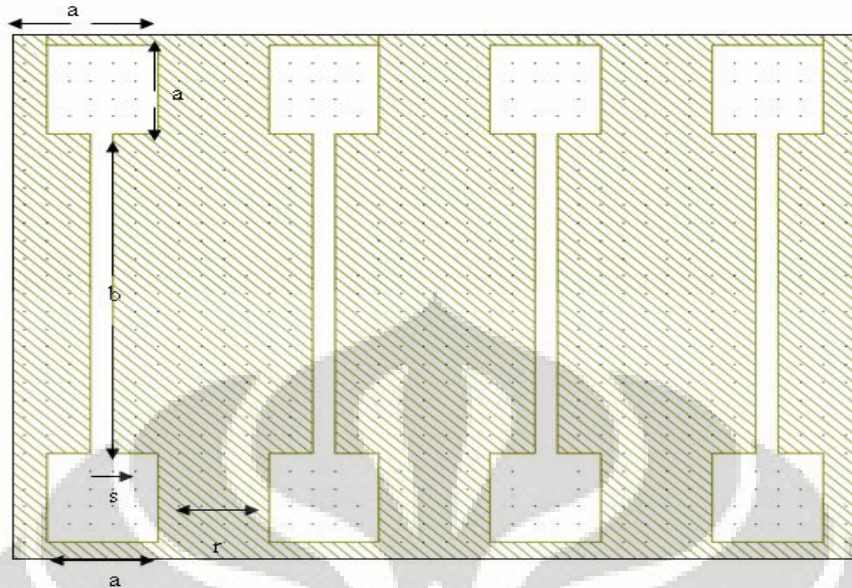
Gambar 3.5 Bentuk 2 buah *dumbbell* Luas total  $40 \text{ mm}^2$

Setelah dilakukan banyak simulasi terhadap 2 buah *slot dumbbell*, dan hasil dari simulasi tersebut terdapat pada lampiran B, ternyata masih juga belum menampakan hasil *Return Loss* yang diharapkan, maka langkah selanjutnya adalah melakukan beberapa simulasi lagi dengan menambah jumlah *slot dumbbell* menjadi 3 buah *dumbbell*. Ukuran setiap *dumbbell* pun berubah, yaitu menjadi  $860 \text{ mm}^2$ ,  $440 \text{ mm}^2$  dan  $130 \text{ mm}^2$  untuk frekuensi 2.3 GHz, 3.3 GHz dan 5.8 GHz. Selama proses iterasi ini pun, dilakukan berbagai perubahan ukuran pada setiap *dumbbell*, baik ukuran Luas kepala *dumbbell*, panjang *slot*, lebar *slot*, posisi *slot* dan jarak antara kedua *slot* pun di rubah-rubah. Ada pun bentuk dan letak *slot* DGS 3 buah *dumbbell* tersebut dapat dilihat pada gambar 3.6:



**Gambar 3.6 Bentuk 3 buah *dumbbell* Luas total 40 mm<sup>2</sup>**

Setelah dilakukan sekian banyak simulasi terhadap 3 buah *slot dumbbell*, dan hasil dari simulasi tersebut terdapat pada lampiran C, ternyata masih juga belum menampilkan hasil *Return Loss* yang diharapkan, maka langkah selanjutnya adalah melakukan beberapa simulasi lagi dengan menambah jumlah *slot dumbbell* menjadi 4 buah *dumbbell*. Ukuran setiap *dumbbell* pun berubah, yaitu menjadi 650 mm<sup>2</sup>, 325 mm<sup>2</sup> dan 100 mm<sup>2</sup>, untuk frekuensi 2.3 GHz, 3.3 GHz dan 5.8 GHz. Selama proses iterasi inipun, dilakukan berbagai perubahan ukuran pada setiap *dumbbell*, baik ukuran Luas kepala *dumbbell*, panjang *slot*, lebar *slot* dan posisi *slot*. Selain itu jarak antara kedua *slot* pun di rubah-rubah. Untuk hasilnya, dapat dilihat pada Gambar 3.7:



Gambar 3.7 Bentuk 4 buah *dumbbell*

Keterangan Gambar 3.7 adalah:

a, adalah panjang dan lebar kepala *dumbbell*,

b, adalah panjang *slot dumbbell*,

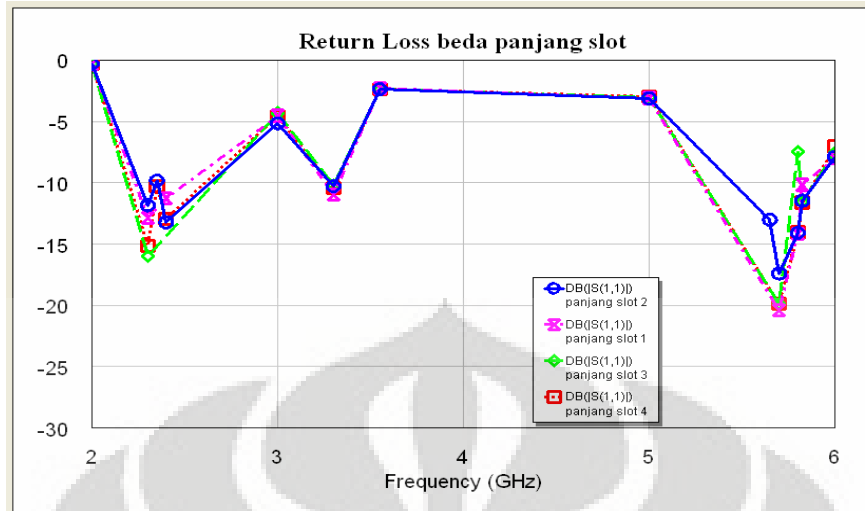
d, adalah jarak antara kepala *dumbbell*,

s, adalah lebar *slot dumbbell*

Perubahan dari setiap karakteristik DGS terhadap *return loss* dicatat hasilnya, kemudian dilakukan analisis untuk menentukan karakteristik dan posisi dari slot DGS yang optimal terhadap nilai *return loss*-nya. Berikut adalah data terbaik untuk masing-masing perbedaan karakteristik khusus pada *slot DGS* 4 buah *dumbbell* dengan Luas total 400 mm<sup>2</sup> terhadap nilai *return loss* pada ketiga frekuensi kerja antenna 2 elemen *tripleband* :

Tabel 3.3 Karakteristik Slot DGS 4 *dumbbell* Variasi panjang slot *dumbbell*

Panjang slot Dumbbell (mm)	Return Loss Pada Frekwensi 2.3 GHz (dB)	Return Loss Pada Frekwensi 3.3 GHz (dB)	Return Loss Pada Frekwensi 5.825 GHz (dB)
5.6	-15.97	-10.224	-11.590
7.2	-16.134	-12.248	-11.272
10.4	-15.151	-10.422	-11.612
12	-11.839	-10.291	-11.463

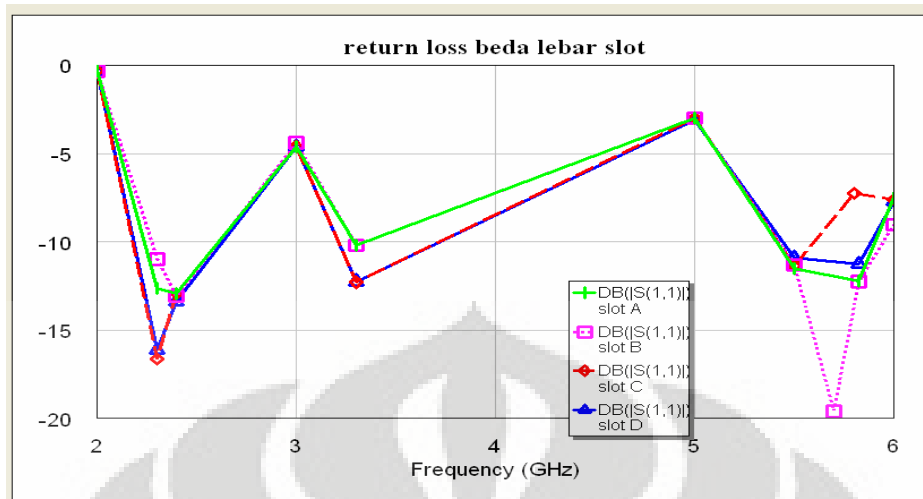


**Gambar 3.8 grafik Return Loss Slot DGS beda panjang Slot**

Tabel 3.3 adalah tabel untuk melihat pengaruh dari panjang *slot dumbbell* terhadap nilai *return loss* pada ketiga frekuensi kerja antenna *tripleband WiMAX* yang merupakan hasil dari simulasi pada MWO 2004. Adapun panjang *slot* pada masing-masing *dumbbell* tersebut berbeda yaitu 5.6 mm, 7.2 mm, 10.4 mm dan 12 mm. Namun karakteristik DGS yang lain adalah sama yaitu Luas kepala *dumbbell* 4 mm<sup>2</sup>, lebar *slot* 0.4 mm, jarak antara masing-masing *dumbbell* 2 mm dan posisi *dumbbell* adalah sama (63.6, 33.6).

**Tabel 3.4 Karakteristik Slot DGS 4 Dumbbell Variasi lebar slot Dumble**

lebar slot Dumbbell (mm)	Return Loss Pada Frekwensi 2.3 GHz (dB)	Return Loss Pada Frekwensi 3.3 GHz (dB)	Return Loss Pada Frekwensi 5.825 GHz (dB)
0.4	-16.134	-12.248	-11.272
0.8	-10.976	-10.191	-12.246
1.2	-16.617	-12.293	-7.2429
1.6	-12.613	-10.186	-12.237

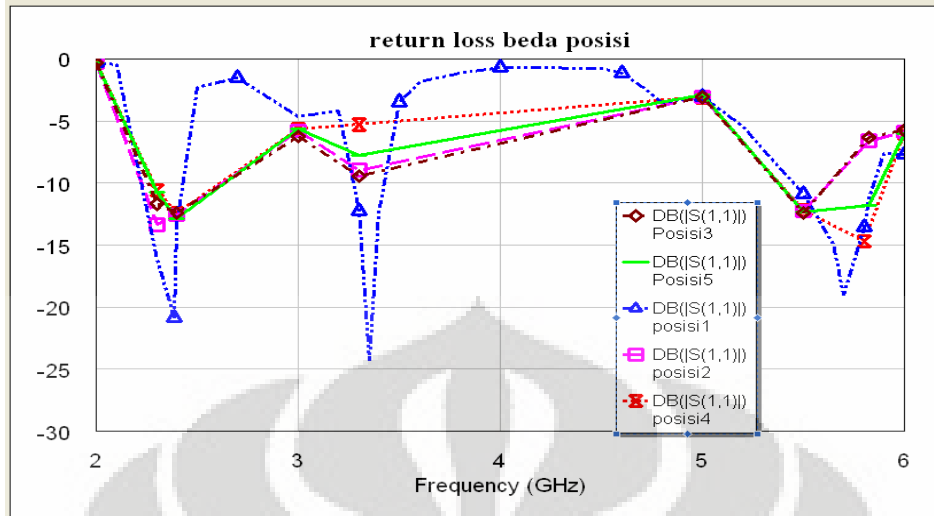


Gambar 3.9 grafik Retun Loss Slot DGS beda lebar Slot

Tabel 3.4 adalah tabel untuk melihat pengaruh dari lebar slot *dumbbell* terhadap nilai *return loss* pada setiap frekuensi kerja antenna *tripleband WiMAX* yang merupakan hasil dari simulasi pada MWO 2004., dengan lebar pada masing-masing *dumbbell* berbeda yaitu 0.4 mm, 0.8 mm, 1.2 mm dan 1.6 mm. Namun karakteristik DGS yang lain adalah sama yaitu Luas kepala *dumbbell* 4 mm<sup>2</sup>, panjang slot 7.2 mm, jarak antara masing-masing *dumbbell* 2 mm dan posisi *dumbbell* adalah sama (63.6 , 33.6).

Tabel 3.5 Karakteristik Slot DGS 4 Dumbbell Variasi Posisi slot *dumbbell*

Posisi Dumbbell (x,y)	Return Loss Pada Frekwensi 2.3 GHz (dB)	Return Loss Pada Frekwensi 3.3 GHz (dB)	Return Loss Pada Frekwensi 5.825 GHz (dB)
(63.6 , 33.6)	-16.134	-12.248	-11.272
(56 , 60 )	-13.36	-8.947	-6.5949
(72, 90)	-11.685	-9.4581	-6.3535
(90.90 )	-10.607	-9.4581	-6.3636
(40.50 )	-10.74	-7.8045	-11.808

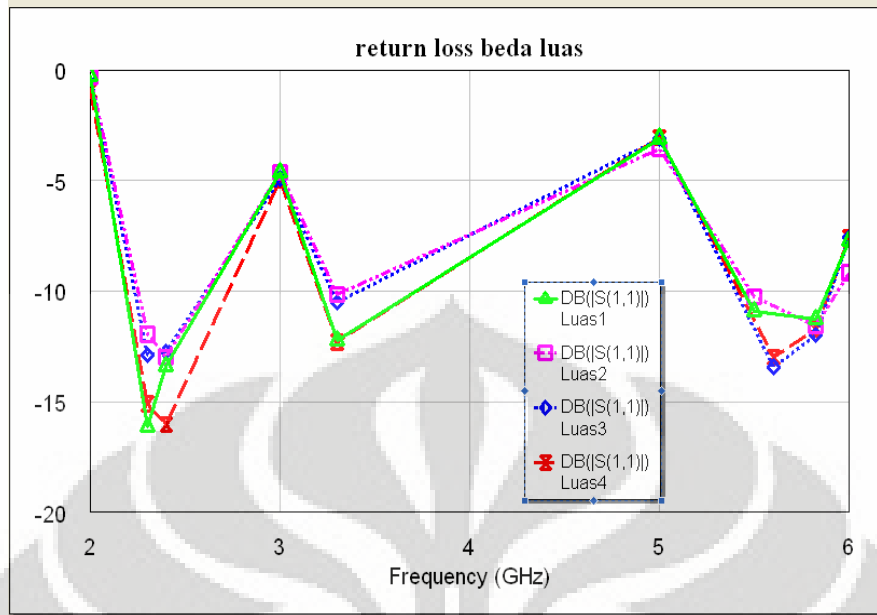


**Gambar 3.10 grafik Retun Loss beda posisi Slot**

Tabel 3.5 adalah tabel untuk melihat pengaruh dari posisi *slot dumbbell* terhadap nilai *return loss* pada setiap frekuensi kerja antenna *tripleband WiMAX* yang merupakan hasil dari simulasi pada MWO 2004., dengan posisi masing-masing *dumbbell* berbeda yaitu pada koordinat (63.6 , 33.6), (5.6 ,6.0 ) , (5.2 , 84) , (123, 23 ) dan (124 , 84 ). Namun karakteristik DGS yang lain adalah sama yaitu Luas kepala *dumbbell* 4 mm<sup>2</sup>, panjang slot 7.2 mm, lebar slot DGS yaitu 0.4 mm dan jarak antara masing-masing *dumbbell* 2 mm .

**Tabel 3.5 Karakteristik Slot DGS 4 Dumbell Variasi Luas Kepala slot dumbbell**

Luas Kepala Dumbbell (mm <sup>2</sup> )	Return Loss Pada Frekwensi 2.3 GHz (dB)	Return Loss Pada Frekwensi 3.3 GHz (dB)	Return Loss Pada Frekwensi 5.825 GHz (dB)
2.56	-15.095	-12.303	-11.715
4	-16.134	-12.248	-11.272
5.76	-11.95	-10.155	-11.587
7.84	-12.908	-10.495	-11.972



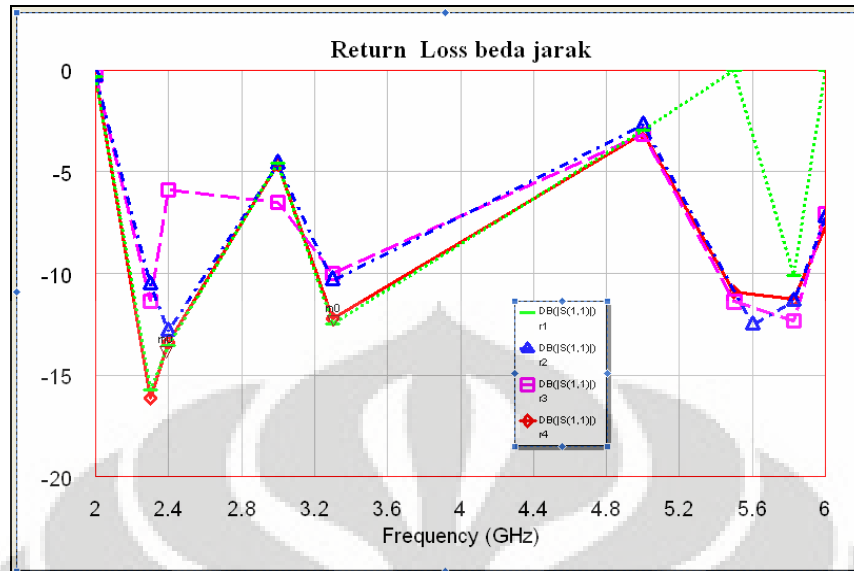
**Gambar 3.11** grafik Retun Loss Slot DGS beda Luas kepala *dumbbell*

Tabel 3.6 adalah tabel untuk melihat pengaruh dari Luas Kepala *slot dumbbell* terhadap nilai *return loss* pada setiap frekuensi kerja antenna *tripleband WiMAX* yang merupakan hasil dari simulasi pada MWO 2004., dengan Luas masing-masing kepala *dumbbell* berbeda yaitu  $2.56 \text{ mm}^2$ ,  $4 \text{ mm}^2$ ,  $5,76 \text{ mm}^2$  dan  $7.84 \text{ mm}^2$ . Namun karakteristik DGS yang lain adalah sama yaitu posisi keempat *dumbbell* yaitu pada koordinat (63.6 , 33.6), panjang *slot* 7.2 mm, lebar *slot* DGS yaitu 0.4 mm dan jarak antara masing-masing *dumbbell* 2 mm.

**Tabel 3.7** Karakterisitk Slot DGS 4 Dumbell Variasi jarak antara *slot dumbbell*

Jarak antara Dumbbell (mm)	Return Loss Pada Frekwensi 2.3 GHz (dB)	Return Loss Pada Frekwensi 3.3 GHz (dB)	Return Loss Pada Frekwensi 5.825 GHz (dB)
2	-16.134	-12.248	-11.272
0.4	-15.734	-12.462	-10.112
0.8	-10.599	-10.331	-11.363
1.2	-11.362	-10.001	-12.233





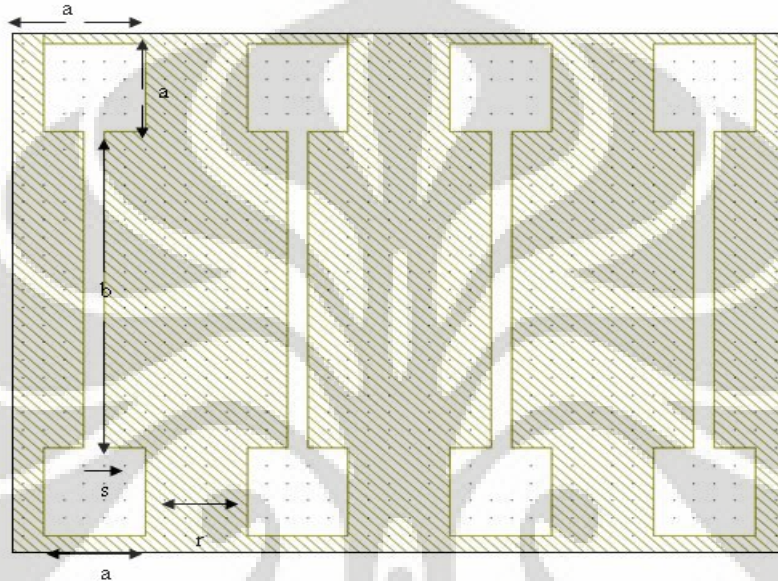
**Gambar 3.12** grafik Return Loss Slot DGS beda jarak antar Slot

Tabel 3.7 adalah tabel untuk melihat pengaruh dari jarak antara masing-masing slot dumbbell terhadap nilai return loss pada setiap frekuensi kerja antenna tripleband WiMAX yang merupakan hasil dari simulasi pada MWO 2004, dengan jarak antara masing-masing dumbbell berbeda yaitu 0.4, mm, 0.8 mm, 1.2 mm dan 2 mm. Namun karakteristik DGS yang lain adalah sama yaitu Luas kepala dumbbell  $4 \text{ mm}^2$ , panjang slot 7.2 mm, lebar slot DGS yaitu 0.4 mm dan posisi keempat dumbbell yaitu pada koordinat (63.6 , 33.6).

Setelah mempelajari hasil simulasi pada kelima tabel diatas, dapat diambil beberapa kesimpulan, yaitu:

1. Nilai Return Loss terbaik pada ketiga frekuensi kerja antenna terjadi ketika panjang slot DGS adalah 7.2 mm.
2. Nilai Return Loss terbaik pada ketiga frekuensi kerja antenna terjadi ketika lebar slot DGS adalah 0.4 mm.
3. Nilai Return Loss terbaik pada ketiga frekuensi kerja antenna terjadi ketika letak atau posisi slot DGS adalah pada koordinat (63.6 , 33.6).
4. Nilai Return Loss terbaik pada ketiga frekuensi kerja antenna terjadi ketika Luas kepala slot Dumbbell DGS adalah  $4 \text{ mm}^2$ .
5. Nilai Return Loss terbaik pada ketiga frekuensi kerja antenna terjadi ketika jarak antara masing-masing slot Dumbbell DGS adalah 2 mm.

Berdasarkan kelima hal pada kesimpulan diatas, maka dapat diambil karakteristik dari *Slot DGS* yang dapat menghasilkan nilai *Return Loss* yang optimal. Gambar 3.13 merupakan bentuk dan dimensi *slot DGS* yang berbentuk empat buah *dumbbell* yang menghasilkan nilai *return loss* yang paling optimum. Setelah diperoleh nilai *return loss* yang optimum, dilakukan simulasi secara keseluruhan untuk mendapatkan karakteristik antenna lainnya, seperti  $VSWR < 2$  dan nilai *mutual coupling*.



**Gambar 3.13 Slot DGS 4 buah *dumbbell***

Keterangan Gambar 3.13 adalah:

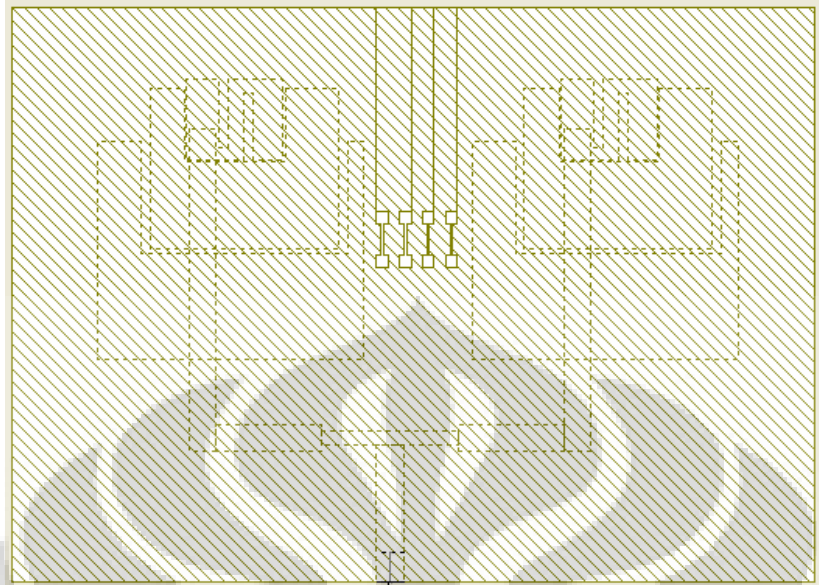
a, adalah panjang dan lebar kepala *Dumbbell* , yaitu 2mm.

b, adalah panjang *slot Dumbbell* , yaitu 7.2 mm

d, adalah jarak antara kepala *dumbbell*, yaitu 2 mm.

s, adalah lebar *slot Dumbbell*, yaitu 0.4 mm.

Untuk mengetahui posisi *slot DGS* terhadap *patch* dapat dilihat pada gambar 3.10. Keempat *Slot Dumbbell DGS* pada bidang *ground* terletak di antara 2 buah *patch* antenna. Lebih tepat lagi, sudut terluar sebelah kiri atas dari slot DGS tersebut terletak pada 63.6 mm dari batas kiri dan 33.6 mm dari batas atas. Atau pada koordinat (63.6 , 33.6).

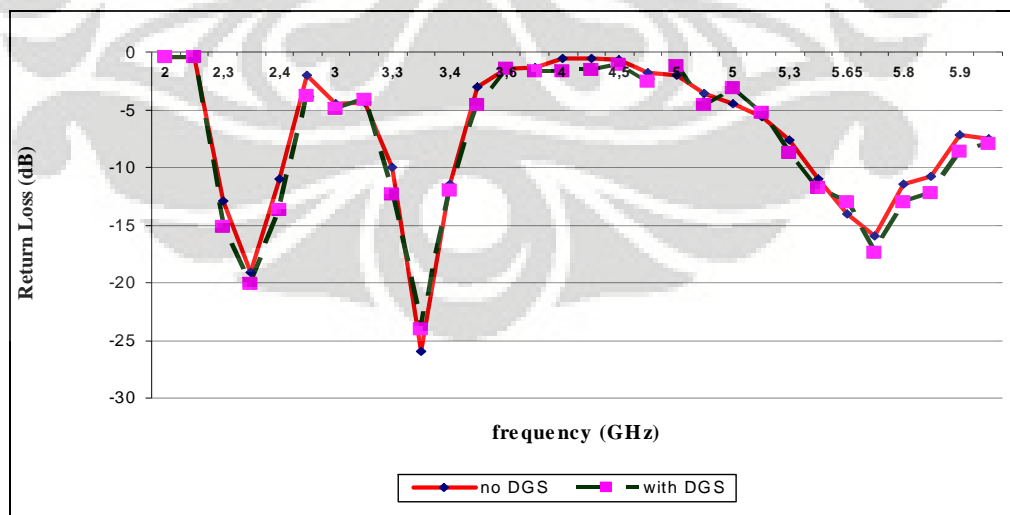


**Gambar 3.14** Posisi *slot* DGS 4 buah *dumbbell* terhadap *patch* antenna

### 3.6 HASIL SIMULASI MENGGUNAKAN AWR MICROWAVE OFFICE 2004

Setelah desain antenna selesai dibuat, maka dilakukan simulasi dengan menggunakan perangkat lunak AWR Microwave Office 2004. Parameter-parameter yang disimulasikan yaitu *return loss*, *VSWR*, *mutual coupling* dan pola radiasi.

#### 3.6.1 HASIL SIMULASI DAN ANALISIS NILAI *RETURN LOSS*



**Gambar 3.15.** Grafik *Return Loss* Terbaik

**Tabel 3.8 Perbandingan hasil simulasi Return Loss**

	Frekuensi 2,3 GHz		Frekuensi 3,3 GHz		Frekuensi 5,8 GHz	
	Antena tanpa DGS	Antena dengan DGS	Antena tanpa DGS	Antena dengan DGS	Antena tanpa DGS	Antena dengan DGS
Rentang frekuensi	2,29-2,42 GHz	2,3-2,42 GHz	3,29-3,40 GHz	3,29-3,4 GHz	5,49-6,14 GHz	5,46-6,13 GHz
Impedansi bandwidth	128,9 MHz (5,37 %)	126 MHz (5,25 %)	102 MHz (3,04 %)	104 MHz (3,10 %)	654,6 MHz (11,5 %)	667 MHz (11,7 %)
Return loss terendah	-19,0 dB	-20,134 dB	-26,2	-24,3	-14,15	-13,5
RL yang mengalami perbaikan	-19,0 dB	-20,134 dB	-10,965 dB	-12,249 dB	-10,159 dB	-11,272 dB

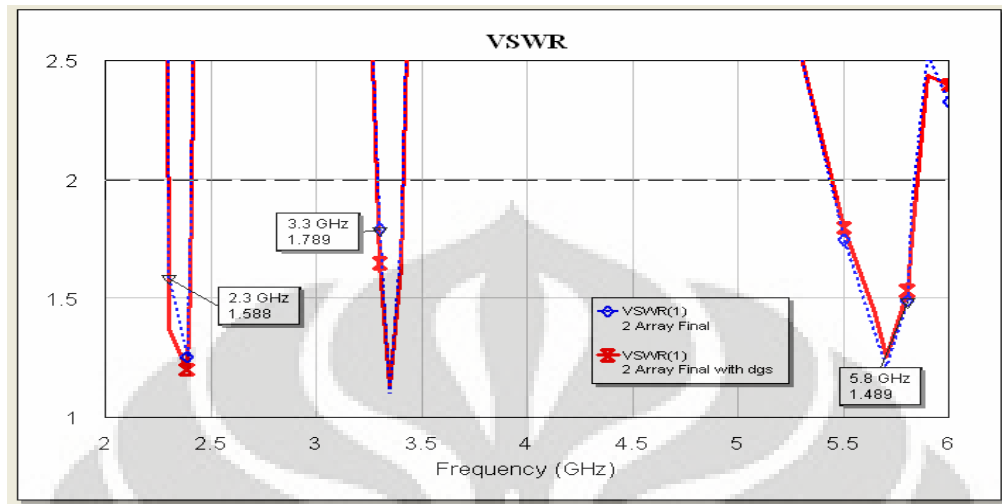
Untuk nilai *return loss* dibawah -10 dB pada Gambar 3.8 terlihat bahwa pada frekuensi kerja 2.3 GHz, nilai *return loss* antenna 2 elemen tanpa DGS adalah sebesar -12.869 dB sedangkan pada antenna 2 elemen dengan DGS menghasilkan *return loss* sebesar -16.134 dB atau dengan kata lain ada perbaikan *return loss* sebesar 3.265 dB. Pada Frekuensi kerja 3.3 GHz, nilai *return loss* antenna 2 elemen tanpa DGS adalah sebesar -10.965 dB sedangkan pada antenna 2 elemen dengan DGS menghasilkan *return loss* sebesar -12.249 dB atau dengan kata lain ada perbaikan *return loss* sebesar 1.285 dB. Pada Frekuensi kerja 5.8 GHz, nilai *return loss* antenna 2 elemen tanpa DGS adalah sebesar -10.159 dB sedangkan pada antenna dengan DGS menghasilkan *return loss* sebesar -11.272 dB atau perbaikan *return loss* sebesar 1.113 dB. Sehingga dapat dikatakan bahwa untuk ketiga frekuensi kerja antenna, nilai Return Loss mengalami perbaikan.

### 3.6.2 HASIL SIMULASI DAN ANALISIS NILAI VSWR

Parameter yang disimulasikan berikutnya yaitu *nilai VSWR* (Gambar 3.16), grafik warna pink merupakan antenna 2 elemen tanpa DGS dan grafik warna kuning merupakan antenna 2 elemen dengan DGS. Untuk lebih jelas, hasil simulasi dapat dilihat pada table 3.9.

Untuk nilai VSWR pada Gambar 3.16 terlihat bahwa pada frekuensi kerja 2.3 GHz, 3.3 GHz dan 5.8 GHz nilai VSWR antenna tanpa DGS dan antenna dengan DGS menunjukkan nilai yang hampir sama. Namun jika diperhatikan, ada perbaikan nilai

VSWR pada antenna dengan DGS dibandingkan antenna referensi.



Gambar 3.16 Grafik VSWR

Tabel 3.9 Perbandingan hasil simulasi VSWR

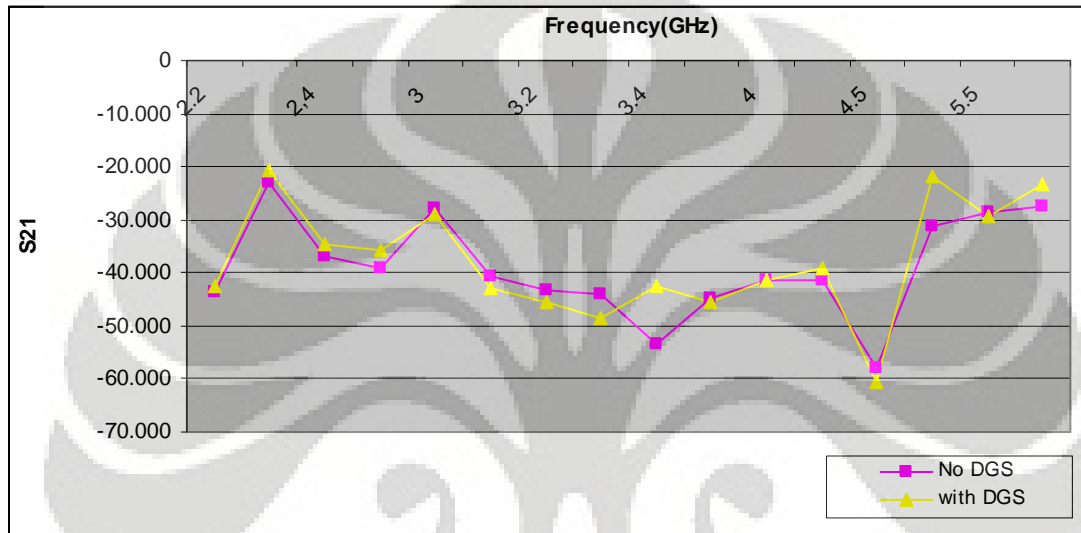
	Frekuensi 2,3 GHz		Frekuensi 3,3 GHz		Frekuensi 5,8 GHz	
	Antena tanpa DGS	Antena dengan DGS	Antena tanpa DGS	Antena dengan DGS	Antena tanpa DGS	Antena dengan DGS
Rentang frekuensi	2,29-2,42 GHz	2,3-2,42 GHz	3,29-3,40 GHz	3,29-3,4 GHz	5,49-6,14 GHz	5,46-6,13 GHz
Impedansi bandwidth	128,9 MHz (5,37 %)	126 MHz (5,25 %)	102 MHz (3,04 %)	104 MHz (3,10 %)	654,6 MHz (11,5 %)	667 MHz (11,7 %)
VSWR terendah	1,5883 dB	1,3692 dB	1,789 dB	1,6458 dB	1,9007 dB	1,7516 dB

Pada Tabel 3.9, antenna tanpa DGS memiliki nilai VSWR sebesar 1.5883 pada frekuensi kerja 2.3 GHz, sedangkan pada antenna 2 elemen dengan DGS memiliki nilai VSWR sebesar 1.3699. Untuk frekuensi kerja 3.3 GHz Antena tanpa DGS memiliki nilai VSWR sebesar 1.7895, sedangkan pada antenna dengan DGS memiliki nilai VSWR sebesar 1.6458. Untuk frekuensi kerja 5.825GHz Antena tanpa DGS memiliki nilai VSWR sebesar 1.9007, sedangkan pada antenna dengan DGS memiliki nilai VSWR sebesar 1.7516.

Sehingga dapat dikatakan bahwa untuk ketiga frekuensi kerja antenna, nilai VSWR mengalami perbaikan.

### 3.6.3 HASIL SIMULASI DAN ANALISIS NILAI *MUTUAL COUPLING*

Parameter yang disimulasikan berikutnya yaitu *nilai Mutual Coupling* (Gambar 4.3), dengan grafik warna *pink* merupakan antenna 2 elemen tanpa DGS dan grafik warna kuning merupakan antenna 2 elemen dengan DGS. Untuk lebih jelas, hasil simulasi *Mutual Coupling* dapat dilihat pada Tabel 4.3



Gambar 3.17. Grafik *mutual Coupling*

Tabel 3.10 Perbandingan hasil simulasi *Mutual Coupling*

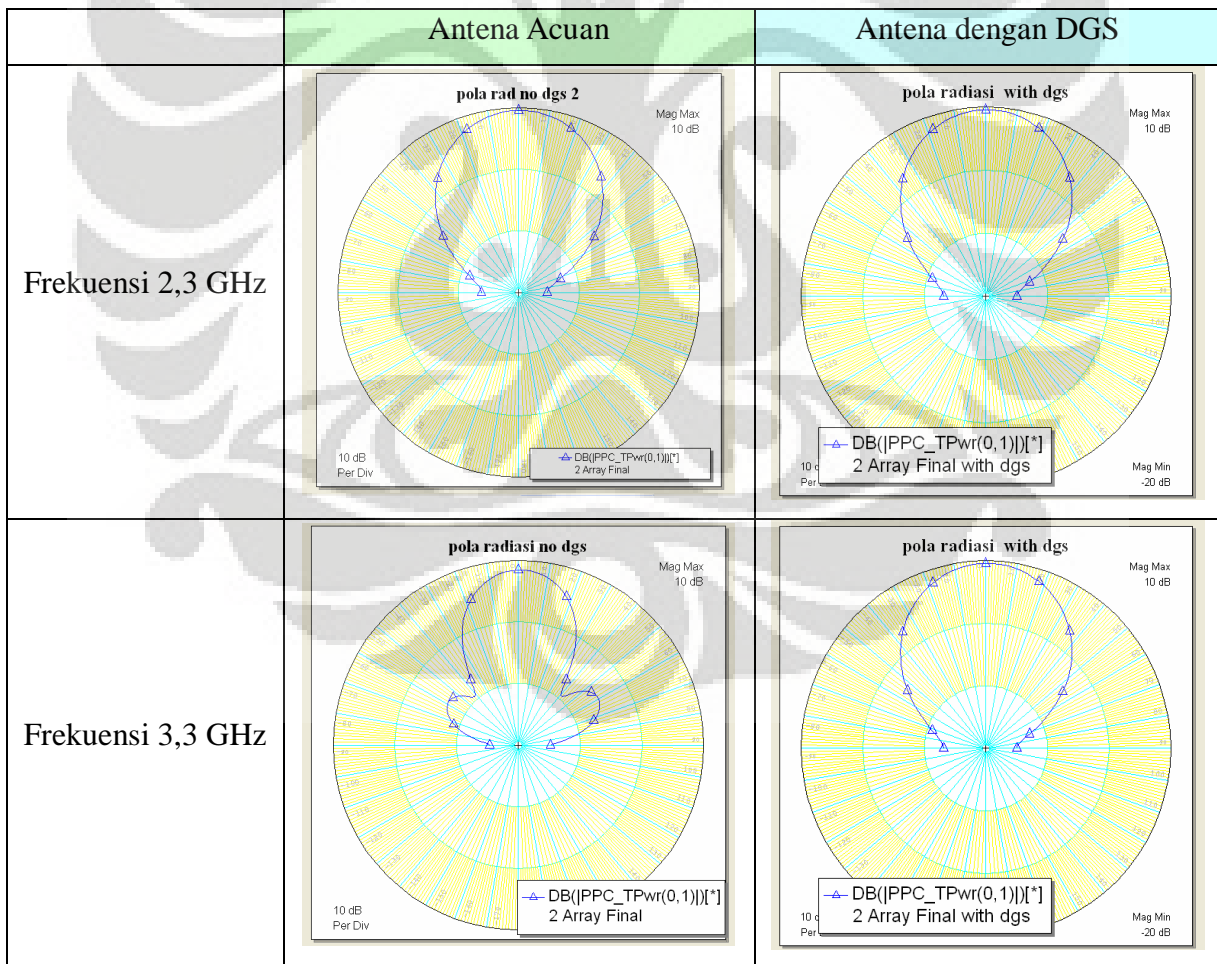
	Frekuensi 2,3 GHz		Frekuensi 3,3 GHz		Frekuensi 5,8 GHz	
	Antena tanpa DGS	Antena dengan DGS	Antena tanpa DGS	Antena dengan DGS	Antena tanpa DGS	Antena dengan DGS
S21	-22.978 dB	-20.665 dB	-43.889 dB	-48.650 dB	-28.524 dB	-30.921 dB
Penekanan S21	-2,31 dB		4,76 dB		2,4 dB	

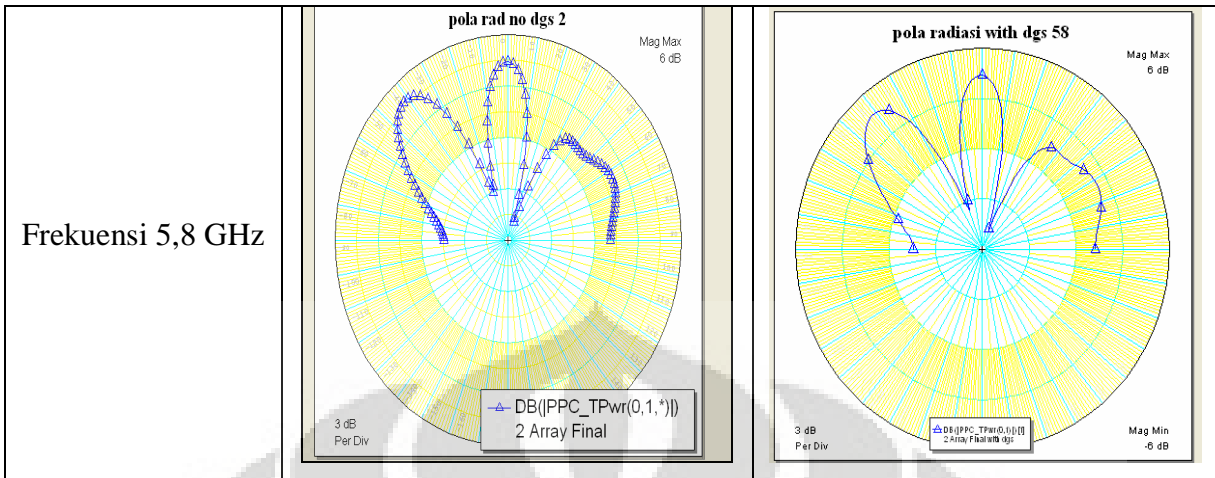
Seperti terlihat pada Gambar 3.17 bahwa terjadi perbaikan nilai *mutual coupling*, dimana besar *mutual coupling* antenna 2 elemen tanpa DGS pada frekuensi kerja 3.3 GHz adalah -43.889 dB sedangkan dengan menggunakan elemen DGS sebesar -48.650 dB. Atau perbaikan sebesar 4.751 dB pada frekuensi kerja 3.3 GHz. Untuk frekuensi kerja 5.825 GHz, antenna tanpa DGS adalah -28.524 dB sedangkan dengan menggunakan elemen DGS sebesar -30.921 dB. Pada frekuensi kerja 2.3 GHz, besar *mutual coupling*

antena 2 elemen tanpa DGS adalah -22.978 dB sedangkan dengan menggunakan *slot* DGS sebesar -20.665. Jadi dengan menggunakan elemen DGS berbentuk empat buah *slot dumbbell* pada frekuensi kerja 2.3 GHz malah mengalami penambahan nilai mutual coupling, atau memperburuk nilai mutual coupling. Salah satu penyebabnya yaitu adanya ketidaksesuaian saluran catu ketika proses simulasi untuk mendapatkan nilai *mutual coupling*. Dimana saluran catu di rubah menjadi dua *port* yang sebelumnya adalah 1 *port*. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Lampiran D.

### 3.6.4. HASIL SIMULASI DAN ANALISIS NILAI POLA RADIASI

Gambar 3.18 memperlihatkan hasil simulasi pola radiasi antenna mikrostrip tanpa DGS dan antenna mikrostrip setelah di tambah slot DGS untuk frekuensi 2,3 GHz, 3,3 GHz, dan 5,8 GHz, adalah sebagai berikut:





Gambar 3.18. Perbandingan hasil simulasi *return loss* antara antenna acuan dan antenna dengan DGS

Tabel 3.11 Magnitude pola radiasi pada sudut  $0^\circ$

Frekuensi (GHz)	Magnitude Pola Radiasi [dB] pada sudut $0^\circ$	
	Tanpa DGS	Dengan DGS
2,3	9.500	9.580
3,3	8.300	8.450
5,8	4.378	4.420



## BAB 4

### HASIL PENGUKURAN DAN ANALISIS ANTENA

#### 4.1 Pembuatan Antena

Dalam pembuatan antena terdapat aspek yang perlu diperhatikan diantaranya, pemilihan bahan, pemilihan konektor, dan ketelitian dalam pembuatan. Pemilihan bahan dan konektor dilakukan berdasarkan ketersediaan bahan dan karakteristiknya. Secara umum tahapan-tahapan pembuatan antena adalah sebagai berikut :

1. Pemilihan Bahan

Bahan yang dipilih dalam pembuatan antena ini adalah Taconic TLY-5-0600-CI/CI. Substrat ini mempunyai nilai permitivitas relatif sebesar 2,2 dan ketebalan 1.52 mm. Data yang lebih detail lagi mengenai karakteristik substrat ini dapat dilihat pada Bab3 pada Tabel spesifikasi substrat.

2. Pemilihan Konektor

Jenis konektor yang digunakan dalam pembuatan antena yaitu konektor SMA. Jumlah konektor yang dibutuhkan 2 buah.

3. Pabrikasi antena

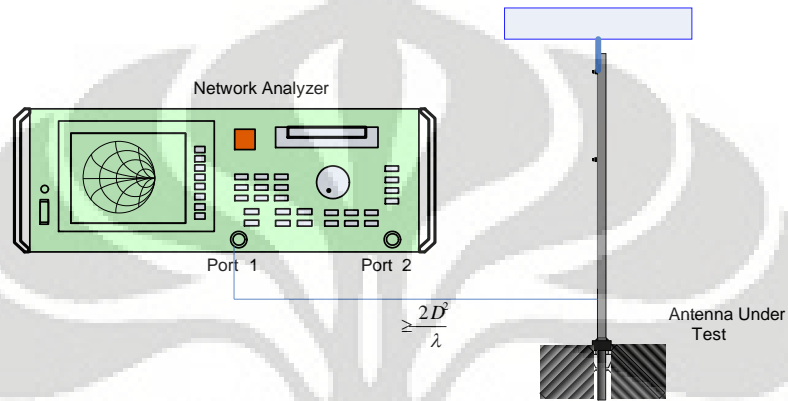
Pencetakan antena dilakukan di **Multi Karya** yang terletak di Jl. Jakarta NO. 49/D3.

#### 4.2 HASIL PENGUKURAN ANTENA

Satelah antena yang telah dirancang di pabrikasi maka langkah selanjutnya yang dilakukan adalah mengukur antena tersebut. Proses pengukuran antena ini dilakukan pada ruangan *Anechoic Chamber* yang berada pada Departemen Elektro FTUI. Ruangan ini mampu menyerap gelombang elektromagnetik sehingga mengurangi pantulan dan interferensi gelombang lain. Hal ini berguna agar tingkat keakuratan hasil pengukuran menjadi lebih presisi. Adapun pengukuran yang dilakukan untuk mengetahui parameter-parameter dari antena yang telah dirancang dan dipabrikasi pada Penelitian ini adalah pengukuran port tunggal, pengukuran pola radiasi, dan pengukuran gain.

### 4.2.1 Pengukuran Port Tunggal

Pada proses pengukuran port tunggal ini, parameter-parameter dari antenna yang dapat diukur adalah *return loss*, VSWR, dan impedansi masukan dari antenna. Pengukuran yang dilakukan menggunakan Network Analyzer dengan format  $S^{11}$ . Gambar konfigurasi dari pengukuran port tunggal ini dapat dilihat pada gambar 4.1.



Gambar 4.1 Konfigurasi pengukuran port tunggal

### 4.2.2 Prinsip Pengukuran Port Tunggal

Pengukuran koefisien pantul dilakukan untuk mengetahui konstanta yang menunjukkan perbandingan antara gelombang pantul dan gelombang datang. Pantulan ini disebabkan kondisi ketidaksepadanan antara saluran pencatu dengan bebannya, dalam hal ini adalah antenanya. Superposisi antara gelombang pantul dan gelombang datang disebut gelombang berdiri. dari gelombang berdiri ini dapat diperoleh SWR yang merupakan perbandingan arus atau tegangan minimum dan arus atau tegangan maksimum pada gelombang berdiri tersebut. Dari koefisien pantul juga akan diperoleh *return loss* yang merupakan perbandingan daya pantul terhadap daya yang dikirim ke antenna.

*Bandwidth* antenna merupakan *range* frekuensi kerja dimana antenna masih dapat bekerja atau beroperasi dengan baik. Batas SWR yang masih dianggap baik untuk transmisi secara umum dalam batas  $1 < SWR < 2$ . Pada kondisi  $SWR = 1$  terjadi transfer daya maksimum, namun nilai ini sangatlah sulit dicapai, karena kondisi antenna antenadan lingkungannya harus benar-benar ideal.

### 4.2.3 Prosedur Pengukuran Port Tunggal

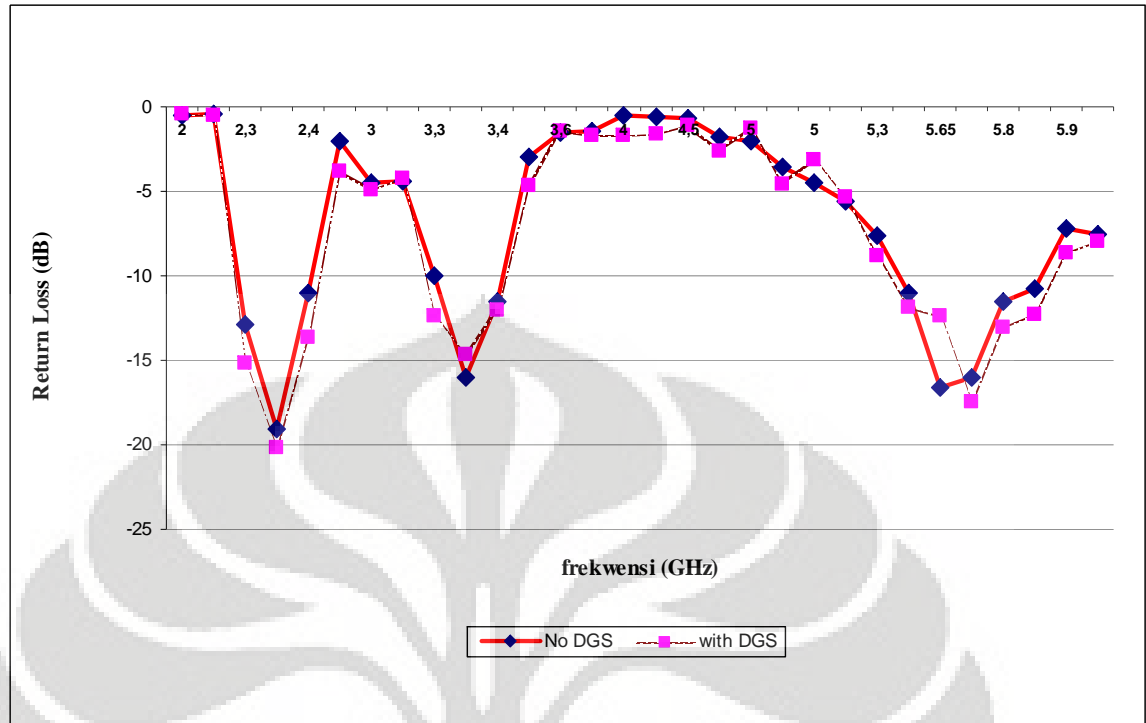
Pengukuran parameter-parameter tersebut dilakukan di dalam ruangan (*indoor*) dengan menggunakan alat ukur yang bernama **Network Analyzer 8753E**. Pengukuran dilakukan di dalam ruangan karena pada pengukuran ini faktor lingkungan tidak akan mempengaruhi terhadap hasil pengukuran. Faktor lingkungan yang tidak mempengaruhi hasil pengukuran dikarenakan pada pengukuran tersebut kita hanya menganalisis masukan dari antena. Sedangkan yang mempengaruhi hasil pengukuran adalah kalibrasi dari alat ukur itu sendiri.

Adapun prosedur pengukuran pada Network Analyzer (NA) adalah sebagai berikut:

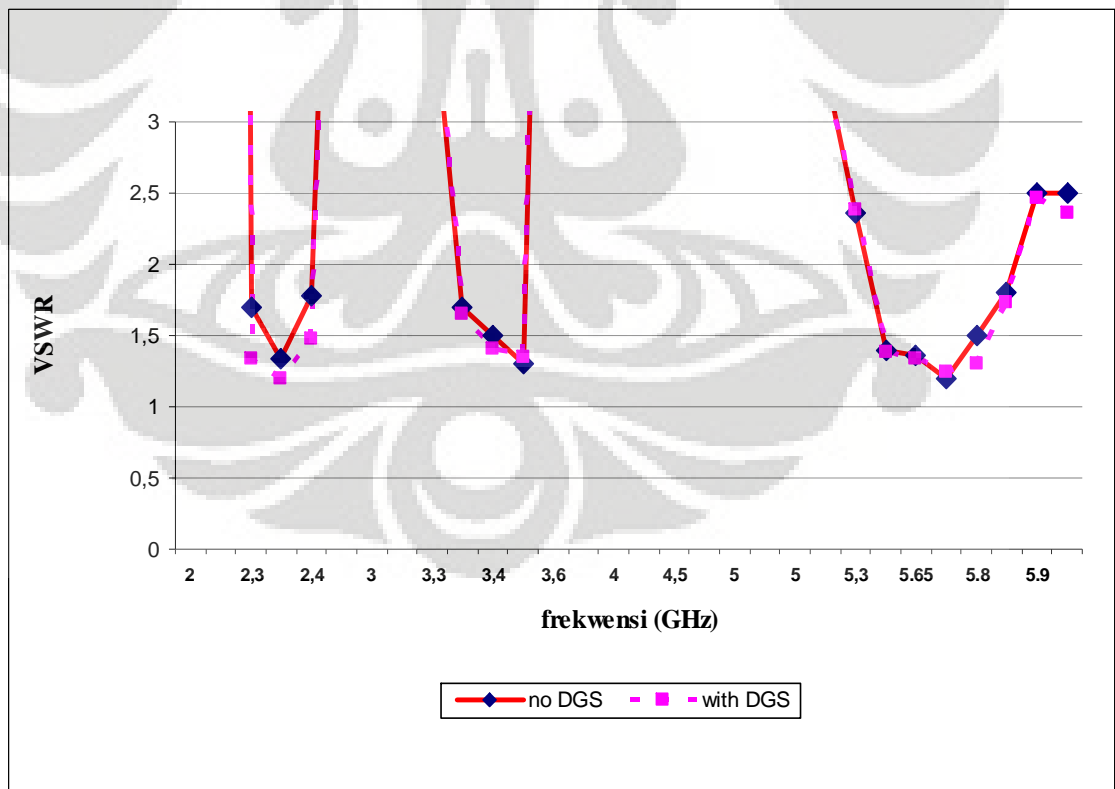
1. Pasang *probe* 50 ohm pada input NA lalu lakukan kalibrasi pada NA dengan menggunakan *calibration kit*. Kalibrasi dilakukan untuk validitas pengukuran, dengan cara membuat kondisi alat ukur sesuai standar.
2. Setelah kalibrasi selesai hubungkan konektor input pada antena yang akan diukur (AUT) pada *probe* yang terpasang di NA. Konfigurasi dapat dilihat pada Gambar 4.1.
3. Tampilkan parameter-parameter yang akan dilihat hasil pengukuran dengan menekan tombol *format* yang terdapat pada NA. Lalu pilih parameter satu persatu, tekan tombol SWR untuk menampilkan grafik SWR terhadap frekuensi kerjanya, tombol *smithchart* untuk menampilkan besar impedansi pada frekuensi kerjanya, tombol *log mag* untuk menampilkan grafik *return loss* terhadap frekuensi kerjanya, dan *lin mag* untuk menampilkan grafik koefisien pantul terhadap frekuensi kerjanya.
4. Rekam hasil pengukuran parameter-parameter tersebut.

### 4.2.4 Hasil Pengukuran Port Tunggal

Gambar hasil pengukuran port tunggal dari antena yang dibuat pada Penelitian ini dapat dilihat pada lampiran D.



Gambar 4.2 Grafik *return loss* dari hasil pengukuran port tunggal



Gambar 4.3 Grafik *VSWR* dari hasil pengukuran port tunggal

Dari gambar 4.2 terlihat bahwa pada *band* 2.3 GHz dapat tercapai nilai *return loss* terendah terdapat pada frekuensi 2.386 GHz yaitu bernilai -19,1 dB untuk antenna tanpa DGS dan -23,2082 dB untuk antenna dengan DGS. Sehingga nilai perbaikan *return loss* setelah antenna di beri DGS adalah 4,10 dB.

Sedangkan pada *band* 3.3 GHz didapatkan nilai *return loss* terendah pada frekuensi 3.35 GHz untuk antenna tanpa DGS bernilai -16,00 dB dan untuk antenna dengan DGS mencapai nilai *return loss* terendah sebesar - 23,646 dB pada frekuensi 3.35 GHz. Sehingga *return loss* mengalami perbaikan sebesar 7,646 dB pada band 3.3 GHz.

Pada *band* 5.8 GHz didapatkan nilai *return loss* terendah pada frekuensi 5.825 GHz untuk antenna tanpa DGS bernilai -10,8 dB dan untuk antenna dengan DGS mencapai nilai *return loss* terendah sebesar - 19,296 dB pada frekuensi yang sama. Sehingga *return loss* mengalami perbaikan setelah di beri DGS sebesar 8,496 dB.

Sedangkan untuk nilai impedansi antenna dapat dilihat perbandingannya pada Tabel 4.1, dan Lampiran E terlihat nilainya semakin mendekati 50  $\Omega$  dibandingkan antenna tanpa DGS. Pada frekuensi 2,386 GHz didapatkan nilai impedansi adalah  $51.991+j0.997 \Omega$  pada antenna tanpa DGS, dan nilai impedansinya berubah menjadi  $50.621+j0.897 \Omega$  setelah diimplementasikan DGS pada antenna tersebut. Untuk *bandwidth* 3,3 GHz, tepatnya pada frekuensi 3,35 GHz didapatkan nilai impedansi  $50,100+j0,5997 \Omega$  pada antenna tanpa DGS, dan nilai impedansinya berubah menjadi  $. 49,750+j0,577 \Omega$  setelah diimplementasikan DGS pada antenna tersebut. Sedangkan untuk *bandwidth* 5,8 GHz tepatnya pada frekuensi 5,825 GHz, impedansinya bernilai berubah menjadi  $54,43+j5,879 \Omega$  pada antenna yang telah diimplementasikan teknik DGS yang sebelumnya bernilai  $56,63+j6,779 \Omega$  sebelum antenna diimplementasikan DGS.

Tabel 4.1 Tabel Perbandingan Hasil Pengukuran Port Tunggal  
(a) Pada band 2,3 GHz  
(b) Pada band 3,3 GHz  
(c) Pada band 5,8 GHz

(a)

Parameter	Hasil Pengukuran	
	Antena tanpa DGS	Antena dengan DGS
Zin pada saat frekuensi resonansi	51.991+j0.997 $\Omega$	50.621+j0.897 $\Omega$ .
<i>Return loss</i>	-19,1 dB	23,20 dB
VSWR	1,343	1,1982

(b)

Parameter	Hasil Pengukuran	
	Antena tanpa DGS	Antena dengan DGS
Zin pada saat frekuensi resonansi	50,100+j0,5997	49,750+j0,577 $\Omega$ .
<i>Return loss</i>	-16dB	-23,6 dB
VSWR	1,5	1,4068

(c)

Parameter	Hasil Pengukuran	
	Antena tanpa DGS	Antena dengan DGS
Zin pada saat frekuensi resonansi	56,63+j6,779 $\Omega$ .	54,43+j5,879 $\Omega$
<i>Return loss</i> (di frekuensi resonan)	-10,28 dB	-19,2 dB
VSWR	1,5	1,3

#### 4.2.5 Pengukuran pola radiasi

Karakteristik antena yang akan dianalisa selanjutnya adalah pola radiasi dan gain. Nantinya hasil pengukuran ini akan dilihat apakah telah sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan dan sesuai hasil simulasi *software*. Jika setelah antena diukur dan hasil pengukurannya terjadi penyimpangan dari hasil secara teoritis dan simulasi akan dianalisa faktor-faktor penyebab penyimpangannya.

Pola radiasi dari suatu antenna merupakan gambaran dari intensitas pancaran antenna sebagai fungsi dari parameter koordinat bola ( $\theta, \phi$ ). Komponen-komponen yang terdapat dalam gambaran pola radiasi adalah *mainlobe*, *sidelobe*, dan *backlobe*.

Gain daya sebuah antenna didefinisikan sebagai  $4\pi$  kali perbandingan intensitas radiasi di arah tersebut terhadap daya terima antenna dari pemancar yang terhubung, biasanya arah yang dimaksud adalah arah radiasi maksimum. Sedangkan gain relatif adalah perbandingan gain daya di arah tertentu terhadap gain daya antenna dalam arah referensinya. Antena referensi yang baik untuk digunakan adalah antenna isotropis dimana antenna tersebut mempunyai penguatan yang sama di setiap titik, akan tetapi dalam kenyataan antenna isotropis tidak ada. Sehingga pada pengukuran kali ini sebagai antenna referensi digunakan antenna *tripleband* yang memiliki tiga frekuensi kerja yang sama dengan antenna yang akan di ukur.

Pola radiasi antenna diukur pada daerah medan jauh antenna, karena pada daerah tersebut gelombang elektromagnetik yang terpancar bersifat transversal penuh dan antenna tidak dipengaruhi oleh benda di sekelilingnya. Pola radiasi antenna diukur pada permukaan bola dengan radius konstan.

Pengukuran pola radiasi ini dilakukan pada jarak lebih besar dari *far field region*. Hal ini dilakukan karena pada jarak ini distribusi medan secara angular tidak tergantung pada besarnya jarak antar antenna. Jarak tersebut dapat dicari dengan rumus:

$$r_{\min} = \frac{2D^2}{\lambda} \quad (4.1)$$

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

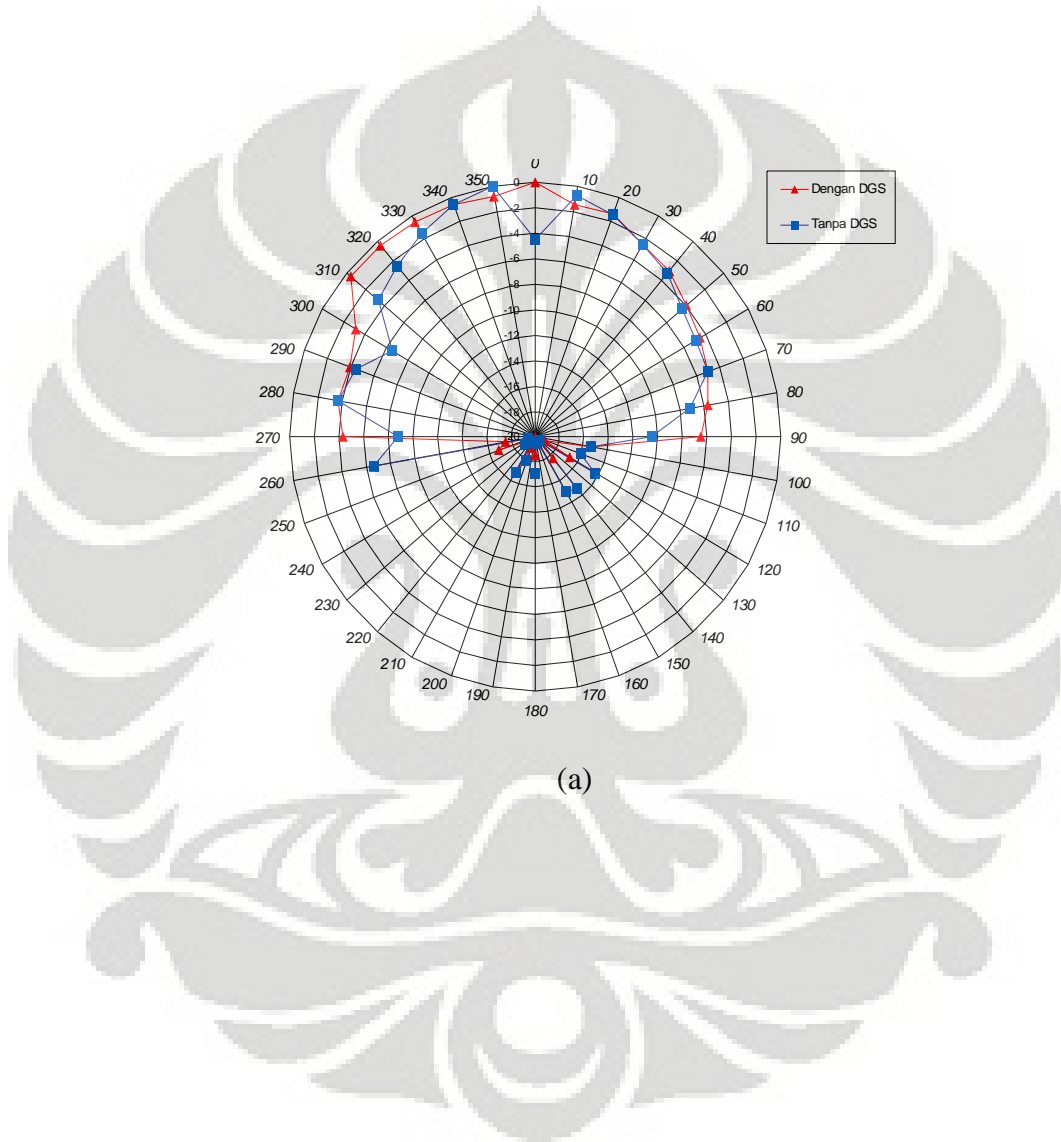
D = dimensi terbesar dari antenna (cm)

$\lambda$  = panjang gelombang (cm)

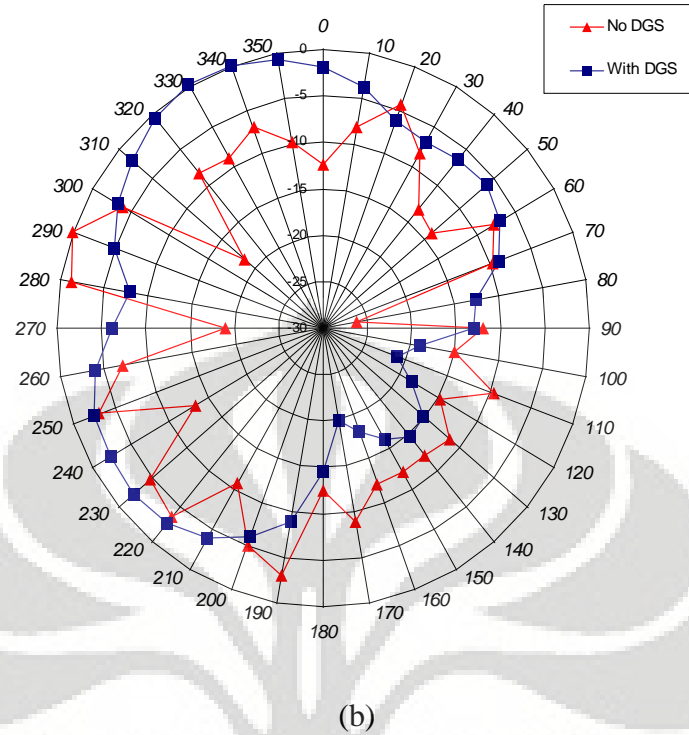
Pengukuran pola radiasi dilakukan pada frekuensi 2,3 GHz , 3,3 GHz dan 5,825 GHz. Dengan D sekitar kurang lebih 6 cm. Maka didapatkan jarak minimum 5,68 cm, 7,96 cm, dan 13,8 cm.

#### 4.2.6 Hasil Pengukuran Pola Radiasi

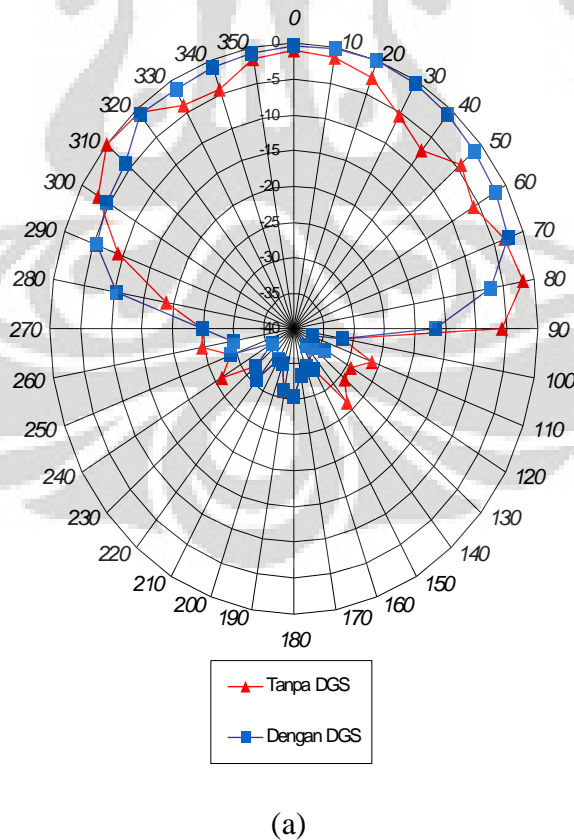
Data yang diperoleh dari hasil pengukuran Pola Radiasi adalah perbandingan daya yang diterima dan daya yang dikirim ( $P_r/P_t$ ) dalam dB. Kemudian data diolah dan dinormalisasi. Dari pengolahan data dapat diperoleh pola radiasi pada dua bidang yang tegak lurus (bidang E dan H ) seperti yang terlihat pada gambar 4.6-4.8:

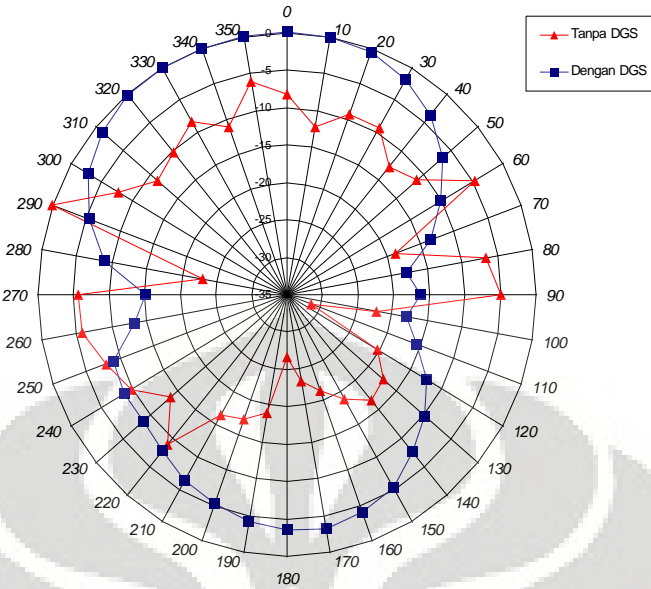






Gambar 4.6 (a) Pola Radiasi Bidang E F. Res. 2,3 GHz, Antena tanpa DGS dan Antena dengan DGS  
 (b) Bidang H F Res. 2,3 GHz, Antena tanpa DGS dan Antena dengan DGS

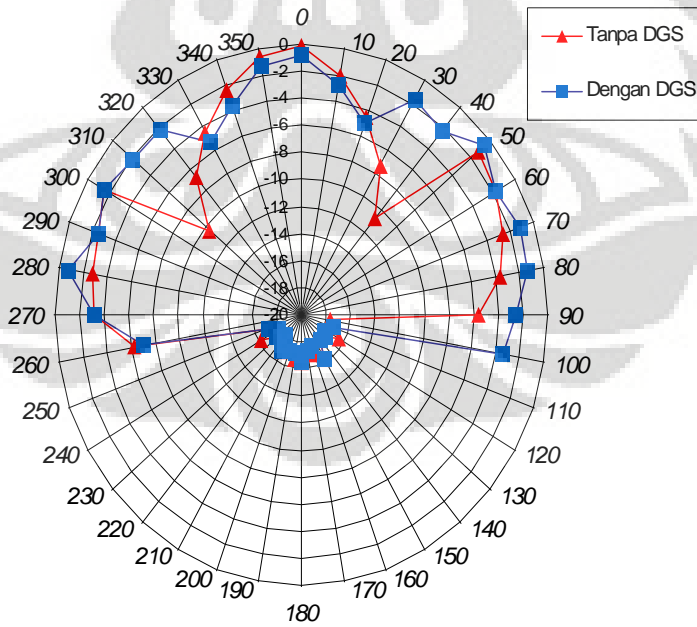




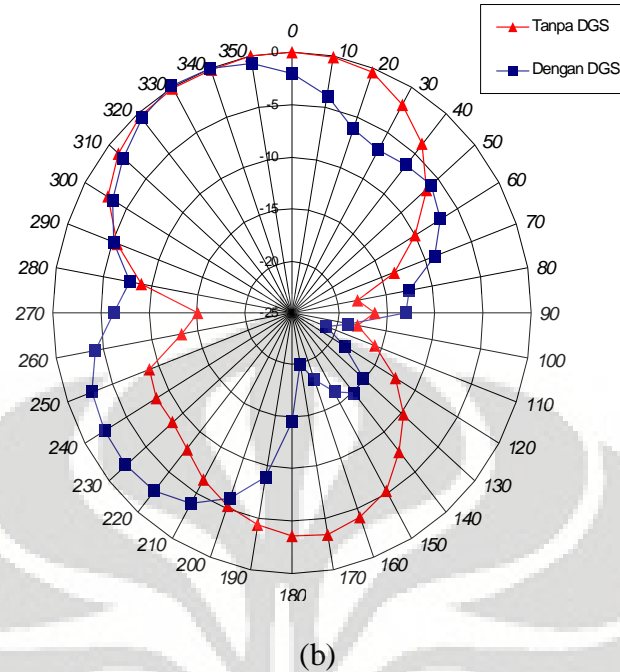
(b)

Gambar 4.7(a) Pola Radiasi Bidang E F Res. 3,3 GHz, Antena tanpa DGS dan Antena dengan DGS

(b) Pola Radiasi Bidang E F Res. 3,3 GHz, Antena tanpa DGS dan Antena dengan DGS



(a)



Gambar 4.8(a) Pola Radiasi Bidang E F Res. 5,8 GHz, Antena tanpa DGS dan Antena dengan DGS

(b) Pola Radiasi Bidang H F Res. 5,8 GHz, Antena tanpa DGS dan Antena dengan DGS

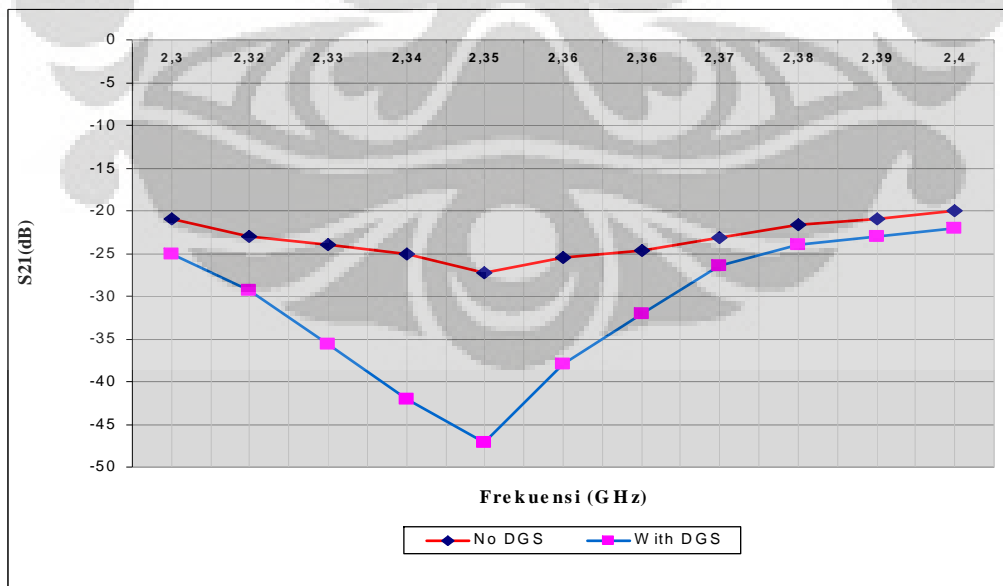
Dari gambar 4.6-4.8 dapat dilihat gambar grafik pola radiasi. Grafik tersebut didapatkan dengan mengukur pola radiasi pada daerah *far field*. Dapat dilihat dari pola radiasi yang didapatkan pada *bandwidth* pertama yaitu 2,3 GHz cenderung berbentuk unidirectional baik untuk medan E nya. Untuk medan E *main lobe* maksimum mengarah pada sudut  $0^\circ$  untuk antena tanpa DGS dan dengan DGS. Sedangkan untuk medan H mengarah pada sudut  $360^\circ$  untuk antena tanpa DGS dan mengarah pada  $290^\circ$  untuk antena tanpa DGS . Sedangkan untuk *bandwidth* kedua yaitu 3,3 GHz pola radiasi untuk medan E *main lobe* maksimum mengarah adalah pada  $0^\circ$  untuk antena tanpa DGS dan dengan DGS. Dan untuk medan H yang didapatkan *main lobe* maksimum berada pada sudut  $0^\circ$ . Untuk *bandwidth* 5,8 GHz pola radiasi yang didapatkan juga berbentuk unidirectional untuk medan H-nya yang mempunyai *main lobe* pada  $330^\circ$  untuk antena dengan DGS dan pada  $360^\circ$  untuk antena tanpa DGS. Sedangkan medan E-nya berbentuk tridirectional yang mempunyai *mainlobe* berada sekitar pada  $280^\circ$   $0^\circ$  dan  $70^\circ$  pada antena dengan DGS dan untuk medan H-nya, pola radiasi berbentuk bidirectional, mempunyai *mainlobe* berada sekitar pada  $340^\circ$  dan  $230^\circ$  pada antena dengan DGS, dan untuk antena tanpa DGS *mainlobe* berada sekitar pada  $0^\circ$  dan  $170^\circ$ .

#### 4.2.7 Pengukuran *Mutual Coupling*

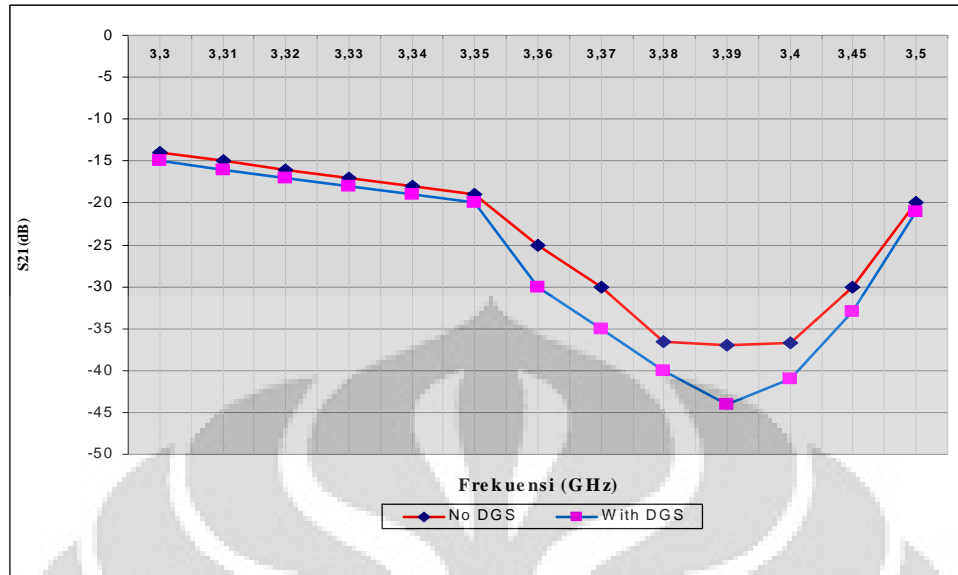
Hasil pengukuran *mutual coupling* ini dapat dilihat pada Lampiran F, dan Gambar Grafik dan Tabel data hasil perbandingan antara nilai *Mutual Coupling* untuk antenna tanpa DGS dan nilai *Mutual Coupling* untuk antenna dengan DGS terdapat pada Tabel 4.2 dan Gambar 4.9. Dapat kita lihat bahwa dari hasil pengukuran antenna yang telah di buat berhasil menekan nilai *mutual coupling* pada tiga frekuensi yang ketiga berada pada *band* yang diinginkan. Dan besarnya penekanan terhadap *mutual coupling* untuk ketiga frekuensi tersebut yaitu 14,7 dB untuk band 2,3 GHz atau tepatnya di frekuensi 2,35 GHz, 7 dB untuk *band* 3,3GHz atau tepatnya di frekuensi 3,39 GHz dan 12 dB untuk *band* 5,8GHz atau tepatnya di frekuensi 5,825 GHz,

**Tabel 4.2 Perbandingan hasil pengukuran *Mutual Coupling***

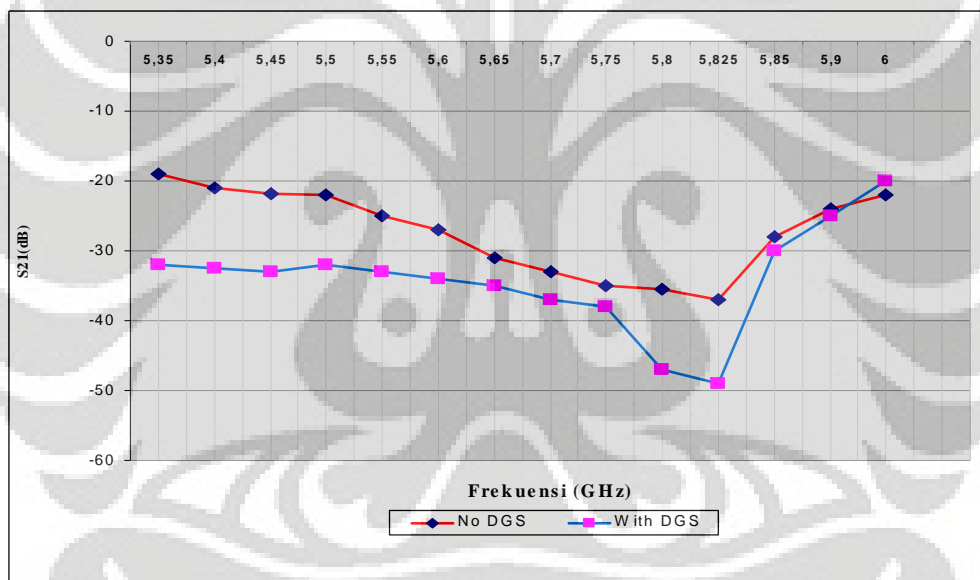
	Band 2,3 GHz		Band 3,3 GHz		Band 5,8 GHz	
	Antena tanpa DGS	Antena dengan DGS	Antena tanpa DGS	Antena dengan DGS	Antena tanpa DGS	Antena dengan DGS
S21	-22.3 dB	-47 dB	-37 dB	-44 dB	-37 dB	-49 dB
frekuensi	2,35 GHz	2,35 GHz	3,39GHz	3,39GHz	5,825 GHz	5,825 GHz
Penekanan <i>Mutual coupling</i>	14,7 dB		7 dB		12 dB	



(a)



(b)



(c)

**Gambar 4.9 MutualCoupling antenna DGS dan tanpa DGS**

(a) Band 2,3 GHz

(b) Band 3,3 GHz

(c) Band 5,8 GHz

#### 4.2.8 Pengukuran Gain

Gain antenna didefinisikan sebagai perbandingan antara intensitas radiasi maksimum suatu antenna terhadap intensitas radiasi maksimum antenna referensi dengan daya input sama. Macam-macam antenna referensi yang digunakan biasanya adalah antenna isotropis, dipole  $\frac{1}{2} \lambda$ , dan horn. Besarnya gain antenna dinyatakan dalam satuan dB terhadap antenna referensi. Pada Penelitian ini antenna yang digunakan sebagai antenna referensi adalah antenna tripleband 1 elemen.

Dalam Penelitian ini, metode yang digunakan di dalam mengukur gain digunakan metode tiga antenna. Antenna penerima diletakkan pada arah berkas utama pola radiasi. Karena menggunakan metode tiga antenna, maka terdapat 3 kemungkinan pasangan antenna pengirim dan penerima, yaitu pasangan antenna 1 dan 2, 1 dan 3 serta 2 dan 3.

Metode tiga antenna tidak memperhitungkan apakah antenna tersebut sebagai pengirim atau penerima. Perhitungan gain ini didasarkan pada persamaan Friis yang dinyatakan dalam dB[2].

$$(G_{ot})_{dB} + (G_{or})_{dB} = 20 \log_{10} \left( \frac{4 \pi R}{\lambda} \right) + 10 \log_{10} \left( \frac{P_r}{P_t} \right) \quad (4.2)$$

Sehingga ketiga persamaan untuk masing-masing kombinasi adalah:

1. kombinasi 1-2

$$(G_1)_{dB} + (G_2)_{dB} = 20 \log_{10} \left( \frac{4 \pi R}{\lambda} \right) + 10 \log_{10} \left( \frac{P_{r2}}{P_{t1}} \right) \quad (4.3)$$

2. kombinasi 1-3

$$(G_1)_{dB} + (G_3)_{dB} = 20 \log_{10} \left( \frac{4 \pi R}{\lambda} \right) + 10 \log_{10} \left( \frac{P_{r3}}{P_{t1}} \right) \quad (4.4)$$

3. kombinasi 2-3

$$(G_2)_{dB} + (G_3)_{dB} = 20 \log_{10} \left( \frac{4 \pi R}{\lambda} \right) + 10 \log_{10} \left( \frac{P_{r3}}{P_{t2}} \right) \quad (4.5)$$

dengan ,

G = gain absolut (dB);

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

$\lambda$  = panjang gelombang pada frekuensi yang digunakan (meter);

$P_t$  = daya pengirim (Watt);

$P_r$  = daya penerimaan (Watt).

Ketiga persamaan di atas dapat dituliskan sebagai:

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

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

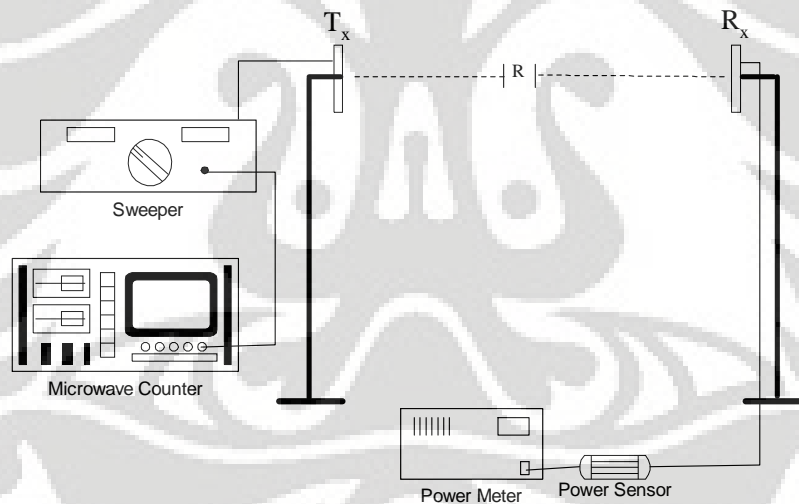
$$G_2 \text{ (dB)} + G_3 \text{ (dB)} = C$$

Dengan demikian penyelesaian untuk ketiga persamaan di atas adalah:

$$G_1 \text{ (dB)} = \frac{1}{2} (A + B - C) \quad (4.6)$$

$$G_2 \text{ (dB)} = \frac{1}{2} (A - B + C) \quad (4.7)$$

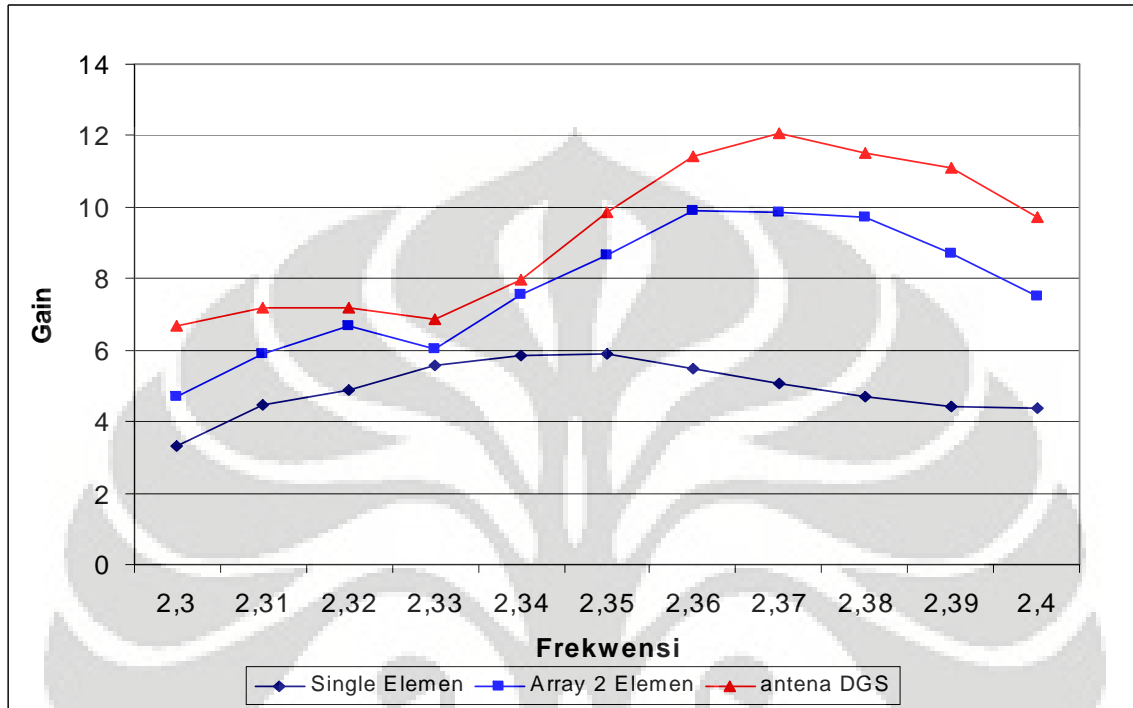
$$G_3 \text{ (dB)} = \frac{1}{2} (-A + B + C) \quad (4.8)$$



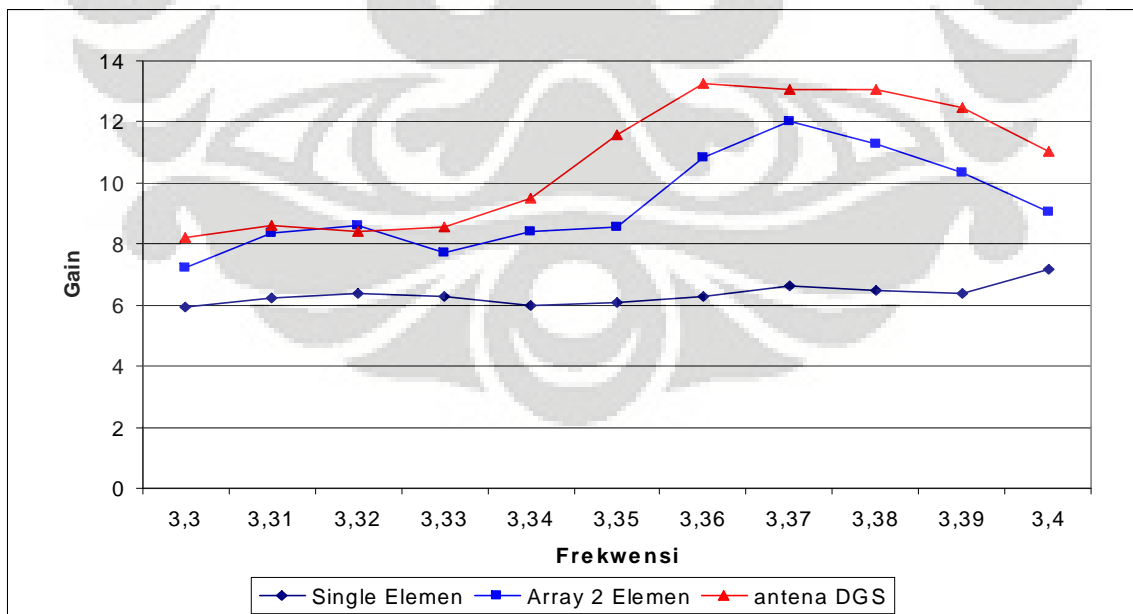
Gambar 4.9 Rangkaian peralatan pada pengukuran *gain*

Perhitungan hasil pengukuran *gain* secara lengkap diberikan pada lampiran E. *Gain* antenna diukur sepanjang frekuensi kerja yang diinginkan. Pada frekuensi 2,3 GHz diukur 2,3 – 2,4 GHz. Untuk frekuensi kerja 3,3 GHz diukur dari rentang frekuensi 3,3 – 3,4 GHz. Sedangkan untuk frekuensi 5,8 GHz diukur dari 5,3 GHz sampai 5,9 GHz. Grafik

hasil pengukuran gain pada antenna yang telah dirancang pada Penelitian ini dapat dilihat pada gambar 4.10-1.12

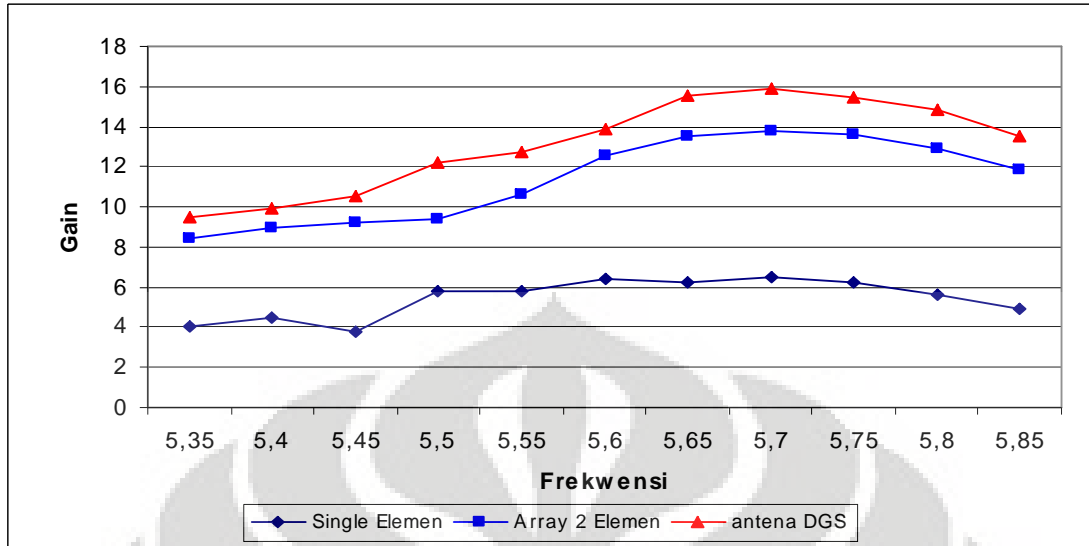


Gambar 4.10. Grafik Frekuensi Vs Gain Fres1 = 2,3GHz



Gambar 4.11. Grafik Frekuensi Vs Gain Fres1 = 3,3GHz





Gambar 4.12. Grafik Frekuensi Vs Gain  $f_{res3} = 5,8$  GHz

Dari ketiga gambar diatas, dapat dilihat pada frekuensi 2,3 GHz diperoleh *gain* sekitar 6dB untuk antenna *single* elemen,  $\pm 8$  dB untuk antenna *array* 2 elemen, dan  $\pm 12$ dB untuk antenna Dengan DGS. Sedangkan pada frekuensi 3,3 GHz didapatkan *gain* sekitar 6dB untuk antenna *single* elemen,  $\pm 8$  dB untuk antenna *array* 2 elemen, dan  $\pm 13$  dB untuk antenna Dengan DGS. Dan pada frekuensi 5,8 GHz diperoleh *gain* sekitar 5 dB untuk antenna *single* elemen,  $\pm 10$  dB untuk antenna *array* 2 elemen, dan  $\pm 13$  dB untuk antenna dengan DGS. Dari data diatas dapat diambil kesimpulan bahwa antenna mikrostrip yang di beri DGS memiliki *gain* lebih tinggi dari antenna mikrostrip *array* 2 elemen dan *single* elemen tanpa DGS di tiga frekuensi WiMAX. Dengan demikian, metoda DGS pada antenna ini telah membuktikan dapat meningkatkan karakteristik antenna khususnya *gain* antenna.

Perbedaan-perbedaan yang terjadi antara simulasi dan hasil pengukuran dapat disebabkan oleh berbagai macam penyebab. Penyebab-penyebab tersebut antara lain adalah sebagai berikut:

1. Pada simulasi semua keadaan yang terjadi adalah keadaan ideal, sedangkan dalam pengukuran sebenarnya tidak dalam keadaan ideal,
2. Terjadinya kesalahan pada saat fabrikasi, terutama pada proses penggabungan substrat pencatu dan substrat *patch* peradiasi, karena pergeseran sedikit saja dapat membuat perubahan signifikan.

3. Substrat yang digunakan tidak homogen murni sehingga menimbulkan variasi *loss tangent* dan permitivitas pada substrat,
4. Penyolderan konektor SMA dengan *patch* pencatu dapat memberikan rugi-rugi tambahan.
5. Kesalahan pengukuran disebabkan oleh kondisi lingkungan pengukuran yang masih memungkinkan adanya gelombang pantul yang dihasilkan oleh dinding atau benda-benda di sekitar objek pengukuran.



## BAB 5

### KESIMPULAN

Pada Tesis ini telah dirancang DGS yang merupakan bagian dari teknik pembuatan substrat menjadi bersifat EBG pada antenna mikrostrip dengan bentuk 4 buah *slot Dumbbell*. Pada penelitian ini dapat dilihat efek dari DGS untuk memperbaiki karakteristik antenna sehingga yang dibandingkan adalah antara antenna 2 elemen tanpa DGS dengan antenna 2 elemen dengan DGS. Berdasarkan hasil pengukuran, penambahan suatu pola DGS pada *ground plane* antenna mikrostrip dapat memperbaiki karakteristik antenna referensi seperti level *return loss*, *VSWR Mutual Coupling* dan nilai Gain antenna.

1. Setelah diimplementasikan DGS pada antenna 2 elemen, nilai *return loss* antenna mengalami perbaikan nilai terbaik sebesar 8,4 dB yaitu pada frekuensi 5,825 GHz..
2. Setelah diimplementasikan DGS pada antenna 2 elemen, dapat memperbaiki nilai *VSWR* untuk ketiga *band*, sehingga semakin mendekati nilai 1.
3. Setelah diimplementasikan DGS pada antenna 2 elemen dapat kita lihat bahwa dari hasil pengukuran antenna yang telah di buat berhasil menekan nilai *mutual coupling* pada tiga frekuensi yang ketiga berada pada *band* yang diinginkan. Dan besarnya penekanan terhadap *mutual coupling* terbaik adalah sebesar 14,7 dB untuk band 2,3 GHz atau tepatnya di frekuensi 2,35 GHz.
4. Setelah diimplementasikan DGS, Gain antenna di semua frekuensi mengalami perbaikan, dengan perbaikan Gain rata-rata untuk semua frekuensi sebesar 2 dB..

# LAMPIRAN-A

## 1. Karakteristik Slot DGS 1 Dumbbell

Karakteristik slot DGS	Nilai Return Loss (dB) pada Frekuensi 2,3 GHz			Nilai Return Loss (dB) pada Frekuensi 3,3 GHz			Nilai Return Loss (dB) pada Frekuensi 5,8 GHz		
	Ukuran slot per 1 dumbbell (mm <sup>2</sup> )			Ukuran slot per 1 dumbbell (mm <sup>2</sup> )			Ukuran slot per 1 dumbbell (mm <sup>2</sup> )		
	2600	1300	400	2600	1300	400	2600	1300	400
beda panjang slot (mm)									
5.6	-4.35	-8.76	-6.98	-4.99	-5.98	-6.76	-5.23	-8.99	-11.3
7.2	-7.42	-7.77	-5.67	-9.00	-7.85	-7.86	-7.99	-9.90	-6.70
10.4	-5.32	-2.44	-11.9	-4.65	-6.86	-8.88	-6.00	-5.87	-8.97
12	-7.42	-5.67	-12.8	-2.98	-6.87	-6.99	-7.32	-6.78	-8.89
beda lebar slot (mm)									
0.4	-3.22	-9.98	-9.65	-4.56	-8.76	-9.65	-7.76	-12.6	-6.12
0.8	-2.44	-5.32	-2.44	-4.56	-9.87	-5.67	-8.87	-9.78	-12.67
1.2	-3.22	-6.67	-12.6	-8.48	-9.76	-12.8	-7.87	-8.60	-11.11
1.6	-8.90	-4.99	-10.7	-5.87	-5.69	-8.67	-6.89	-7.78	-12.10
beda posisi slot (x,y)									
(63.6 , 33.6)	-3.22	-9.98	-9.65	-4.56	-8.76	-9.65	-7.76	-12.6	-6.12
(56 ,60 )	-5.12	-3.45	-19.00	-6.78	-5.45	-3.44	-8.99	-11.3	-9.98
(72, 90)	-2.23	-5.67	-17.43	-4.54	-8.45	-9.29	-7.75	-6.99	-8.77
(90.90 )	-8.44	-8.54	-9.22	-5.66	-9.44	-8.90	-6.67	-14.4	-17.23
beda Luas Kepala dumbbell(mm <sup>2</sup> )									
5.6	-5.12	-2.45	-15.00	-6.78	-5.45	-3.44	-8.99	-11.3	-9.98
4	-1.23	-5.67	-12.43	-4.22	-8.25	-7.29	-7.75	-6.99	-9.77
5.76	-8.44	-8.65	-7.22	-5.32	-9.65	-5.90	-2.67	-11.4	-12.23
7.84	-9.45	-7.67	-5.65	-9.56	-8.33	-7.89	-9.98	-9.65	-10.23

## LAMPIRAN-B

### 2. Karakteristik Slot DGS 2 Dumbbell

Karakteristik slot DGS	Nilai Return Loss (dB) pada Frekuensi 2,3 GHz			Nilai Return Loss (dB) pada Frekuensi 3,3 GHz			Nilai Return Loss (dB) pada Frekuensi 5,8 GHz		
	1300	750	200	1300	750	200	1300	750	200
Ukuran slot per 1 dumbbell (mm <sup>2</sup> )									
beda panjang slot (mm)									
5.6	-5.35	-7.98	-7.23	-7.59	-5.98	-6.76	-8.39	-8.99	-11.3
7.2	-7.89	-8.39	-6.74	-9.09	-7.85	-7.86	-7.99	-5.67	-17.43
10.4	-6.77	-5.64	-12.23	-8.85	-6.86	-8.88	-6.00	-5.87	-8.97
12	-7.99	-6.62	-12.98	-7.32	-6.96	-6.87	-6.99	-6.78	-8.89
beda lebar slot (mm)									
0.4	-4.22	-7.90	-7.45	-8.78	-9.65	-10.7	-5.32	-6.67	-12.6
0.8	-3.98	-9.98	-10.95	-8.56	-8.76	-9.65	-7.76	-12.6	-12.12
1.2	-5.49	-8.20	-4.44	-5.89	-9.87	-5.67	-8.87	-9.78	-12.67
1.6	-5.67	-8.98	-5.00	-6.32	-8.97	-6.77	-8.99	-8.98	-10.22
beda posisi slot (x,y)									
(63.6 , 33.6)	-8.21	-12.17	-12.56	-9.96	-5.81	-12.8	-7.87	-6.60	-11.11
(56 ,60 )	-7.90	-4.65	-10.98	-5.87	10.98	-8.67	-6.89	-9.65	-10.23
(72, 90)	-9.00	-3.87	-7.19	-7.89	-7.99	-6.99	-8.77	-8.67	-9.00
(90.90 )	-8.66	-4.56	-8.55	-7.66	-8.23	-7.45	-8.66	-7.66	-8.77
beda Luas Kepala dumbbell(mm <sup>2</sup> )									
5.6	-5.81	-8.58	-10.46	-4.56	-6.67	-9.65	-7.76	-12.6	-6.12
4	-5.12	-6.12	-19.00	-6.78	-5.45	-6.89	-8.99	-14.3	-9.98
5.76	-2.23	-5.14	-17.43	-4.54	-8.45	-9.29	-7.75	-6.99	-8.77
7.84	-6.74	-4.65	-9.22	-5.66	-9.44	-8.90	-6.67	-14.4	-17.23
Jarak antara Dumbbell (mm)									
2	-8.55	-7.66	-10.98	-8.88	-6.00	-8.67	-9.00	-4.54	-8.45
0.4	-6.78	-19.00	-6.78	-9.09	-7.85	-6.77	-8.99	-5.81	-8.58
0.8	-9.00	-5.89	-9.87	-9.78	-12.67	-8.56	-5.12	-4.54	-8.45
1.2	-3.87	-6.74	-2.23	-5.14	-8.66	-4.56	-8.55	-5.66	-9.44

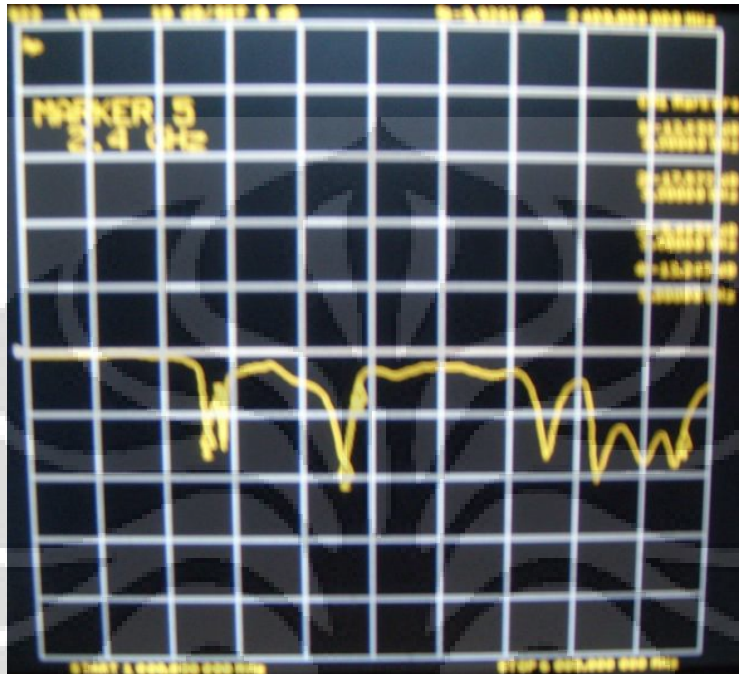
## LAMPIRAN-C

### 3. Karakteristik Slot DGS 3 Dumbbell

	Nilai Return Loss (dB) pada Frekuensi 2,3 GHz			Nilai Return Loss (dB) pada Frekuensi 3,3 GHz			Nilai Return Loss (dB) pada Frekuensi 5,8 GHz		
	Ukuran slot per 1 dumbbell (mm <sup>2</sup> )			Ukuran slot per 1 dumbbell (mm <sup>2</sup> )			Ukuran slot per 1 dumbbell (mm <sup>2</sup> )		
Karakteristik slot DGS	860	440	130	860	440	130	860	440	130
<b>beda panjang slot (mm)</b>									
5.6	-4.35	-8.76	-6.98	-4.99	-5.98	-6.76	-5.23	-8.99	-11.3
7.2	-7.42	-7.77	-5.67	-9.00	-7.85	-7.86	-7.99	-9.90	-6.70
10.4	-5.32	-2.44	-11.9	-4.65	-6.86	-8.88	-6.00	-5.87	-8.97
12	-7.42	-5.67	-12.8	-2.98	-6.87	-6.99	-7.32	-6.78	-8.89
<b>beda lebar slot (mm)</b>									
0.4	-4.22	-7.90	-7.45	-8.78	-9.65	-10.7	-5.32	-6.67	-12.6
0.8	-3.98	-9.98	-10.95	-8.56	-8.76	-9.65	-7.76	-12.6	-12.12
1.2	-5.49	-8.20	-4.44	-5.89	-9.87	-5.67	-8.87	-9.78	-12.67
1.6	-5.67	-8.98	-5.00	-6.32	-8.97	-6.77	-8.99	-8.98	-10.22
<b>beda posisi slot (x,y)</b>									
(63.6 , 33.6)	-7.90	-4.39	-10.7	-5.87	-5.99	-8.67	-6.89	-7.78	-11.10
(56 ,60 )	-5.90	-6.66	-5.12	-6.89	-5.89	-6.99	-8.77	-8.67	-7.00
(72, 90)	-6.22	-5.98	-6.65	-4.76	-8.78	-9.65	-7.96	-12.6	-5.12
(90.90 )	-5.43	-3.65	-18.00	-8.78	-6.45	-3.44	-8.59	-8.3	-8.98
<b>beda Luas Kepala dumbbell(mm<sup>2</sup>)</b>									
5.6	-5.81	-8.58	-10.46	-4.56	-6.67	-9.65	-7.76	-12.6	-6.12
4	-5.12	-6.12	-19.00	-6.78	-5.45	-6.89	-8.99	-14.3	-9.98
5.76	-2.23	-5.14	-17.43	-4.54	-8.45	-9.29	-7.75	-6.99	-8.77
7.84	-6.74	-4.65	-9.22	-5.66	-9.44	-8.90	-6.67	-14.4	-17.23
<b>Jarak antara Dumbbell (mm)</b>									
2	-8.55	-7.66	-10.98	-8.88	-6.00	-8.67	-9.00	-4.54	-8.45
0.4	-2.23	-5.67	-17.43	-4.54	-8.45	-9.29	-7.75	-6.99	-8.77
0.8	-8.44	-8.54	-9.22	-5.66	-9.44	-8.90	-6.67	-14.4	-17.23
1.2	-9.45	-7.67	-5.65	-9.56	-8.33	-7.89	-9.98	-9.65	-10.23

## LAMPIRAN D

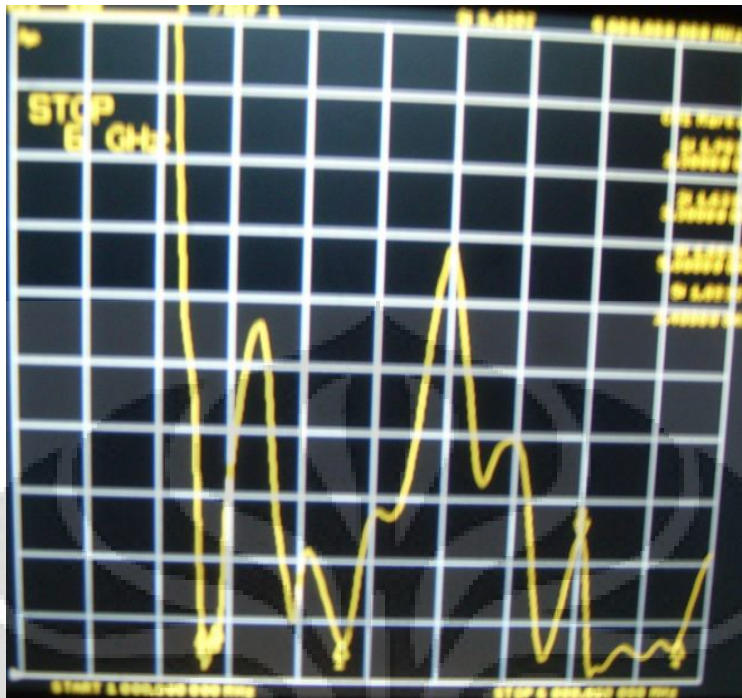
### Hasil Pengukuran Port Tunggal



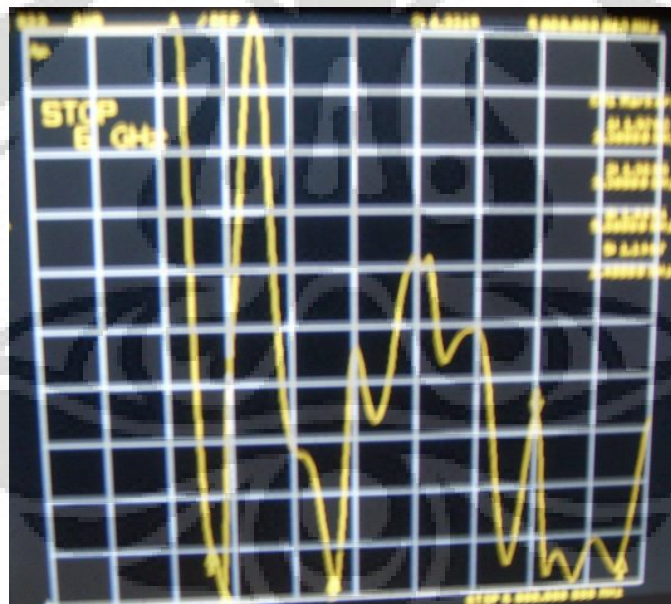
Return Loss tanpa DGS



Return Loss dengan DGS

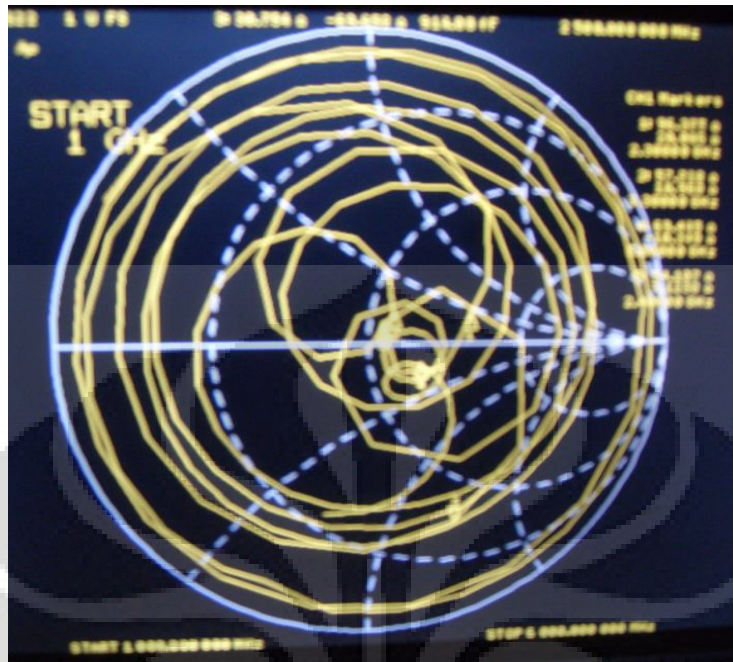


VSWR tanpa DGS



VSWR dengan DGS





Z in tanpa DGS



Z in dengan DGS

## LAMPIRAN E

### DATA PENGUKURAN GAIN

Pada lampiran ini akan diberikan data-data hasil pengukuran gain berikut hasil yang didapatkan setelah diolah dengan rumus *Friis*:

Tabel Lamp 2.1 Data pengukuran *gain* antenna 1 dan antenna 2 untuk ( $f = 2,3$  GHz)

Frekuensi (GHz)	Daya Pengirim (mW)			Daya Penerima ( $\mu$ W)			Lambda (cm)	G1+G2 (dB)
	I	II	Rata-rata	I	II	Rata-rata		
2.3	0,726	0,726	0,726	1,29	1,29	1,29	13,04	12,16846
2.32	0,719	0,719	0,719	1,63	1,63	1,63	12,99	13,26419
2.33	0,72	0,72	0,72	1,45	1,45	1,45	12,93	12,78748
2.34	0,728	0,728	0,728	1,8	1,8	1,8	12,88	13,7159
2.35	0,731	0,731	0,731	2	2	2	12,82	14,19281
2.36	0,721	0,721	0,721	2,8	2,8	2,8	12,77	15,75095
2.36	0,712	0,712	0,712	7,8	7,8	7,8	12,71	20,29175
2.37	0,714	0,714	0,714	10,8	10,8	10,8	12,66	21,72959
2.38	0,721	0,721	0,721	8,6	8,6	8,6	12,61	20,73454
2.39	0,726	0,726	0,726	6,5	6,5	6,5	12,55	19,52509
2.4	0,723	0,723	0,723	3	3	3	12,5	16,22142

Tabel Lamp 2.2 Data pengukuran *gain* antenna 1 dan antenna 3 untuk ( $f = 2,3$  GHz)

Frekuensi (GHz)	Daya Pengirim (mW)			Daya Penerima ( $\mu$ W)			Lambda (cm)	G1+G3 (dB)
	I	II	Rata-rata	I	II	Rata-rata		
2.3	0,726	0,726	0,726	1,442	1,443	1,4425	13,04	12,65372
2.32	0,719	0,719	0,719	1,603	1,602	1,6025	12,99	13,1903
2.33	0,72	0,72	0,72	1,877	1,876	1,8765	12,93	13,90729
2.34	0,728	0,728	0,728	1,53	1,52	1,525	12,88	12,99587
2.35	0,731	0,731	0,731	2,71	2,7	2,705	12,82	15,50418
2.36	0,721	0,721	0,721	5,36	5,38	5,37	12,77	18,57912
2.36	0,712	0,712	0,712	10,04	10,02	10,03	12,71	21,38382
2.37	0,714	0,714	0,714	11,32	11,29	11,305	12,66	21,92806
2.38	0,721	0,721	0,721	9,72	9,74	9,73	12,61	21,27068
2.39	0,726	0,726	0,726	6,97	6,96	6,965	12,55	19,82517
2.4	0,723	0,723	0,723	3,79	3,78	3,785	12,5	17,23087

Tabel Lamp 2.3 Data pengukuran *gain* antenna 2 dan antenna 3 untuk ( $f = 2,3$  GHz)

Frekuensi (GHz)	Daya Pengirim (mW)			Daya Penerima ( $\mu$ W)			Lambda (cm)	G2+G3 (dB)
	I	II	Rata-rata	I	II	Rata-rata		
2.3	0,726	0,726	0,726	1,06	1,06	1,06	13,04	11,31562
2.32	0,719	0,719	0,719	1,201	1,201	1,201	12,99	11,93775
2.33	0,72	0,72	0,72	1,283	1,283	1,283	12,93	12,25607
2.34	0,728	0,728	0,728	1,5	1,5	1,5	12,88	12,92408
2.35	0,731	0,731	0,731	1,8	1,8	1,8	12,82	13,73524
2.36	0,721	0,721	0,721	2,1	2,1	2,1	12,77	14,50157
2.36	0,712	0,712	0,712	5,5	5,5	5,5	12,71	18,77443
2.37	0,714	0,714	0,714	6,5	6,5	6,5	12,66	19,52449
2.38	0,721	0,721	0,721	5,7	5,7	5,7	12,61	18,9483
2.39	0,726	0,726	0,726	3,8	3,8	3,8	12,55	17,1938
2.4	0,723	0,723	0,723	1,8	1,8	1,8	12,5	14,00293

Tabel Lamp 2.4 Tabel *Gain* ketiga antenna ( $f = 2,3$  GHz)

Frekuensi (GHz)	G1 (dB)	G2 (dB)	G3 (dB)
2.3	6,7	5,4	4,7
2.32	7,2	6	5,9
2.33	7,2	5,5	6,7
2.34	6,85	6,85	6,05
2.35	7,95	6,15	7,55
2.36	9,85	5,85	8,65
2.36	11,4	8,8	9,9
2.37	12,05	9,65	9,85
2.38	11,5	9,2	9,7
2.39	11,1	8,4	8,7
2.4	9,7	6,5	7,5

Tabel Lamp 2.5 Data pengukuran *gain* antenna 1 dan antenna 2 untuk ( $f = 3,3$  GHz)

Frekuensi (GHz)	Daya Pengirim (mW)			Daya Penerima ( $\mu$ W)			Lambda (cm)	G1+G2 (dB)
	I	II	Rata-rata	I	II	Rata-rata		
3.3	0,726	0,726	0,726	1,34	1,339	1,3395	9,090909091	15,46770746
3.31	0,719	0,719	0,719	1,88	1,88	1,88	9,063444109	17,00821716
3.32	0,72	0,72	0,72	1,9	1,9	1,9	9,036144578	17,07434041
3.33	0,728	0,728	0,728	1,62	1,629	1,6245	9,009009009	16,37213573
3.34	0,731	0,731	0,731	2,34	2,31	2,325	8,982035928	17,93735283
3.35	0,721	0,721	0,721	3,78	3,76	3,77	8,955223881	20,12232469
3.36	0,712	0,712	0,712	9,24	9,25	9,245	8,928571429	24,09842246
3.37	0,714	0,714	0,714	11,61	11,6	11,605	8,902077151	25,09943504
3.38	0,721	0,721	0,721	9,8	9,82	9,81	8,875739645	24,35303913
3.39	0,726	0,726	0,726	6,92	6,94	6,93	8,849557522	22,8393278
3.4	0,723	0,723	0,723	3,63	3,65	3,64	8,823529412	20,0865769

Tabel Lamp 2.6 Data pengukuran *gain* antenna 1 dan antenna 3 untuk ( $f = 3,3$  GHz)

Frekuensi (GHz)	Daya Pengirim (mW)			Daya Penerima ( $\mu$ W)			Lambda (cm)	G1+G3 (dB)
	I	II	Rata-rata	I	II	Rata-rata		
3.3	0,726	0,726	0,726	1,54	1,54	1,54	9,090909091	16,07348749
3.31	0,719	0,719	0,719	1,7	1,7	1,7	9,063444109	16,57112788
3.32	0,72	0,72	0,72	1,877	1,876	1,8765	9,036144578	17,02029009
3.33	0,728	0,728	0,728	2,53	2,52	2,525	9,009009009	18,2875524
3.34	0,731	0,731	0,731	2,71	2,7	2,705	8,982035928	18,59479595
3.35	0,721	0,721	0,721	5,36	5,38	5,37	8,955223881	21,65865404
3.36	0,712	0,712	0,712	6,04	6,04	6,04	8,928571429	22,24972269
3.37	0,714	0,714	0,714	7,01	7,01	7,01	8,902077151	22,91016377
3.38	0,721	0,721	0,721	7,72	7,74	7,73	8,875739645	23,31814399
3.39	0,726	0,726	0,726	6,97	6,96	6,965	8,849557522	22,86120666
3.4	0,723	0,723	0,723	3,79	3,78	3,785	8,823529412	20,2562219

Tabel Lamp 2.7 Data pengukuran *gain* antenna 2 dan antenna 3 untuk ( $f = 3,3$  GHz)

Frekuensi (GHz)	Daya Pengirim (mW)			Daya Penerima ( $\mu$ W)			Lambda (cm)	G2+G3 (dB)
	I	II	Rata-rata	I	II	Rata-rata		
3.3	0,726	0,726	0,726	1,246	1,2	1,246	9,090909091	15,07254485
3.31	0,719	0,719	0,719	1,61	1,6	1,61	9,063444109	16,32138903
3.32	0,72	0,72	0,72	1,99	1,99	1,99	9,036144578	17,27533517
3.33	0,728	0,728	0,728	2,05	2,05	2,05	9,009009009	17,38247718
3.34	0,731	0,731	0,731	2,113	2,114	2,113	8,982035928	17,52314578
3.35	0,721	0,721	0,721	2,66	2,67	2,66	8,955223881	18,61588332
3.36	0,712	0,712	0,712	3,45	3,45	3,45	8,928571429	19,81754426
3.37	0,714	0,714	0,714	5,62	5,61	5,62	8,902077151	21,9464812
3.38	0,721	0,721	0,721	5,1	5,1	5,1	8,875739645	21,51205081
3.39	0,726	0,726	0,726	4,29	4,28	4,29	8,849557522	20,75150371
3.4	0,723	0,723	0,723	2,39	2,4	2,39	8,823529412	18,26861824

Tabel Lamp 2.8 Tabel *Gain* ketiga antenna ( $f = 3,3$  GHz)

Frekuensi (GHz)	G1 (dB)	G2 (dB)	G3 (dB)
3.3	8,2	7,2	7,87
3.31	8,625	8,375	7,945
3.32	8,4	8,6	8,6
3.33	8,56	7,74	9,64
3.34	9,485	8,415	9,105
3.35	11,585	8,535	10,065
3.36	13,245	10,845	8,955
3.37	13,045	12,045	9,855
3.38	13,075	11,275	10,225
3.39	12,47	10,36	10,39
3.4	11,035	9,045	9,215

Tabel Lamp 2.9 Data pengukuran *gain* antenna 1 dan antenna 2 untuk (f = 5,8 GHz)

Frekuensi (GHz)	Daya Pengirim (mW)			Daya Penerima ( $\mu$ W)			Lambda (cm)	G1+G2 (dB)
	I	II	Rata-rata	I	II	Rata-rata		
5,35	0,726	0,726	0,726	1,39	1,39	1,39	5,607477	19,82523
5,4	0,719	0,719	0,719	1,4	1,4	1,4	5,555556	19,97923
5,45	0,72	0,72	0,72	2,56	2,56	2,56	5,504587	22,67437
5,5	0,728	0,728	0,728	3,75	3,75	3,75	5,454545	24,36362
5,55	0,731	0,731	0,731	3,8	3,8	3,8	5,405405	24,48189
5,6	0,721	0,721	0,721	4,2	4,2	4,2	5,357143	25,05427
5,65	0,712	0,712	0,712	9,9	9,9	9,9	5,309735	28,90989
5,7	0,714	0,714	0,714	12	12	12	5,263158	29,8097
5,75	0,721	0,721	0,721	10,3	10,3	10,3	5,217391	29,17974
5,8	0,726	0,726	0,726	7,4	7,4	7,4	5,172414	27,78888
5,85	0,723	0,723	0,723	4,1	4,1	4,1	5,128205	25,31694
5,35	0,726	0,726	0,726	1,39	1,39	1,39	5,607477	19,82523
5,4	0,719	0,719	0,719	1,4	1,4	1,4	5,555556	19,97923

Tabel Lamp 2.10 Data pengukuran *gain* antenna 1 dan antenna 3 untuk (f = 5,8 GHz)

Frekuensi (GHz)	Daya Pengirim (mW)			Daya Penerima ( $\mu$ W)			Lambda (cm)	G1+G3 (dB)
	I	II	Rata-rata	I	II	Rata-rata		
5,35	0,726	0,726	0,726	0,91	0,91	0,91	5,607477	17,98549
5,4	0,719	0,719	0,719	1,11	1,11	1,11	5,555556	18,97118
5,45	0,72	0,72	0,72	1,32	1,32	1,32	5,504587	19,79771
5,5	0,728	0,728	0,728	2,99	2,99	2,99	5,454545	23,38002
5,55	0,731	0,731	0,731	3,99	3,99	3,99	5,405405	24,69378
5,6	0,721	0,721	0,721	5,88	5,88	5,88	5,357143	26,51555
5,65	0,712	0,712	0,712	10,52	10,52	10,52	5,309735	29,17369
5,7	0,714	0,714	0,714	11,82	11,82	11,82	5,263158	29,74406
5,75	0,721	0,721	0,721	10,2	10,2	10,2	5,217391	29,13737
5,8	0,726	0,726	0,726	7,44	7,44	7,44	5,172414	27,81229
5,85	0,723	0,723	0,723	4,2	4,2	4,2	5,128205	25,42159
5,35	0,726	0,726	0,726	0,91	0,91	0,91	5,607477	17,98549
5,4	0,719	0,719	0,719	1,11	1,11	1,11	5,555556	18,97118

Tabel Lamp 2.11 Data pengukuran *gain* antenna 2 dan antenna 3 untuk (f = 5,8 GHz)

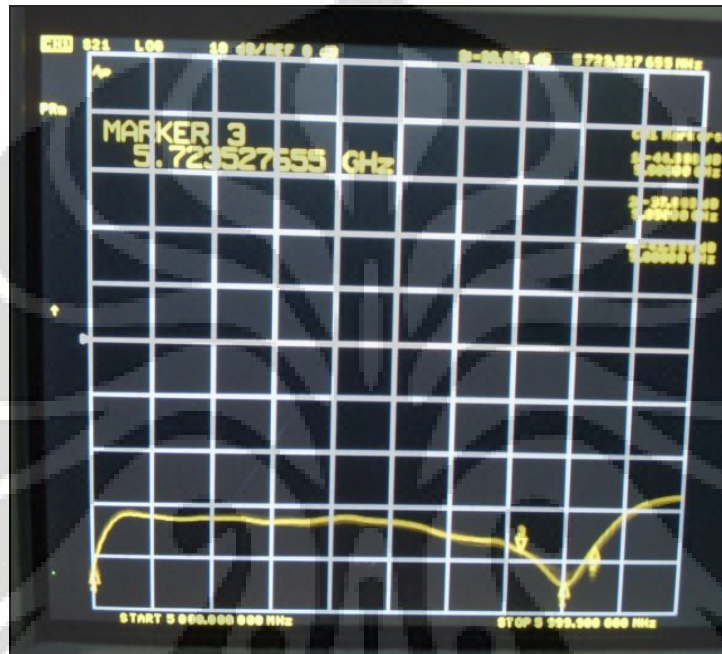
Frekuensi (GHz)	Daya Pengirim (mW)			Daya Penerima ( $\mu$ W)			Lambda (cm)	G2+G3 (dB)
	I	II	Rata-rata	I	II	Rata-rata		
5,35	0,726	0,726	0,726	1,076	1,0746	1,0753	5,607477	18,71037
5,4	0,719	0,719	0,719	1,11	1,11	1,11	5,555556	18,97118
5,45	0,72	0,72	0,72	1,87	1,87	1,87	5,504587	21,31039
5,5	0,728	0,728	0,728	1,96	1,96	1,96	5,454545	21,54587
5,55	0,731	0,731	0,731	2,6	2,6	2,6	5,405405	22,83379
5,6	0,721	0,721	0,721	3,1	3,1	3,1	5,357143	23,73539
5,65	0,712	0,712	0,712	6,3	6,3	6,3	5,309735	26,94694
5,7	0,714	0,714	0,714	7,5	7,5	7,5	5,263158	27,7685
5,75	0,721	0,721	0,721	6,7	6,7	6,7	5,217391	27,31212
5,8	0,726	0,726	0,726	4,7	4,7	4,7	5,172414	25,81754
5,85	0,723	0,723	0,723	2,8	2,8	2,8	5,128205	23,66068
5,35	0,726	0,726	0,726	1,076	1,0746	1,0753	5,607477	18,71037
5,4	0,719	0,719	0,719	1,11	1,11	1,11	5,555556	18,97118

Tabel Lamp 2.12 Tabel *Gain* ketiga antenna (f = 5,8 GHz)

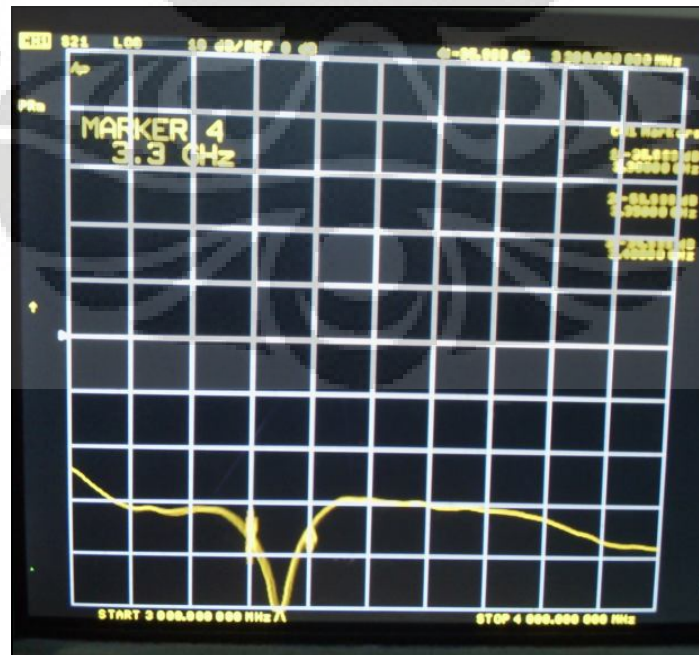
Frekuensi (GHz)	G1 (dB)	G2 (dB)	G3 (dB)
5,35	9,5	10,3	8,4
5,4	9,95	9,95	8,95
5,45	10,5	12,1	9,2
5,5	12,2	12,1	9,4
5,55	12,75	12,15	10,65
5,6	13,905	11,105	12,595
5,65	15,55	13,35	13,55
5,7	15,9	13,9	13,8
5,75	15,45	13,65	13,65
5,8	14,85	12,85	12,95
5,85	13,55	11,75	11,85
5,35	9,5	10,3	8,4
5,4	9,95	9,95	8,95

# LAMPIRAN F

## HASIL PENGUKURAN MUTUAL COUPLING

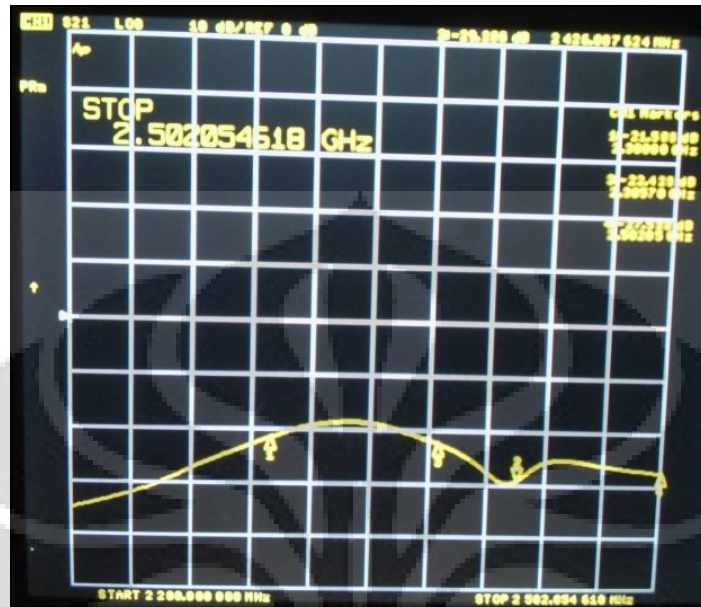


5,8 tanpa DGS

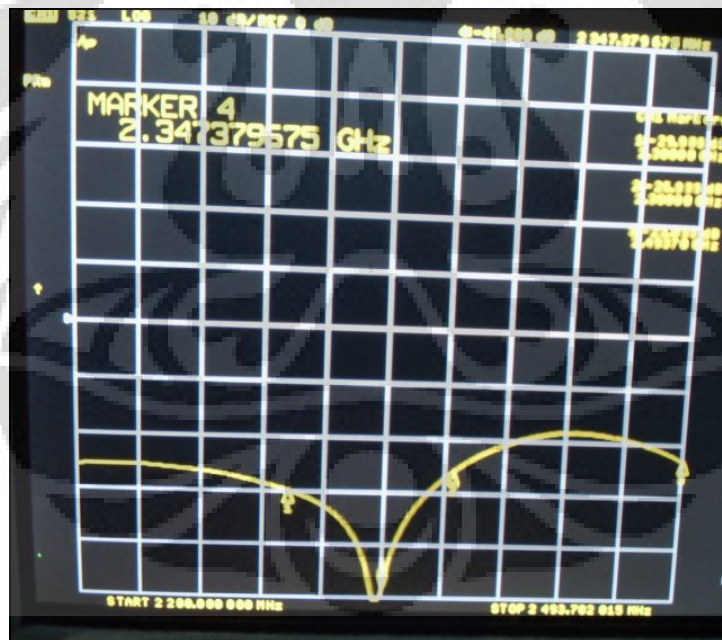




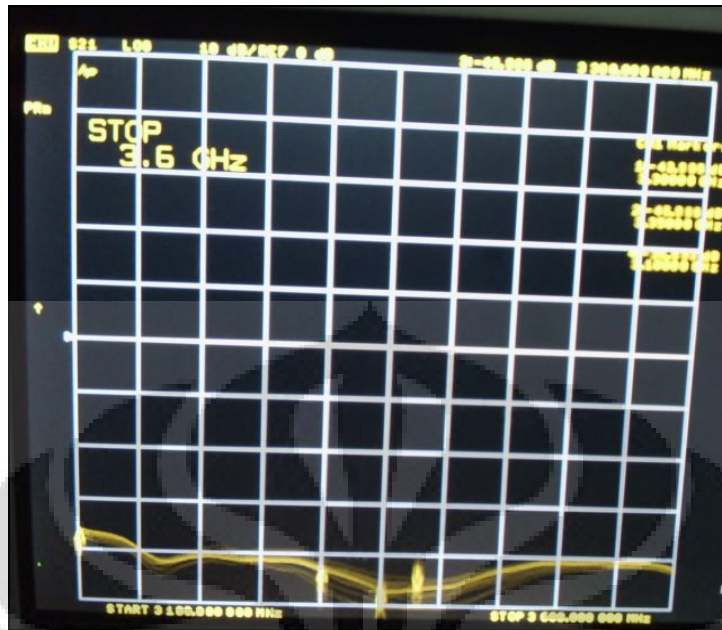
### 3.3 tanpa DGS



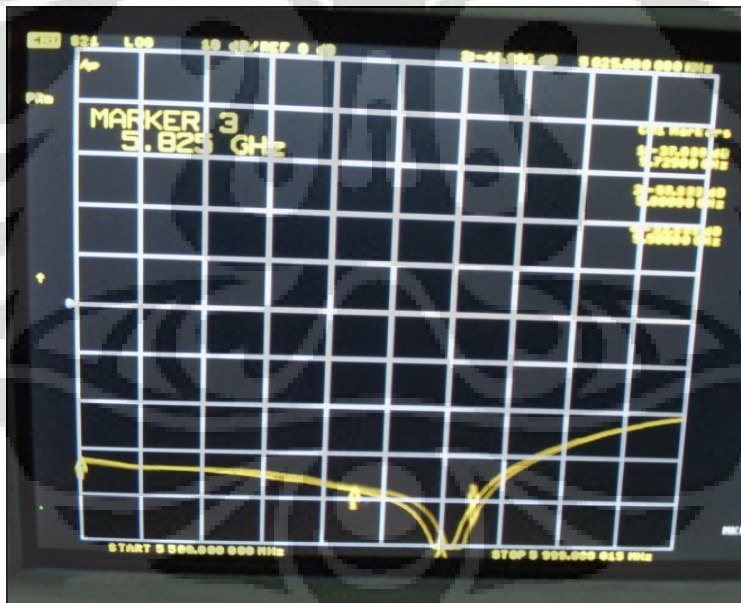
### 2.3 tanpa DGS



### 2.3 Dengan DGS



3.3 Dengan DGS



5.8 dengan DGS

## LAMPIRAN G

### HASIL PENGUKURAN POLA RADIASI

**Pola Radiasi Bidang-E Antenna Dengan DGS(F = 2.3 Ghz)**

Sudut (derajat)	Data 1 (dB)	Data 2 (dB)	Rata-rata (dB)	Normalisasi
0	-40,703	-40,414	-40,5585	0
10	-41,994	-41,998	-41,996	-1,4375
20	-41,996	-42	-41,9515	-1,393
30	-42,089	-42,089	-43,089	-2,5305
40	-43,564	-43,586	-43,575	-3,0165
50	-44,142	-44,771	-44,4565	-3,898
60	-44,659	-45,506	-45,0825	-4,524
70	-45,261	-45,901	-45,581	-5,0225
80	-46,132	-46,403	-46,2675	-5,709
90	-47,418	-46,67	-47,044	-6,4855
100	-55,462	-56,291	-55,8765	-15,318
110	-60,12	-59,195	-59,6575	-19,099
120	-51,236	-53,441	-52,3385	-11,78
130	-61,051	-58,899	-59,975	-19,4165
140	-58,224	-58,332	-58,278	-17,7195
150	-59,85	-59,267	-59,5585	-19
160	-61,319	-59,009	-60,164	-19,6055
170	-61,051	-58,899	-59,975	-19,4165
180	-59,098	-59,183	-59,1405	-18,582
190	-61,307	-59,079	-60,193	-19,6345
200	-59,464	-59,717	-59,5905	-19,032
210	-57,472	-57,281	-57,3765	-16,818
220	-61,042	-58,899	-59,9705	-19,412
230	-60,052	-58,898	-59,475	-18,9165
240	-61,052	-58,898	-59,975	-19,4165

250	-57,87	-56,987	-57,4285	-16,87
260	-58,332	-58,034	-58,183	-17,6245
270	-44,75	-44,964	-44,857	-4,2985
280	-45,192	-43,302	-44,247	-3,6885
290	-44,417	-44,607	-44,512	-3,9535
300	-40,8	-46,52	-43,66	-3,1015
310	-40,974	-40,886	-40,93	-0,3715
320	-40,978	-41,976	-40,977	-0,4185
330	-41,104	-41	-41,0615	-0,503
340	-41,064	-41,166	-41,115	-0,5565
350	-41,708	-40,998	-41,353	-0,7945

### Pola Radiasi Bidang-H Antenna Tanpa DGS (F = 2.3 Ghz)

Sudut (derajat)	Data 1 (dB)	Data 2 (dB)	Rata-rata (dB)	Normalisasi
0	-40,703	-49,414	-45,0585	-4,5
10	-41,354	-41,266	-41,31	-0,7515
20	-42,004	-42	-42,0065	-1,448
30	-43,089	-43,089	-43,089	-2,5305
40	-43,764	-43,786	-43,775	-3,2165
50	-45,142	-44,771	-44,9565	-4,398
60	-45,659	-45,206	-45,4325	-4,874
70	-45,261	-45,901	-45,581	-5,0225
80	-48,132	-47,403	-47,7675	-7,209
90	-52,418	-49,67	-51,044	-10,4855
100	-55,462	-56,291	-55,8765	-15,318
110	-56,12	-57,195	-56,6575	-16,099
120	-51,236	-53,441	-52,3385	-11,78
130	-61,051	-58,899	-59,975	-19,4165
140	-49,224	-49,332	-49,278	-8,7195
150	-49,85	-49,267	-49,5585	-9
160	-61,319	-59,009	-60,164	-19,6055
170	-61,051	-58,899	-59,975	-19,4165

180	-58,098	-57,183	-57,6405	-17,082
190	-61,307	-59,079	-60,193	-19,6345
200	-58,464	-58,717	-58,5905	-18,032
210	-57,472	-57,281	-57,3765	-16,818
220	-61,042	-58,899	-59,9705	-19,412
230	-60,052	-58,898	-59,475	-18,9165
240	-61,052	-58,898	-59,975	-19,4165
250	-61,051	-58,899	-59,975	-19,4165
260	-47,332	-47,034	-47,183	-6,6245
270	-48,75	-49,964	-49,357	-8,7985
280	-44,192	-44,302	-44,247	-3,6885
290	-45,417	-44,607	-45,012	-4,4535
300	-47,332	-47,034	-47,183	-6,6245
310	-43,774	-43,886	-43,83	-3,2715
320	-43,078	-43,076	-43,077	-2,5185
330	-42,104	-42	-42,0615	-1,503
340	-41,064	-41,166	-41,115	-0,5565
350	-40,706	-40,42	-40,563	-0,0045

### Pola Radiasi Bidang-H Antenna Dengan DGS(F = 2.3 Ghz)

Sudut (derajat)	Data 1 (dB)	Data 2 (dB)	Rata-rata (dB)	Normalisasi
0	-56,44	-57,079	-56,7595	-12,422
10	-52,032	-52,975	-52,5035	-8,166
20	-49,07	-48,547	-48,8085	-4,471
30	-52,311	-53,04	-52,6755	-8,338
40	-58,805	-56,635	-57,72	-13,3825
50	-59,034	-57,72	-58,377	-14,0395
60	-52,209	-52,302	-52,2555	-7,918
70	-54,002	-54,335	-54,1685	-9,831
80	-69,497	-71,657	-70,577	-26,2395
90	-56,147	-56,74	-56,4435	-12,106
100	-59,673	-59,125	-59,399	-15,0615

110	-54,919	-53,133	-54,026	-9,6885
120	-59,999	-58,33	-59,1645	-14,827
130	-55,57	-55,819	-55,6945	-11,357
140	-56,077	-57,073	-56,575	-12,2375
150	-56,724	-56,224	-56,474	-12,1365
160	-56,177	-56,903	-56,54	-12,2025
170	-53,134	-53,559	-53,3465	-9,009
180	-57,1	-56,624	-56,862	-12,5245
190	-47,377	-47,485	-47,431	-3,0935
200	-49,006	-50,07	-49,538	-5,2005
210	-54	-56,245	-55,1225	-10,785
220	-48,102	-47,817	-47,9595	-3,622
230	-48,986	-49,07	-49,028	-4,6905
240	-58,025	-57,387	-57,706	-13,3685
250	-47,52	-47,602	-47,561	-3,2235
260	-51,29	-51,62	-51,455	-7,1175
270	-63,557	-63,205	-63,381	-19,0435
280	-45,714	-45,65	-45,682	-1,3445
290	-44,351	-44,324	-44,3375	0
300	-48,564	-48,105	-48,3345	-3,997
310	-62,993	-62,665	-62,829	-18,4915
320	-52,434	-52,723	-52,5785	-8,241
330	-53,32	-53,201	-53,2605	-8,923
340	-51,139	-51,716	-51,4275	-7,09
350	-54,276	-53,945	-54,1105	-9,773

**Pola Radiasi Bidang-H Antenna (F = 5.79 Ghz)**

Sudut (derajat)	Data 1 (dB)	Data 2 (dB)	Rata-rata (dB)	Normalisasi
0	-32,055	-32,27	-32,1625	-2,044
10	-33,731	-34,111	-33,921	-3,8025
20	-36,722	-36,129	-36,4255	-6,307
30	-37,416	-36,669	-37,0425	-6,924

40	-36,362	-36,737	-36,5495	-6,431
50	-36,054	-36,225	-36,1395	-6,021
60	-36,921	-37,556	-37,2385	-7,12
70	-39,273	-39,171	-39,222	-9,1035
80	-42,041	-43,302	-42,6715	-12,553
90	-43,19	-43,297	-43,2435	-13,125
100	-47,757	-50,543	-49,15	-19,0315
110	-45,571	-56,909	-51,24	-21,1215
120	-45,022	-52,572	-48,797	-18,6785
130	-43,535	-47,13	-45,3325	-15,214
140	-43,733	-46,255	-44,994	-14,8755
150	-47,769	-44,984	-46,3765	-16,258
160	-49,493	-47,261	-48,377	-18,2585
170	-49,707	-50,423	-50,065	-19,9465
180	-44,549	-44,761	-44,655	-14,5365
190	-38,951	-39,223	-39,087	-8,9685
200	-36,816	-35,733	-36,2745	-6,156
210	-34,212	-34,016	-34,114	-3,9955
220	-32,929	-32,659	-32,794	-2,6755
230	-32,416	-32,36	-32,388	-2,2695
240	-32,672	-32,381	-32,5265	-2,408
250	-32,344	-33,35	-32,847	-2,7285
260	-33,932	-34,403	-34,1675	-4,049
270	-37,111	-35,824	-36,4675	-6,349
280	-38,143	-37,806	-37,9745	-7,856
290	-35,553	-34,961	-35,257	-5,1385
300	-33,856	-33,131	-33,4935	-3,375
310	-32,422	-31,715	-32,0685	-1,95
320	-30,71	-30,792	-30,751	-0,6325
330	-30,002	-30,008	-30,005	0,1135
340	-29,637	-30,6	-30,1185	0
350	-30,465	-31,252	-30,8585	-0,74

**Pola Radiasi Bidang-E Antenna Tanpa DGS      Frek. 3.3 GHz**

<b>Sudut (derajat)</b>	<b>Data 1 (dB)</b>	<b>Data 2 (dB)</b>	<b>Rata-rata (dB)</b>	<b>Normalisasi</b>
0	-44,472	-43,742	-44,107	-1,11
10	-46,359	-45,411	-44,4	-1,403
20	-45,774	-45,433	-45,6035	-2,6065
30	-43,747	-53,201	-48,474	-5,477
40	-50,564	-50,25	-50,407	-7,41
50	-47,157	-47,231	-47,194	-4,197
60	-49,266	-48,68	-48,973	-5,976
70	-46,721	-45,691	-46,206	-3,209
80	-44,649	-45,139	-44,894	-1,897
90	-48,602	-49,237	-48,9195	-5,9225
100	-79,269	-70,415	-74,842	-31,845
110	-79,338	-59,639	-69,4885	-26,4915
120	-85,282	-59,03	-72,156	-29,159
130	-79,472	-64,742	-72,107	-29,11
140	-69,14	-69,46	-69,3	-26,303
150	-76,394	-76,719	-76,5565	-33,5595
160	-77,452	-77,132	-77,292	-34,295
170	-76,084	-76,954	-76,519	-33,522
180	-73,377	-73,443	-73,41	-30,413
190	-79,004	-69,055	-74,0295	-31,0325
200	-77,824	-77,767	-77,7955	-34,7985
210	-78,412	-77,919	-78,1655	-35,1685
220	-73,177	-73,996	-73,5865	-30,5895
230	-74,961	-74,32	-74,6405	-31,6435
240	-76,915	-61,909	-69,412	-26,415
250	-72,121	-72,005	-72,063	-29,066
260	-67,75	-67,843	-67,7965	-24,7995
270	-69,065	-67,007	-68,036	-25,039
280	-62,385	-61,062	-61,7235	-18,7265
290	-52,294	-52,492	-52,393	-9,396
300	-46,153	-45,894	-46,0235	-3,0265



310	-43,029	-42,965	-42,997	0
320	-43,32	-43,599	-43,4595	-0,4625
330	-47,003	-46,669	-46,836	-3,839
340	-47,258	-47,102	-47,18	-4,183
350	-45,175	-44,054	-44,6145	-1,6175

**Pola Radiasi Bidang-E Antenna Dengan DGS**

**Frek. 3.3 GHz**

Sudut (derajat)	Data 1 (dB)	Data 2 (dB)	Rata-rata (dB)	Normalisasi
0	-32,517	-32,421	-32,469	-0,473
10	-32,402	-32,04	-32,221	-0,225
20	-31,942	-32,05	-31,996	0
30	-32,57	-32,064	-32,317	-0,321
40	-33,216	-32,426	-32,821	-0,825
50	-33,827	-33,06	-33,4435	-1,4475
60	-34,938	-32,677	-33,8075	-1,8115
70	-35,924	-33,419	-34,6715	-2,6755
80	-39,274	-39,201	-39,2375	-7,2415
90	-48,526	-48,977	-48,7515	-16,7555
100	-79,269	-70,415	-74,842	-31,845
110	-79,768	-79,879	-79,8235	-36,8265
120	-77,282	-77,03	-77,156	-34,159
130	-78,472	-78,798	-78,635	-35,638
140	-79,56	-79,96	-79,76	-36,763
150	-76,394	-76,719	-76,5565	-33,5595
160	-77,452	-77,132	-77,292	-34,295
170	-76,084	-76,954	-76,519	-33,522
180	-73,377	-73,443	-73,41	-30,413
190	-74,004	-74,055	-74,0295	-31,0325
200	-77,824	-77,767	-77,7955	-34,7985
210	-78,412	-77,919	-78,1655	-35,1685
220	-73,177	-73,996	-73,5865	-30,5895
230	-74,961	-74,32	-74,6405	-31,6435

240	-78,915	-78,987	-78,951	-35,954
250	-72,121	-72,005	-72,063	-29,066
260	-77,75	-67,843	-72,7965	-29,7995
270	-69,065	-67,007	-68,036	-25,039
280	-42,59	-42,53	-42,56	-10,564
290	-40,115	-35,064	-37,5895	-5,5935
300	-39,02	-34,31	-36,665	-4,669
310	-38,656	-33,073	-35,8645	-3,8685
320	-32,686	-32,767	-32,7265	-0,7305
330	-33,251	-33,739	-33,495	-1,499
340	-33,648	-32,172	-32,91	-0,914
350	-33,024	-32,408	-32,716	-0,72

**Pola Radiasi Bidang-H Antenna tanpa DGS (F =3.3 Ghz)**

Sudut (derajat)	Data 1 (dB)	Data 2 (dB)	Rata-rata (dB)	Normalisasi
0	-40,818	-41,162	-40,99	-8,3355
10	-45,323	-44,633	-44,978	-12,3235
20	-41,891	-42,184	-42,0375	-9,383
30	-42,096	-41,659	-41,8775	-9,223
40	-44,962	-45,976	-45,469	-12,8145
50	-44,019	-43,784	-43,9015	-11,247
60	-39,102	-35,494	-37,298	-4,6435
70	-51,103	-51,995	-51,549	-18,8945
80	-39,276	-39,501	-39,3885	-6,734
90	-37,652	-37,914	-37,783	-5,1285
100	-55,097	-54,825	-54,961	-22,3065
110	-64,031	-63,994	-64,0125	-31,358
120	-53,194	-52,993	-53,0935	-20,439
130	-50,47	-49,571	-50,0205	-17,366
140	-49,542	-49,143	-49,3425	-16,688
150	-51,441	-51,725	-51,583	-18,9285
160	-53,901	-54,009	-53,955	-21,3005
170	-56,205	-55,894	-56,0495	-23,395

180	-59,995	-58,612	-59,3035	-26,649
190	-51,175	-52,064	-51,6195	-18,965
200	-50,121	-49,788	-49,9545	-17,3
210	-48,839	-49,331	-49,085	-16,4305
220	-42,002	-41,361	-41,6815	-9,027
230	-46,564	-46,384	-46,474	-13,8195
240	-42,963	-41,932	-42,4475	-9,793
250	-41,031	-40,225	-40,628	-7,9735
260	-38,493	-38,703	-38,598	-5,9435
270	-38,102	-38,688	-38,395	-5,7405
280	-55,462	-55,944	-55,703	-23,0485
290	-32,79	-32,519	-32,6545	0
300	-40,119	-40,612	-40,3655	-7,711
310	-43,96	-44,25	-44,105	-11,4505
320	-43,006	-42,96	-42,983	-10,3285
330	-41,159	-41,025	-41,092	-8,4375
340	-43,619	-44,25	-43,9345	-11,28
350	-39,005	-38,551	-38,778	-6,1235

### Pola Radiasi Bidang-H Antenna dengan DGS (F = 3.3 Ghz)

Sudut (derajat)	Data 1 (dB)	Data 2 (dB)	Rata-rata (dB)	Normalisasi
0	-28,665	-30,491	-29,578	-0,0005
10	-28,441	-30,907	-29,674	-0,0965
20	-28,721	-31,5	-30,1105	-0,533
30	-30,199	-32,893	-31,546	-1,9685
40	-32,244	-34,641	-33,4425	-3,865
50	-34,861	-37,412	-36,1365	-6,559
60	-39,189	-40,09	-39,6395	-10,062
70	-42,667	-43,651	-43,159	-13,5815
80	-46,502	-48,75	-47,626	-18,0485
90	-45,789	-46,061	-45,925	-16,3475
100	-48,984	-46,16	-47,572	-17,9945
110	-45,862	-44,811	-45,3365	-15,759

120	-42,932	-41,339	-42,1355	-12,558
130	-40,03	-38,739	-39,3845	-9,807
140	-37,516	-36,849	-37,1825	-7,605
150	-34,835	-34,914	-34,8745	-5,297
160	-33,923	-33,701	-33,812	-4,2345
170	-32,911	-33,021	-32,966	-3,3885
180	-33,011	-33,384	-33,1975	-3,62
190	-33,655	-34,151	-33,903	-4,3255
200	-34,593	-35,127	-34,86	-5,2825
210	-35,733	-36,309	-36,021	-6,4435
220	-37,177	-37,86	-37,5185	-7,941
230	-38,645	-37,831	-38,238	-8,6605
240	-38,907	-37,638	-38,2725	-8,695
250	-38,648	-38,776	-38,712	-9,1345
260	-42,722	-43,157	-42,9395	-13,362
270	-45,02	-44,52	-44,77	-15,1925
280	-39,231	-37,901	-38,566	-8,9885
290	-35,282	-34,918	-35,1	-5,5225
300	-32,721	-32,029	-32,375	-2,7975
310	-30,943	-30,779	-30,861	-1,2835
320	-29,989	-29,834	-29,9115	-0,334
330	-29,46	-29,977	-29,7185	-0,141
340	-29,752	-29,79	-29,771	-0,1935
350	-29,634	-29,521	-29,5775	0

### Pola Radiasi Bidang-E Antenna Tanpa DGS Frek. 5.8 GHz

Sudut (derajat)	Data 1 (dB)	Data 2 (dB)	Rata-rata (dB)	Normalisasi
0	-32,013	-32,541	-32,277	-0,281
10	-34,402	-34,04	-34,221	-2,225
20	-36,942	-36,05	-36,496	-4,5
30	-39,57	-39,064	-39,317	-7,321
40	-43,216	-42,426	-42,821	-10,825
50	-33,827	-33,06	-33,4435	-1,4475

60	-34,938	-32,677	-33,8075	-1,8115
70	-35,924	-33,419	-34,6715	-2,6755
80	-37,274	-34,201	-35,7375	-3,7415
90	-38,526	-36,977	-37,7515	-5,7555
100	-49,849	-49,576	-49,7125	-17,7165
110	-49,74	-48,895	-49,3175	-17,3215
120	-48,825	-48,178	-48,5015	-16,5055
130	-49,51	-49,288	-49,399	-17,403
140	-49,4	-49,706	-49,553	-17,557
150	-48,03	-48,427	-48,2285	-16,2325
160	-40,196	-38,997	-39,5965	-7,6005
170	-49,013	-49,541	-49,277	-17,281
180	-48,044	-48,939	-48,4915	-16,4955
190	-48,718	-48,737	-48,7275	-16,7315
200	-49,316	-49,208	-49,262	-17,266
210	-48,971	-48,733	-48,852	-16,856
220	-49,143	-50,917	-50,03	-18,034
230	-49,573	-49,201	-49,387	-17,391
240	-48,021	-48,595	-48,308	-16,312
250	-48,327	-49,749	-49,038	-17,042
260	-38,068	-38,433	-38,2505	-6,2545
270	-35,4	-35,01	-35,205	-3,209
280	-35,29	-34,52	-34,905	-2,909
290	-34,115	-35,064	-34,5895	-2,5935
300	-33,02	-34,31	-33,665	-1,669
310	-42,656	-42,023	-42,3395	-10,3435
320	-38,686	-38,767	-38,7265	-6,7305
330	-36,251	-36,739	-36,495	-4,499
340	-34,648	-34,172	-34,41	-2,414
350	-33,024	-32,408	-32,716	-0,72

**Pola Radiasi Bidang-E Antenna Dengan DGS Frek. 5.8 GHz**

Sudut (derajat)	Data 1 (dB)	Data 2 (dB)	Rata-rata (dB)	Normalisasi
-----------------	-------------	-------------	----------------	-------------

0	-32,999	-32,899	-32,949	-0,953
10	-34,897	-34,987	-34,942	-2,946
20	-36,976	-36,997	-36,9865	-4,9905
30	-33,57	-33,98	-33,775	-1,779
40	-34,216	-34,426	-34,321	-2,325
50	-32,567	-32,765	-32,666	-0,67
60	-33,938	-33,677	-33,8075	-1,8115
70	-32,924	-33,419	-33,1715	-1,1755
80	-33,274	-33,651	-33,4625	-1,4665
90	-34,656	-34,657	-34,6565	-2,6605
100	-35,669	-35,326	-35,4975	-3,5015
110	-49,74	-48,895	-49,3175	-17,3215
120	-49,877	-49,668	-49,7725	-17,7765
130	-49,51	-49,288	-49,399	-17,403
140	-49,4	-49,706	-49,553	-17,557
150	-48,03	-48,427	-48,2285	-16,2325
160	-49,196	-49,989	-49,5925	-17,5965
170	-49,013	-49,541	-49,277	-17,281
180	-48,044	-48,939	-48,4915	-16,4955
190	-49,718	-48,737	-49,2275	-17,2315
200	-49,316	-49,208	-49,262	-17,266
210	-48,971	-48,733	-48,852	-16,856
220	-49,143	-50,917	-50,03	-18,034
230	-49,573	-49,201	-49,387	-17,391
240	-49,921	-49,995	-49,958	-17,962
250	-48,327	-49,749	-49,038	-17,042
260	-38,968	-38,933	-38,9505	-6,9545
270	-35,4	-35,01	-35,205	-3,209
280	-32,999	-32,952	-32,9755	-0,9795
290	-34,115	-35,064	-34,5895	-2,5935
300	-33,02	-34,31	-33,665	-1,669
310	-34,326	-34,123	-34,2245	-2,2285
320	-34,326	-34,117	-34,2215	-2,2255
330	-36,999	-37,739	-37,369	-5,373
340	-35,948	-35,199	-35,5735	-3,5775

350	-33,024	-33,998	-33,511	-1,515
-----	---------	---------	---------	--------

### Pola Radiasi Bidang-H Antenna tanpa DGS (F = 5.8 Ghz)

Sudut (derajat)	Data 1 (dB)	Data 2 (dB)	Rata-rata (dB)	Normalisasi
0	-28,665	-30,491	-29,578	-0,0005
10	-28,441	-30,907	-29,674	-0,0965
20	-28,721	-31,5	-30,1105	-0,533
30	-30,199	-32,893	-31,546	-1,9685
40	-32,244	-34,641	-33,4425	-3,865
50	-34,861	-37,412	-36,1365	-6,559
60	-39,189	-40,09	-39,6395	-10,062
70	-42,667	-43,651	-43,159	-13,5815
80	-46,502	-48,75	-47,626	-18,0485
90	-45,789	-46,061	-45,925	-16,3475
100	-48,984	-46,16	-47,572	-17,9945
110	-45,862	-44,811	-45,3365	-15,759
120	-42,932	-41,339	-42,1355	-12,558
130	-40,03	-38,739	-39,3845	-9,807
140	-37,516	-36,849	-37,1825	-7,605
150	-34,835	-34,914	-34,8745	-5,297
160	-33,923	-33,701	-33,812	-4,2345
170	-32,911	-33,021	-32,966	-3,3885
180	-33,011	-33,384	-33,1975	-3,62
190	-33,655	-34,151	-33,903	-4,3255
200	-34,593	-35,127	-34,86	-5,2825
210	-35,733	-36,309	-36,021	-6,4435
220	-37,177	-37,86	-37,5185	-7,941
230	-38,645	-37,831	-38,238	-8,6605
240	-38,907	-37,638	-38,2725	-8,695
250	-38,648	-38,776	-38,712	-9,1345
260	-42,722	-43,157	-42,9395	-13,362
270	-45,02	-44,52	-44,77	-15,1925
280	-39,231	-37,901	-38,566	-8,9885

290	-35,282	-34,918	-35,1	-5,5225
300	-32,721	-32,029	-32,375	-2,7975
310	-30,943	-30,779	-30,861	-1,2835
320	-29,989	-29,834	-29,9115	-0,334
330	-29,46	-29,977	-29,7185	-0,141
340	-29,752	-29,79	-29,771	-0,1935
350	-29,634	-29,521	-29,5775	0

### Pola Radiasi Bidang-H Antenna dengan DGS (F = 5.8Ghz)

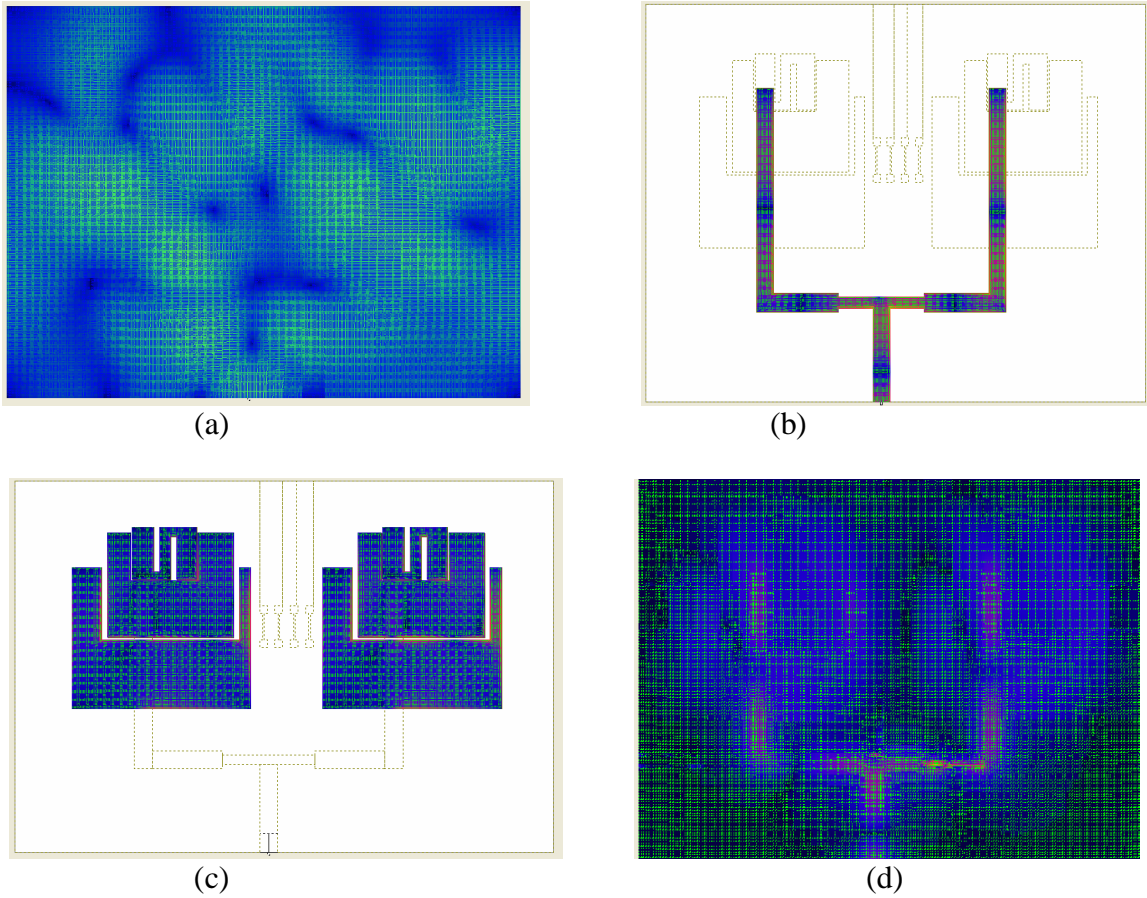
Sudut (derajat)	Data 1 (dB)	Data 2 (dB)	Rata-rata (dB)	Normalisasi
0	-32,055	-32,27	-32,1625	-2,044
10	-33,731	-34,111	-33,921	-3,8025
20	-36,722	-36,129	-36,4255	-6,307
30	-37,416	-36,669	-37,0425	-6,924
40	-36,362	-36,737	-36,5495	-6,431
50	-36,054	-36,225	-36,1395	-6,021
60	-36,921	-37,556	-37,2385	-7,12
70	-39,273	-39,171	-39,222	-9,1035
80	-42,041	-43,302	-42,6715	-12,553
90	-43,19	-43,297	-43,2435	-13,125
100	-47,757	-50,543	-49,15	-19,0315
110	-45,571	-56,909	-51,24	-21,1215
120	-45,022	-52,572	-48,797	-18,6785
130	-43,535	-47,13	-45,3325	-15,214
140	-43,733	-46,255	-44,994	-14,8755
150	-47,769	-44,984	-46,3765	-16,258
160	-49,493	-47,261	-48,377	-18,2585
170	-49,707	-50,423	-50,065	-19,9465
180	-44,549	-44,761	-44,655	-14,5365
190	-38,951	-39,223	-39,087	-8,9685
200	-36,816	-35,733	-36,2745	-6,156
210	-34,212	-34,016	-34,114	-3,9955



220	-32,929	-32,659	-32,794	-2,6755
230	-32,416	-32,36	-32,388	-2,2695
240	-32,672	-32,381	-32,5265	-2,408
250	-32,344	-33,35	-32,847	-2,7285
260	-33,932	-34,403	-34,1675	-4,049
270	-37,111	-35,824	-36,4675	-6,349
280	-38,143	-37,806	-37,9745	-7,856
290	-35,553	-34,961	-35,257	-5,1385
300	-33,856	-33,131	-33,4935	-3,375
310	-32,422	-31,715	-32,0685	-1,95
320	-30,71	-30,792	-30,751	-0,6325
330	-30,002	-30,008	-30,005	0,1135
340	-29,637	-30,6	-30,1185	0
350	-30,465	-31,252	-30,8585	-0,74

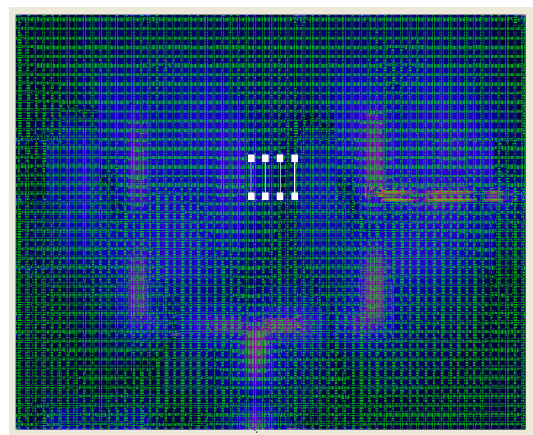
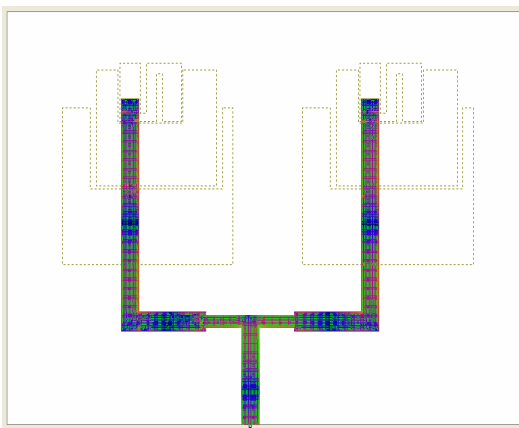
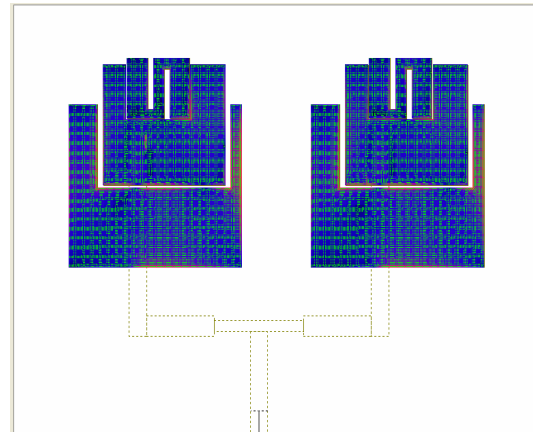
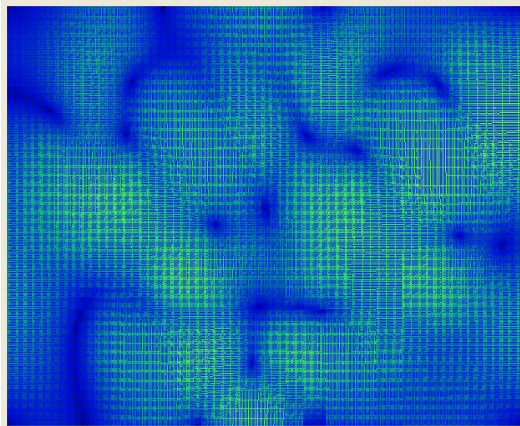
## LAMPIRAN H GAMBAR ALIRAN ARUS

### A. TANPA DGS



Gambar1. Aliran Arus Pada (a) Layer 1  
(b) Layer 2  
(c) Layer 3  
(d) Layer 4

## B. DENGAN DGS



Gambar2. Aliran Arus Pada

- (a) Layer 1
- (b) Layer 2
- (c) Layer 3
- (d) Layer 4