



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**STUDI TENTANG ANTENA MIKROSTRIP DENGAN  
DEFECTED GROUND STRUCTURE (DGS)**

**DISERTASI**

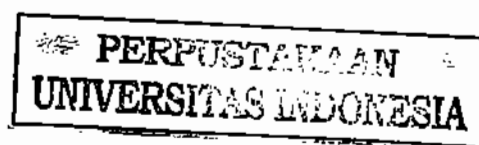
**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Doktor**

**NAMA: FITRI YULI ZULKIFLI**

**NPM: 840503201X**

D  
00936


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



## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Fitri Yuli Zulkifli  
NPM : 840503201X

Tanda Tangan : 

Tanggal : 30 Desember 2008


## HALAMAN PENGESAHAN


Disertasi ini diajukan oleh


Nama : Fitri Yuli Zulkifli  
NPM : 840503201X  
Program Studi : Teknik Elektro  
Judul Disertasi : Studi Tentang Antena Mikrostrip dengan *Defected Ground Structure* (DGS)

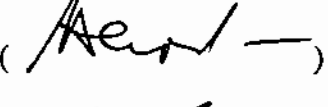
Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Doktor pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

## DEWAN PENGUJI


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


Kopromotor : Prof.Dr.Ir. Djoko Hartanto, M.Sc. (  )

Tim Penguji : Dr. Adrian Andaya Lestari (  )

Prof.Dr.Ir. Bagio Budiardjo, M.Sc. (  )

Prof.Dr.Ir. Dadang Gunawan, M.Eng (  )

Ir. Gunawan Wibisono, M.Sc., Ph.D. (  )

Dr.Ir. Muhamad Asvial, M.Eng. (  )

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 30 Desember 2008

## UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur saya panjatkan kepada Allah swt, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan disertasi ini. Penulisan disertasi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Doktor, Program Studi Teknik Elektro pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan disertasi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan disertasi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

1. Prof.Dr.Ir. Eko Tjipto Rahardjo, M.Sc. selaku promotor selaku promotor yang telah meluangkan waktu untuk membimbing, memberikan arahan, nasehat, memberi semangat, mendukung penuh penelitian ini, dan menyemangati dalam penulisan makalah untuk seminar dan jurnal sampai penyusunan disertasi ini.
2. Prof. Dr. Ir. Djoko Hartanto, M.Sc. selaku ko promotor yang telah membimbing, mengoreksi, memberi saran dan memberi muatan filosofi dalam penelitian ini sampai penyusunan disertasi ini.
3. Dr.Adrian A. Lestari, Prof. Dr. Ir. Bagio Budiardjo, M.Sc., Prof. Dr. Ir. Dadang Gunawan, M.Eng, Ir. Gunawan Wibisono, M.Sc., Ph.D. dan Dr. Ir. Muhammad Asvial, M.Eng., sebagai penguji dalam proses disertasi ini.
4. Pimpinan, Staf Pengajar beserta Karyawan Departemen Teknik Elektro Universitas Indonesia.
5. Mahasiswa UI yang ikut dalam *Antenna Propagation and Microwave Research Group (AMRG)* yaitu Aditya, Bayu, Desi Marlina, Dheardo Dhy Leon, Dian Rodhiah, Faisal Narpati, Hans Mauritz, Hendra Wirawan, Hilman Halim, Lestari Amirullah, Mario Martin, M. Fahrazal dan Susi Lomorti.
6. Orang tua dan keluarga saya yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral; dan
7. sahabat yang telah banyak membantu saya dalam menyelesaikan disertasi ini.

Akhir kata, saya berharap Allah swt berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu, semoga disertasi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, 30 Desember 2008

Penulis



Fitri Yuli Zulkifli

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

---

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

Nama : Fitri Yuli Zulkifli  
NPM : 840503201X  
Program Studi : Teknik Elektro  
Departemen : Teknik Elektro  
Fakultas : Teknik  
Jenis karya : Disertasi

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

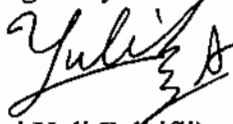
Studi Tentang Antena Mikrostrip dengan *Defected Ground Structure (DGS)*

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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di: Depok  
Pada tanggal: 30 Desember 2008

Yang menyatakan

  
(Fitri Yuli Zulkifli)

## Abstrak

Nama : Fitri Yuli Zulkifli  
Program studi : Departemen Teknik Elektro  
Judul : Studi Tentang Antenna Mikrostrip dengan Defected Ground Structure (DGS)  
Promotor : Prof.Dr.Ir. Eko Tjipto Rahardjo, M.Sc.  
Co-Promotor : Prof.Dr.Ir. Djoko Hartanto, M.Sc.

Antena mikrostrip dewasa ini semakin banyak digunakan untuk perangkat komunikasi nirkabel, hal ini disebabkan banyaknya kelebihan antenna ini seperti bentuknya yang kompak, kecil, dan dapat dengan mudah diintegrasikan dengan *Microwave Integrated Circuits*. Namun salah satu kelemahan dari antenna mikrostrip adalah berkurangnya efisiensi radiasi akibat munculnya gelombang permukaan (*surface wave*) ketika substrat yang digunakan memiliki konstanta dielektrik lebih besar dari satu. *Surface wave* akan menyebabkan meningkatnya *end-fire radiation* dan efek *mutual coupling* antara elemen pada antenna susun. Untuk mengatasi masalah gelombang permukaan ini dapat digunakan metode *Defected Ground Structure (DGS)*.

Dalam penelitian ini telah dilakukan studi tentang pengembangan antenna mikrostrip dengan teknik berupa *Defected Ground Structure* yang diharapkan mampu meningkatkan kinerja antenna berupa peningkatan gain, penekanan efek mutual coupling pada antenna susun dan perbaikan nilai return loss maupun VSWR. Penelitian ini menggunakan simulator Microsoft Office AWR dan pengukuran dilakukan di laboratorium anti gema di Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

Pada antenna *single band array* konvensional telah diteliti empat macam bentuk DGS berupa segitiga sama kaki, hexagonal, trapesium dan dumbbell. Hasil simulasi dan pengukuran menunjukkan antenna dengan DGS mampu memperbaiki kinerja antenna konvensional berupa perbaikan nilai return loss dan VSWR sehingga lebih mendekati kondisi *matching* dan penekanan efek *mutual coupling* pada antenna susunnya.

Hasil pengukuran menunjukkan *mutual coupling* terjadi pada antena konvensional dengan nilai  $S_{12}$  sebesar -35,18 dB. Pada antena DGS bentuk hexagonal, trapesium dan *dumbbell*, nilai pengukuran  $S_{12}$  diperoleh sebesar -38,59 dB, 43,095 dB dan -54,314 dB sehingga terjadi penekanan *mutual coupling* sebesar 3,44 dB (9,77%), 7,915 dB (22,49%) dan 19,134 dB (35,22%). Penekanan ini sangat signifikan bagi perbaikan kinerja antena.

Pengukuran nilai *return loss* (RL) menghasilkan perbaikan dari RL antena konvensional sebesar -30,188 dB menjadi -45,48 dB atau perbaikan sebesar 50,65% untuk antena DGS bentuk segitiga sama kaki. Pada antena dengan DGS bentuk hexagonal diperoleh nilai RL -40,899 dB dengan perbaikan 35,48%. Pada DGS bentuk trapesium diperoleh nilai RL -40,24 dB dengan perbaikan 33,29% dan DGS bentuk *dumbbell* mempunyai nilai RL -40,081 dB dengan perbaikan sebesar 32,77%. Hasil pengukuran ini menunjukkan antena dengan DGS dalam kondisi yang lebih *matching* dibandingkan dengan antena tanpa DGS dan ini juga berarti efisiensi antena dapat ditingkatkan.

Di samping itu, hasil pengukuran juga menunjukkan peningkatan gain antara 0,2 hingga 1,3 dB setelah penerapan DGS. Peningkatan gain pada frekuensi kerja 2,66 GHz untuk semua antena DGS sekitar 0,5 dB hingga 1 dB. Peningkatan gain paling tinggi diperoleh pada antena DGS bentuk *dumbbell* pada frekuensi 2,67 GHz yaitu sebesar 1,3 dB.

Dari hasil penelitian yang diperoleh dari penerapan DGS pada antena *single band array*, hasil simulasi dan pengukuran menunjukkan bahwa DGS bentuk *dumbbell* menghasilkan peningkatan kinerja terbaik dibandingkan dengan DGS bentuk lain yang sudah diteliti. Bentuk DGS *dumbbell* ini dipilih untuk diterapkan pada antena multiband array konvensional dan juga dimodelkan dengan metode rangkaian ekuivalen sehingga diperoleh hasil desain secara teoritis.

Antena *multiband array* konvensional yang telah di desain merupakan antena dengan bentuk kompak namun mampu menghasilkan multifrekuensi. Pada hasil simulasi, tidak semua band menunjukkan perbaikan karakteristik kinerja antena.

Adapun hasil pengukuran menunjukkan bahwa antena dengan DGS mampu memperbaiki karakteristik kinerja antena konvensional pada semua *band*

frekuensinya. Hasil pengukuran menunjukkan peningkatan gain antena 0,5 hingga 3 dB dan juga mampu menekan efek *mutual coupling* pada ketiga frekuensi kerja yang telah di rancang dari 2 hingga 5 dB. Pengukuran RL juga menunjukkan perbaikan nilai RL sebesar 21,46% pada frekuensi 2,386 GHz, 47,78% pada frekuensi 3,35 GHz dan 78,6% pada frekuensi 5,825 GHz.

Kata Kunci: *Defected Ground Structure*, Antena Mikrostrip, Antena susun, *Mutual Coupling*



## Abstract

Name : Fitri Yuli Zulkifli  
Study Program : Electrical Engineering Department  
Title : Study of Microstrip Antenna with Defected Ground Structure (DGS)  
Promotor : Prof.Dr.Ir. Eko Tjipto Rahardjo, M.Sc.  
Co-Promotor : Prof.Dr.Ir. Djoko Hartanto, M.Sc.

Microstrip antenna (MSA) are used in many wireless communication equipment due to it's many advantages such as: compact shape, low profile and easy to be integrated to Microwave Integrated Circuits. However, one common disadvantage of MSA is the reduction of radiation efficiency due to surface wave which occurs when the dielectric constant is greater than 1. Surface wave will increase end-fire radiation and mutual coupling effect between array elements. To overcome this problem, the method Defected Ground Structure (DGS) is used.

This research has conducted a study about the development of MSA using DGS to improve the antenna characteristics such as gain, return loss, VSWR and the suppression of mutual coupling effect from array antenna. The simulator used is Microsoft Office AWR and measurements are conducted in the laboratory anechoic chamber in Electrical Engineering Department, Faculty of Engineering, University of Indonesia.

Four types of DGS shapes have been studied on the conventional single band array. They are triangle, hexagonal, trapezium and dumbbell shapes. Simulation and measurement result shows that the antenna with DGS can improve the antenna characteristics of the conventional MSA.

Measurement results show that the mutual coupling occurred from the conventional MSA is  $S_{12} = -35.18$  dB. For DGS with hexagonal, trapezium and dumbbell shape, the measured  $S_{12}$  are  $-38.59$  dB,  $43.095$  dB and  $-54.314$  dB, respectively. Therefore there is a mutual coupling reduction of  $3.44$  dB (9.77%),  $7.915$  dB (22.49%) and  $19.134$  dB (35.22%), respectively. This reduction is significant for the antenna improvement.

Measured return loss shows that the conventional MSA has RL of -30,188 dB and the triangle shape DGS antenna of -45.48 dB or an improvement of 50.65%. For the hexagonal, trapezium and dumbbell shape DGS, the return losses are -40.899 dB, - 40.24 dB and -40.081 dB with improvement of 35.48%, 33.29 % and 32.77%, respectively. These measurement results demonstrated that the DGS antennas are more in a matching condition compared to the conventional DGS. This also means an increase of antenna efficiency.

Moreover, measurement results show that the antenna gain is improved from 0.2 to 1.3 dB after using DGS. The gain improvement at resonant frequency 2.66 GHz for all DGS antennas are around 0.5 dB to 1 dB. The highest gain improvement is achieved from the dumbbell shape DGS of 1.3 dB.

From research studies of various shapes of DGS conducted on single band array MSA, both simulation and measurement results show that the dumbbell shape DGS has the best improvement, therefore this dumbbell shape is chosen to be implemented for the conventional multiband array MSA and also to be modeled using circuit equivalent.

The conventional multiband array MSA is designed to have a compact shape with three resonant frequencies. Simulation results show at band 3.3 GHz and 5.8 GHz that there is an improvement of the antenna characteristics, however only at frequency 2.3 GHz shows that there is no improvement.

Measurement results of dumbbell shape DGS shows improvement for all bands of the antenna characteristics compared to its conventional MSA. The DGS antenna can increase the antenna gain from 0.5 to 3 dB and also able to reduce the mutual coupling effect from all three resonant frequencies from 2 to 5 dB. RL measurement shows that there is an improvement to 21.46% at frequency 2.386 GHz, 47.78% at frequency 3.35 GHz and 78.6% at frequency 5.825 GHz.

Keywords: Defected Ground Structure, Microstrip Antenna, Array Antenna, Mutual Coupling

# DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
UCAPAN TERIMA KASIH.....	iii
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS.....	iv
ABSTRAK.....	v
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL.....	xvii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xviii
DAFTAR SINGKATAN.....	xix
<b>BAB 1 PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 LATAR BELAKANG .....	1
1.2 PERUMUSAN MASALAH.....	3
1.3 TUJUAN PENELITIAN.....	4
1.4 BATASAN MASALAH .....	4
1.5 KONTRIBUSI.....	5
1.6 METODOLOGI PENELITIAN .....	5
1.7 SISTEMATIKA PENULISAN .....	8
<b>BAB 2 ANTENA MIKROSTRIP.....</b>	<b>9</b>
2.1. KARAKTERISTIK DASAR ANTENA MIKROSTRIP .....	9
2.2. UKURAN ELEMEN PERADIASI .....	10
2.2.1. Bentuk Elemen Peradiasi Segiempat .....	11
2.2.2. Bentuk Elemen Peradiasi Segitiga .....	12
2.3. TEKNIK PENCATUAN .....	14
2.3.1. <i>Electromagnetically Coupled</i> .....	15
2.3.2 Saluran Mikrostrip dengan Catu Langsung.....	17

2.4 PARAMETER DASAR ANTENA MIKROSTRIP .....	18
2.4.1 Penguatan (Gain) .....	18
2.4.2. VSWR ( <i>Voltage Standing Wave Ratio</i> ) .....	18
2.4.3. Return Loss .....	19
2.4.4 Impedansi Masukan .....	20
2.4.5 Bandwidth Antena .....	20
2.5. ANTENA <i>ARRAY</i> .....	22
2.5.1. Dua Elemen <i>Array</i> .....	23
2.5.2. Efek <i>Mutual Coupling</i> .....	25
2.6 TEKNIK-TEKNIK UNTUK MENGHASILKAN MULTIFREKUENSI .....	26
2.6.1 <i>Orthogonal-mode Multi-frequency Antenna</i> .....	27
2.6.2 <i>Multi-patch Multi-frequency Antenna</i> .....	27
2.6.3 <i>Reactively-loaded Multi-frequency Antenna</i> .....	28
2.7 GELOMBANG PERMUKAAN (SURFACE WAVE) .....	29
2.8 DEFECTED GROUND STRUCTURE (DGS) .....	30
<b>BAB 3 PENERAPAN DGS PADA ANTENA SUSUN <i>SINGLE BAND</i>.....</b>	<b>34</b>
3.1 ANTENA ARRAY SINGLE BAND.....	34
3.2 ANTENA ARRAY SINGLE BAND DENGAN DGS .....	36
3.2.1 DGS Bentuk Segitiga.....	38
3.2.2 DGS Bentuk Hexagonal.....	40
3.2.3 DGS Bentuk Trapesium.....	43
3.2.4 DGS Bentuk Dumbbell.....	45
3.3 HASIL SIMULASI DAN PENGUKURAN .....	48
3.3.1 Hasil Simulasi.....	48
3.3.2 Hasil Pengukuran.....	52
3.4 PEMODELAN ANTENA DGS BENTUK <i>DUMBBELL</i> .....	60

<b>BAB 4 PENERAPAN DGS PADA ANTENA SUSUN <i>MULTIBAND</i></b> .....	<b>67</b>
4.1 ANTENA SINGLE ELEMENT MULTIBAND.....	67
4.1.1 Single Element Single Band.....	67
4.1.2 Single Element Dual Band.....	74
4.1.3 Single Element Triple Band.....	78
4.2 ANTENA ARRAY MULTIBAND.....	80
4.2.1 Antena Array Multiband Tanpa DGS.....	82
4.2.2 Antena Array Multiband Dengan DGS.....	84
4.2.3 Hasil Simulasi dan Pengukuran.....	94
4.2.3.1. Hasil Simulasi.....	94
4.2.3.2. Hasil Pengukuran.....	98
<b>BAB 5 KESIMPULAN</b> .....	<b>109</b>
<b>DAFTAR ACUAN</b> .....	<b>111</b>
<b>LAMPIRAN</b> .....	<b>117</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1.	Gambaran Umum Penelitian Yang Dilakukan	.....	6
Gambar 1.2.	Diagram Alir Penelitian	.....	7
Gambar 2.1.	Bentuk Umum Antena Mikrostrip	.....	9
Gambar 2.2.	Konfigurasi Antena Mikrostrip	.....	11
Gambar 2.3.	Geometri Segitiga	.....	13
Gambar 2.4.	Geometri <i>Patch</i> Antena Dengan Teknik <i>Electromagnetically Coupled</i>	.....	15
Gambar 2.5.	Skema Pencatuan <i>Electromagnetically Coupled</i>	.....	16
Gambar 2.6.	Rangkaian Ekuivalen Pada Tepi <i>Patch</i>	.....	16
Gambar 2.7.	Geometri Saluran Mikrostrip	.....	17
Gambar 2.8.	Rentang Frekuensi Yang Menjadi <i>Bandwidth</i> Dengan Standar $RL \leq -10$ dB	.....	21
Gambar 2.9.	Geometri Dua Elemen <i>Array</i>	.....	24
Gambar 2.10.	<i>Coupling</i> Pada Antena <i>Array</i>	.....	26
Gambar 2.11.	Teknik <i>Orthogonal Mode Multi-Frequency</i>	.....	27
Gambar 2.12.	Teknik <i>Multi-Patch Multi-Frequency</i>	.....	28
Gambar 2.13.	Teknik <i>Reactively Loaded</i>	.....	29
Gambar 2.14.	Propagasi Dari Gelombang Permukaan Pada Substrat	.....	29
Gambar 2.15.	Hasil Grafik $S_{11}$ Dan $S_{12}$ Dari Unit Bagian DGS	.....	31
Gambar 2.16.	Rangkaian R,L,C DGS Bentuk <i>Dumbbell</i>	.....	32
Gambar 3.1.	Hasil Perancangan Antena <i>Array Single Band</i>	.....	36
Gambar 3.2.	Fokus Penelitian Penempatan Desain DGS Diantara Dua Elemen	.....	37
Gambar 3.3.	Distribusi Arus Pada Antena Konvensional	.....	37
Gambar 3.4.	Hasil Akhir Perancangan Antena Dengan DGS	.....	40
Gambar 3.5.	Hasil Perancangan Antena Hexagonal DGS	.....	42
Gambar 3.6.	Variabel Variasi Trapesium Yang Diiterasi	.....	43
Gambar 3.7.	Hasil Perancangan Antena DGS Bentuk Trapesium	.....	45

Gambar 3.8.	Variabel Variasi <i>Dumbbell</i> Yang Diiterasi	.....	46
Gambar 3.9.	Hasil Perancangan Antena Dengan DGS <i>Dumbbell</i>	.....	48
Gambar 3.10.	Hasil Simulasi Grafik Return Loss Dari Antena DGS Vs Antena Konvensional	.....	50
Gambar 3.11.	Hasil Simulasi Distribusi Arus	.....	51
Gambar 3.12.	Hasil Simulasi Grafik <i>Axial Ratio</i> Dari Antena DGS Vs Antena Konvensional	.....	52
Gambar 3.13.	Hasil Pengukuran Gain	.....	54
Gambar 3.14.	Hasil Pengukuran <i>Axial Ratio</i>	.....	55
Gambar 3.15.	Hasil Pengukuran Pola Radiasi Bidang E	.....	56
Gambar 3.16.	Hasil Pengukuran Pola Radiasi Bidang H	.....	57
Gambar 3.17.	Hasil Pengukuran Pola Radiasi <i>Cross Polarization</i> Antena DGS Bentuk Segitiga	.....	58
Gambar 3.18.	Hasil Pengukuran Pola Radiasi <i>Cross Polarization</i> Antena DGS Bentuk Hexagonal	.....	58
Gambar 3.19.	Hasil Pengukuran Pola Radiasi <i>Cross Polarization</i> Antena DGS Bentuk Trapezium	.....	59
Gambar 3.20.	Hasil Pengukuran Pola Radiasi <i>Cross Polarization</i> Antena DGS Bentuk <i>Dumbbell</i>	.....	59
Gambar 3.21.	Rangkaian Ekuivalen Patch Antena Satu Elemen	.....	60
Gambar 3.22.	Rangkaian Ekuivalen Patch Antena Susun Dua Elemen	.....	61
Gambar 3.23.	Rangkaian Ekuivalen Pencatu Microstrip Line	.....	62
Gambar 3.24.	Rangkaian Ekuivalen Satu Unit DGS	.....	62
Gambar 3.25.	(a) Bentuk <i>Dumbbell</i> Yang Dirancang (b) Rangkaian Ekuivalen Dari DGS <i>Dumbbell</i>	.....	63
Gambar 3.26.	Hasil Pemodelan Rangkaian Ekuivalen Dibandingkan Dengan Hasil Simulasi	.....	66
Gambar 4.1.	Konfigurasi Antena Konvensional	.....	67
Gambar 4.2.	Antena Mikrostrip Berbentuk Huruf -S	.....	68
Gambar 4.3.	Konfigurasi Pencatuan Secara <i>Electromagnetically Coupled</i> Dengan Teknik <i>Dual Offset</i>	.....	69
Gambar 4.4.	Konfigurasi Antena Dengan DGS Bentuk		

	Lingkaran	.....	70
Gambar 4.5.	Bentuk DGS Pada Antena Berbentuk Huruf S	.....	71
Gambar 4.6.	Perbandingan Return Loss Antara Antena Dengan DGS Dan Tanpa DGS	.....	71
Gambar 4.7.	Grafik Perbandingan <i>Return Loss</i> Hasil Pengukuran Dengan Dan Tanpa DGS	.....	72
Gambar 4.8.	Perbandingan Gain Antena DGS Dengan Referensi Pada Frekuensi 5,15 – 6 GHz	.....	73
Gambar 4.9.	Pola Radiasi Medan E Antena DGS vs Antena Konvensional Pada Frekuensi 5,79 GHz	.....	74
Gambar 4.10.	Rancangan Dan Dimensi Antena <i>Dual Band</i>	.....	75
Gambar 4.11.	Grafik <i>Return Loss</i> Optimum Hasil Dari Variasi Letak Pencatu Dan Panjang Pencatu	.....	75
Gambar 4.12.	Hasil Pengukuran Impedance Bandwidth Antena	.....	76
Gambar 4.13.	Hasil Pengukuran <i>Gain</i> Terhadap Frekuensi	.....	77
Gambar 4.14.	Hasil Pengukuran Pola Radiasi Dari Antenna Pada Frekuensi (a) 2,4 GHz (b) 5,2 GHz (c) 5,3 Ghz (d) 5,84 GHz	.....	78
Gambar 4.15.	Antena <i>Triple-Band Single Elemen</i> (a) Bagian Patch Atas Antena (b) Bagian Pencatu Bawah Antena	.....	80
Gambar 4.16.	Grafik <i>Return Loss</i> Hasil Simulasi Satu Elemen	.....	81
Gambar 4.17.	Antena Mikrostrip <i>Array</i> Linear 2 Elemen (a) Tampak Dari Atas (b) <i>Exploded View</i>	.....	84
Gambar 4.18.	Dimensi Dumbbell Bentuk Kepala Kotak	.....	85
Gambar 4.19.	Posisi <i>Slot</i> DGS 4 Buah <i>Dumbbell</i> Terhadap <i>Patch</i> Antena (a) Tampak Dari Atas (b) <i>Exploded View</i>	.....	93
Gambar 4.20.	Hasil Simulasi <i>Return Loss</i>	.....	94
Gambar 4.21.	Hasil Simulasi Efek <i>Mutual Coupling</i>	.....	96
Gambar 4.22.	Perbandingan Hasil Simulasi <i>Return Loss</i> Antara Antena Tanpa Dan Dengan DGS	.....	97
Gambar 4.23.	Hasil Pengukuran <i>Return Loss</i>	.....	98
Gambar 4.24.	Hasil Pengukuran <i>VSWR</i>	.....	99
Gambar 4.25.	<i>Mutual Coupling</i> Antena DGS Dan Tanpa DGS (a) Band 2,3 GHz (b) Band 3,3 GHz		



	(c) Band 5,8 GHz	.....	102
Gambar 4.26.	Grafik Frekuensi Vs <i>Gain</i> Pada <i>Band</i> Frekuensi 2,3 GHz	.....	103
Gambar 4.27.	Grafik Frekuensi Vs <i>Gain</i> Pada <i>Band</i> Frekuensi 3,3 GHz	.....	103
Gambar 4.28.	Grafik Frekuensi Vs <i>Gain</i> Pada Frekuensi 5,8 GHz	.....	104
Gambar 4.29.	(a) Pola Radiasi Bidang E Pada Frekuensi 2,3 GHz, Antena Tanpa DGS Dan Antena Dengan DGS (b) Bidang H Pada Frekuensi 2,3 GHz, Antena Tanpa DGS Dan Antena Dengan DGS	.....	105
Gambar 4.30.	(a) Pola Radiasi Bidang E Pada Frekuensi 3,3 GHz, Antena Tanpa DGS Dan Antena Dengan DGS (b) Pola Radiasi Bidang H Pada Frekuensi 3,3 GHz, Antena Tanpa DGS Dan Antena Dengan DGS	.....	106
Gambar 4.31.	(a) Pola Radiasi Bidang E Pada Frekuensi 5,8 GHz, Antena Tanpa DGS Dan Antena Dengan DGS (b) Pola Radiasi Bidang H Pada Frekuensi 5,8 GHz, Antena Tanpa DGS Dan Antena Dengan DGS	.....	107

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Spesifikasi Substrat	.....	34
Tabel 3.2	Data Karakteristik Panjang Ya Terhadap <i>Axial Ratio</i>	.....	35
Tabel 3.3	Hasil Simulasi Beberapa Variasi Dimensi Dan Letak Posisi DGS	.....	38
Tabel 3.4	Dimensi Dan Hasil Iterasi DGS Bentuk Hexagonal	.....	41
Tabel 3.5	Dimensi Dan Hasil Iterasi DGS Bentuk Trapesium	.....	44
Tabel 3.6	Karakterisasi DGS <i>Dumbbell</i>	.....	46
Tabel 3.7	Hasil Simulasi Dari Antena Dengan DGS	.....	49
Tabel 3.8	Hasil Pengukuran Dari Antena DGS Vs Antena Tanpa DGS	.....	53
Tabel 3.9	Hubungan Seri Dan Paralel Perhitungan Dibandingkan Hasil Simulasi	.....	65
Tabel 4.1	Parameter Substrat Yang Digunakan Dalam Perancangan Antena Substrat Untuk Elemen Peradiasi Dan Substrat Untuk Saluran Catu	.....	68
Tabel 4.2	Perbandingan Hasil Pengukuran <i>Port Tunggal</i> Dengan Hasil Simulasi	.....	76
Tabel 4.3	Nilai Parameter Antena <i>Triple-Band Single Element</i>	.....	79
Tabel 4.4	Parameter Substrat Taconic TLY-5-0600-C1/C1	.....	80
Tabel 4.5	Hasil Simulasi Perubahan Return Loss Akibat Spesifikasi Antena Yang Berbeda	.....	80
Tabel 4.6	Perubahan Dimensi Antena Multiband	.....	81
Tabel 4.7	Hasil Simulasi Dari Dimensi Antena Yang Baru	.....	82
Tabel 4.8	Karakterisasi DGS <i>Dumbbell</i>	.....	85
Tabel 4.9	Perbandingan Hasil Simulasi Return Loss	.....	94
Tabel 4.10	Perbandingan Hasil Simulasi VSWR	.....	95
Tabel 4.11	Perbandingan Hasil Simulasi <i>Mutual Coupling</i>	.....	96
Tabel 4.12	<i>Magnitude</i> Pola Radiasi Pada Sudut 0°	.....	98
Tabel 4.13	Perbandingan Hasil Pengukuran Efek <i>Mutual Coupling</i>	.....	100

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A	DGS Segitiga Sama Kaki	.....	117
Lampiran B	DGS Hexagonal	.....	123
Lampiran C	DGS Trapesium	.....	126
Lampiran D	DGS Dumbbell	.....	132

## DAFTAR SINGKATAN

ARBW	Axial Ratio Bandwidth
DGS	Defected Ground Structure
EBG	Electromagnetic Bandgap
MSA	Microstrip Antenna
PBG	Photonic Bandgap
RL	Return Loss

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 LATAR BELAKANG

Komunikasi tanpa kabel (*wireless communication*) dan komunikasi bergerak (*mobile communication*) menjadi alternatif pilihan dalam berkomunikasi bagi masyarakat modern yang tidak ingin dibatasi gerakannya dalam pertukaran informasi. Masyarakat modern senantiasa ingin dapat berkomunikasi kapanpun dan dimanapun sehingga batasan yang diakibatkan baik oleh keadaan geografis seperti pegunungan, lautan dan sebagainya maupun karena mobilitas masyarakat ingin dapat ditanggulangi. Dengan adanya komunikasi bergerak dan komunikasi tanpa kabel yang menggunakan media udara, maka keterbatasan komunikasi yang hanya dapat terlaksana bila terhubung dengan kabel akan dapat teratasi.

Perkembangan komunikasi tanpa kabel dan komunikasi bergerak tidak terlepas dari adanya perangkat antena. Antena yang digunakan pada komunikasi tanpa kabel dan komunikasi bergerak seperti pada *handphone*, *laptop*, PDA dan sebagainya senantiasa mempunyai dimensi kecil namun harus mampu juga untuk menerima dan meradiasikan sinyal dengan baik. Ini merupakan beberapa kelebihan dari karakteristik antena mikrostrip sehingga antena mikrostrip dewasa ini semakin pesat perkembangannya. Selain itu, antena mikrostrip juga mempunyai karakteristik *low profile* (kecil, ringan, tipis), relatif mudah difabrikasi, relatif lebih murah dan dapat digunakan pada jarak yang sangat jauh dengan kisaran frekuensi dari 100 MHz sampai diatas 100 GHz. Namun antena mikrostrip mempunyai kelemahan yaitu penurunan efisiensi radiasi akibat rugi-rugi gelombang permukaan (*surface wave*). Hal ini tidak dapat dihindari karena *surface wave* akan selalu timbul bila melewati media dengan  $\epsilon_r > 1$  [1].

Efek yang ditimbulkan oleh *surface wave* adalah [1][2]:

- penurunan efisiensi dan gain antena
- *Bandwidth* yang terbatas
- Peningkatan radiasi *end-fire*
- Peningkatan tingkat *cross-polarization*

- *Multipath interference*
- *Backward radiation*
- *Mutual coupling*

Solusi yang dapat dilakukan untuk mengurangi efek dari gelombang permukaan adalah dengan menggunakan substrat dengan  $\epsilon_r$  yang rendah atau menggunakan substrat dengan struktur *Electromagnetic Bandgap* (EBG).

Struktur EBG mampu menghalangi propagasi gelombang elektromagnetik pada pita frekuensi tertentu pada semua sudut maupun polarisasinya. Namun pada prakteknya, sukar untuk memperoleh struktur *bandgap* demikian lengkapnya sehingga yang dapat diperoleh adalah *bandgap* sebagian saja (*partial*). Dengan adanya EBG ini, karakteristik menarik seperti *stop band* dan *pass band* dapat dilakukan serta dapat digunakan untuk berbagai aplikasi seperti filter, *frequency selective surface* (FSS), *photonic crystals* dan sebagainya [3].

Beberapa metode telah dilakukan untuk menghasilkan substrat yang bersifat EBG seperti metode *woodpile* PBG, *mushroom* PBG, *Sierpinski Fractal* FSS, dan salah satunya adalah dengan metode *Defected Ground Structure* (DGS) [3]. Pada metode EBG struktur lebih kompleks karena harus bersifat periodik dan pada metode tertentu harus ditambahkan *mettalodielectric* berupa substrat di drill dan diisi dengan bahan metalik. Metode ini menjadi kompleks dalam mendesain dan fabrikasi.

Pada metode DGS, bidang pentanahan (*ground*) dari antenna mikrostrip akan dirancang sedemikian rupa membentuk suatu bentuk/pola tertentu namun dengan bentuk/pola tersebut dapat menghasilkan sifat yang sama dengan struktur EBG.

Banyak penelitian yang telah dilakukan untuk melihat dampak positif dari penggunaan DGS pada berbagai aplikasi. Penelitian [4] – [10] telah menerapkan DGS untuk aplikasi filter.

Adapun penerapan DGS pada antenna mikrostrip telah dilakukan pada penelitian [11] – [24] dengan berbagai bentuk DGS seperti bentuk spiral [11] dan [12], lingkaran [13] dan [14], *dumbbell* [21], bentuk “H” [15], bentuk “L” [16], dan concentric ring [17]. Berbagai penelitian tersebut menggunakan DGS untuk menekan *surface wave* sehingga kinerja antenna konvensional dapat ditingkatkan,

seperti untuk menekan harmonisasi [14], [15] dan [20], menekan efek *mutual coupling* [18] dan [21], dan meningkatkan *bandwidth* [23].

Adapun penelitian DGS yang diterapkan pada antena susun hanya ditemukan pada penelitian [21] dan [24] dengan mengambil bentuk DGS *dumbbell*. Namun penelitian [21] dan [24] baru merupakan hasil simulasi, belum menunjukkan hasil pengukuran.

Penelitian lain, yang tidak menggunakan DGS namun EBG pada antena susun terdapat pada [25] dan [26]. Kedua penelitian ini menerapkan EBG pada antena susun dan juga hanya menunjukkan hasil simulasi.

Penelitian [25] menggunakan EBG bentuk *dumbbell* yang ditempatkan diantara kedua elemen antena susun. Penerapan EBG bentuk *dumbbell* tersebut berhasil meningkatkan gain 1 dB dan menekan efek *mutual coupling* di antara antena susun sebesar 4 dB dibandingkan antena konvensional.

Penelitian [26] menggunakan EBG bentuk garpu yang disisipkan sebanyak empat kolom secara periodik diantara kedua elemen antena susun yang berbentuk persegi panjang. Hasil penelitiannya menunjukkan penekanan *mutual coupling* sebesar 6,51 dB yang baru berupa hasil simulasi.

## 1.2 PERUMUSAN MASALAH

Pada antena mikrostrip yang terbuat dari substrat dengan koefisien dielektrik relatif  $\epsilon_r > 1$ , efek gelombang permukaan yang timbul tidak dapat dihindarkan. Salah satu akibat negatif yang ditimbulkan oleh gelombang permukaan adalah timbulnya efek *mutual coupling* pada antena susun. *Mutual coupling* ini menyebabkan energi yang seharusnya untuk elemen yang satu, ternyata beralih ke elemen yang lain (*interchange of energy*). Dampak dari *mutual coupling* adalah mempengaruhi karakteristik radiasi antena seperti impedansi dan pola radiasi yang berbeda dari yang diperkirakan. Efek ini juga berpengaruh pada semakin meningkatnya nilai gelombang berdiri (*standing wave*) dan koefisien refleksi

Salah satu solusi yang dapat dilakukan untuk menekan gelombang permukaan dalam antena mikrostrip adalah dengan menggunakan teknik EBG yang dapat mengatur propagasi gelombang elektromagnetik. Dalam hal ini DGS ternyata dapat juga mempengaruhi propagasi gelombang elektromagnetik sehingga

bertindak seperti *bandpass* atau *bandstop* filter. Karakteristik ini yang dihasilkan oleh DGS dapat menekan *mutual coupling* yang terjadi antara antena susun sehingga tidak terjadi *interchange of energy*.

Walaupun sudah relatif banyak penelitian yang telah dilakukan terhadap DGS pada saluran transmisi, hanya sedikit yang langsung menerapkan pada antena mikrostrip. Tentu ini merupakan tantangan tersendiri dan mempunyai tingkat kesulitan dan inovatif tersendiri karena penerapan DGS pada saluran transmisi tidak sama bila diterapkan pada antena yang mempunyai komponen R, L dan C tersendiri.

### 1.3 TUJUAN PENELITIAN

Studi tentang pengembangan antena mikrostrip dengan teknik *defected ground structure* (DGS) pada *single band* dan *multiband array* sehingga mampu meningkatkan karakteristik kerja antena dibandingkan antena mikrostrip konvensional.

Tujuan khusus yang hendak dicapai dari penelitian diuraikan di bawah ini.

1. Mempelajari karakteristik antena mikrostrip dengan DGS, optimasi parameter yang mempengaruhi terhadap peningkatan unjuk kerja antena.
2. Mempelajari pengaruh bentuk geometri DGS terhadap antena susun.
3. Menguji hasil perancangan antena DGS dengan hasil desain secara teoritis melalui pemodelan rangkaian ekuivalen.
4. Mempelajari dan mengidentifikasi pengaruh DGS terhadap antena susun dalam mereduksi efek *mutual coupling*.

### 1.4 BATASAN MASALAH

Antena mikrostrip hasil rancangan dan fabrikasi pada penelitian ini meliputi antena konvensional dan antena dengan DGS. Simulasi yang digunakan menggunakan metode *moment* dengan menggunakan simulator Microsoft Office AWR. Karakteristik yang dilihat meliputi parameter dasar antena berupa *impedance bandwidth*, *return loss*, *VSWR*, *gain absolut* dan pola radiasi. Khusus bagi antena susun diteliti efek *mutual coupling* dan khusus bagi antena yang mempunyai karakteristik polarisasi melingkar diteliti *axial ratio bandwidth*.



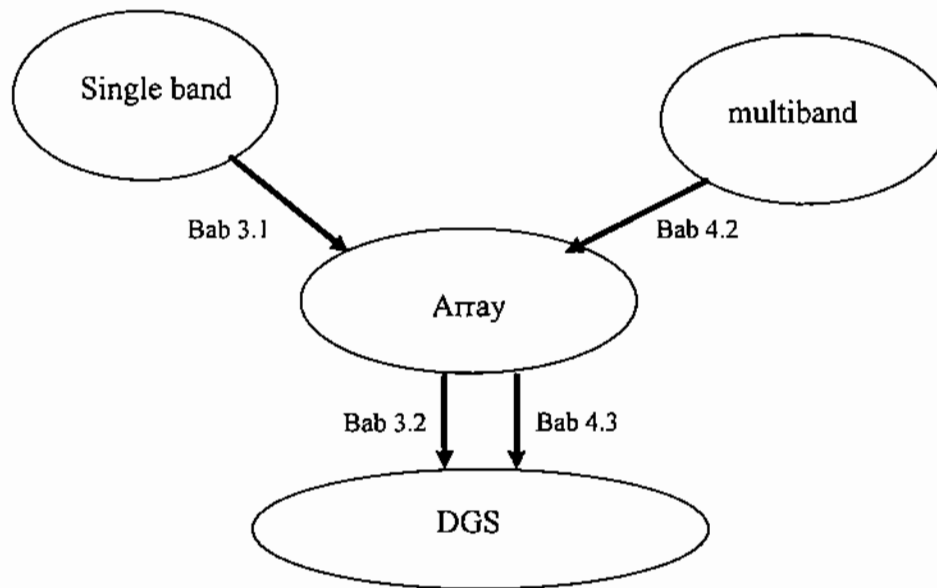
## 1.5 KONTRIBUSI

Kontribusi dari penelitian ini diuraikan sebagai berikut.

- a) Penelitian baru terhadap variasi bentuk DGS pada antena mikrostrip susun (bentuk segitiga, trapesium dan hexagonal).
- b) Pembuktian secara eksperimen penerapan DGS bentuk *dumbbell* pada antena mikrostrip susun.
- c) Pemodelan rangkaian ekuivalen dari antena mikrostrip dengan DGS.
- d) Mendapatkan desain baru penerapan DGS pada antena mikrostrip susun *multiband*.
- e) Mendapatkan perbaikan kinerja antena mikrostrip dengan menggunakan DGS

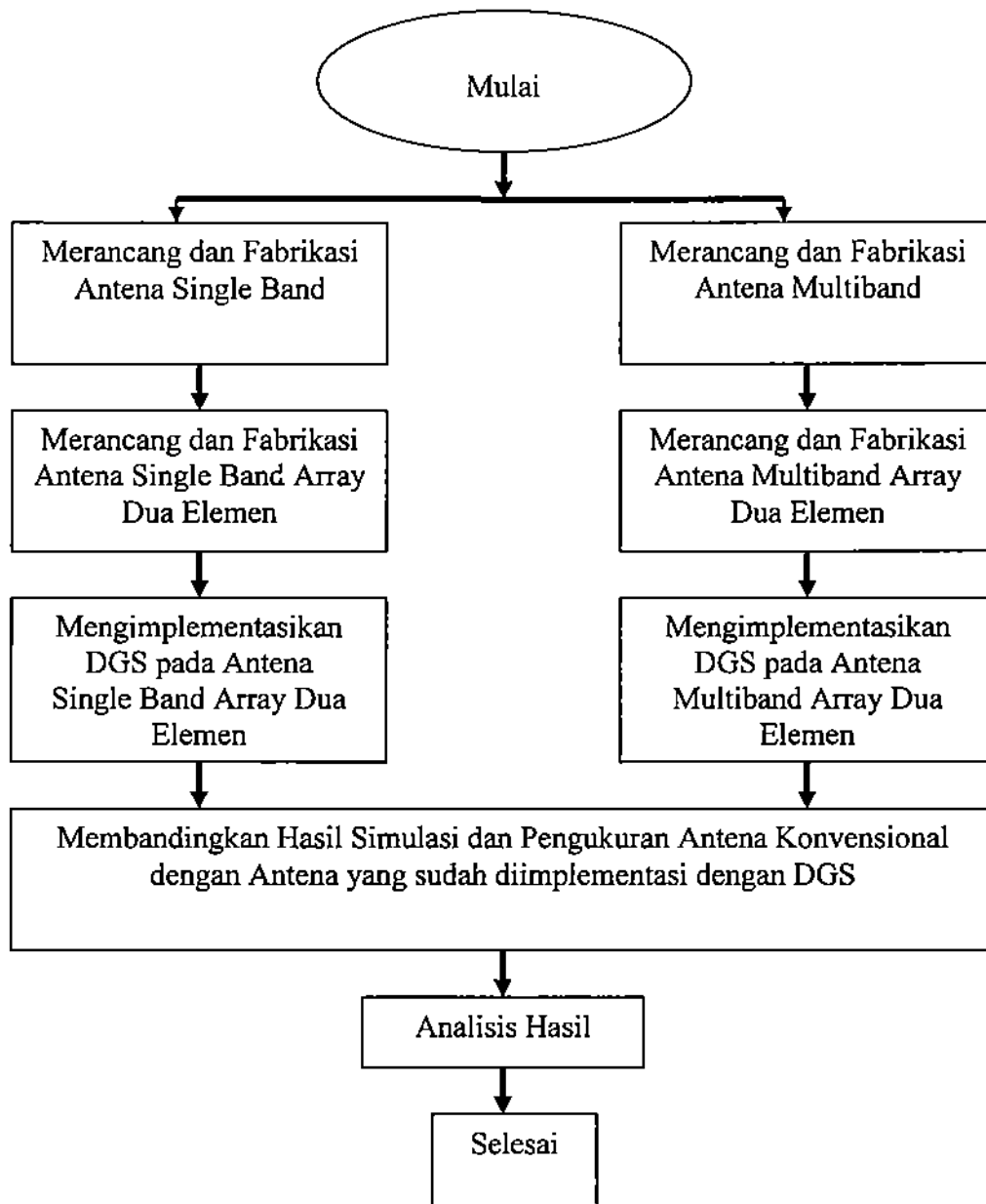
## 1.6 METODOLOGI PENELITIAN

Kegiatan penelitian ini merupakan sebuah studi tentang penerapan DGS pada antena mikrostrip konvensional *single band array* dan *multiband array*. Penelitian ini membuat beberapa desain DGS pada antena konvensional. Adapun gambaran umum penelitian yang dikerjakan dan kaitan bab dalam buku ini ditunjukkan pada Gambar 1.1. Penerapan DGS di kaji pada antena *array single band* yang diawali dengan perancangan antena konvensional yang dibahas di Bab 3. Setelah diperoleh desain antena konvensional *array single band*, maka diteliti dampak penerapan berbagai variasi DGS pada antena konvensional tersebut. Dalam hal ini, ada empat bentuk DGS yang dirancang. Pada Bab 4 dibahas tentang *multiband antena array*. Antena konvensional *multiband* mula-mula di rancang dari *single band*, dilanjutkan menjadi *dual band* dan terakhir *multiband*. Setelah diperoleh antena konvensional *multiband*, maka penerapan DGS pada antena tersebut didesain dan diteliti yang merupakan lanjutan dari penelitian yang dilakukan di Bab 3.



Gambar 1.1 Gambaran Umum Penelitian yang dilakukan

Penjelasan lebih lanjut dapat ditunjukkan pada diagram alir penelitian yang diperlihatkan pada Gambar 1.2. Pada Gambar 1.2, proses dimulai dengan merancang bangun antenna mikrostrip konvensional, baik *single band* maupun *multiband*. Ini dimulai dengan menentukan frekuensi kerja dari antenna mikrostrip tersebut (sesuai dengan aplikasi yang diinginkan). Kemudian ditentukan pemilihan bahan yang akan digunakan yaitu pemilihan substrat untuk elemen peradiasi dan saluran pencatunya. Di sini pemilihan jenis substrat sama atau dipertahankan sama untuk semua antenna yang diteliti agar konsisten parameternya sehingga bias dianalisis dengan benar. Adapun parameter yang perlu diperhatikan dalam penentuan substrat ini adalah konstanta dielektrik substrat ( $\epsilon_r$ ), rugi-rugi tangensial ( $\tan \delta$ ) dan tebal substrat ( $h$ ).



Gambar 1.2 Diagram Alir Penelitian

Setelah penentuan jenis substrat maka langkah selanjutnya adalah menentukan ukuran dari antena mikrostrip yang dilanjutkan dengan menentukan teknik pencatuan antena mikrostrip tersebut.

Jika frekuensi kerja, jenis substrat dan teknik pencatumannya telah ditentukan maka langkah selanjutnya adalah proses perancangan itu sendiri. Dalam perancangan ini menggunakan simulator dengan metode momen yang digunakan dengan tujuan untuk mempercepat proses perhitungan dan menjaga keakuratan.

Pada awal penelitian ini dirancang dua jenis antena konvensional yaitu yang berkarakteristik *single band* dan *multiband*. Bila simulasi dan hasil pengukuran dari antena konvensional sudah memenuhi karakteristik yang ditentukan, maka dilanjutkan dengan mendesain antena susun dua elemen pada masing-masing antena konvensional. Hal ini dilakukan untuk dapat memperhatikan efek *mutual coupling* pada antena susun.

Setelah memperoleh desain antena susun konvensional, maka dilanjutkan dengan mendesain DGS pada antena tersebut. Perancangan antena dengan DGS dilakukan sehingga mampu memperbaiki kinerja antena konvensional. Bila hal ini sudah terpenuhi, maka dilanjutkan dengan fabrikasi. Hasil simulasi dan pengukuran antena konvensional dan antena dengan DGS akan dibandingkan dan dianalisis.

## 1.7 SISTEMATIKA PENULISAN

Sistematika penulisan penelitian 2 ini dibagi menjadi 5 bab, yaitu :

Bab 1 berisi pendahuluan yang menjelaskan latar belakang dan permasalahan, tujuan penelitian, batasan masalah, kontribusi, metodologi penelitian dan sistematika penulisan . Bab 2 berisi teori antena mikrostrip, Bab 3 tentang hasil penelitian antena *singleband array* konvensional yang kemudian dilanjutkan dengan pembahasan hasil penelitian DGS pada antena tersebut. Pada Bab 4 dibahas proses pembuatan antena *multiband array* konvensional yang kemudian dilanjutkan dengan penerapan DGS pada antena konvensional tersebut. Terakhir, Bab 5 berisi kesimpulan dari semua pembahasan sebelumnya.

## BAB 2

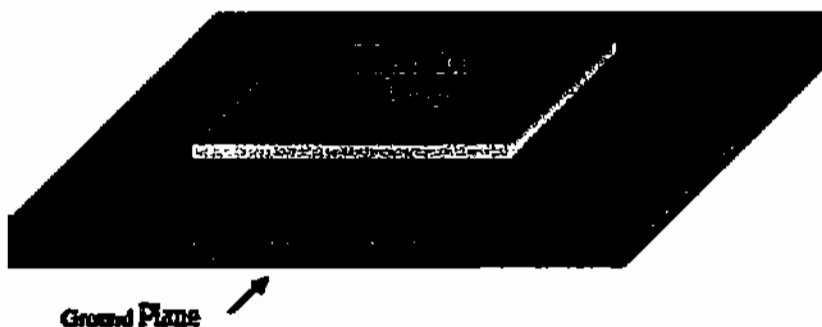
# ANTENA MIKROSTRIP

Antena mikrostrip pertama kali diperkenalkan pada tahun 1950, dan perkembangan terhadap teknologi ini mulai serius dilakukan pada tahun 1970. Melalui beberapa dekade penelitiannya, diketahui bahwa kemampuan beroperasi antena mikrostrip diatur terutama oleh bentuk geometri dari elemen peradiasi (*patch*) dan karakteristik material substrat yang digunakan. Oleh karena itu dimungkinkan dengan manipulasi yang tepat terhadap substrat, seperti penggunaan struktur EBG, akan memperbaiki karakteristik antena mikrostrip.

### 2.1. KARAKTERISTIK DASAR ANTENA MIKROSTRIP

Gambar 2.1 memperlihatkan antena mikrostrip biasa yang terdiri dari sepasang lapisan konduktor paralel yang dipisahkan suatu medium dielektrik atau dikenal dengan nama substrat. Pada susunan ini, lapisan konduktor atas atau "*patch*" berfungsi sebagai sumber radiasi dimana energi elektromagnetik menyusur tepian dari sisi *patch* kedalam substrat. Lapisan konduktor bawah bertindak sebagai bidang *ground* pemantulan sempurna, mengembalikan energi kembali melalui substrat menuju udara bebas.

Secara fisik *patch* berupa konduktor tipis yang merupakan bagian suatu panjang gelombang yang membentuk luas, yang paralel dengan bidang *ground*. Bentuk *patch* dapat berupa berbagai bentuk seperti segiempat, lingkaran, segitiga dan sebagainya.



Gambar 2.1 Bentuk Umum Antena Mikrostrip [27]

Material substrat yang tersedia dapat digunakan untuk frekuensi-frekuensi RF dan *microwave*. Pemilihannya berdasarkan karakteristik material yang diinginkan untuk daya yang optimal pada suatu jarak frekuensi tertentu. Spesifikasi umum termasuk nilai konstanta dielektrik, faktor disipasi (*loss tangent*), dan ketebalan. Nilai konstanta dielektrik antara  $2,2 < \epsilon_r < 12$  digunakan untuk frekuensi operasi dari 1 hingga 100 GHz.

Ketebalan substrat penting untuk diperhatikan ketika akan mendesain antena mikrostrip. Kebanyakan substrat yang diinginkan untuk kehandalan suatu antena dipilih yang tebal dengan konstanta dielektrik yang rendah. Hal ini cenderung menghasilkan antena dengan bandwidth yang lebar dan efisiensi yang tinggi akibat bebas dari loncatan medan tepi yang berasal dari *patch* dan berpropagasi kedalam substrat. Namun hal ini menyebabkan volume antena menjadi besar dan meningkatkan kemungkinan pembentukan gelombang permukaan. Disisi lain, substrat yang tipis dengan konstanta dielektrik yang tinggi mengurangi ukuran antena. Namun akibat adanya disipasi faktor yang lebih tinggi, menyebabkan efisiensi menjadi rendah dan bandwidth yang kecil. Oleh karena itu terdapat timbal balik yang menjadi dasar dalam pembuatan antena mikrostrip yang harus diperhatikan.

Ada beberapa metode dalam menganalisa antena mikrostrip, antara lain adalah model saluran transmisi, metode persamaan integral dan model *cavity*. Model saluran transmisi penggunaannya terbatas hanya untuk menganalisa *patch* berbentuk persegi atau bujur sangkar.

Metode persamaan integral dapat digunakan untuk menganalisa *patch* dengan beragam bentuk demikian juga dengan substrat tebal dan dapat memberikan gambaran fisik dari antena mikrostrip, tetapi dibutuhkan proses komputasi yang panjang. Dalam perkembangannya, metode dalam menganalisa antena mikrostrip digabungkan dengan metode numerik mengingat bentuk antena yang semakin kompleks.

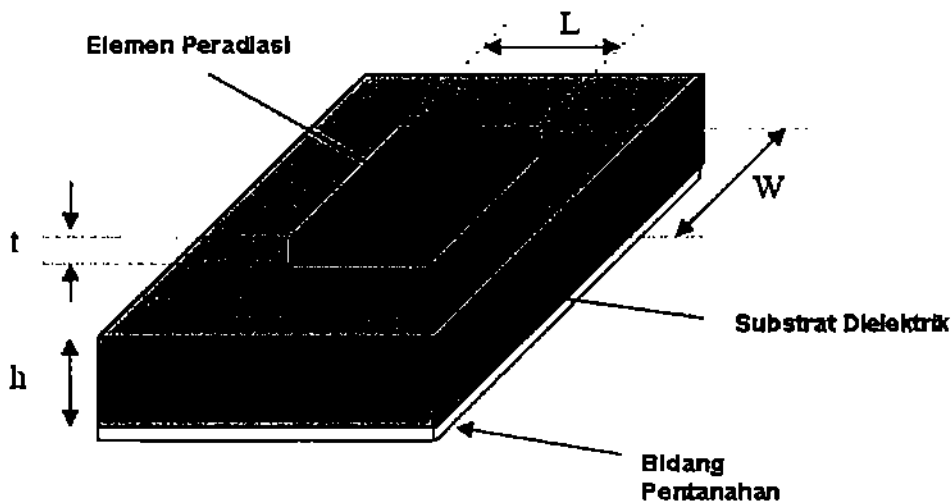
## 2.2. UKURAN ELEMEN PERADIASI

Ukuran elemen peradiasi sangat tergantung dari perencanaan bentuk rancangan yang akan dilakukan. Bentuk yang akan dibahas dalam sub bab

berikutnya adalah bentuk segiempat dan segitiga sama sisi karena dalam penelitian, bentuk dasar tersebut yang akan dilakukan.

### 2.2.1. Bentuk Elemen Peradiasi Segiempat

Konfigurasi elemen peradiasi dari suatu antenna mikrostrip segiempat diperlihatkan pada gambar 2.2. Pada konfigurasi tersebut dimensi elemen peradiasi terdiri atas parameter lebar ( $W$ ) dan panjang ( $L$ ).



Gambar 2.2 Konfigurasi Antena Mikrostrip

Berikut merupakan formula yang digunakan untuk merancang antenna mikrostrip berbentuk persegi panjang [1] [28]:

Frekuensi resonansi dirumuskan dengan :

$$f_{mn} = \frac{c}{2\sqrt{\epsilon_e}} \left[ \left( \frac{m}{L_{eff}} \right)^2 + \left( \frac{n}{W} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2.1)$$

Efek medan tepi pada elemen peradiasi :

$$\Delta L = 0.412h \frac{(\epsilon_e + 0.3) \left( \frac{W}{h} + 0.264 \right)}{(\epsilon_e - 0.258) \left( \frac{W}{h} + 0.8 \right)} \quad (2.2)$$

Panjang elemen peradiasi efektif :

$$L_{\text{eff}} = L + 2\Delta L \quad (2.3)$$

atau

$$L_{\text{eff}} = \frac{c}{2f_{10}\sqrt{\epsilon_e}} \quad (2.4)$$

Lebar elemen Peradiasi :

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

Nilai konstanta dielektrik efektif :

$$\epsilon_e = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left( \frac{1}{\sqrt{1 + 12h/W}} \right) \quad (2.6)$$

dengan  $m$  dan  $n$  adalah indeks mode pada arah  $x$  dan  $y$ ,  $W$  dan  $L$  adalah lebar dan panjang *patch* antenna persegi panjang,  $c$  adalah kecepatan cahaya,  $\epsilon_r$  konstanta dielektrik, serta  $f_r$  adalah frekuensi operasi dalam Hz.  $\epsilon_e$  adalah konstanta dielektrik efektif dan  $\Delta L$  merupakan perubahan panjang yang disebabkan oleh adanya *fringing effect*.

### 2.2.2. Bentuk Elemen Peradiasi Segitiga

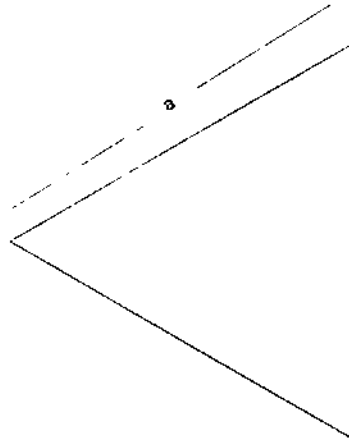
Prinsip sistem koordinat yang digunakan pada bentuk segitiga tidak jauh berbeda dengan sistem koordinat pada persegi empat. Perbedaannya terletak pada penentuan ketiga titik acuan koordinat segitiga tidak sama dengan persegi empat, sehingga perolehan medan dekat, medan jauh dan karakteristik antenna mengalami perubahan.

Bentuk ini memiliki keunggulan dibandingkan dengan bentuk segi empat, yaitu luas yang dibutuhkan oleh bentuk segitiga untuk menghasilkan karakteristik radiasi yang sama lebih kecil dibandingkan luas yang dibutuhkan oleh bentuk segi empat [1]. Hal ini sangat menguntungkan di dalam fabrikasi



antena. Terlebih lagi penambahan *slot* [29] pada *patch* bentuk segitiga membuat luas yang dibutuhkan akan semakin kecil.

Distribusi medan pada *patch* segitiga dapat dicari dengan menggunakan model *cavity*, di mana segitiga dikelilingi oleh medan magnetik di sekelilingnya seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3. Geometri Segitiga [1]

Karena ( $h \ll \lambda_0$ ) maka tidak ada variasi medan sepanjang arah  $z$ , sehingga struktur tersebut mendukung TM pada mode  $z$ . Dengan menggunakan prinsip dualitas, pola medan TM dengan kondisi batas magnetik sama dengan mode TE dengan kondisi batas elektrik. Distribusi medan listrik dan magnet pada mode  $TM_{mn}$  dapat dicari dengan menggunakan rumus berikut [1] :

$$E_z^{mn} = A_{m,n,j} \psi_{m,n,j}(x, y) \quad \dots\dots(2.7a)$$

$$H_x^{mn} = \frac{j}{\omega\mu} \frac{\partial E_z^{mn}}{\partial y} \quad \dots\dots(2.7b)$$

$$H_y^{mn} = \frac{-j}{\omega\mu} \frac{\partial E_z^{mn}}{\partial x} \quad \dots\dots(2.7c)$$

$$H_z = E_x = E_y = 0 \quad \dots\dots(2.7d)$$

Di mana  $\psi_{m,n,j}(x, y)$  merupakan fungsi eigen yang didefinisikan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \psi_{m,n,l}(x,y) = & \cos\left(\frac{2\pi x'}{\sqrt{3}a}l\right)\cos\left(\frac{2\pi(m-n)y}{3a}\right) + \cos\left(\frac{2\pi x'}{\sqrt{3}a}m\right)\cos\left(\frac{2\pi(n-l)y}{3a}\right) \\ & + \cos\left(\frac{2\pi x'}{\sqrt{3}a}n\right)\cos\left(\frac{2\pi(l-m)y}{3a}\right) \end{aligned} \quad \dots\dots(2.3)$$

$$x' = x + a/\sqrt{3} \quad (2.8)$$

Persamaan di atas menggambarkan bahwa koordinat awal sistem terletak tepat pada titik tengah segitiga,  $A_{m,n,l}$  merupakan amplitudo yang ditentukan oleh eksitasi,  $a$  merupakan panjang sisi dari segitiga, dan  $m, n, l$  merupakan bilangan yang tidak nol dan memenuhi kondisi [1] :

$$m + n + l = 0$$

Frekuensi resonansi dapat dicari dengan menggunakan rumus berikut[1]:

$$f_r = \frac{ck_{mn}}{2\pi\sqrt{\epsilon_r}} = \frac{2c}{3a\sqrt{\epsilon_r}}\sqrt{m^2 + mn + n^2} \quad (2.9)$$

Di mana  $c$  merupakan cepat rambat gelombang cahaya. Persamaan di atas berlaku jika elemen peradiasi segitiga dikelilingi oleh dinding magnet yang sempurna. Jika elemen peradiasi dikelilingi oleh dinding magnet yang tidak sempurna, maka nilai  $a$  diganti dengan nilai  $a_e$  yang merupakan nilai efektif dari panjang sisi segitiga.

Untuk mode  $TM_{10}$  frekuensi resonansi ( $f$ ) didefinisikan sebagai berikut :

$$f_{10} = \frac{2c}{3a_e\sqrt{\epsilon_r}} \quad (2.10)$$

Di mana :

$$a_e = a\left[1 + 2.199\frac{h}{a} - 12.853\frac{h}{a\sqrt{\epsilon_r}} + 16.436\frac{h}{a\epsilon_r} + 6.182\left(\frac{h}{a}\right)^2 - 9.802\frac{1}{\sqrt{\epsilon_r}}\left(\frac{h}{a}\right)^2\right] \quad (2.11)$$

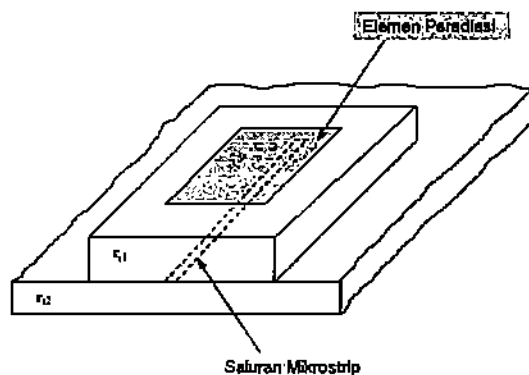
### 2.3. TEKNIK PENCATUAN

Penentuan teknik pencatuan juga merupakan hal penting dan menentukan dalam proses perancangan. Masing-masing teknik mempunyai kelebihan dan kelemahan masing-masing. Dalam penelitian ini, rancangan-rancangan antena

akan menggunakan dua teknik pencatuan yaitu *electromagnetically coupled* dan saluran mikrostrip yang akan dibahas di sub bab berikut:

### 2.3.1. *Electromagnetically Coupled*

Salah satu kelemahan antenna 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 antenna, 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 antenna mikrostrip yang menggunakan saluran mikrostrip yang dikopel secara *proximity* diperlihatkan pada gambar 2.4.

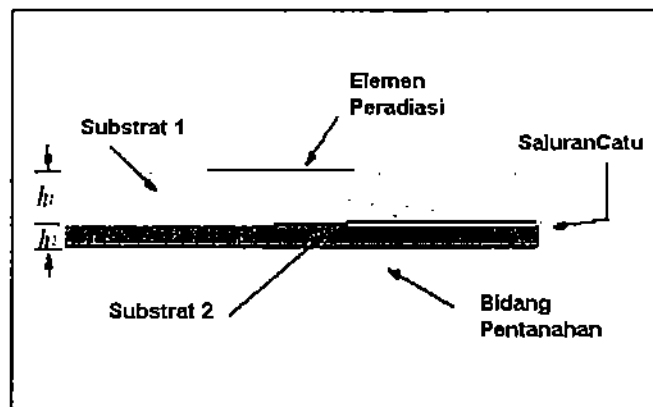


Gambar 2.4 Geometri *Patch* Antena Dengan Teknik *Electromagnetically Coupled* [28]

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%) [1], karena meningkatkan ketebalan dari mikrostrip *patch* antenna. Pada teknik pencatuan ini dapat digunakan dua substrat dielektrik yang berbeda (ketebalan dan

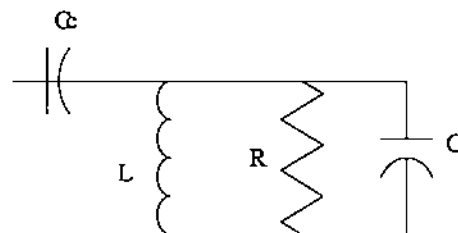
konstanta dielektrik substrat), satu untuk elemen peradiasi dan satu substrat lainnya untuk saluran pencatu.

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 Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Skema Pencatuan *Electromagnetically Coupled* [28]

Pendekatan rangkaian ekivalen di titik pada saluran catu tepat pada tepi *patch* adalah seperti yang terlihat pada gambar 2.6. Rangkaian RLC tersebut merepresentasikan *patch*.  $C_c$  merupakan kopling dari saluran catu ke *patch*.



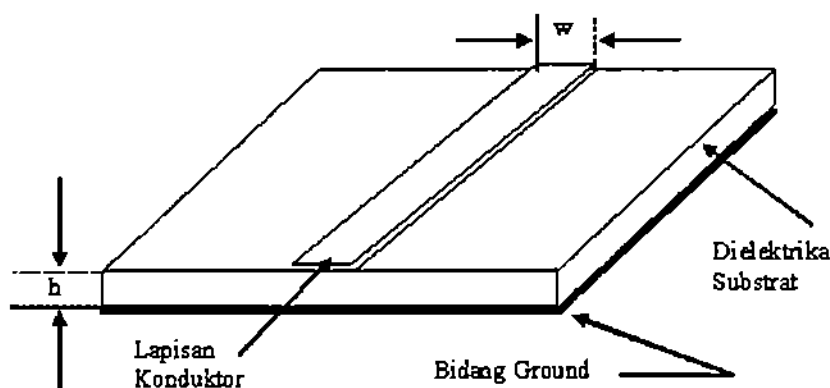
Gambar 2.6 Rangkaian Ekivalen Pada Tepi *Patch* [1]

Efek kopling dikendalikan oleh dua faktor utama, yaitu jarak penyisipan saluran ( $s$ ) dan lebar *patch*. Kopling meningkat dengan penyisipan saluran mencapai maksimal ketika  $s = L/2$ . Dengan kopling simetris terhadap pusat *patch*

dan penurunan lebar *patch* akan menaikkan kopling. Parameter substrat juga berdampak pada dampak kopling. Dengan demikian untuk mencapai lebar bandwidth yang diinginkan maka dapat dilakukan dengan melakukan penyesuaian pada parameter lebar *patch* dan jarak penyisipan saluran. Mekanisme kopling didominasi secara kapasitif. Pada gambar 2.6 diperlihatkan rangkaian ekuivalen dari mekanisme pencatuan *electromagnetically coupled*. Rangkaian ekuivalen terdiri atas rangkaian paralel RLC yang mewakili *patch* dan  $C_c$  kopling mewakili saluran transmisi ke lempengan antenna. Keadaan matching pada teknik pencatuan ini dapat dicapai dengan mengatur panjang dari saluran pencatu dan perbandingan lebar *patch* dengan saluran catu serta penambahan stub pada saluran pencatu. Kekurangan yang utama pada teknik pencatuan ini adalah fabrikasi yang cukup sulit karena dua substrat dielektrik harus diletakkan dengan sejajar. Selain itu teknik pencatuan ini akan meningkatkan ketebalan dari antenna.

### 2.3.2 Saluran Mikrostrip

Saluran transmisi mikrostrip tersusun dari dua konduktor, yaitu sebuah *strip* dengan lebar  $w$  dan bidang pentanahan, keduanya dipisahkan oleh suatu substrat yang memiliki permitivitas relatif  $\epsilon_r$  dengan tinggi  $h$  seperti ditunjukkan pada gambar 2.7. Parameter utama yang penting untuk diketahui pada suatu saluran transmisi adalah impedansi karakteristiknya  $Z_0$ . Impedansi karakteristik  $Z_0$  dari saluran mikrostrip ditentukan oleh lebar strip ( $w$ ) dan tinggi substrat ( $h$ ).



Gambar 2.7 Geometri Saluran Mikrostrip [30]

### Karakteristik saluran mikrostrip untuk $w/h < 1$ [30]

Konstanta dielektrik efektif

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[ \frac{1}{\sqrt{1 + 12h/w}} + 0.04 \left( 1 - \frac{w}{h} \right)^2 \right] \quad (2.12)$$

Impedansi karakteristik

$$Z_0 = \frac{60}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \ln \left( \frac{8h}{w} + \frac{w}{4h} \right) \quad (2.13)$$

### Karakteristik saluran mikrostrip untuk $w/h > 1$

Konstanta dielektrik efektif

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[ \frac{1}{\sqrt{1 + 12h/w}} \right] \quad (2.14)$$

Impedansi karakteristik

$$Z_0 = \frac{120\pi / \sqrt{\epsilon_{eff}}}{w/h + 1.393 + 2/3 \ln(w/h + 1.44)} \quad (2.15)$$

## 2.4 PARAMETER DASAR ANTENA MIKROSTRIP

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 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 [28]:

$$\text{Gain} = 4\pi \frac{\text{Intensitas radiasi pada arah tertentu}}{\text{Intensitas radiasi yang diterima}} = 4\pi \frac{U(\theta, \phi)}{P_{in}} \quad (2.16)$$

### 2.4.2. VSWR (*Voltage Standing Wave Ratio*)

VSWR adalah perbandingan antara amplitudo gelombang berdiri (*standing wave*) maksimum ( $|V|_{\max}$ ) dengan minimum ( $|V|_{\min}$ ) [31]. Pada saluran transmisi ada dua komponen gelombang tegangan, yaitu tegangan yang dikirimkan ( $V_0^+$ ) dan tegangan yang direfleksikan ( $V_0^-$ ). Perbandingan antara

tegangan yang direfleksikan dengan tegangan yang dikirimkan disebut sebagai koefisien refleksi tegangan ( $\Gamma$ ) [31]:

$$\Gamma = \frac{V_0^-}{V_0^+} = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} \quad (2.17)$$

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

Koefisien refleksi tegangan ( $\Gamma$ ) memiliki nilai kompleks, yang merepresentasikan besarnya magnitudo dan fasa dari refleksi. Untuk beberapa kasus yang sederhana, ketika bagian imajiner dari  $\Gamma$  adalah nol, maka [31]:

- $\Gamma = -1$  : refleksi negatif maksimum, ketika saluran terhubung singkat,
- $\Gamma = 0$  : tidak ada refleksi, ketika saluran dalam keadaan *matched* sempurna,
- $\Gamma = +1$  : refleksi positif maksimum, ketika saluran dalam rangkaian terbuka.

Rumus untuk mencari nilai VSWR adalah [31]:

$$S = \frac{\left| \tilde{V} \right|_{\max}}{\left| \tilde{V} \right|_{\min}} = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \quad (2.18)$$

Kondisi yang paling baik adalah ketika VSWR bernilai 1 ( $S=1$ ) yang berarti tidak ada refleksi ketika saluran dalam keadaan *matching* sempurna. Namun kondisi ini pada praktiknya sulit untuk didapatkan. Oleh karena itu pada umumnya nilai standar VSWR yang sering digunakan untuk antena adalah  $VSWR \leq 2$ .

### 2.4.3. Return Loss

*Return Loss* adalah perbandingan antara amplitudo dari gelombang yang direfleksikan terhadap amplitudo gelombang yang dikirimkan. *Return Loss* digambarkan sebagai peningkatan amplitudo dari gelombang yang direfleksikan ( $V_0^-$ ) dibanding dengan gelombang yang dikirim ( $V_0^+$ ). *Return Loss* dapat terjadi akibat adanya diskontinuitas diantara saluran transmisi dengan impedansi masukan beban (antena). Pada rangkaian gelombang mikro yang memiliki

diskontinuitas (*mismatched*), besarnya *return loss* bervariasi tergantung pada frekuensi [31].

$$\Gamma = \frac{V_0^-}{V_0^+} = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} \quad (2.19a)$$

$$\text{return loss} = 20 \log_{10} |\Gamma| \quad (2.19b)$$

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

#### 2.4.4 Impedansi Masukan

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

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

Resistansi masukan ( $R_{in}$ ) mewakili disipasi yang terjadi karena dua hal. Pertama karena daya yang meninggalkan antenna dan tidak kembali lagi (radiasi), yang kedua karena rugi-rugi ohmic yang terkait dengan panas pada struktur antenna. Namun pada banyak antenna, rugi-rugi ohmic sangat kecil bila dibandingkan dengan rugi-rugi akibat radiasi.

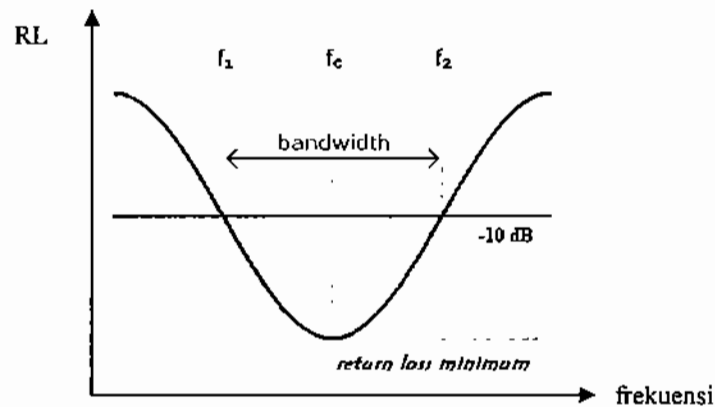
Komponen imajiner ( $X_{in}$ ) mewakili reaktansi dari antenna dan daya yang tersimpan pada medan dekat antenna. Kondisi *matching* harus dibuat sedemikian rupa sehingga mendekati  $50 + j0 \quad \Omega$ .

#### 2.4.5 Bandwidth Antena

*Bandwidth* (Gambar 2.8) suatu antenna didefinisikan sebagai rentang frekuensi di mana kinerja antenna yang berhubungan dengan beberapa karakteristik



(seperti impedansi masukan, pola radiasi, *beamwidth*, polarisasi, *gain*, efisiensi, VSWR, *return loss*, *axial ratio*) memenuhi spesifikasi standar [28].



Gambar 2.8. Rentang Frekuensi Yang Menjadi *Bandwidth* Dengan Standar  $RL \leq -10$  dB

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 [32] :

- *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. Pada umumnya nilai *return loss* yang diminta  $< -9.54$  dB atau  $VSWR < 2$ , namun pada beberapa sistem ada yang meminta *return loss*  $< -15$  dB atau  $VSWR < 1.5$ .
- *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.
- *Axial ratio bandwidth* (ARBW) adalah rentang frekuensi dimana polarisasi (linier atau melingkar) masih terjadi. Dengan menentukan nilai maksimum dari *cross-polarization* atau *axial ratio*, maka *bandwidth* antenna dengan polarisasi linier atau melingkar dapat ditentukan. Pada umumnya nilai batas

ARBW < 3. Nilai ARBW yang semakin mendekati 1 menunjukkan polarisasi antena yang semakin melingkar.

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

$$BW = \frac{f_h - f_l}{f_c} \times 100\% \quad (2.21)$$

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

$f_l$  = frekuensi terendah dalam *band* (GHz)

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

## 2.5. ANTENA ARRAY

Biasanya antena elemen tunggal memiliki pola radiasi yang sangat lebar, dan setiap elemen tersebut menghasilkan keterarahan dan perolehan (*gain*) yang rendah [28]. Pada banyak aplikasi diperlukan antena dengan keterarahan yang baik dan perolehan (*gain*) yang tinggi. Contoh aplikasi yang membutuhkan karakteristik tersebut antara lain adalah radar, penginderaan jauh, komunikasi satelit, dan banyak lagi. Kebutuhan karakteristik ini dapat dipenuhi dengan menyusun antena dengan beberapa konfigurasi. Antena susunan ini sering disebut sebagai antena *array*.

Antena *array* adalah susunan dari beberapa antena yang identik. Dalam antena mikrostrip *patch*, yang disusun secara *array* adalah bagian *patch*. Medan total dari antena *array* ditentukan oleh penjumlahan vektor dari medan yang diradiasikan oleh elemen tunggal. Untuk membentuk pola yang memiliki keterarahan tertentu, diperlukan medan dari setiap elemen *array* berinterferensi secara konstruktif pada arah yang diinginkan dan berinterferensi secara destruktif pada arah yang lain. Pada antena *array* dengan elemen yang identik, terdapat lima kontrol yang dapat digunakan untuk membentuk pola antena, yaitu [28]:

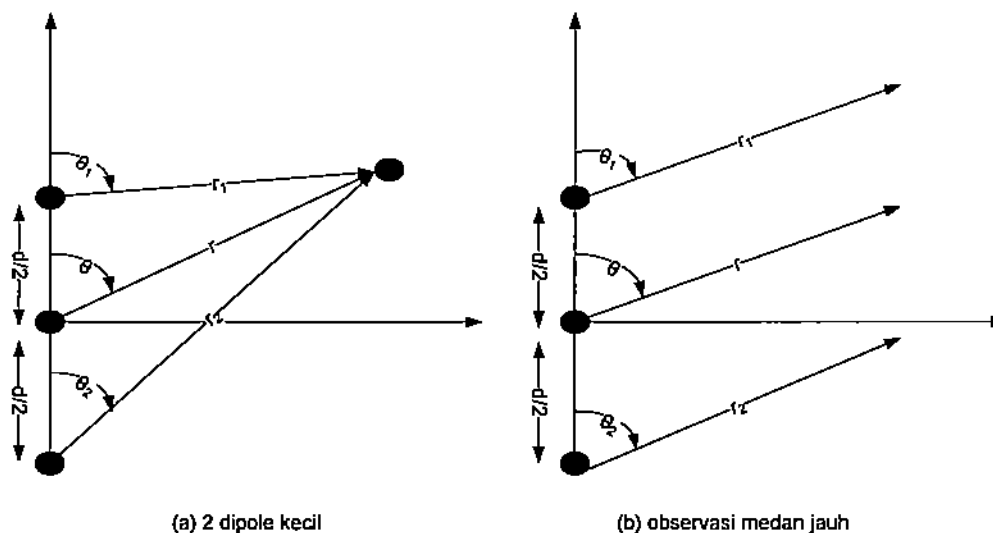
- konfigurasi geometri (linier, melingkar, *rectangular*, *spherical*, dll)
- pemindahan relatif antara elemen
- amplitudo eksitasi dari setiap elemen
- fasa eksitasi dari setiap elemen
- pola relatif dari setiap elemen

Ada beberapa macam konfigurasi antena *array*, di antaranya : *linear*, *planar*, dan *circular*. Masing-masing konfigurasi memiliki keuntungan, misalnya *linear array* memiliki kelebihan dalam perhitungan yang tidak terlalu rumit, sedangkan *planar array* memiliki kelebihan dalam pengaturan dan pengendalian arah pola radiasi. Pada penelitian ini dirancang antena *linear array*.

Pada antena *array* terdapat *Array Factor* (AF) yang merupakan vektor pengali dari medan elektrik dari elemen tunggal. *Array factor* inilah yang menentukan bagaimana pola radiasi dan seberapa besar tingkat daya yang diradiasikan oleh antena tersebut.

### 2.5.1. Dua Elemen *Array*

Antena susunan (*array*) dimisalkan sebagai susunan dari *dipole* horizontal yang sangat kecil, seperti terlihat pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9. Geometri Dua Elemen *Array* [28]

Dari Gambar 2.9 ini diperoleh medan total ( $E_t$ ) yang diradiasikan oleh kedua elemen tersebut sebagai berikut [28]:

$$E_t = E_1 + E_2 = \hat{a}_j \eta \frac{kI_o I}{4\pi} \left\{ \frac{e^{-j(kr_1 - (\beta/2))}}{r_1} \cos \theta_1 + \frac{e^{-j(kr_2 - (\beta/2))}}{r_2} \cos \theta_2 \right\} \quad (2.22)$$

Dimana  $\beta$  adalah perbedaan eksitasi fasa diantara elemen,  $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ ,  $r_1$  dan  $r_2$  adalah jarak observasi. Magnitudo eksitasi pada radiator adalah identik. Jika ditinjau dari sudut pandang medan jauh, maka :

$$\theta_1 \approx \theta_2 \approx \theta \quad (2.23a)$$

$$r_1 = r - \frac{d}{2} \cos \theta \quad (2.23b)$$

$$r_2 = r + \frac{d}{2} \cos \theta \quad (2.23c)$$

$$r_1 \approx r_2 \approx r \quad (2.23d)$$

Sehingga Persamaan 2.22 menjadi [28]:

$$E_t = \hat{a}_j \eta \frac{kI_o I e^{-jkr}}{4\pi r} \cos \theta \left[ e^{j(kd \cos \theta + \beta)/2} + e^{-j(kd \cos \theta + \beta)/2} \right]$$

$$E_t = \hat{a}_j \eta \frac{kI_o I e^{-jkr}}{4\pi r} \cos \theta 2 \cos \left[ \frac{1}{2} (kd \cos \theta + \beta) \right] \quad (2.24)$$

Dari Persamaan 2.24 terlihat bahwa medan total dari *array* adalah sama dengan medan dari elemen tunggal dikalikan dengan faktor yang disebut sebagai faktor *array* (*array factor*). Untuk 2 elemen *array*, nilai *array factor* adalah [28]:

$$AF = 2 \cos \left[ \frac{1}{2} (kd \cos \theta + \beta) \right] \quad (2.25a)$$

Dan dinormalisasi menjadi :

$$(AF)_n = \cos \left[ \frac{1}{2} (kd \cos \theta + \beta) \right] \quad (2.25b)$$

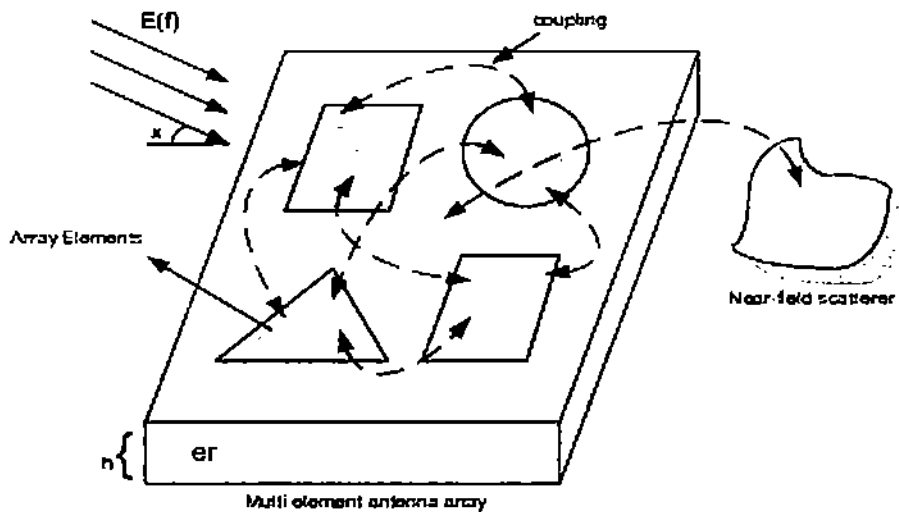
Dengan  $d$  adalah jarak pisah antar elemen. Sehingga untuk mencari sudut *null* ( $\theta_n$ ), yaitu pada saat medan listrik total  $E_t = 0$ , nilai AF diset menjadi nol, sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \cos \left[ \frac{1}{2} (kd \cos \theta + \beta) \right] = 0 &\Rightarrow \frac{1}{2} (kd \cos \theta + \beta) = \pm \left( \frac{2n+1}{2} \right) \pi \\ &\Rightarrow \theta_n = \cos^{-1} \left( \frac{\lambda}{2\pi d} [-\beta \pm (2n+1)\pi] \right) \quad (2.26) \\ n &= 0, 1, 2, \dots \end{aligned}$$

### 2.5.2. Efek *Mutual Coupling*

*Mutual coupling* adalah suatu efek gandingan yang terjadi pada antena *array*. Salah satu penyebabnya adalah 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 [28] seperti terlihat pada Gambar 2.10. Hal ini menyebabkan kontribusi total ke daerah *far-field* tidak hanya tergantung pada eksitasi masing-masing generator (pencatu) antena tetapi juga dari eksitasi yang merugikan (parasit) karena *mutual coupling*. Efek ini berpengaruh pada semakin meningkatnya nilai *standing wave*, koefisien refleksi dan nilai transmisi ( $S_{12}$ ).

*Mutual Coupling* ini dapat merubah besaran arus, fase dan distribusi pada tiap elemen sehingga pola radiasi keseluruhan antena berbeda dibandingkan yang tidak mengalami *coupling*. Pada umumnya, *mutual coupling* mengakibatkan nilai maksimum dan nulls dari pola radiasi antena bergeser dan mengisi nulls. Bila jarak antar elemen semakin berdekatan, efek *mutual coupling* akan semakin meningkat.



Gambar 2.10 Coupling Pada Antena Array [33]

Besar kecilnya dampak *mutual coupling* terhadap performansi antena susun tergantung pada:

- jenis antena dan parameter desainnya seperti impedansi elemen dan koefisien refleksi
- letak posisi elemen-elemen pada antena susunnya
- pencatu dari antena susun

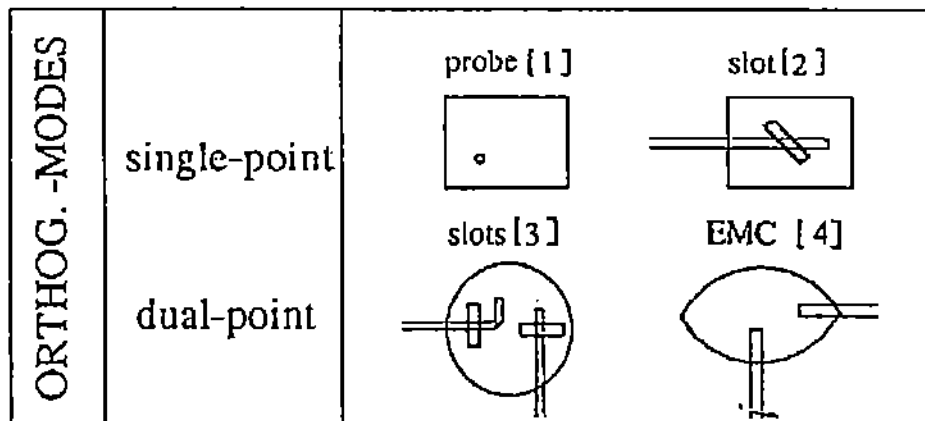
## 2.6 TEKNIK-TEKNIK UNTUK MENGHASILKAN MULTIFREKUENSI

Untuk mendapatkan antena yang beresonansi pada lebih dari satu frekuensi dapat dilakukan dengan berbagai macam cara. Mulai dari menyusun lebih dari satu *patch* antena yang beresonansi pada frekuensi yang berbeda sampai dengan cara menyusun secara bertingkat antena yang mempunyai frekuensi resonansi yang berbeda-beda. Secara umum ada tiga cara untuk menghasilkan antena multi frekuensi. Cara-cara tersebut adalah [34]:

1. *Orthogonal-mode multi-frequency antenna*
2. *Multi-patch multi-frequency antenna*
3. *Reactively-loaded multi-frequency antenna*

### 2.6.1 *Orthogonal-mode Multi-frequency Antenna*

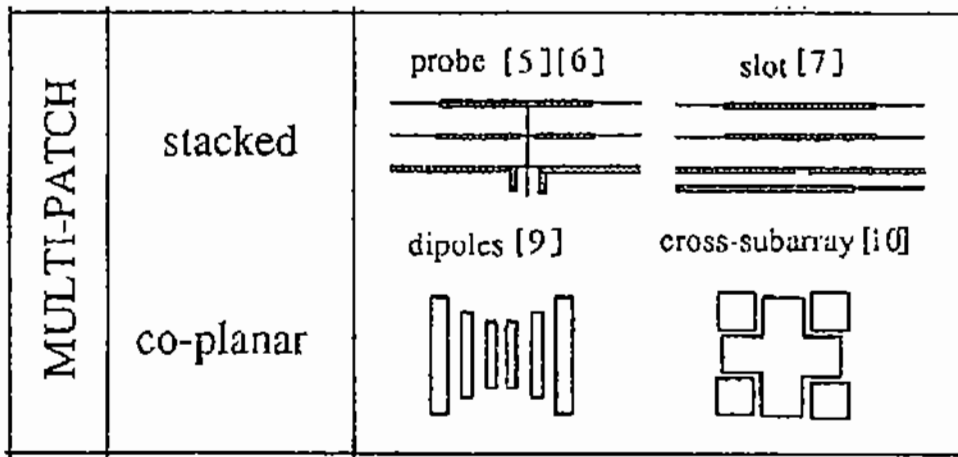
Pada teknik ini akan dihasilkan dua buah frekuensi yang mempunyai polarisasi orthogonal. Salah satu cara untuk menghasilkan lebih dari satu frekuensi resonansi menggunakan teknik ini adalah dengan menempatkan pencatu pada satu buah *patch* sedemikian sehingga pada posisi tersebut mematchingkan dua buah frekuensi. Hal ini dapat dilakukan dengan menggunakan teknik pencatuan probe dan dengan cara pencatuan line akan tetapi diberikan slot yang arahnya condong kearah pencatu. Cara lain untuk menghasilkan lebih dari satu frekuensi resonansi menggunakan teknik ini adalah dengan menggunakan pencatuan ganda, teknik ini diperlihatkan pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11 Teknik *Orthogonal Mode Multi-Frequency* [34]

### 2.6.2 *Multi-patch Multi-frequency Antenna*

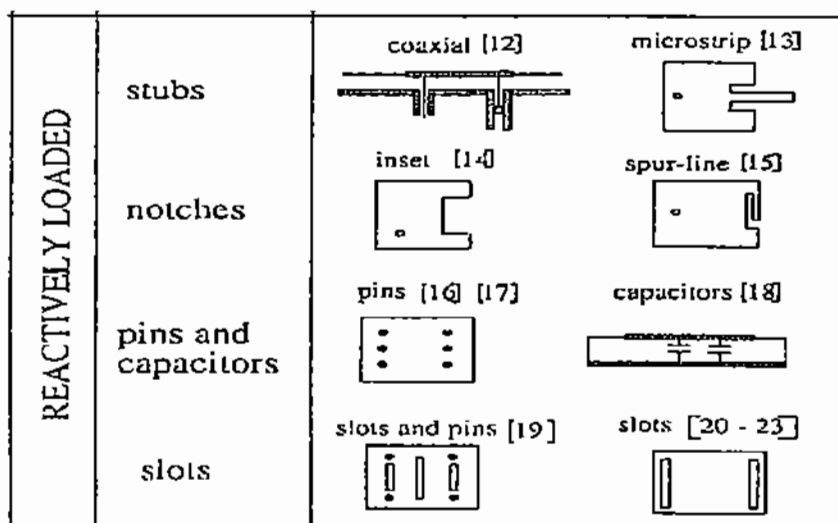
Pada teknik ini untuk menghasilkan lebih dari satu buah frekuensi dilakukan menggunakan lebih dari satu buah *patch*. Cara yang dilakukan dapat dengan menyusun secara menumpuk setiap *patch* yang menghasilkan frekuensi resonansi yang berbeda-beda. Cara ini dinamakan cara *multi-stacked multi-patch antenna*. Cara lainnya adalah dengan cara menyusun *patch* antenna pada satu lapisan substrat. Masing-masing substrat tersebut dipisahkan dengan slot. Cara ini sudah digunakan oleh Croq dan Pozar [35]. Gambaran mengenai teknik ini dapat dilihat pada Gambar 2.12.

Gambar 2.12 Teknik *Multi-Patch Multi-Frequency* [34]

### 2.6.3 *Reactively-loaded Multi-frequency Antenna*

Cara *reactively-loaded* ini adalah cara untuk menghasilkan multi frekuensi dengan menambahkan beban pada antena. Beban yang dimaksud disini bisa berupa stub, slot, pin, slot dan pin, ataupun kapasitor.

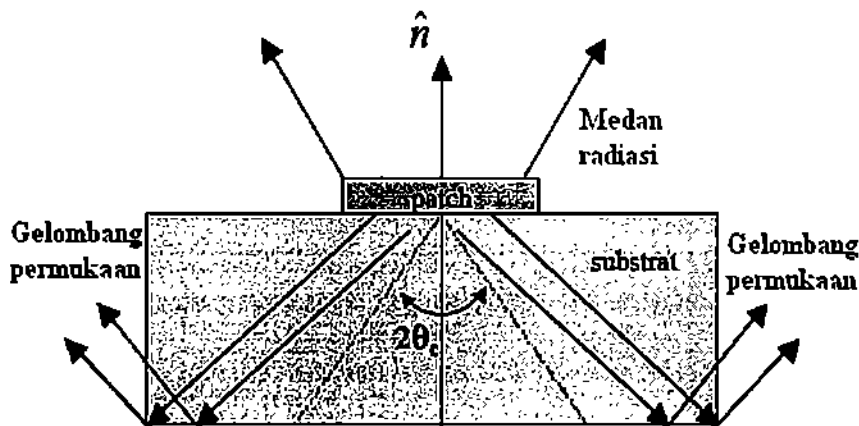
Teknik ini adalah teknik yang paling populer digunakan untuk menghasilkan antena yang dapat bekerja lebih dari satu frekuensi. Beban reaktif tersebut ditambahkan secara khusus pada tepi peradiasi (*radiating edge*) untuk menghasilkan panjang resonansi yang lebih jauh, dimana panjang resonansi ini berkaitan dengan pembangkitan frekuensi yang lainnya. Gambar 2.13 memperlihatkan gambaran dari teknik tersebut:

Gambar 2.13 Teknik *Reactively loaded* [34]



## 2.7 GELOMBANG PERMUKAAN (*SURFACE WAVE*)

Gelombang permukaan yang diperlihatkan pada Gambar 2.14 dibangkitkan pada antenna mikrostrip ketika substrat memiliki konstanta dielektrik sebesar  $\epsilon_r > 1$ . Selain radiasi *end-fire*, gelombang permukaan juga meningkatkan kopling di antara beberapa susunan elemen [1].



Gambar 2.14. Propagasi Dari Gelombang Permukaan Pada Substrat [27]

Ketika *patch* peradiasi dari antenna mikrostrip meradiasikan gelombang ke udara, maka juga ada gelombang yang terjebak di dalam substrat. Gelombang-gelombang ini membentuk gelombang permukaan. Gelombang permukaan ini masuk ke substrat pada sudut elevasi  $\theta_c$  (yang besarnya  $\theta_c = \text{Arc sin}(1/\sqrt{\epsilon_r})$ ) [1] lalu timbul pada bidang pentanahan (*ground plane*) kemudian direfleksikan ke perbatasan udara-dielektrik yang juga kemudian merefleksikan gelombang itu. Jalur yang ditempuh oleh gelombang permukaan ini menyerupai bentuk zigzag, dan akhirnya mencapai batas dari struktur mikrostrip sehingga gelombang tersebut direfleksikan dan dibelokkan kembali oleh ujung dan menyebabkan meningkatnya radiasi *end-fire*. Jika ada antenna yang dekat dengan antenna ini (misal antenna susun/*array*), maka gelombang permukaan ini membentuk gandingan (*coupling*). Karena gelombang permukaan menurun sebanding dengan  $1/\sqrt{r}$ , maka gandingan (*coupling*) juga menurun ketika titik eksitasi semakin jauh [1].

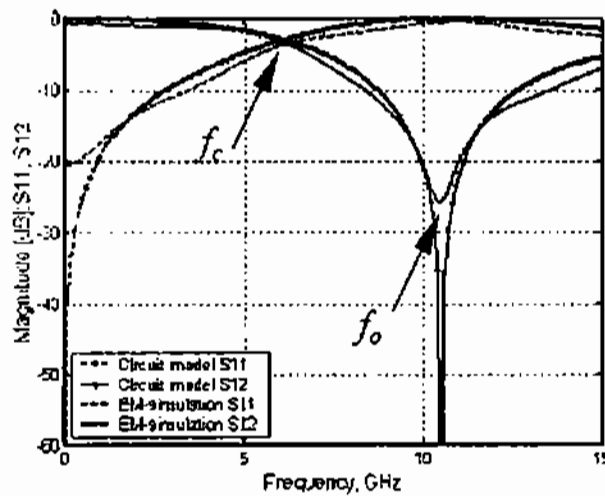
## 2.8. DEFECTED GROUND STRUCTURE (DGS)

Beberapa penelitian dilaporkan telah dihasilkan untuk memperoleh karakteristik yang mirip dengan PBG yaitu dengan menggunakan suatu struktur yang dinamakan *Defected Ground Structure* (DGS). 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 PBG.

Metode DGS didasarkan dari PBG untuk merubah sifat dari gelombang dengan cara membuat satu atau lebih pola pada bidang *ground*. Pola periodik yang dibuat pada bidang *ground* ini menyerupai pola-pola periodik pada PBG. Bentuk dari DGS dimodifikasi mulai dari slot yang mudah menjadi bentuk yang lebih kompleks.

Banyak pola/bentuk yang dapat di *etch* pada bidang *ground* yang dapat digunakan sebagai unit DGS. Pola yang di *etching* akan mengganggu distribusi arus dan merubah impedansi antena. Gangguan ini dapat mengubah karakteristik transmisi mikrostrip karena unit DGS dapat direpresentasikan dengan rangkaian ekivalen kapasitansi dan induktansi (LC). Dimensi fisik dari unit DGS dapat mempengaruhi parameter-parameter ekivalen sirkit. Rangkaian ekivalen slot DGS dapat diartikan sebagai berikut: 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. Performansi dari sirkit R,L,C tersebut berkaitan erat dengan bentuk dan ukuran dari slot DGS-nya.

Bagian unit DGS dapat membentuk suatu frekuensi *cutoff*. Frekuensi *cutoff* yang dihasilkan tersebut akan bergantung dari luas slot, jarak antar slot dan lebar penghubung slot. Gambar 2.15 memperlihatkan frekuensi *cutoff* yang terjadi dari grafik  $S_{11}$  dan  $S_{12}$ . Selain diaplikasikan pada microstrip line dan rangkaian filter, DGS juga dapat diaplikasikan pada antena mikrostrip.



Gambar 2.15 Hasil Grafik  $S_{11}$  Dan  $S_{12}$  Dari Unit Bagian DGS [10]

Berbagai macam penelitian telah dilakukan untuk menemukan karakteristik dari berbagai bentuk DGS terhadap antena *patch* mikrostrip. Salah satu diantaranya adalah bentuk DGS dengan slot lingkaran. Bentuk DGS ini merupakan salah satu yang paling sederhana, yang dibuat dengan membentuk suatu pola slot lingkaran pada bidang *ground*.

Karakter *bandgap* yang dihasilkan dari DGS slot lingkaran diatur dari struktur dan jarak antar lingkaran (*periodic holes*) pada *ground* [36]. Pendekatan untuk frekuensi pusat *stop-band* pada struktur PBG diberikan dengan rumus [37] dan [38] :

$$f = \frac{0.5 \times c}{D \times \sqrt{\epsilon_e}} \quad (2.26)$$

dengan :

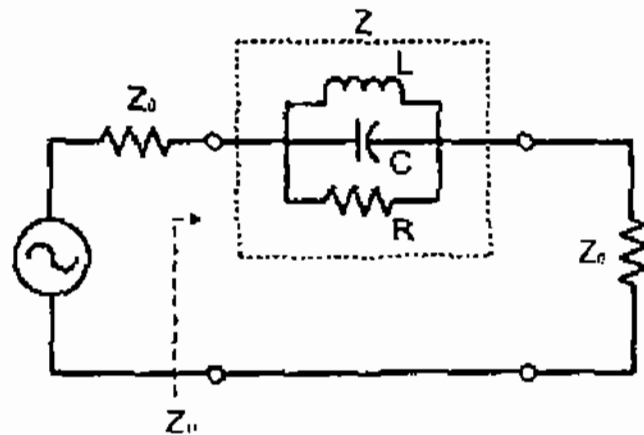
$f$  adalah frekuensi pusat stop-band

$c$  adalah kecepatan cahaya

$D$  adalah jarak antara *periodic holes* pada bidang *ground*

$\epsilon_e$  adalah konstanta dielektrik efektif

Penelitian lain yang ada, adalah bentuk DGS *dumbbell* [10] dan [20], namun penelitian ini difokuskan untuk aplikasi filter. Adapun pada *slot* DGS bentuk *dumbbell*, perubahan luas kepala dari *dumbbell* dan panjang *slot* ( $d$ ) dapat mempengaruhi nilai induktansi  $L$  sedangkan Kapasitansi dipengaruhi oleh lebar *slot* ( $s$ ) antara kedua kepala *dumbbell*. Gambar.216 merupakan gambar *dumbbell* bentuk kepala kotak dan rangkaian ekivalen R,L,C nya.



2.16. Rangkaian R,L,C DGS Bentuk *Dumbbell*[10],[20]

Untuk mendapatkan nilai dari  $R$ ,  $L$  dan  $C$ , maka dapat dilakukan perhitungan dengan menggunakan persamaan [20]:

$$C = \frac{\omega_c}{2Z_0(\omega_0 - \omega_c)} \quad (2.27)$$

$$L = \frac{\omega_c}{4\pi^2 f_0^2 C} \quad (2.28)$$

$$R = \frac{2Z_0}{\sqrt{\frac{1}{|S_{11}(\omega)|^2} - \left(2Z_0\left(\omega C - \frac{1}{\omega L}\right)\right)^2} - 1} \quad (2.29)$$

Dengan:

$f_0$  = frekuensi resonansi

$f_c$  = frekuensi *cutoff* 3dB

$\omega_0$  =  $2 \pi f_0$

$\omega_c$  =  $2 \pi f_c$

$Z_0$  = 50 Ohm

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

## BAB 3

### PENERAPAN DGS PADA ANTENA SUSUN *SINGLE BAND*

Hasil penelitian DGS pada *single band array* meliputi pembuatan antenna konvensional dan pembuatan DGS pada antenna konvensional tersebut. Adapun pembuatan antenna dengan variasi desain DGS yang diterapkan pada antenna konvensional dapat dilihat kontribusinya bagi perbaikan kinerja antenna dengan DGS dibandingkan dengan antenna konvensional.

#### 3.1. ANTENA *ARRAY SINGLE BAND*

Antena *array* konvensional yang dirancang merupakan antenna susun dua elemen dengan bentuk *patch* segitiga sama sisi yang bekerja di frekuensi 2,6 GHz [40]. Antena dirancang menggunakan substrat peradiasi TACONIC TLY-5-0620-CH/CH dengan karakteristik yang dapat dilihat dari Tabel 3.1:

Tabel 3.1 Spesifikasi Substrat

Jenis substrat peradiasi	TLY-5-0620-CH/CH
Konstanta Dielektrik	2,2
Ketebalan	0,0620 inch
Rugi Tangensial	0.0009
Tebal Elemen Penghantar	0.0001 mm
Konduktivitas Bahan	$5.8 \times 10^7$ (Copper)

Ukuran dari antenna dapat ditentukan dengan menggunakan rumus 2.10. Dengan memasukkan nilai dari frekuensi kerja antenna yang diinginkan, maka diperoleh ukuran panjang sisi 51,66 mm sehingga diperoleh luas antenna sebesar  $1155,6 \text{ mm}^2$ . Untuk menghasilkan polarisasi melingkar ditambahkan slot bentuk Y dengan memvariasikan panjang  $Y_a$ . Tabel 3.2 memperlihatkan hasil iterasi  $Y_a$  terhadap *axial ratio*. Dari Tabel 3.2. diperoleh panjang  $Y_a = 8 \text{ mm}$  dengan *axial ratio* dibawah 3 dB, kemudian  $Y_b = 8,9 \text{ mm}$ .

Tabel 3.2. Data Karakteristik Panjang Ya Terhadap *Axial Ratio*

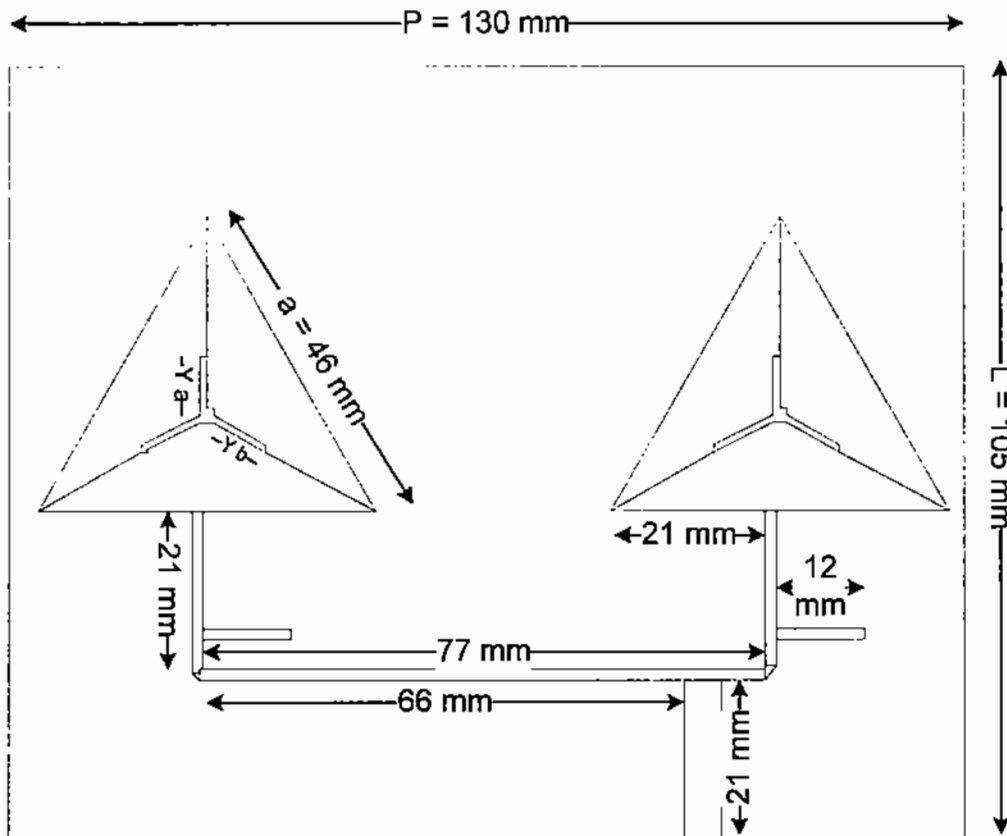
No	Ya (mm)	<i>Axial Ratio</i>
1	12	13,28
2	11	11,763
3	10	9,323
4	9	5,174
5	8	1,635
6	7	10,23
7	6	16,69

Penambahan slot ini turut mereduksi ukuran patch antenna mikrostrip. Antena mikrostrip yang berhasil dibuat dengan teknik slot memiliki panjang sisi miring 46,14 mm dan sisi alas 46 cm. Dengan menggunakan rumus luas segitiga maka diperoleh luas antena sebesar 920 mm<sup>2</sup>. Hasil ini memperlihatkan bahwa dengan teknik slot maka dapat mereduksi ukuran antena. Besarnya reduksi antena adalah:

$$Ef = \left| \frac{1155,6mm^2 - 920mm^2}{1155,6mm^2} \right| \times 100\% = 20,38\%$$

Antena kemudian di susun berupa *linear array* agar diperoleh *gain* dan keterarahan yang lebih baik dibandingkan elemen tunggalnya. Saluran catu yang digunakan adalah saluran mikrostrip dengan alasan lebih mudah dalam fabrikasi, hemat material karena berada pada lapisan yang sama dengan elemen peradiasi dan lebih baik untuk mencapai hasil yang optimum karena mudah untuk mengatur letak pencatuan. Pencatuan antena dirancang mempunyai beda fasa agar menghasilkan pola radiasi yang condong ke arah 30°. Gambar 3.1 memperlihatkan hasil perancangan antena *array single band*.

Hasil pengukuran yang diperoleh dari antena ini menunjukkan antena memiliki *axial ratio bandwidth* selebar 40 MHz pada frekuensi 2,63 GHz hingga 2.67 GHz atau 1,5%. *Return loss* minimum diperoleh pada frekuensi 2,66 GHz sebesar -30,188 dB dengan VSWR terbaik 1,098. Gain rata-rata antena terukur sebesar 10 dB. Hasil lebih lengkap dari antena dan analisisnya termuat dalam bab 3.3. Karakteristik antena konvensional ini kemudian ingin diperbaiki lagi dengan menggunakan DGS.



Gambar 3.1 Hasil Perancangan Antena *Array Single Band* [40]

### 3.2 ANTENA ARRAY SINGLE BAND DENGAN DGS

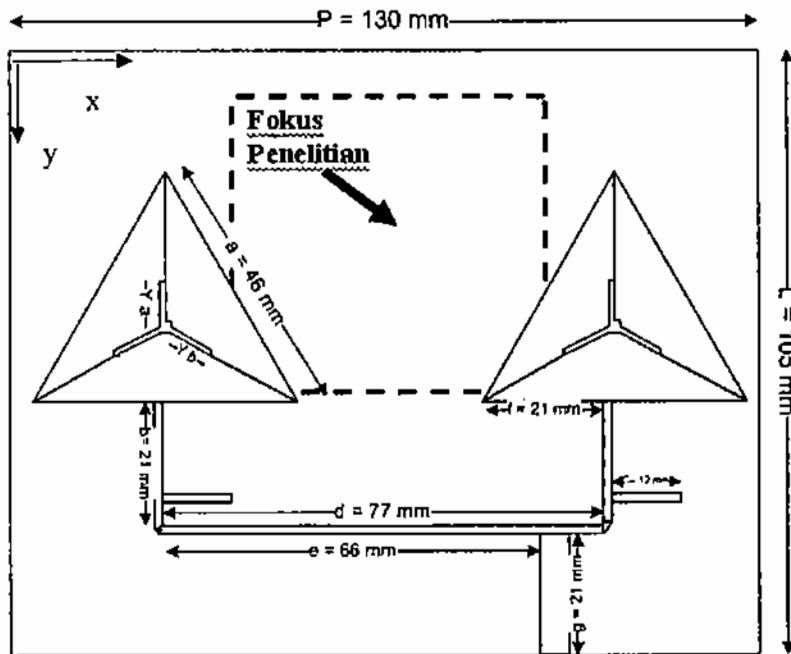
Antena *array* single band dengan DGS menggunakan hasil rancangan di sub bab 3.1 sebagai antena konvensional. Pada rancangan antena konvensional tersebut akan dilakukan penelitian terhadap beberapa bentuk DGS seperti bentuk segitiga, trapesium, hexagonal dan *dumbbell*, yang fokusnya akan diimplementasikan di antara kedua elemen antena seperti diperlihatkan pada Gambar 3.2. Hal ini dilakukan berdasarkan beberapa pertimbangan yaitu:

1. Dari penelitian [25] dan [26] yang memperlihatkan peletakan EBG di antara kedua elemen antena.
2. Penelitian [39] yang menyatakan letak EBG pada antena *array* untuk menghilangkan *mutual coupling* adalah di antara kedua elemen *array* tersebut.
3. Dari hasil simulasi distribusi arus antena, terlihat distribusi arus yang posisinya diantara kedua elemen cukup kuat sehingga efek *mutual coupling* diasumsikan

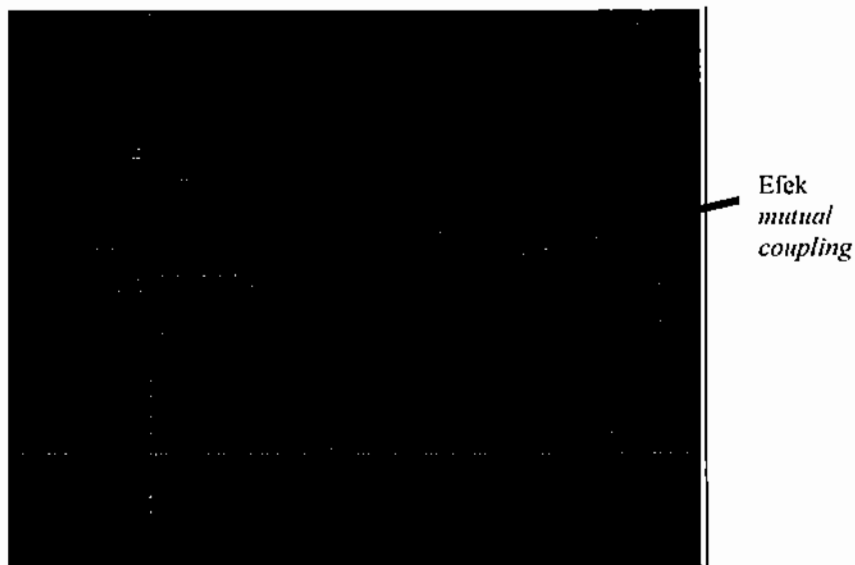


paling berpengaruh di situ, yang diperlihatkan pada Gambar 3.3 sebagai fokus penelitian.

Namun dalam penelitian ini juga diteliti letak posisi di luar fokus penelitian agar dapat menguatkan analisis dan menghasilkan kesimpulan yang semakin akurat.



Gambar 3.2. Fokus Penelitian Penempatan Desain DGS Diantara Dua Elemen



Gambar 3.3. Distribusi Arus Pada Antena Konvensional

Perancangan DGS dilakukan dengan memperhatikan bentuk DGS, jumlah unit DGS, dimensi DGS dan posisi DGS yang ditentukan secara eksperimen. Pemilihan bentuk DGS yang dilakukan pada [40] dilakukan berdasarkan beberapa pertimbangan hasil dari studi literatur, estetika perancangan dan inovasi desain baru.

### 3.2.1 DGS Bentuk Segitiga

Pada penelitian ini dirancang elemen DGS berbentuk segitiga sama kaki. Awalnya digunakan pendekatan luasan *patch* antenna bentuk segitiga untuk menentukan ukuran *slot* DGS. *Slot* DGS yang didesain memiliki panjang alas 46 mm dan tinggi 46 mm. Kemudian dilakukan beberapa simulasi dengan penempatan *slot* DGS yang berbeda-beda. Karakteristik yang diperhatikan pada saat simulasi adalah nilai *return loss*. Karena hasil simulasi yang didapat tidak sesuai dengan yang diharapkan yaitu RL lebih rendah dari RL antenna konvensional, maka *slot* DGS didesain kembali, dengan bentuk *slot* DGS tetap segitiga sama kaki namun dengan dimensi yang beda. Tabel 3.3, menunjukkan beberapa hasil simulasi yang telah dilakukan dalam menentukan dimensi dan posisi DGS. Pada Tabel 3.3, nilai *return loss* di ambil pada frekuensi 2,61 GHz dan ditampilkan beberapa hasil terbaik yang diperoleh sehingga tidak menunjukkan keteraturan letak posisi x dan y nya (sumbu x dan y diperlihatkan di Gambar 3.2). Namun simulasi telah dilakukan dengan perubahan posisi yang teratur dan menunjukkan pada posisi lain, hasilnya nilai *return loss* lebih buruk dari -33,3 dB.

Sebagai perbandingan, antenna konvensional mempunyai nilai *return loss* pada frekuensi yang sama sebesar -33,3 dB. Oleh karena itu, diharapkan dengan menerapkan DGS, nilai RL minimum lebih rendah dari -33,3 dB karena semakin rendah nilai RL, maka ini menunjukkan antenna semakin dalam kondisi *matching*.

Tabel 3.3. Hasil Simulasi Beberapa Variasi Dimensi dan Lletak Posisi DGS

a. Alas = 46 mm dan tinggi = 46 mm

Posisi	X = 65 mm Y = 53 mm	X = 66 mm Y = 33 mm	X = 66 mm Y = 41 mm	X = 67 mm Y = 62 mm	X = 68 mm Y = 33 mm	X = 68 mm Y = 36 mm
ReturnLoss (dB)	-9,6	-26,32	-27,7	-13,58	-26,32	-28,49
Bandwidth (GHz)	2,55 -2,61	2,58 -2,66	2,57 - 2,65	2,57 - 2,65	2,58 - 2,66	2,58 - 2,67

Tabel 3.3. Hasil Simulasi Beberapa Variasi Dimensi dan Letak Posisi DGS (lanjutan)

b. Alas = 30 mm dan tinggi = 30 mm

Posisi	X = 66 mm Y = 51 mm	X = 57 mm Y = 80 mm	X = 63 mm Y = 21 mm	X = 66 mm Y = 80 mm
<i>Return Loss</i> (dB)	-27,7	-13,58	-25,78	-28,49
<i>Bandwidth</i> (GHz)	2,57 – 2,65	2,57 - 2,65	2,58 – 2,67	2,58 – 2,67

c. Alas = 10 mm dan tinggi = 5 mm

Posisi	X = 63 mm Y = 21 mm	X = 64 mm Y = 42 mm	X = 54 mm Y = 39 mm	X = 57 mm Y = 56 mm
<i>Return Loss</i> (dB)	-21,7	-33,29	-10,32	-33,27
<i>Bandwidth</i> (GHz)	2,587 – 2,67	2,58 - 2,67	2,61 – 2,612	2,58 – 2,67

- Variasi posisi,  $x = 65$ , dimensi tetap,  $y$  berubah-ubah

Posisi	<i>Return Loss</i> (dB)	<i>Bandwidth</i> (GHz)
20 mm	-13,21	2,59 – 2,68
21 mm	-21,7	2,58 – 2,67
22 mm	-14,42	2,59 – 2,68
24 mm	-13,1	2,59 - 2,69
26 mm	-11,79	2,6 – 2,69
28 mm	-12,96	2,6 – 2,69
30 mm	-13,41	2,59 - 2,69
32 mm	-13,6	2,59 - 2,69
36 mm	-18,73	2,59 - 2,67
41 mm	-42,58	2,58 – 2,67
42 mm	-33,29	2,58 - 2,67
51 mm	-5,69	Tidak ada
56 mm	-33,27	2,58 – 2,67
62	-9,608	2,61 – 2,66

- Variasi posisi berubah-ubah pada dua buah segitiga sama kaki dengan dimensi sama  $5 \times 10$ , jarak antar dua segitiga ( $r$ ),

posisi	<i>Return loss</i> (dB)	<i>Bandwidth</i> (GHz)
(46,50) $r = 8$ mm	-9,087	2,56 – 2,6
(54,39) $r = 12$ mm	-10,32	2,61 - 2,612
(57,41) $r = 5$ mm	-36,62	2,57 – 2,66
(57,56) $r = 5$ mm	-34,99	2,57 – 2,66



optimasi dilakukan dengan mengecilkan luas hexagonal dan juga agar DGS menempati posisi di antara kedua elemen patch antena.

Sisi hexagonal yang dicoba 21 mm, 16 mm dan 14 mm yang menghasilkan luas hexagonal 1200 mm, 665 mm dan 259 mm. Hasil simulasi diperlihatkan pada Tabel 3.4 (a). Hasil simulasi pada Tabel 3.4 (a) menunjukkan tidak ada perbaikan yang signifikan, namun pada sisi hexagonal 14 mm dengan luas 259, diperoleh nilai RL yang sedikit lebih baik daripada antena konvensional. Oleh karena itu, luas hexagonal ini dipertahankan namun satu hexagonal dipecah menjadi dua hexagonal DGS dengan panjang sisi masing – masing 10 mm. Hal ini dilakukan karena diasumsikan dengan dua hexagonal DGS, efek gelombang permukaan yang mempunyai arah perambatan berupa *zigzag* dapat lebih ditekan.

Setelah panjang elemen DGS didapat, berikutnya adalah menentukan posisi elemen DGS pada bidang *ground*. Beberapa hasil simulasi ditabulasikan dalam Tabel 3.4 (b). Posisi x dan y seperti terlihat pada Gambar 3.2 sampai pada titik sisi hexagonal paling atas.

Tabel 3.4 Dimensi dan Hasil Iterasi DGS Bentuk Hexagonal

(a) Hasil simulasi satu elemen DGS Hexagonal dengan variasi posisi

(b) Hasil simulasi dua elemen DGS Hexagonal dengan variasi posisi

(a)

Luas = 1200 mm<sup>2</sup> dengan sisi 21 mm

Posisi (x,y) mm	(53,7)	(53,12)	(53,17)	(53,22)	(53,27)	(53,33)	(53,38)	(53,42)	(53,47)
RL (dB)	-15,89	-23,75	-23,51	-22,26	-17,57	-16,02	-9,82	-8,47	-9,5

Luas = 665 mm<sup>2</sup> dengan sisi 16 mm

Posisi (x,y) mm	(59,12)	(59,17)	(59,22)	(59,27)	(59,33)	(59,38)	(59,42)	(59,48)	(59,54)
RL (dB)	-21,57	-21,39	-25,61	-10,32	-22,52	-27,39	-19,2	-21,96	-19,94

Luas = 259 mm<sup>2</sup> dengan sisi 14 mm

Posisi (x,y) mm	(60,6)	(60,11)	(60,16)	(60,21)	(60,26)	(60,31)	(60,37)	(60,42)	(60,48)
RL (dB)	-23,46	-24,02	-24,74	-24,03	-23,1	-34,24	-30,79	-8,99	-6,78

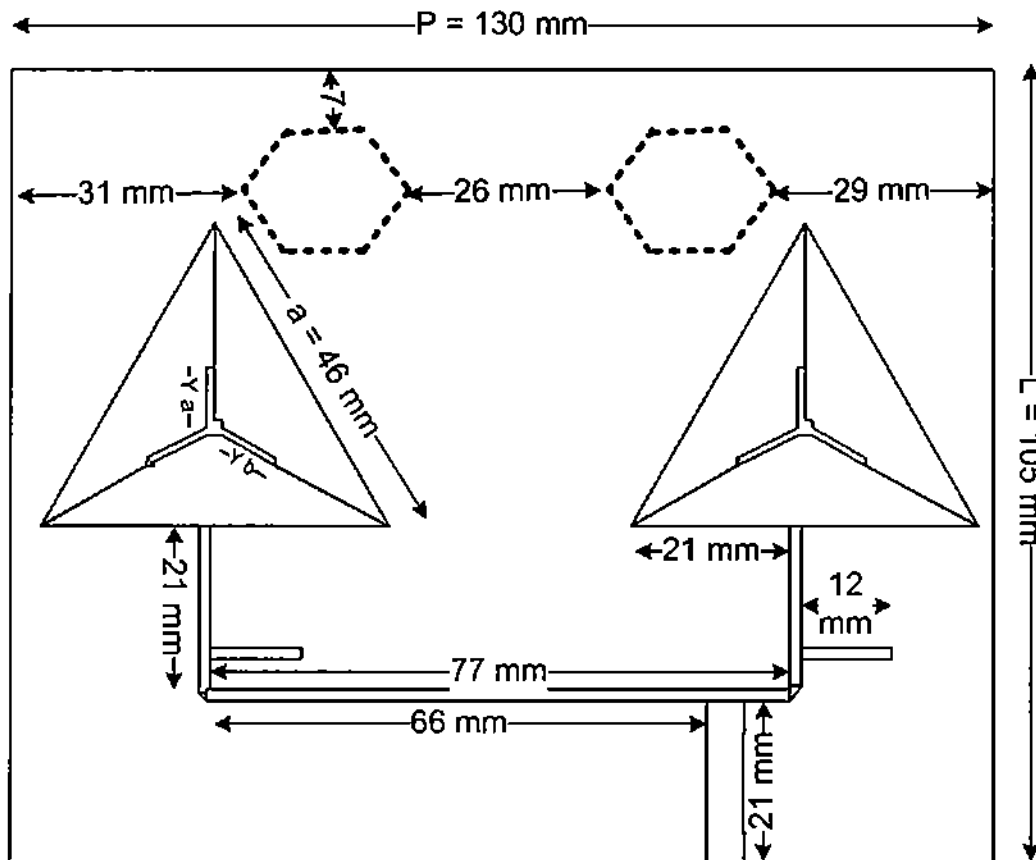
Tabel 3.4 Dimensi dan Hasil Iterasi DGS Bentuk Hexagonal (lanjutan)

(b)

Luas = 259 mm<sup>2</sup> dengan sisi masing-masing hexagonal 10 mm

Posisi (x,y) dan r (mm)	(5,10) 80	(5,90) 80	(42,7) 10	(40,7) 15	(38,7) 20	(37,7) 26	(37,13) 26	(37,18) 26	(41,23) 18	(43,28) 14	(46,33) 8
RL (dB)	-24,26	-24,26	-33,10	-33,12	-33,18	-42,74	-37,18	-35,18	-37,93	-34,96	-30,77

Dari hasil simulasi diperoleh hasil terbaik dengan dua unit DGS yang diletakkan di antara kedua elemen pada posisi atas (33,7) dengan jarak antara kedua hexagonal (r) sejauh 26 mm seperti diperlihatkan pada Gambar 3.5. Adapun beberapa hasil simulasi hexagonal DGS dilampirkan pada Lampiran B.

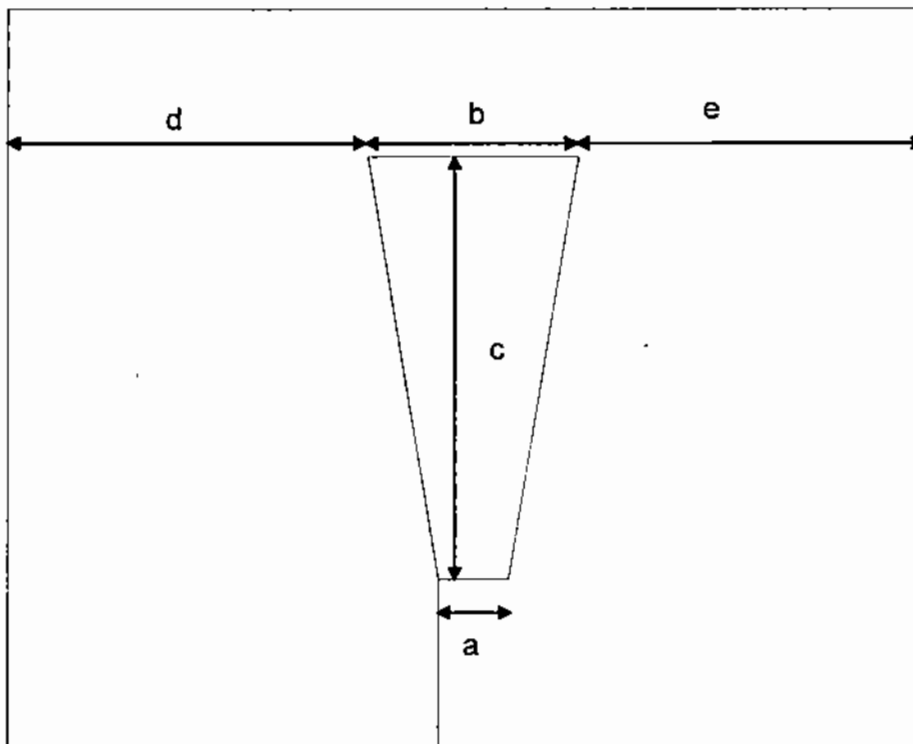


Gambar 3.5 Hasil Perancangan Antena Hexagonal DGS [42]

### 3.2.3 DGS Bentuk Trapesium

Perancangan trapesium ini dilakukan dengan menggunakan pendekatan bentuk persegi panjang. Untuk bekerja pada frekuensi resonansi 2,61 GHz maka panjang (L) dan lebar (W) elemen peradiasi berbentuk persegi panjang menghasilkan luas  $1200 \text{ mm}^2$  yang kemudian luas ini dipertahankan dan diterapkan pada luas trapezium sehingga diperoleh dimensi DGS bentuk trapesium. Gambar 3.6 memperlihatkan dimensi-dimensi trapesium dan posisi yang akan diiterasi.

Penentuan nilai  $a$ ,  $b$ , dan  $c$  dilakukan berdasarkan percobaan dan iterasi menggunakan simulator yang ditentukan dengan tetap mempertahankan luas area trapesium sebesar  $1200 \text{ mm}^2$  dan posisi trapesium di tengah antara kedua elemen. Setelah ditentukan dimensi trapesium, letak posisi trapesium yang diwakili dengan  $d$  dan  $e$  juga diiterasi. Variabel iterasi ini ditunjukkan pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6. Variabel Variasi Trapesium yang Diiterasi

Tabel 3.5 menunjukkan beberapa dimensi trapesium yang sudah dilakukan dan hasil simulasi dari dimensi trapesium tersebut.

Tabel 3.5. Dimensi dan Hasil Iterasi DGS Bentuk Trapesium

(a) Konfigurasi Dimensi dan Hasil Simulasi Trapesium

(b) Variasi Posisi Trapesium 3 dan hasil simulasinya

(a)

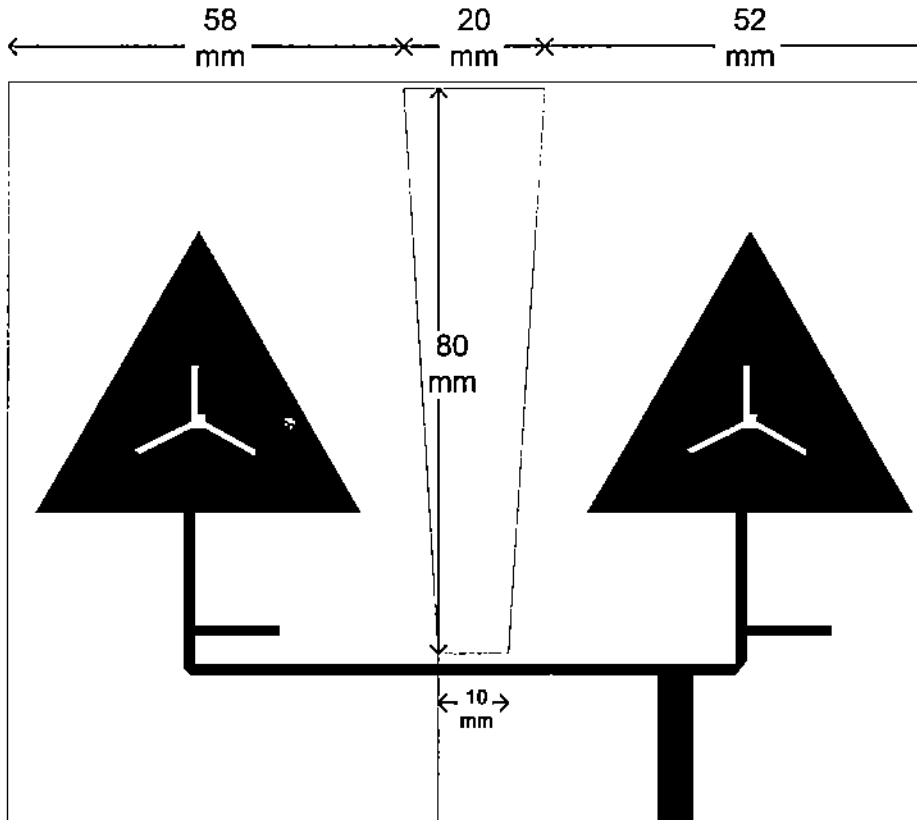
Nama	a (mm)	b (mm)	c (mm)	d (mm)	e (mm)	Return Loss (dB)	Axial Ratio BW (GHz)
Trapesium 1	10	50	40	41	39	-34,11	2,6 - 2,64
Trapesium 2	10	30	60	51	49	-39,94	2,59 - 2,64
Trapesium 3	10	20	80	56	54	-43,92	2,59 - 2,64
Trapesium 4	10	70	30	31	29	-29,72	2,595 - 2,64
Trapesium 5	20	40	40	47	43	-28,49	2,59 - 2,63
Trapesium 6	20	100	20	16	14	-23,11	2,596 - 2,64

(b)

Nama	d ; e	Return Loss (dB)	Axial Ratio BW (GHz)
Trapesium 3.1	56 ; 54	- 43,92	2,59 - 2,64
Trapesium 3.2	55 ; 55	- 35,97	2,59 - 2,64
Trapesium 3.3	54 ; 56	- 38,85	2,59 - 2,64
Trapesium 3.4	58 ; 52	- 50,24	2,59 - 2,64

Dari hasil simulasi dimensi trapesium yang ditunjukkan dari Tabel 3.5 diperoleh hasil simulasi trapesium 3 yang terbaik. Kemudian dilakukan lagi iterasi letak posisi DGS dengan dimensi tetap trapesium 3 dan diperoleh hasil simulasi terbaik pada  $d = 58$  mm dan  $e = 52$  mm. Hasil perancangan antena dengan DGS bentuk trapesium yang ditunjukkan pada Gambar 3.7 telah dikembangkan dari [43]. Adapun beberapa hasil simulasi DGS bentuk trapesium dilampirkan di Lampiran C.



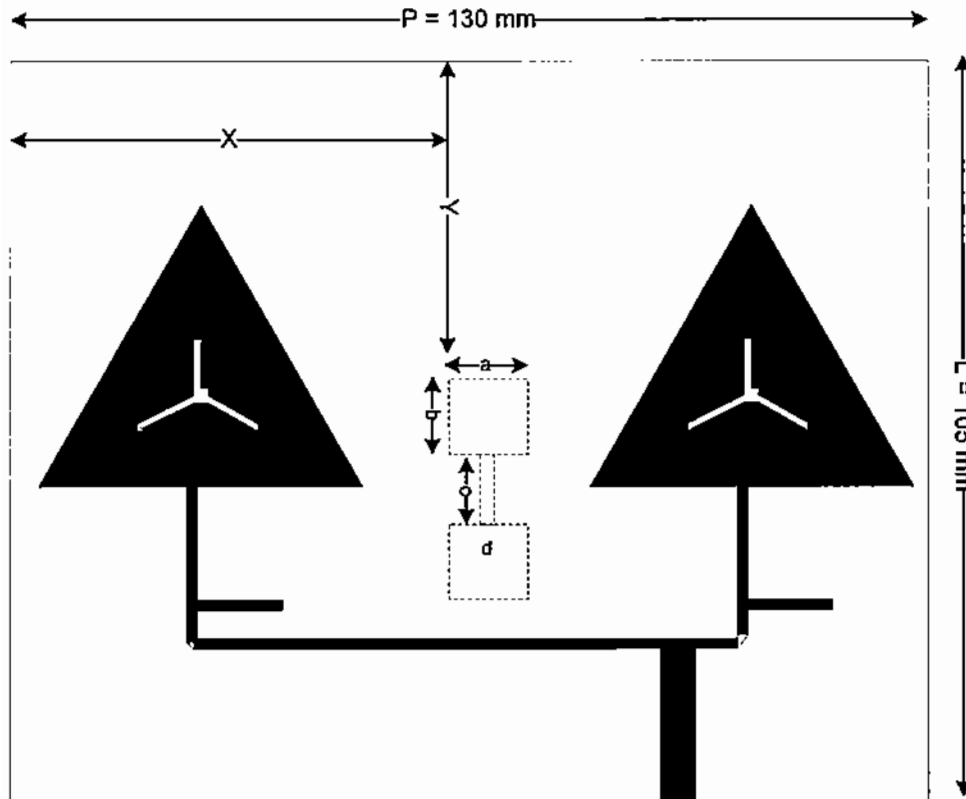


Gambar 3.7. Hasil Perancangan Antena DGS Bentuk Trapesium [44]

### 3.2.4 DGS Bentuk *Dumbbell*

Perancangan *dumbbell square-head* ini dilakukan dengan menggunakan pendekatan bentuk persegi panjang yang melalui perhitungan didapatkan luasan sebesar  $1200 \text{ mm}^2$ . Berdasarkan luasan tersebut didesain slot DGS dengan luasan *square-head* masing sebesar  $576 \text{ mm}^2$  dan luasan persegi panjang penghubung seluas  $48 \text{ mm}^2$ . Dilakukan beberapa simulasi dengan penempatan *slot* DGS yang berbeda-beda dengan memperhatikan nilai *return loss*. Gambar 3.8 menunjukkan variabel variasi *dumbbell* yang diiterasi.

Hasil simulasi *dumbbell square-head* yang didasarkan luasan pendekatan persegi panjang yang diperoleh tidak sesuai dengan yang diharapkan, maka dilakukan iterasi perubahan dimensi DGS *dumbbell* maupun posisi yang tercantum pada Tabel 3.6.

Gambar 3.8. Variabel Variasi *Dumbbell* yang DiiterasiTabel 3.6. Karakterisasi DGS *Dumbbell*(a) variasi luas kepala *dumbbell* dengan posisi tetap di tengah

No	Nama	Sisi a dan b (mm)	Sisi c (mm)	Lebar d (mm)	Nilai <i>Return Loss</i> (dB)
1.	<i>Dumbbell 1</i>	10	12	2	-29,95
2.	<i>Dumbbell 2</i>	12	12	2	-59,5
3.	<i>Dumbbell 3</i>	15	12	2	-20
4.	<i>Dumbbell 4</i>	20	12	2	-35,1
5.	<i>Dumbbell 5</i>	24	12	4	-25,4

(b) variasi posisi sumbu y dengan  $x = 59$  mm dan luas kepala =  $12 \times 12$  mm

No	Nama	y (mm)	Nilai <i>Return Loss</i> (dB)
1.	<i>Dumbbell 2_1</i>	45	-59,5
2.	<i>Dumbbell 2_2</i>	42	-31,16

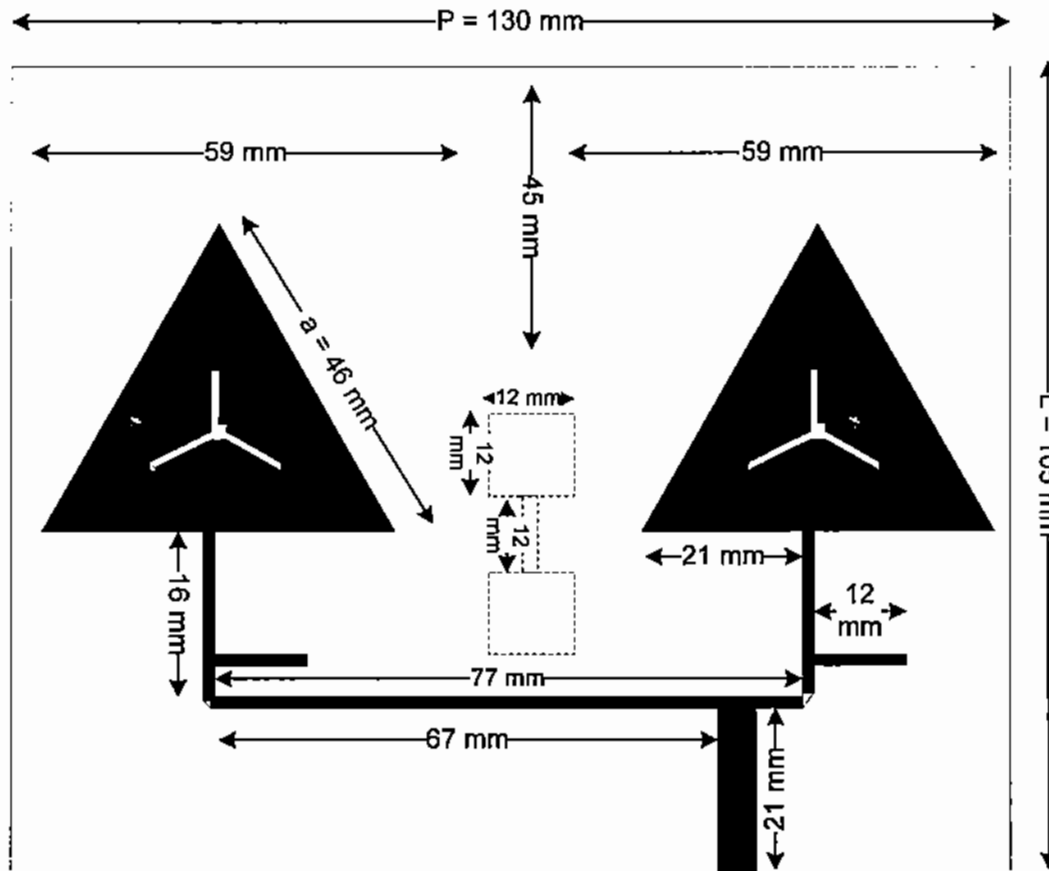
Tabel 3.6. Karakterisasi DGS *Dumbbell* (lanjutan)

3.	<i>Dumbbell 2_3</i>	39	-14,68
4.	<i>Dumbbell 2_4</i>	35	-18,83
5.	<i>Dumbbell 2_5</i>	25	-42,55

(c) variasi posisi sumbu x dengan  $y = 45$  mm dan luas kepala =  $12 \times 12$  mm

No	Nama	x (mm)	Nilai <i>Return Loss</i> (dB)
1.	<i>Dumbbell 12_1</i>	59	-59,5
2.	<i>Dumbbell 12_2</i>	54	-29,94
3.	<i>Dumbbell 12_3</i>	65	-43,58
4.	<i>Dumbbell 12_4</i>	60	-33,31

Dari variasi luasan *dumbbell square-head* diatas diperoleh nilai *return loss* yang paling optimum pada luasan total  $312 \text{ mm}^2$  atau dengan luas masing-masing *square-head*  $144 \text{ mm}^2$  dan luasan persegi panjang penghubung  $24 \text{ mm}^2$ . Setelah didapatkan nilai nilai *return loss* ini dilakukan lagi simulasi dengan mengubah posisi *slot* DGS secara vertikal maupun secara horizontal dan dilakukan juga simulasi dengan menambahkan jumlah *slot* DGS. *Return loss* yang optimum tetap diperoleh pada antenna dengan jumlah *slot* DGS 1 buah sehingga dilanjutkan ke proses selanjutnya yaitu fabrikasi. Hasil perancangan dengan hasil terbaik ditunjukkan pada Gambar 3.9. Adapun beberapa hasil simulasi DGS bentuk *dumbbell* dilampirkan di Lampiran D.



Gambar 3.9 Hasil Perancangan Antena dengan DGS *Dumbbell* [45]

### 3.3 HASIL SIMULASI DAN PENGUKURAN

#### 3.3.1. Hasil Simulasi

Perancangan antena yang telah dibahas di bagian 3.1 hingga 3.2 menghasilkan hasil simulasi yang dapat dilihat di Tabel 3.7, Gambar 3.10 hingga Gambar 3.12. Dari hasil simulasi keempat bentuk DGS yang diterapkan pada antena konvensional, dapat dilihat bahwa antena dengan DGS bentuk *dumbbell* menghasilkan nilai *return loss* dan VSWR yang terendah dengan penekanan *mutual coupling* terbesar. Dari hasil simulasi tersebut dapat dilihat bahwa bila nilai *return loss* dan *mutual coupling* dari semua bentuk DGS dibandingkan, maka hasil simulasi *return loss* yang paling rendah memberi penekanan efek *mutual coupling* yang terbesar.

Hasil simulasi juga menunjukkan bahwa perbedaan bentuk DGS yang diterapkan pada antena konvensional yang sama menghasilkan luas DGS yang berbeda-beda pada

posisi yang berbeda, dengan karakteristik yang berbeda pula namun punya kesamaan yaitu mampu memperbaiki kinerja antenna konvensional.

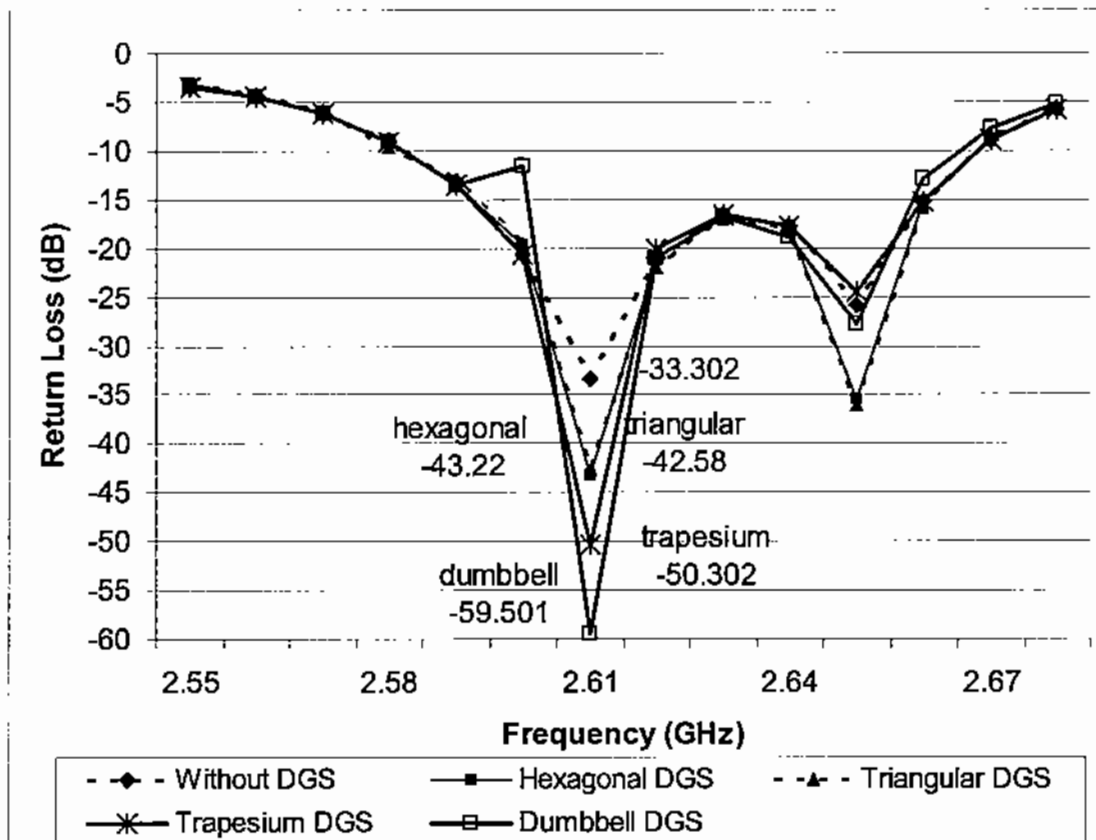
Table 3.7 Hasil Simulasi Dari Antena Dengan DGS

Parameter	Antena konvensional	Antena dengan DGS segitiga	Antena dengan DGS hexagonal	Antena dengan DGS trapesium	Antena dengan DGS dumbbell
<i>Axial Ratio Bandwidth</i>	2,59 – 2,64 GHz or 1.9 %	2,59 - 2,64 GHz or 1.9 %	2,57- 2,64 GHz or 2.6 %	2,59 - 2,64 GHz or 1.9 %	2,59 - 2,64 GHz or 1.9 %
<i>Return loss</i> pada frekuensi 2,61 GHz	- 33,3 dB	- 42,58 dB	- 43, 22 dB	-50,302	-59,501
VSWR pada frekuensi 2,61 GHz	1,045	1,015	1,014	1,006	1,0021
Nilai S <sub>12</sub> , f = 2,61 GHz	-39,68	-	-41,84	-49,49	-50,24
<i>Mutual Coupling reduction</i> pada frekuensi 2,61 GHz	-	-	2,16 dB	9,81 dB	10,56 dB
Luas total DGS	-	25 mm <sup>2</sup>	259 mm <sup>2</sup>	1200 mm <sup>2</sup>	312 mm <sup>2</sup>

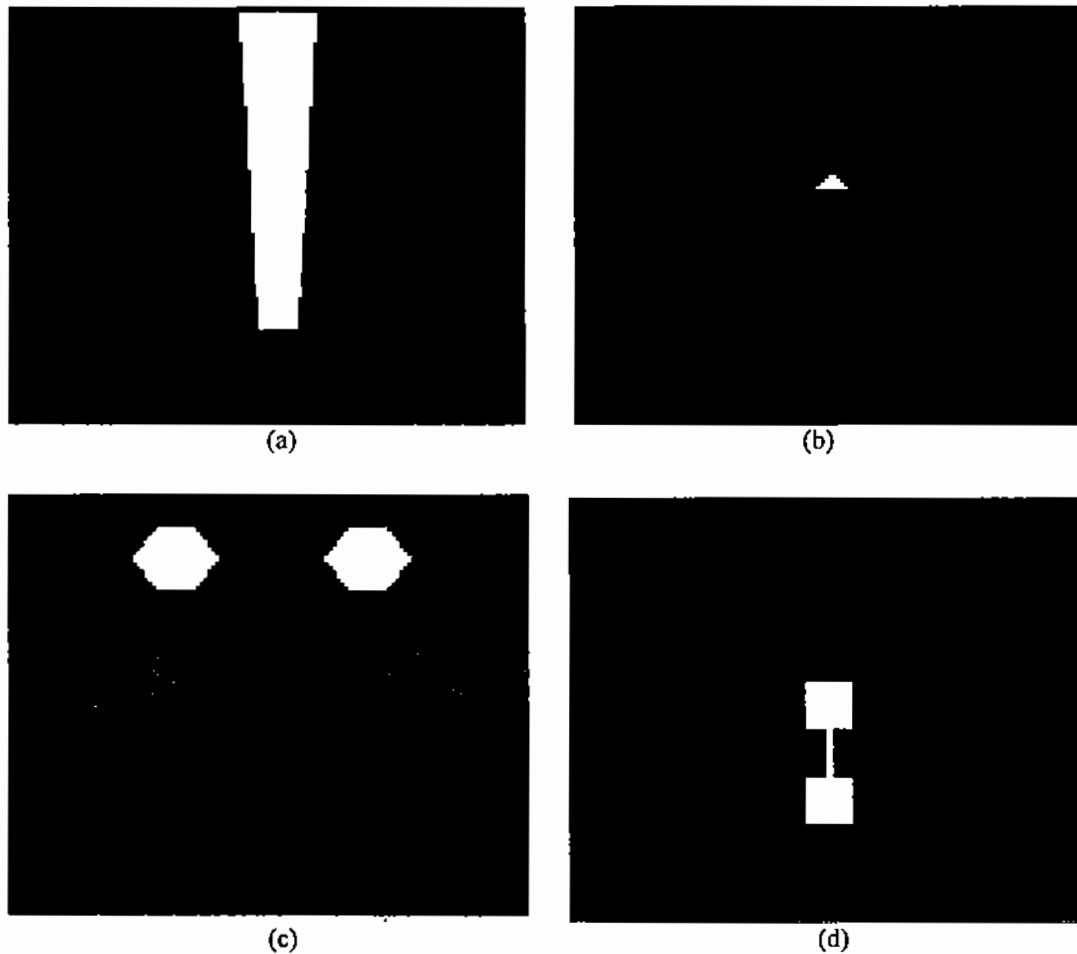
Hasil simulasi nilai *return loss* yang ditunjukkan pada Gambar 3.10 menunjukkan antenna dengan DGS mampu memperbaiki nilai RL antenna konvensional sebesar -33,3 dB. Pada antenna dengan DGS segitiga diperoleh nilai RL sebesar -42,58 dB atau perbaikan sebesar 27,86%. Antena dengan DGS bentuk hexagonal diperoleh nilai RL -43,22 dB dengan perbaikan 23,18%. Pada DGS bentuk trapesium diperoleh nilai RL -50,302 dB dengan perbaikan 51,1 % dan DGS bentuk *dumbbell* mempunyai nilai RL yang sangat signifikan sebesar -59,501 dB dengan perbaikan sebesar 78,68%.

Hasil simulasi juga menunjukkan *mutual coupling* terjadi pada antenna konvensional dengan nilai S<sub>12</sub> sebesar -39,68 dB. Pada antenna DGS bentuk hexagonal, trapesium dan *dumbbell*, hasil simulasi diperoleh sebesar -41,84 dB, -49,49 dB dan

-50,24 dB sehingga terjadi penekanan *mutual coupling* sebesar 2,16 dB (5,44%), 9,81 dB (24,72%) dan 10,56 dB (26,61%). Penekanan ini sangat signifikan bagi perbaikan kinerja antenna. Hasil penekanan *mutual coupling* ini dapat dilihat pada Gambar 3.11 berupa gambaran distribusi arus dari antenna dengan DGS. Pada Gambar 3.11 (a) – (d) terlihat tidak adanya distribusi arus yang signifikan bergerak di antara kedua elemen antenna. Ini menunjukkan desain antenna dengan DGS telah berhasil menekan efek *mutual coupling* yang terlihat jelas timbul pada Gambar 3.3.



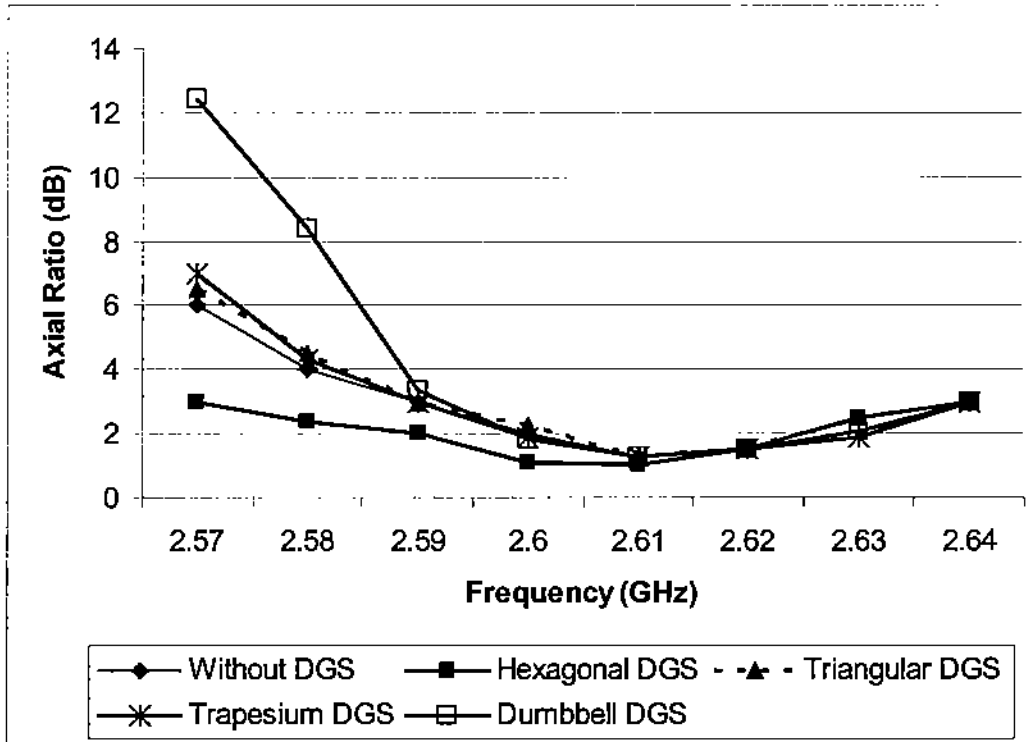
Gambar 3.10. Hasil Simulasi Grafik *Return Loss* dari Antena DGS vs Antena Konvensional



Gambar 3.11. Hasil Simulasi Distribusi Arus

- (a) Antena DGS bentuk Trapesium
- (b) Antena DGS bentuk Segitiga
- (c) Antena DGS bentuk Heksagonal
- (d) Antena DGS bentuk *Dumbbell*

Gambar 3.12 menunjukkan hasil simulasi *axial ratio bandwidth* pada antena konvensional dan antena DGS. Hasil simulasi menunjukkan *axial ratio bandwidth* antena konvensional sebesar 50 MHz dan hasil yang sama juga diperoleh pada hampir semua antena DGS. Hanya antena dengan DGS bentuk hexagonal mampu meningkatkan *bandwidth* hingga 20 MHz lebih lebar yaitu total 70 MHz *bandwidth*. Hal ini disebabkan pada *band-band* tertentu, kemurnian polarisasi melingkar tergantung pada bentuk dan posisi dari DGS.



Gambar 3.12. Hasil Simulasi Grafik *Axial Ratio* dari Antena DGS vs Antena Konvensional

### 3.3.2 Hasil Pengukuran

Antena hasil perancangan di fabrikasi dan dilakukan pengukuran di lab *anechoic chamber*. Hasil pengukuran dari antena DGS ditunjukkan di Tabel 3.8 dan Gambar 3.13 hingga Gambar 3.14. Tabel 3.8. memperlihatkan hasil pengukuran menunjukkan frekuensi resonansi terjadi pada frekuensi 2,66 GHz.

Hasil pengukuran menunjukkan *mutual coupling* terjadi pada antena konvensional dengan nilai  $S_{12}$  sebesar -35,18 dB. Pada antena DGS bentuk hexagonal, trapesium dan *dumbbell*, nilai pengukuran  $S_{12}$  diperoleh sebesar -38,59 dB, -43,095 dB dan -54,314 dB sehingga terjadi penekanan *mutual coupling* sebesar 3,44 dB (9,77%), 7,915 dB (22,49%) dan 19,134 dB (54,22%). Penekanan ini sangat signifikan bagi perbaikan kinerja antena.

Pengukuran nilai *return loss* pada Tabel 3.8 terlihat bahwa pada frekuensi kerja 2,66 GHz, nilai *return loss* antena referensi adalah sebesar -30,188 dB sedangkan antena dengan DGS menghasilkan nilai *return loss* yang lebih baik. Pada antena dengan DGS segitiga diperoleh nilai RL sebesar -45,48 dB atau perbaikan sebesar 50,65%. Antena



dengan DGS bentuk hexagonal diperoleh nilai RL -40,899 dB dengan perbaikan 35,48%. Pada DGS bentuk trapesium diperoleh nilai RL - 40,24 dB dengan perbaikan 33,29 % dan DGS bentuk *dumbbell* mempunyai nilai RL -40,081 dB dengan perbaikan sebesar 32,77%. Hasil pengukuran ini menunjukkan antenna dengan DGS dalam kondisi yang lebih *matching* dibandingkan dengan antenna tanpa DGS dan ini juga berarti efisiensi antenna dapat ditingkatkan, karena berdasarkan [28], rumus efisiensi antenna adalah :

$$e_0 = e_r e_{cd} \quad (3.1)$$

Di mana  $e_r$  = efisiensi refleksi =  $1 - |\Gamma|^2$ ;  $e_{cd}$  = efisiensi radiasi =  $\frac{P_r}{P_r + P_{surfacewave}}$

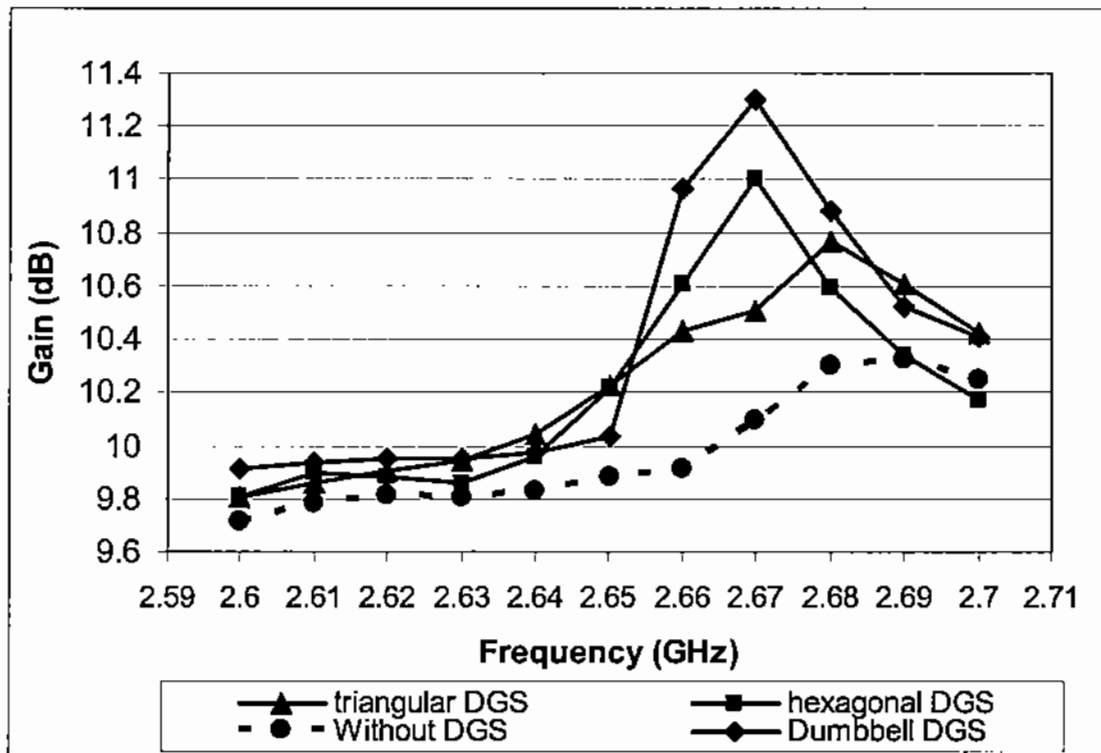
Sehingga jika nilai *return loss* semakin baik maka nilai  $|\Gamma|^2$  semakin kecil, ini menyebabkan efisiensi refleksi ( $e_r$ ) semakin meningkat. Daya yang diakibatkan oleh gelombang permukaan ditekan, menyebabkan efisiensi radiasi ( $e_{cd}$ ) meningkat.

Table 3.8. Hasil Pengukuran dari Antena DGS vs Antena Tanpa DGS

Parameter	Antena konvensional	Antena dengan DGS segitiga	Antena dengan DGS hexagonal	Antena dengan DGS trapesium	Antena dengan DGS <i>dumbbell</i>
<i>Axial Ratio Bandwidth</i>	40 MHz (2,63-2,67 GHz) atau 1,5 %	60 MHz (2,63-2,69 GHz) atau 2,2 %	50 MHz (2,63-2,68 GHz) atau 1,9 %	50 MHz (2,63-2,68 GHz) atau 1,9 %	50 MHz (2,63-2,68 GHz) atau 1,9 %
<i>Return loss</i>	- 30,188 dB	- 45,48 dB	- 40, 899 dB	-40,24	-40,081 dB
VSWR	1,063	1,01	1,031	1,019	1,02
Gain	10 dB	10,5 dB	11 dB	10,6 dB	11 dB
Nilai $S_{12}$ , f = 2,66 GHz	-35,18 dB	-	-38,59	-43,095 dB	-54,314
<i>Mutual Coupling reduction</i> pada frekuensi 2,66 GHz	-	-	3,44 dB	7,915 dB	19,134 dB

Hasil pengukuran gain yang diperlihatkan pada Gambar 3.13 menunjukkan antenna dengan DGS dapat meningkatkan gain antenna konvensional sekitar 0,2 dB hingga 1,3 dB. Peningkatan gain pada frekuensi kerja 2,66 GHz untuk semua antenna DGS sekitar 0,5 dB hingga 1 dB. Peningkatan gain paling tinggi diperoleh pada antenna DGS bentuk *dumbbell* pada frekuensi 2,67 GHz yaitu sebesar 1,3 dB.

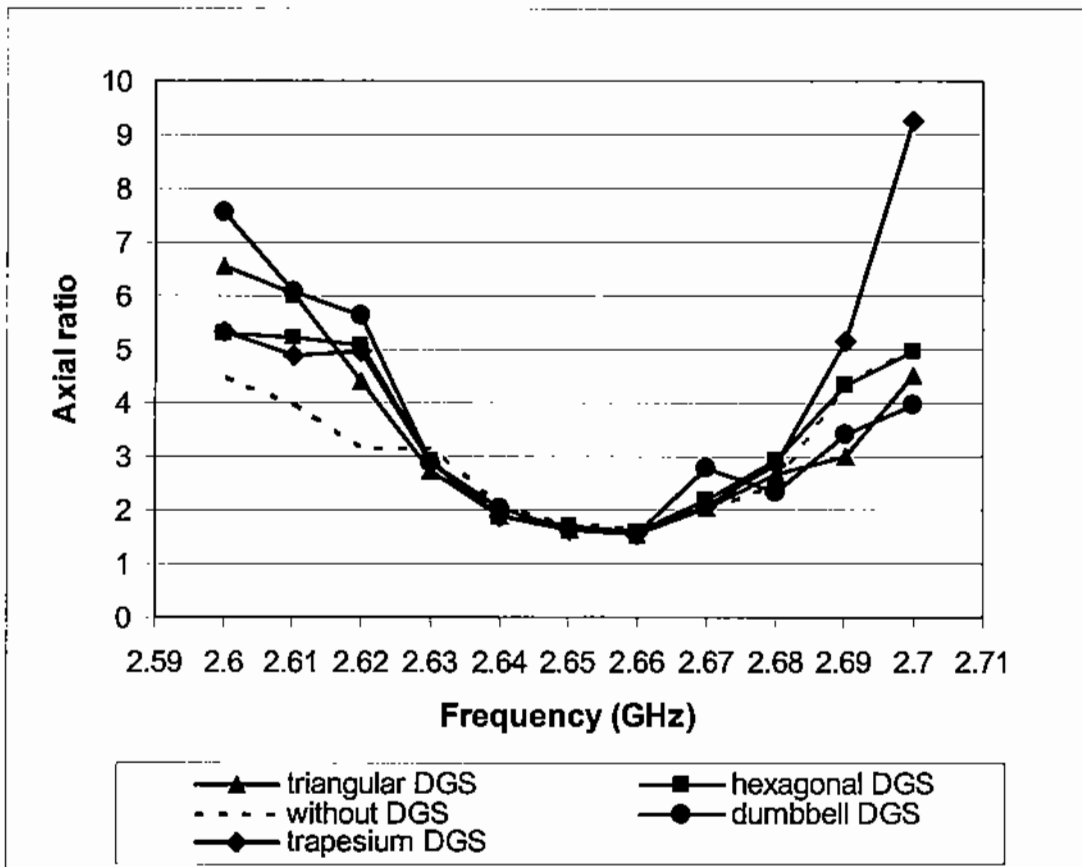
Hasil ini menunjukkan bahwa penambahan DGS dapat meningkatkan gain antenna tanpa perlu menambah jumlah elemen antenna (antenna susun). Hal ini disebabkan DGS mampu menekan gelombang permukaan pada antenna konvensional. Peningkatan gain ini sangat penting dalam mengurangi biaya suatu sistem komunikasi.



Gambar 3.13. Hasil Pengukuran Gain

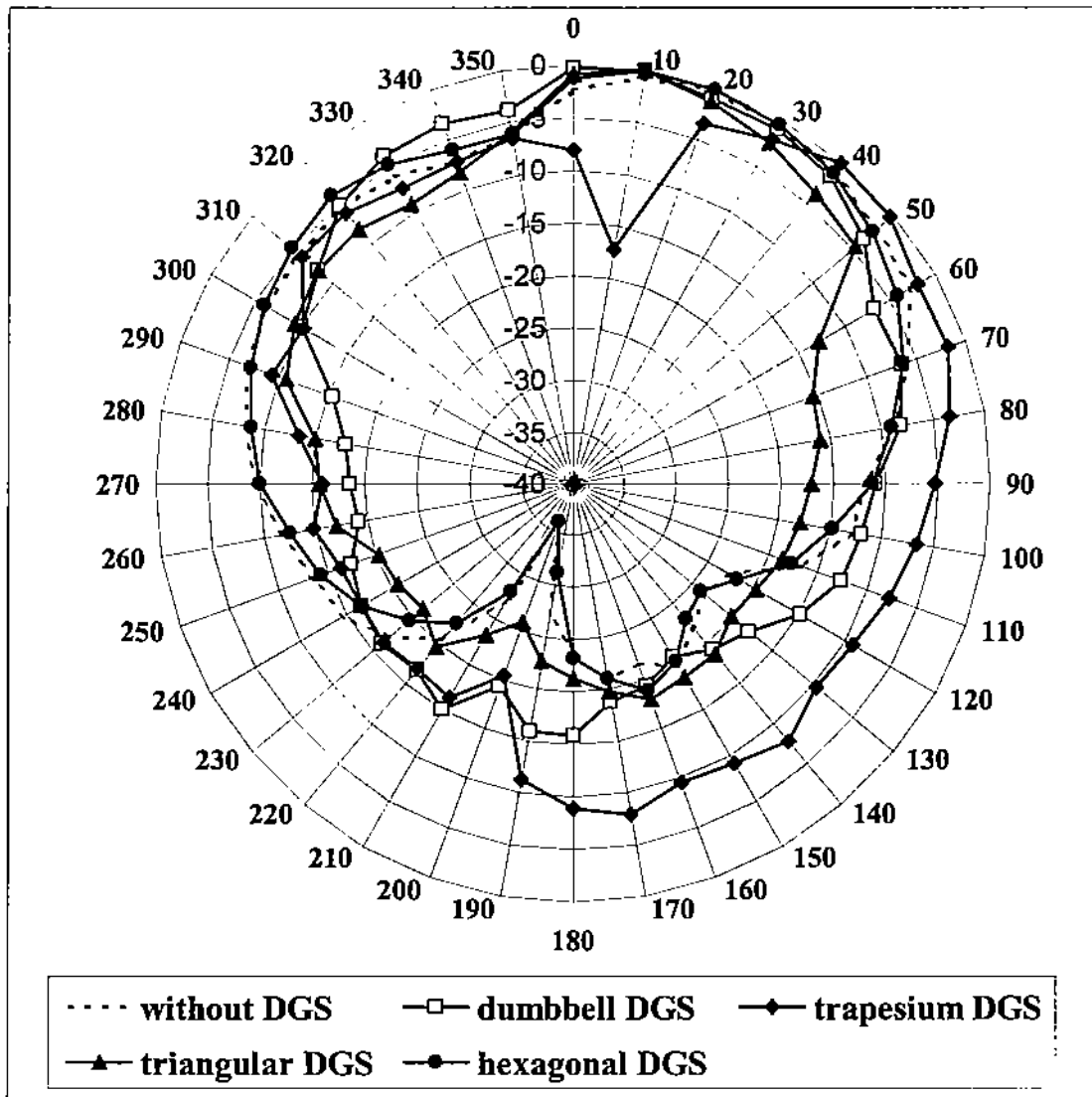
Gambar 3.14 menunjukkan hasil pengukuran *axial ratio bandwidth* pada antenna konvensional dan antenna DGS. Hasil pengukuran menunjukkan *axial ratio bandwidth* antenna konvensional sebesar 40 MHz sedangkan antenna DGS bentuk hexagonal, trapesium dan *dumbbell* mampu meningkatkan *bandwidth* menjadi 10 MHz. Adapun

antena DGS bentuk segitiga sama kaki mampu meningkatkan *bandwidth* hingga 20 MHz lebih lebar.



Gambar 3.14. Hasil Pengukuran *Axial Ratio*

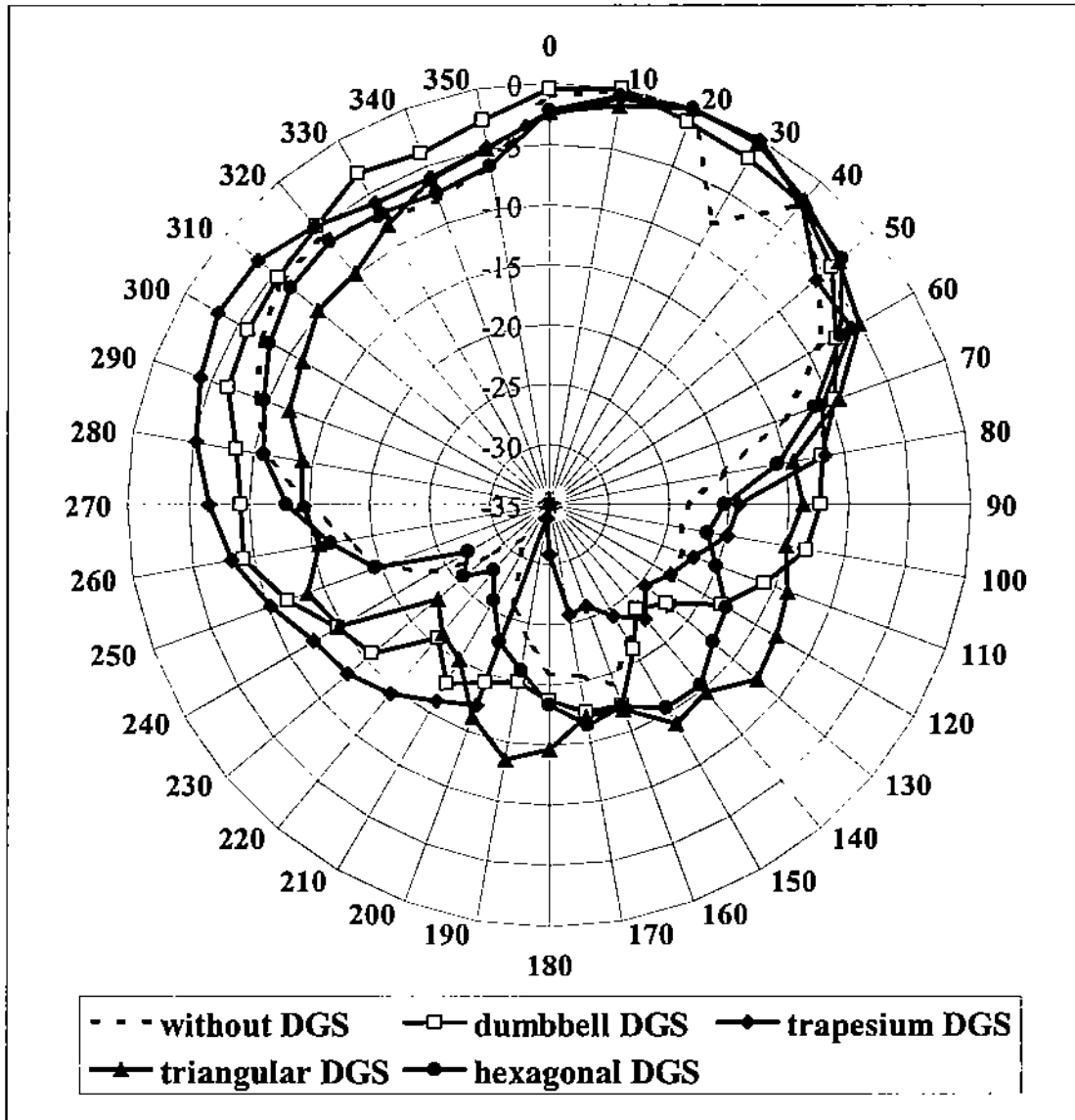
Gambar 3.15 dan Gambar 3.16 memperlihatkan hasil pengukuran pola radiasi pada keempat antenna DGS dibandingkan dengan antenna konvensional. Gambar 3.15 merupakan hasil pengukuran pola radiasi ke lima antenna di bidang E. Pola radiasi maksimum di bidang E untuk antenna konvensional berada pada sudut  $20^\circ$ , antenna DGS bentuk *dumbbell*, hexagonal dan segitiga berada pada sudut  $10^\circ$  sedangkan antenna DGS bentuk trapezium berada pada sudut  $40^\circ$ .



Gambar 3.15. Hasil Pengukuran Pola Radiasi Bidang E

Adapun pola radiasi antenna pada bidang H yang diperlihatkan pada Gambar 3.16 menunjukkan antenna konvensional, hexagonal dan segitiga mempunyai pola radiasi maksimum pada sudut  $20^\circ$ . Antenna *dumbbell* mempunyai pola radiasi maksimum berada pada sudut  $10^\circ$  dan antenna DGS trapesium pada sudut  $30^\circ$ . Secara umum, ke lima antenna tersebut memperlihatkan sidelobe level yang sedikit lebih besar daripada antenna

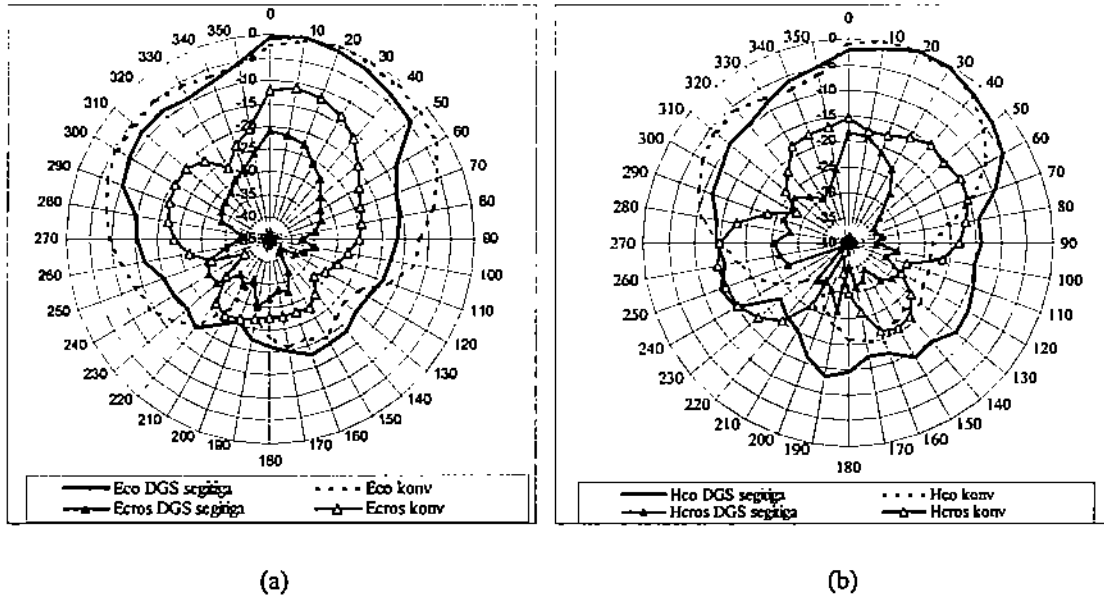
konvensional. Ini disebabkan adanya DGS yang berlaku sebagai slot antenna sehingga menyebabkan bocornya distribusi medan.



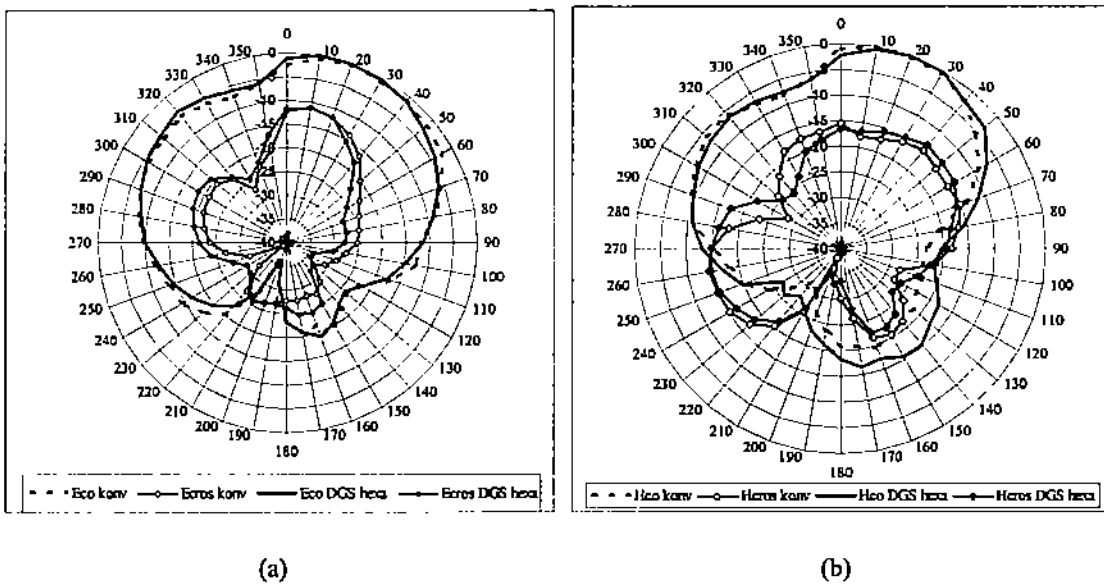
Gambar 3.16. Hasil Pengukuran Pola Radiasi Bidang H

Gambar 3.17 – Gambar 3.20 lebih jelas lagi memperlihatkan hasil pengukuran pola radiasi bidang E dan H untuk masing-masing antenna DGS dan juga hasil pengukuran *cross polarization*. Hasil pengukuran *cross polarization* memperlihatkan secara umum bahwa antenna dengan DGS mempunyai *cross polarization* yang lebih rendah dari antenna

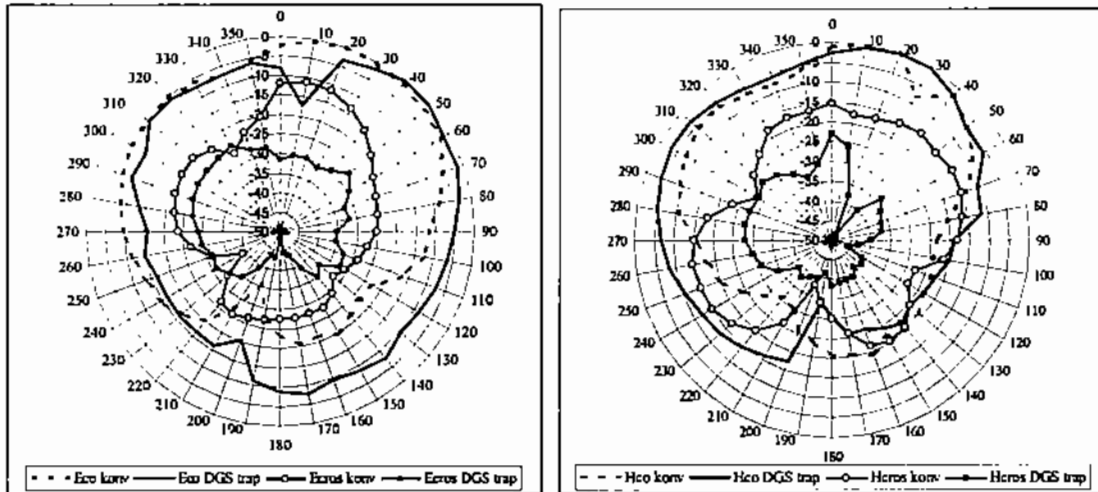
konvensional sehingga menunjukkan terjadinya penekanan. Hal ini disebabkan antenna dengan DGS mampu menekan *surface wave* antenna konvensional sehingga mampu menekan *cross polarization*.



Gambar 3.17. Hasil Pengukuran Pola Radiasi *Cross Polarization* Antena DGS Bentuk Segitiga (a) Bidang E dan (b) Bidang H



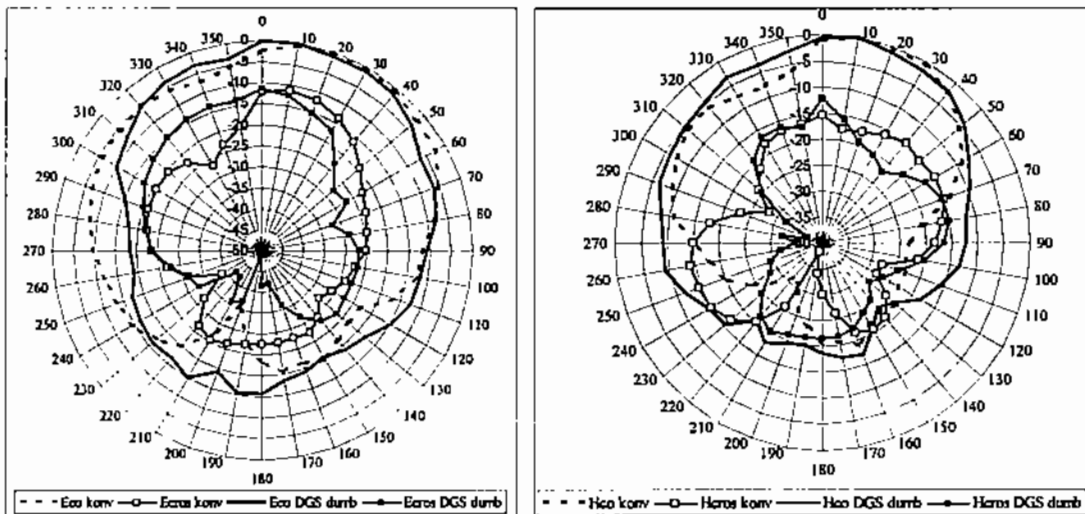
Gambar 3.18. Hasil Pengukuran Pola Radiasi *Cross Polarization* Antena DGS Bentuk Hexagonal (a) Bidang E dan (b) Bidang H



(a)

(b)

Gambar 3.19. Hasil Pengukuran Pola Radiasi *Cross Polarization* Antena DGS Bentuk Trapezium  
(a) Bidang E dan (b) Bidang H



(a)

(b)

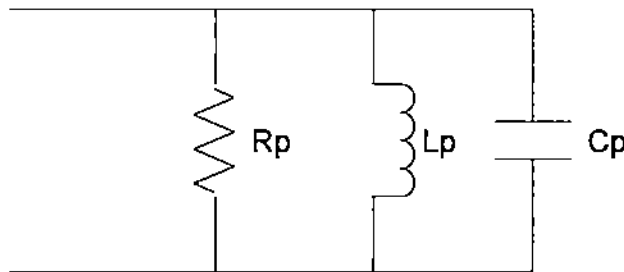
Gambar 3.20. Hasil Pengukuran Pola Radiasi *Cross Polarization* Antena DGS Bentuk *Dumbbell*  
(a) Bidang E dan (b) Bidang H

Secara keseluruhan, bila dilihat hasil simulasi dan pengukuran keempat antena DGS, maka antena DGS bentuk *dumbbell* menunjukkan hasil reduksi efek *mutual coupling* yang paling baik dengan peningkatan gain hingga 1,3 dB. Hasil ini menjadi pertimbangan untuk memilih DGS bentuk *dumbbell* pada antena *multiband array* yang dibahas pada

bab 4 dan DGS bentuk *dumbbell* ini akan di cari pemodelannya yang dibahas pada bab 3.4 berikut.

### 3.4 PEMODELAN ANTENA DGS BENTUK *DUMBBELL*

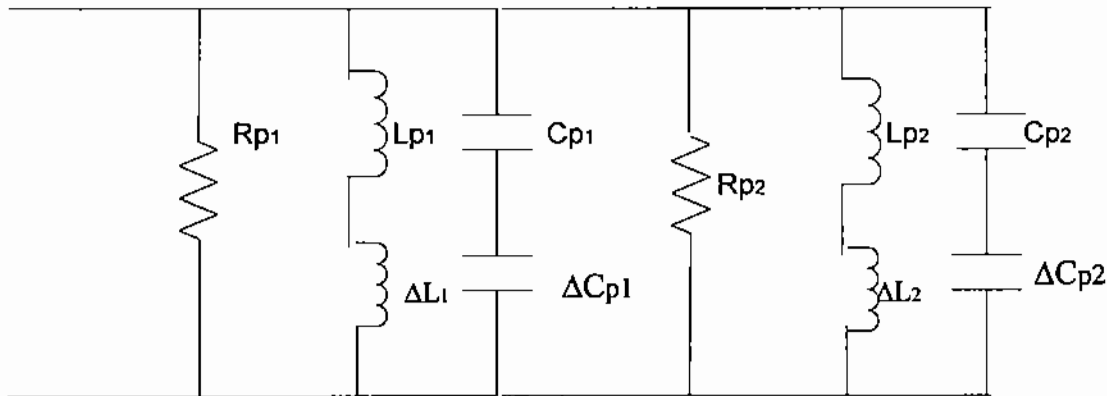
Konfigurasi dari antenna DGS bentuk *dumbbell* yang diperlihatkan pada Gambar 3.9 dapat dibuat rangkaian ekivalennya. Pada pembuatan rangkaian ekivalen antenna DGS bentuk *dumbbell*, rangkaian ekivalen antenna dipecah menjadi 3 rangkaian ekivalen meliputi rangkaian ekivalen patch antenna dua elemen, rangkaian ekivalen *dumbbell* dan rangkaian ekivalen pencatunya. Gambar 3.21 memperlihatkan rangkaian ekivalen patch antenna satu elemen secara umum.



Gambar 3.21. Rangkaian Ekivalen *Patch* Antena Satu Elemen [1]

Pada antenna konvensional, antenna terdiri dari dua elemen segitiga sama sisi dengan slot bentuk Y. Gambar 3.22 memperlihatkan rangkaian ekivalen dari patch segitiga dua elemen. Ketika penambahan slot bentuk Y pada patch segitiga, distribusi arus ikut berubah yang ikut merubah resonansi dari patch. Perubahan pada patch segitiga ini menambah seri induktansi ( $\Delta L$ ) dan seri kapasitansi ( $\Delta C$ ) pada rangkaian ekivalen patch antenna semula.





Gambar 3.22. Rangkaian Ekuivalen Patch Antena Susun Dua Elemen

Dengan menggunakan cavity model, R, L dan C pada rangkaian ekuivalen patch antenna dapat dirumuskan sebagai berikut [1]:

$$C_p = \frac{\epsilon_o \epsilon_e l W}{2h} \cos^{-2} \left( \frac{\pi x_o}{l} \right) \quad (3.1)$$

$$L_p = \frac{1}{\omega^2 C_p} \quad (3.2)$$

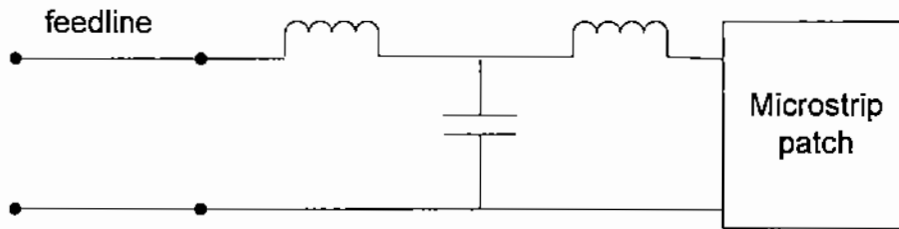
$$R_p = \frac{Q_T}{\omega C_p} \quad (3.3)$$

$$Q_T = \frac{c \sqrt{\epsilon_e}}{4fh} \quad (3.4)$$

$$f = \frac{c}{2(l + 2\Delta l) \sqrt{\epsilon_e}} \quad (3.5)$$

Dengan  $l$  = panjang dari sisi segitiga patch,  $x_o$  = koordinat x dari pencatu,  $c$  = kecepatan cahaya,  $\Delta l$  = panjang *fringing* pada patch antenna.

Rangkaian ekuivalen ekivalen patch dihubungkan rangkaian ekuivalen pencatu antenna yang pada antenna ini dicatu dengan microstrip line dengan bentuk T-junction dan ada penambahan stub pada pencatunya. Rangkaian ekuivalen dari pencatu microstrip line digambarkan pada Gambar 3.23 berikut:



Gambar 3.23 Rangkaian Ekivalen Pencatu Microstrip Line [1]

Dari hasil perhitungan secara teoritis pada frekuensi kerja 2,61 GHz, diperoleh nilai RL pada antenna konvensional sebesar -33,6 dB sedangkan pada hasil simulasi -33,3 dB. Hasil pemodelan secara rangkaian ekivalen ini sudah mendekati hasil simulasi dengan persentase kesalahan sebesar 0,9%. Hasil ini diperoleh dari penyelesaian rangkaian ekivalen pada Gambar 3.22.

$$Z_{in} = \frac{1}{\frac{1}{R} + j\omega C + \frac{1}{j\omega L}} \quad (3.6)$$

$$R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \quad (3.7)$$

$$L = \frac{L_1 L_2}{L_1 + L_2} \quad (3.8)$$

$$C = C_1 + C_2 \quad (3.9)$$

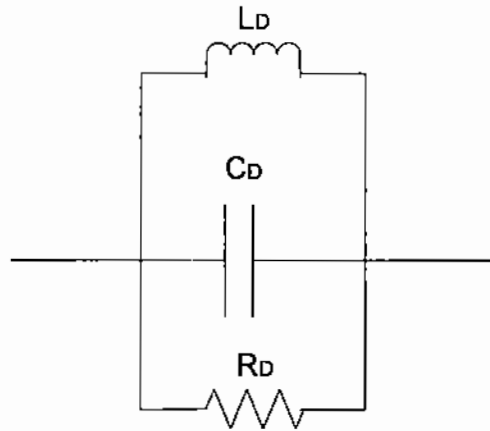
$R_1$ ,  $C_1$  dan  $L_1$  merupakan R,L,C total dari elemen *patch* pertama dan  $R_2$ ,  $C_2$  dan  $L_2$  merupakan R,L,C total dari elemen *patch* kedua. Dengan menggunakan persamaan 2.19a dan 2.19b maka diperoleh nilai *return loss* dari antenna susun konvensional.

$$\Gamma = \left| \frac{Z_{in} - Z_o}{Z_{in} + Z_o} \right|$$

$$\text{return loss} = 20 \log_{10} |\Gamma|$$

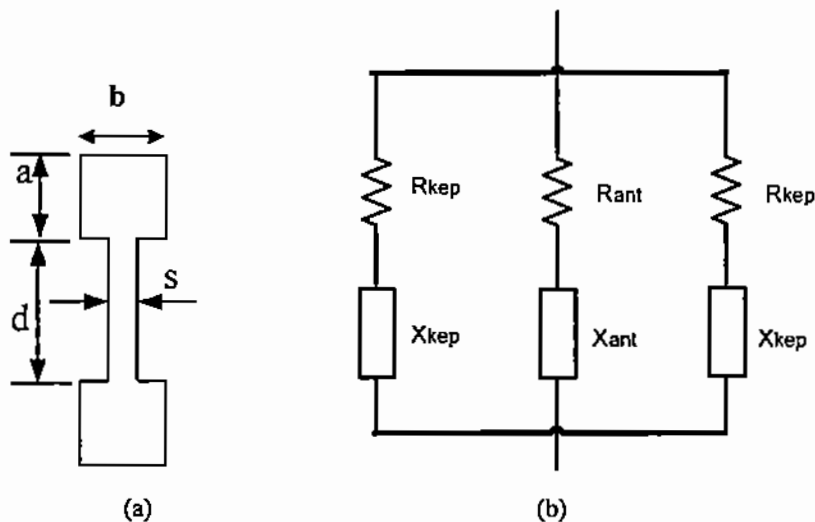
Perhitungan secara teoritis dilanjutkan untuk antenna dengan DGS bentuk *dumbbell*. Gambar 3.24 memperlihatkan rangkaian ekivalen dari DGS *dumbbell* yang terdiri dari R,

L dan C. Adapun efek yang ditimbulkan oleh DGS *dumbbell* yang diletakkan di antara kedua elemen antenna diekivalenkan dengan  $Z_D$ .



Gambar 3.24 Rangkaian Ekivalen Satu Unit DGS [5],[20]

DGS bentuk *dumbbell* ini dapat dipertimbangkan sebagai kombinasi tiga buah slot yaitu dua buah slot sebagai kepala *dumbbell* dan satu slot antara kedua kepala *dumbbell* seperti yang diperlihatkan pada Gambar 3.25.



Gambar 3.25 (a) Bentuk *Dumbbell* yang Dirancang  
(b) Rangkaian Ekivalen Dari DGS *Dumbbell*

Rangkaian ekivalen dari slot tipis ini merupakan kombinasi seri dari radiasi resistansi ( $R_s$ ) dan komponen reaktif ( $X_s$ ) sehingga impedansi dari slot tersebut seperti pada Pers.3.11.

$$Z = R + jX \quad (3.11)$$

dengan R pada kepala *dumbbell* adalah [46]

$$R_{kep} = 60 \left[ \begin{array}{l} C + \ln(ka) - C_i(ka) + \frac{1}{2} \sin(ka) \{S_i(ka) - 2S_i(ka)\} + \\ \frac{1}{2} \cos(ka) \left\{ C + \ln\left(\frac{ka}{2}\right) + C_i(2ka) - 2C_i(ka) \right\} \end{array} \right] \cos \psi \quad (3.12)$$

dan

$$X_{kep} = 30 \left[ \begin{array}{l} 2S_i(ka) + \cos ka \{2S_i(ka) - S_i(2ka)\} \\ - \sin ka \left\{ 2C_i(ka) - C_i(2ka) - C_i\left(\frac{2kb^2}{a}\right) \right\} \end{array} \right] \quad (3.13)$$

dengan C konstanta Euler,  $\psi$  inklinasi dari slot ke tepi radiasi, k konstanta propagasi di free space dan fungsi  $S_i(x)$  dan  $C_i(x)$  didefinisikan sebagai

$$S_i(x) = \int_0^x \frac{\sin x}{x} dx \quad (3.14)$$

$$C_i(x) = - \int_0^x \frac{\cos x}{x} dx \quad (3.15)$$

Begitu pula untuk impedansi pada slot antara kedua kepala *dumbbell* mempunyai impedansi yang serupa seperti [46]

$$R_{ant} = 60 \left[ \begin{array}{l} C + \ln(kd) - C_i(kd) + \frac{1}{2} \sin(kd) \{S_i(kd) - 2S_i(kd)\} + \\ \frac{1}{2} \cos(kd) \left\{ C + \ln\left(\frac{kd}{2}\right) + C_i(2kd) - 2C_i(kd) \right\} \end{array} \right] \cos \psi \quad (3.16)$$

dan

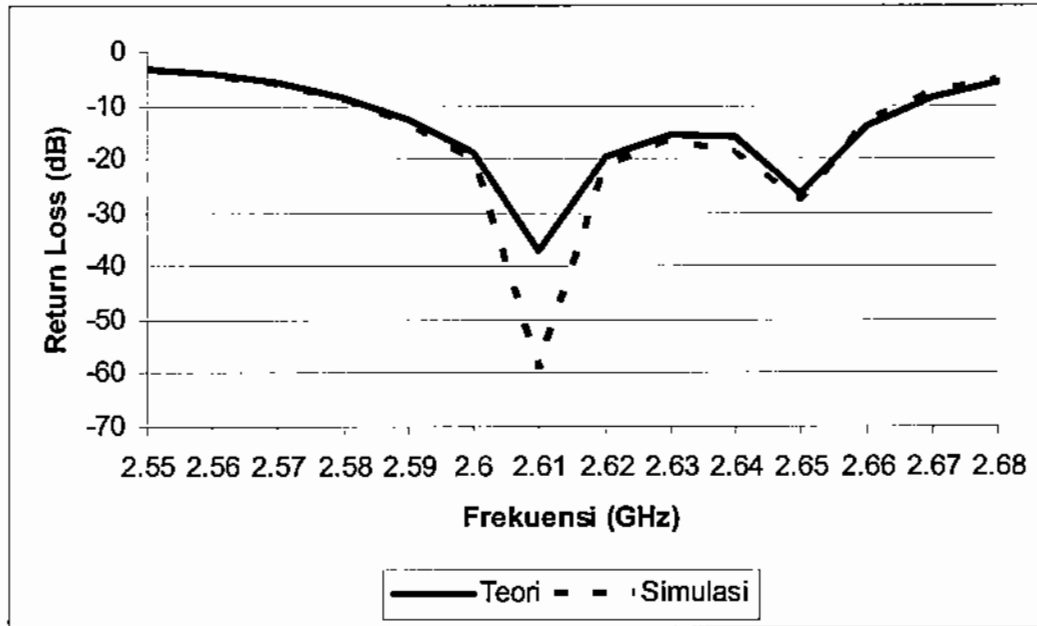
$$X_{ant} = 30 \left[ \begin{array}{l} 2S_i(kd) + \cos kd \{2S_i(kd) - S_i(2kd)\} \\ - \sin kd \left\{ 2C_i(kd) - C_i(2kd) - C_i\left(\frac{2ks^2}{a}\right) \right\} \end{array} \right] \quad (3.17)$$

Dari hasil perhitungan nilai impedansi DGS,  $Z_{in}$  total antenna dengan DGS di coba untuk diparalelkan dan diserikan antara  $Z_p$  dan  $Z_D$ , yaitu  $Z$  total antenna tanpa DGS dengan impedansi DGS. Hasil perhitungan antara hubungan seri dan paralel ditunjukkan pada Tabel 3.9.

Tabel 3.9 Hubungan Seri dan Paralel Perhitungan Dibandingkan Hasil Simulasi

Frekuensi (GHz)	Zin simulasi	Zin perhitungan hub seri	Zin perhitungan hub paralel
2,55	14,805 - j35,718	14,8322 - j39,339	1,4156 + j11,8975
2,56	16,991 - j27,938	17,0222 - j31,6136	2,3515 + j11,9825
2,57	20,447 - j19,969	20,5061 - j23,7131	3,3960 + j11,2092
2,58	25,787 - j12,245	25,9331 - j16,1005	3,3956 + j9,8621
2,59	33,25 - j5,955	33,5640 - j10,0801	2,6563 + j9,2484
2,60	41,644 - j2,185	42,0439 - j6,9160	2,1039 + j9,2003
2,61	50,044 - j0,09636	50,1099 - j1,3914	1,7745 + j9,2727
2,62	59,714 - j1,0088	58,7188 - j7,4351	1,5411 + j9,4107
2,63	64,367 - j8,6593	62,0928 - j14,9277	1,4777 + j9,6279
2,64	57,145 - j10,005	54,5067 - j16,4547	1,6878 + j9,712
2,65	52,937 + j3,0266	48,9737 - j4,6928	1,8395 + j9,3166
2,66	60,089 + j23,357	52,9456 - j21,3751	1,7217 + j9,9261
2,67	82,938 + j47,3	69,1246 - j44,4583	1,1272 + j10,1955
2,68	134,28 + j67,589	106,25 - j69,265	0,7166 + j10,1118i

Dari Tabel 3.9 dapat dianalisis bahwa antenna dengan DGS mempunyai hubungan yang seri antara  $Z_p$  dengan  $Z_D$ . Hasil seri menjadi  $Z_{in}$  total antenna dengan DGS. Dari hasil  $Z_{in}$  dapat dihitung koefisien refleksi dan RL. Hasil perhitungan ini dibandingkan dengan hasil simulasi dan diperoleh hasil seperti Gambar 3.26.



Gambar 3.26 Hasil Pemodelan Rangkaian Ekuivalen Dibandingkan Dengan Hasil Simulasi

Hasil pada Gambar 3.26 menunjukkan hasil perhitungan sudah sangat mendekati hasil simulasi kecuali pada frekuensi resonansi. Ini dikarenakan hasil simulasi sudah sangat mendekati nilai ideal 50 ohm sedangkan pada hasil perhitungan masih ada faktor kesalahan dari pembulatan nilai dan dari perumusan  $C_i$  sehingga faktor kesalahan ini dapat terjadi. Namun secara umum, hasil perhitungan sudah sangat mendekati hasil simulasi sehingga sudah dapat dinilai keakuratannya.

# BAB 4

## PENERAPAN DGS PADA ANTENA SUSUN

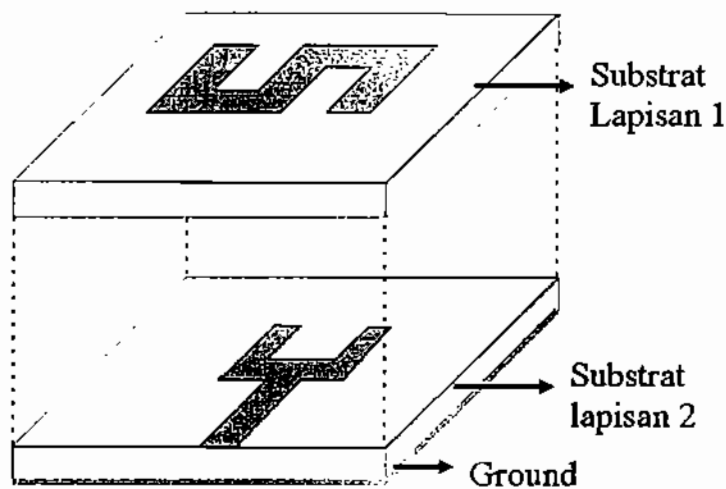
### MULTIBAND

#### 4.1 ANTENA SINGLE ELEMENT MULTIBAND

Perancangan antenna *single element multiband* melalui beberapa tahap penelitian. Pertama dilakukan penelitian *single element single band* kemudian dilanjutkan dengan *single element dual band* dan terakhir *single element multiband*. Langkah – langkah perancangan, pembuatan dan pengukuran antenna *single element multiband* diuraikan dalam sub bab berikut:

##### 4.1.1 Single Element Single Band

Antena single element konvensional dirancang bekerja pada frekuensi 4,9 GHz sampai di atas 6 GHz sehingga bersifat *broadband*. Gambar 4.1 memperlihatkan desain antenna konvensional yang terdiri dari substrat lapisan pertama berupa patch bentuk huruf S dan substrat lapisan kedua yang berupa pencatu berbentuk garpu. Antena di catu secara *electromagnetically coupled*. Pada lapisan kedua substrat, bagian bawah substrat berupa *ground plane*.



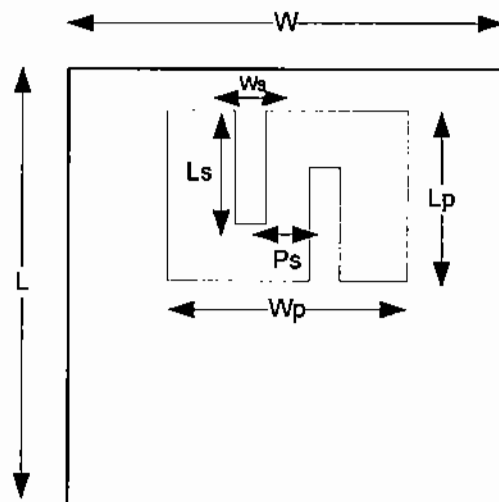
Gambar 4.1 Konfigurasi Antena Konvensional [47]

Dalam perancangan dan fabrikasi antena digunakan jenis substrat dengan spesifikasi seperti tercantum dalam Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Parameter Substrat Yang Digunakan Dalam Perancangan Antena Substrat Untuk Elemen Peradiasi dan Substrat Untuk Saluran Catu

Parameter	Nilai
Jenis substrat	TLY 5 0610 C1/C1
Konstanta dielektrik relatif	2.2 +/- 0,02
Rugi tangensial	0,0009
Tebal dielektrik	1,604 mm
Tebal elemen penghantar	0,03556 mm
Konduktivitas Termal (pada suhu 99 0 C)	0,22 W/m/K

Substrat lapisan pertama berupa antena mikrostrip patch berbentuk huruf S (S-Shaped), merupakan modifikasi dari bentuk patch segiempat. Konfigurasi dua dimensi dari substrat lapisan pertama ditunjukkan pada Gambar 4.2.

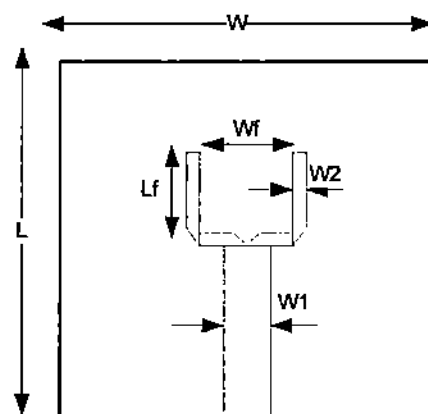


Gambar 4.2 Antena Mikrostrip Berbentuk Huruf -S dengan  $W = L = 40$  mm,  $W_p = 22,2$  mm,  $L_p = 15,6$  mm,  $W_s = 2,8$  mm,  $L_s = 10,4$  mm,  $P_s = 4,2$  mm



Antena mikrostrip patch bentuk S dibentuk dengan menambahkan dua buah slot segiempat dengan posisi yang saling berlawanan. Tujuan dari pemberian slot ini adalah untuk menghasilkan frekuensi resonan yang lebih rendah (frekuensi resonan kedua) dari frekuensi resonan utama (yang dihasilkan oleh patch segiempat konvensional) sehingga terbentuk broadband. Penambahan slot ini juga dapat mereduksi ukuran patch antena.

Substrat lapisan kedua merupakan saluran mikrostrip yang berbentuk *dual offset feedline* yang menyerupai bentuk garpu, dengan dua buah saluran mikrostrip 100 ohm dan satu buah saluran mikrostrip 50 ohm seperti yang terlihat pada Gambar 4.3. Teknik dual offset digunakan sebagai salah satu teknik *impedance matching*, dengan melakukan proses *impedance matching* maka return loss atau VSWR optimal pada frekuensi tertentu dapat dihasilkan.



Gambar 4.3. Konfigurasi Pencatuan Secara *Electromagnetically Coupled* Dengan Teknik *Dual Offset*, dengan  $w_1 = 5$  mm,  $w_2 = 1,4$  mm,  $L_f = 8,4$  mm,  $W_f = 10,6$  mm

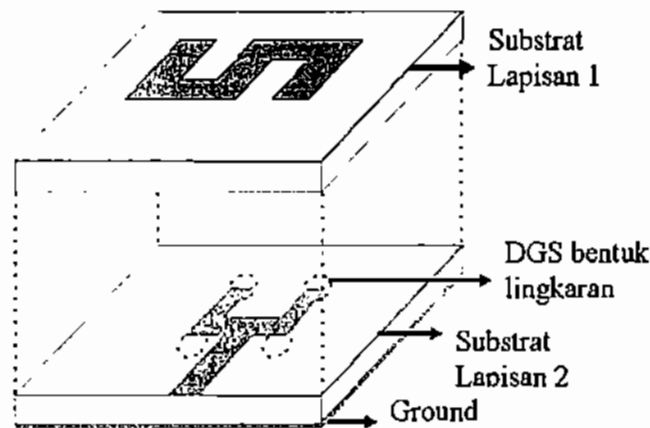
### Antena dengan DGS

Antena konvensional pada bagian 4.1.2 ini kemudian ditambahkan bentuk DGS dengan konfigurasi empat buah slot lingkaran pada bidang *ground* dengan ukuran dan jarak masing-masing lingkaran dibuat identik. Hal ini dilakukan dalam penelitian awal untuk mengetahui dampak DGS pada antena *single element*. Secara teoritis [1] dan [2], penerapan DGS ini akan menekan *surface wave* sehingga mampu meningkatkan *bandwidth* antena, meningkatkan gain antena dan antena menjadi lebih dalam kondisi matching dengan nilai RL yang semakin kecil.

Konfigurasi antenna dengan DGS bentuk lingkaran dalam tiga dimensi ditunjukkan pada Gambar 4.4.

Untuk DGS bentuk lingkaran, nilai frekuensi pusat *stopband* menentukan jarak masing-masing lingkaran yang formulanya ditunjukkan pada persamaan 2.27. Frekuensi pusat stopband berada pada frekuensi tengah kerja antenna referensi yaitu pada frekuensi 5,43 GHz, sehingga diharapkan gelombang permukaan tidak dapat berpropagasi pada frekuensi tersebut.

Untuk DGS bentuk lingkaran, nilai frekuensi pusat *stopband* menentukan jarak masing-masing lingkaran yang formulanya ditunjukkan pada persamaan 2.26. Frekuensi pusat stopband berada pada frekuensi tengah kerja antenna referensi yaitu pada frekuensi 5,43 GHz, sehingga diharapkan gelombang permukaan tidak dapat berpropagasi pada frekuensi tersebut.

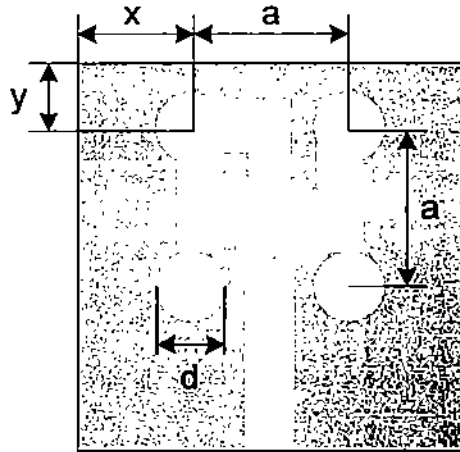


Gambar 4.4 Konfigurasi Antena Dengan DGS Bentuk Lingkaran [48]

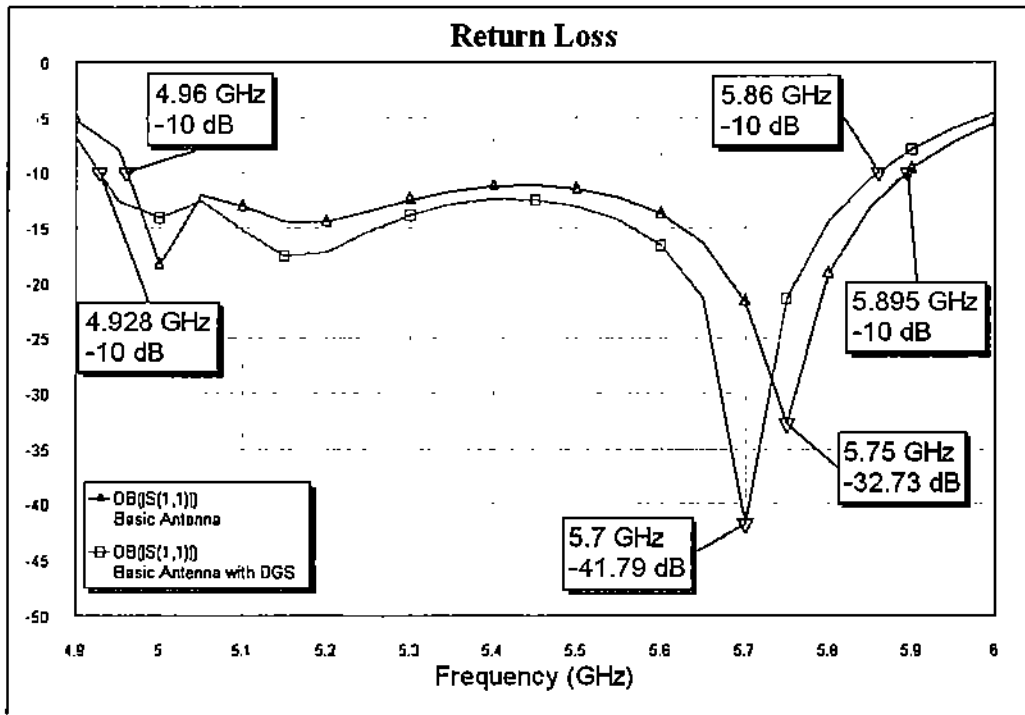
Dari Persamaan 2.26, maka jarak antar lingkaran DGS dibuat sejauh 19,4 mm. Setelah menentukan jarak antar lingkaran DGS untuk menghasilkan frekuensi pusat *stopband*, selanjutnya menentukan letak pola DGS ini terhadap sumbu y, dengan menjaga posisinya terhadap sumbu x selalu berada di tengah.

Adapun hasil terbaik konfigurasi antenna dengan DGS yang diperoleh melalui simulasi diperlihatkan pada Gambar 4.5. Gambar 4.5 menunjukkan konfigurasi antenna dalam dua dimensi dengan kedua lapisan substrat saling menumpuk. Hasil simulasi RL dari perancangan ditunjukkan pada Gambar 4.6. Hasil menunjukkan terjadinya sedikit

pergeseran frekuensi kerja antenna dari 4,96 – 5,895 GHz pada antenna konvensional menjadi 4,928 – 5,86 GHz pada antenna dengan DGS. Hal ini disebabkan DGS yang berupa *slow wave* akan dapat menggeser sedikit frekuensi kerja antenna, namun hasilnya masih melingkupi frekuensi kerja yang dirancang dari awal.



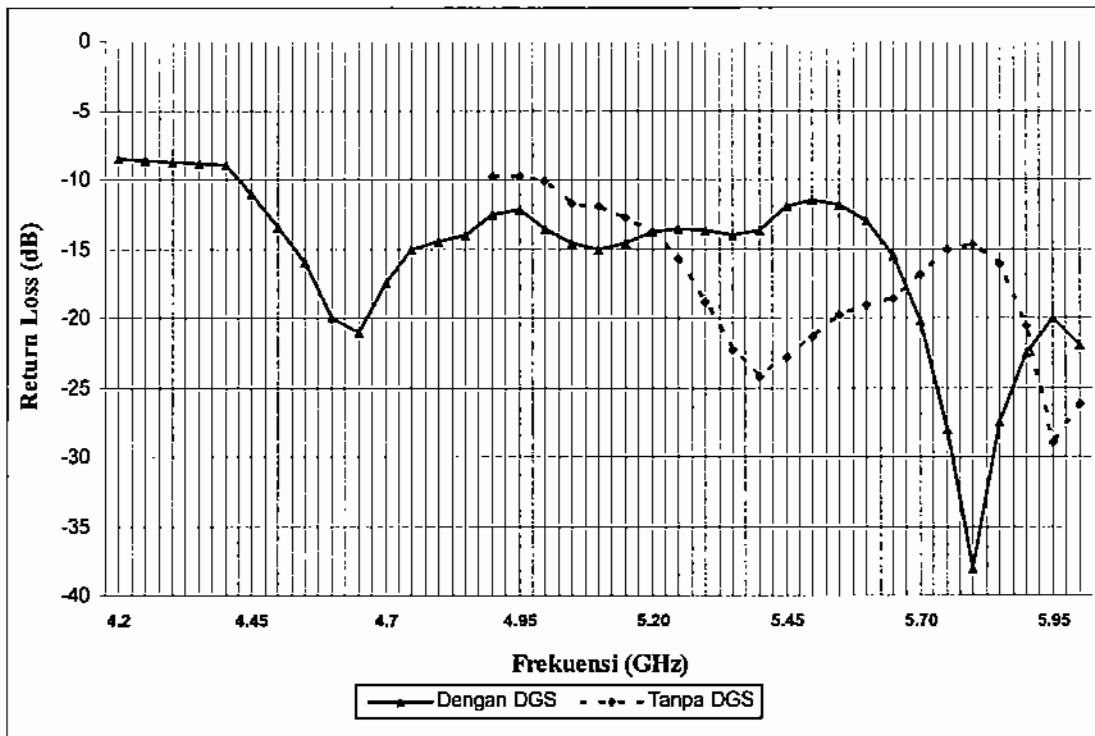
Gambar 4.5. Bentuk DGS Pada Antena Berbentuk Huruf S Untuk Nilai  $x = 10,4$  mm,  $a = 19,4$  mm,  $y = 7$  mm,  $d = 5$  mm [48]



Gambar 4.6 Perbandingan *Return Loss* Antara Antena Dengan DGS dan Tanpa DGS

Hasil simulasi kemudian difabrikasi dan Gambar 4.7 hingga 4.9 menunjukkan hasil-hasil pengukuran dari antenna dengan DGS dan tanpa DGS.

Pada Gambar 4.7 dapat diamati bahwa nilai-nilai frekuensi resonansi mengalami pergeseran dimana frekuensi resonansi pada antenna referensi terjadi pada frekuensi 5,415 GHz dan 5,962 GHz, sedangkan dengan penambahan DGS terjadi resonansi pada frekuensi 4,635 GHz dan 5,79 GHz.

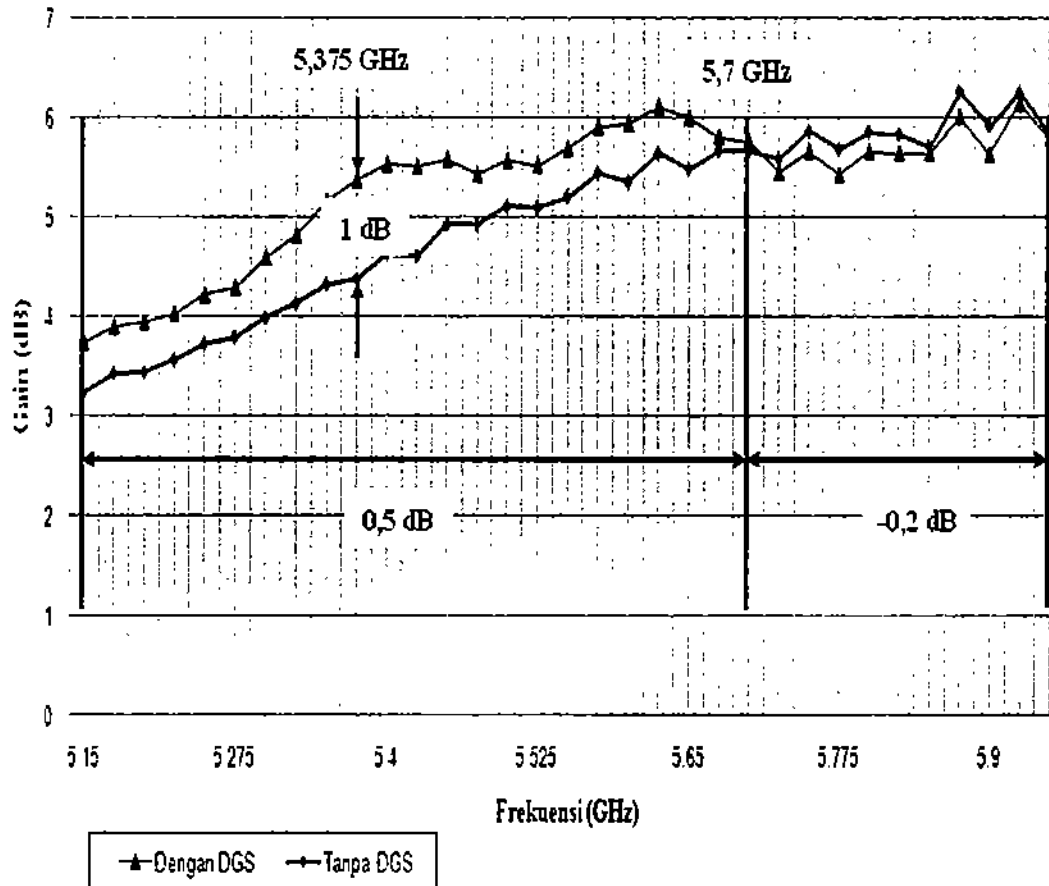


Gambar 4.7 Grafik Perbandingan *Return Loss* Hasil Pengukuran Dengan dan Tanpa DGS

Gambar 4.7 juga memperlihatkan terjadi peningkatan terhadap nilai *return loss* terbaik, dimana pada antenna referensi nilai *return loss* terbaik terjadi pada frekuensi 5,962GHz sebesar -29,176 dB, sedangkan dengan penambahan DGS terjadi pada frekuensi 5,79 GHz sebesar -38,698 dB. Nilai *return loss* ini mengalami peningkatan sebesar 32,6 %

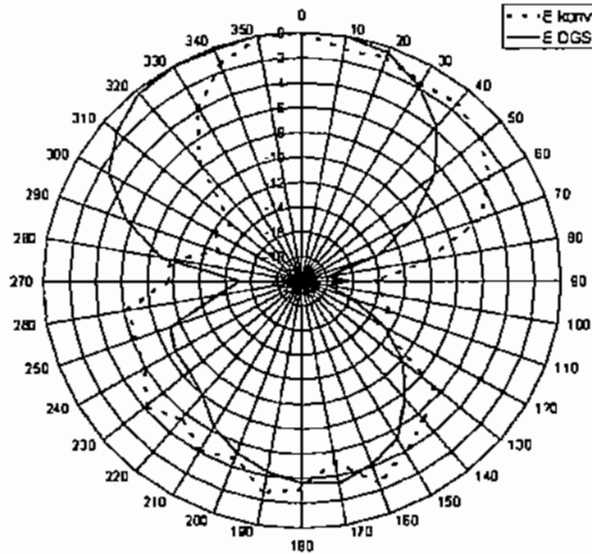
Pengukuran terhadap gain antenna DGS, diperlihatkan pada Gambar 4.8. Dari hasil pengukuran *gain* memperlihatkan bahwa antenna dengan DGS mengalami peningkatan *gain*  $\pm 0,7$  dB dan peningkatan *gain* terbesar terjadi pada frekuensi 5,375 GHz sebesar 1

dB. Namun antenna DGS mengalami sedikit penurunan untuk frekuensi-frekuensi yang lebih tinggi. Hal ini terjadi karena jarak antar lingkaran DGS di desain untuk dapat menekan gelombang permukaan pada kisaran frekuensi 5,4275 GHz sebagai frekuensi pusat *stopband*.



Gambar 4.8. Perbandingan Gain Antena DGS Dengan Referensi Pada Frekuensi 5,15 – 6 GHz

Gambar 4.9 memperlihatkan hasil pengukuran pola radiasi medan E antena DGS dan antena konvensional pada frekuensi resonansi 5.79 GHz. Gambar 4.8 menunjukkan pola berkas utama (*mainlobe*) pola radiasi bidang E ada di sekitar  $0^\circ$ .



Gambar 4.9 Pola Radiasi Medan E Antena DGS Vs Antena Konvensional Pada Frekuensi 5,79 GHz

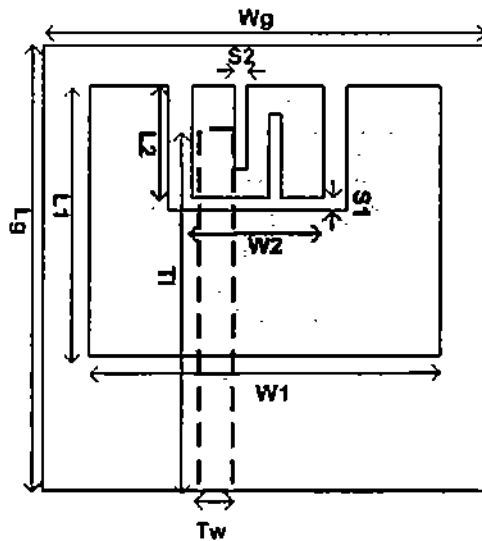
### Hasil Analisis:

Antena Broadband dengan DGS bentuk lingkaran telah dibuat dan diukur. Hasil yang didapatkan menunjukkan antena dengan penambahan DGS mampu meningkatkan karakteristik kerja antena. DGS yang di desain ini sederhana dan mudah untuk dibuat yaitu hanya dengan menambahkan empat buah slot lingkaran pada bidang ground. DGS pada antena konvensional dapat meningkatkan nilai *return loss* maksimum sebesar 32,6 % dan meningkatkan gain sebesar  $\pm 0,7$  dB.

#### 4.1.2 Single Element Dual Band

Perancangan antena mikrostrip *dual band* ini merupakan pengembangan dari *single element single band* yang terdiri dari gabungan *patch* segiempat untuk frekuensi 2,4 GHz dan *patch* berbentuk huruf S untuk frekuensi 5 GHz. Teknik pencatuan yang digunakan adalah *electromagnetically coupled*.

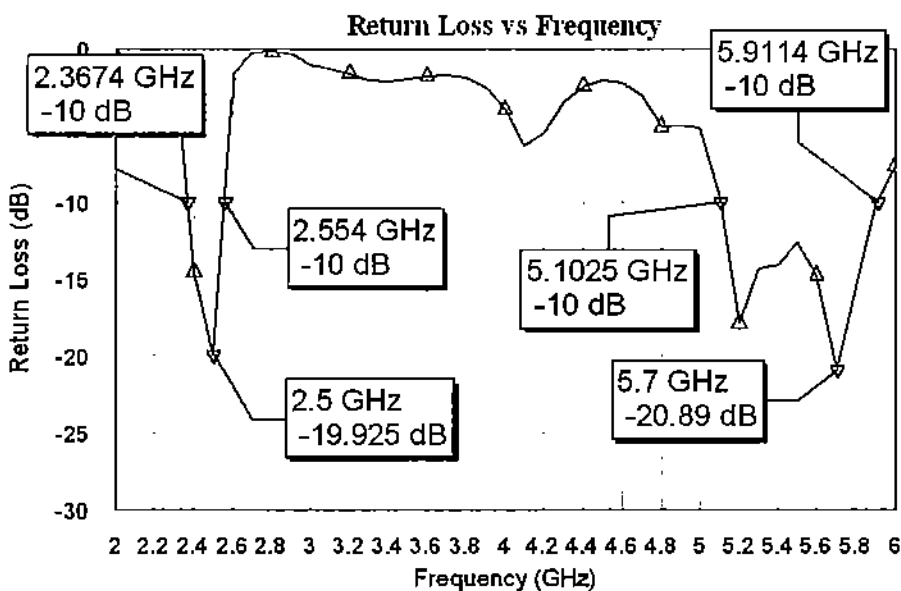
Penggabungan antara *patch* segiempat 2,4 GHz dan *patch* berbentuk S dengan mengatur lebar slot, yang terdiri dari tiga parameter slot, yaitu lebar slot U bagian samping (S1) dan bagian bawah (S2), serta lebar slot S3 (S3). Selain itu penentuan posisi saluran pencatu dan panjang pencatu (TI) juga menentukan *matching* antena. Gambar 4.10 menunjukkan hasil perancangan antena *dualband* dengan dimensinya.



Patch Geometry	Parameter	Size
Rectangular with U slot	Frequency	2.5 Ghz
	(L1)	37.6 mm
	(W1)	48.4 mm
	(S1)	1.6 mm
Rectangular with S slot	Frequency	5.7 GHz
	(L2)	15.6 mm
	(W2)	18.4 mm
	(S2)	1.6 mm

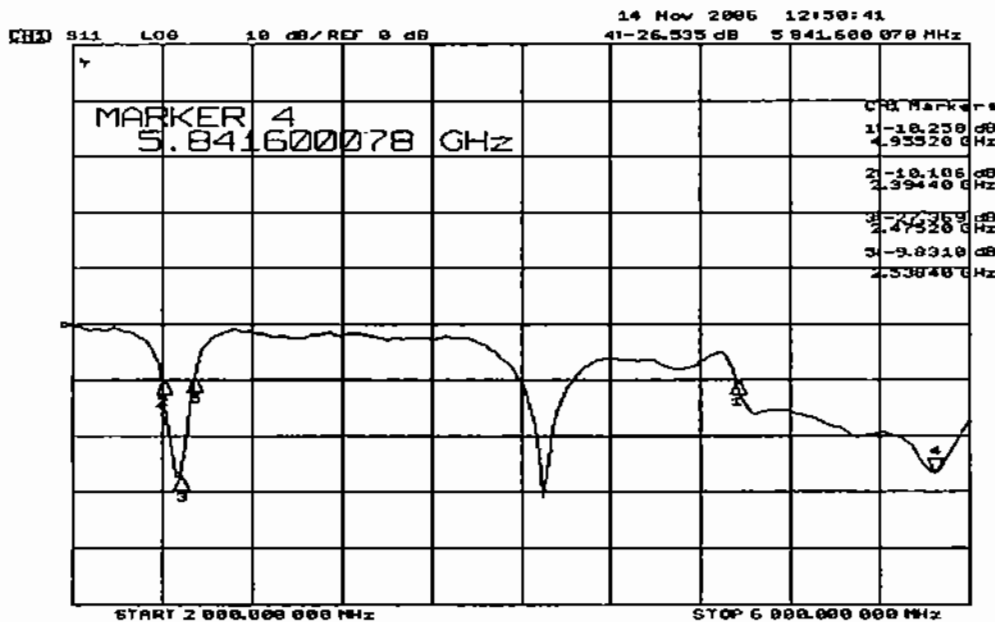
Gambar 4.10 Rancangan dan Dimensi Antena *Dual Band* [49]

Gambar 4.11 memperlihatkan grafik *impedance bandwidth* dengan *return loss* di bawah  $\leq 10$  dB, yaitu mempunyai karakteristik dualband dari frekuensi 2,367 – 2,554 GHz dan dari frekuensi 5,1025 – 5,9114 GHz. Pada Gambar 4.11 juga menunjukkan nilai *return loss* minimum terjadi pada frekuensi 2,5 GHz dengan nilai *return loss* -19,925 dB dan pada frekuensi 5,7 GHz dengan nilai *return loss* -20,89 dB.



Gambar 4.11. Grafik *Return Loss* Optimum Hasil dari Variasi Letak Pencatu dan Panjang Pencatu

Antena hasil perancangan kemudian di fabrikasi dan dilakukan pengukuran yang dapat dilihat pada Gambar 4.12. Dari Gambar 4.13 dapat dilihat bahwa antena hasil rancangan bersifat *dual band* dengan hasil pengukuran *port* tunggal tercantum dalam Tabel 4.2 yang kemudian dibandingkan dengan hasil simulasi.



Gambar 4.12. Hasil Pengukuran *Impedance Bandwidth* Antena

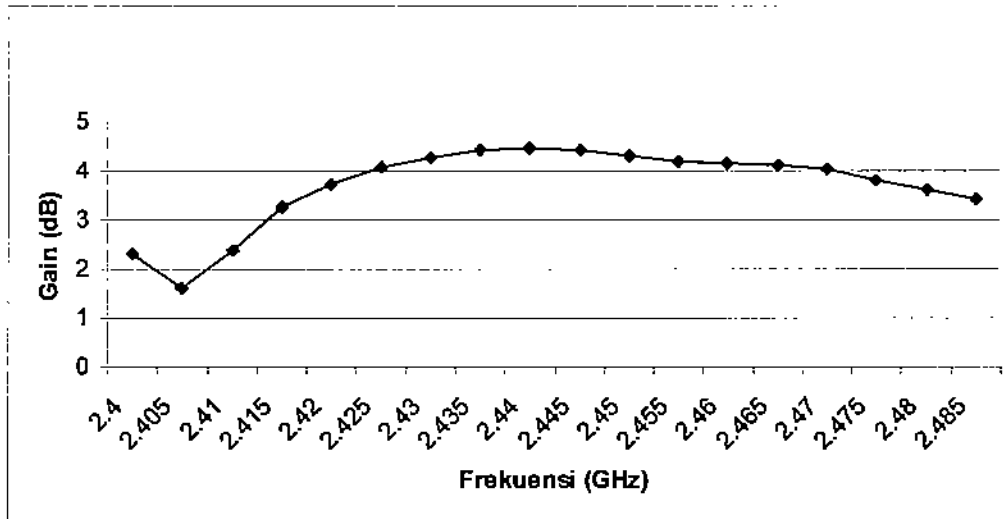
Tabel 4.2. Perbandingan Hasil Pengukuran *Port* Tunggal Dengan Hasil Simulasi

Parameter	Band 2,4 GHz		Band 5 GHz	
	Hasil Simulasi	Hasil Pengukuran	Hasil Simulasi	Hasil Pengukuran
Impedance Bandwidth	192,4 MHz (2364,1 – 2556,5 MHz) atau 7,8%	144 MHz (2394,48 – 2538,48 MHz) atau 5,8%	834,6 MHz (5094,4 – 5929 MHz) atau 15,14%	4955,2 MHz sampai di atas 6 GHz
Frekuensi resonansi	2500 MHz	2475,2 MHz	5700 MHz	5841,6 MHz
Impedansi Masukan	41,087 + j2,02 $\Omega$	53,256 – j2,658 $\Omega$	46,179- j7,827 $\Omega$	50,77 – j4,8672 $\Omega$
VSWR	1,244	1,108	1,19	1,12

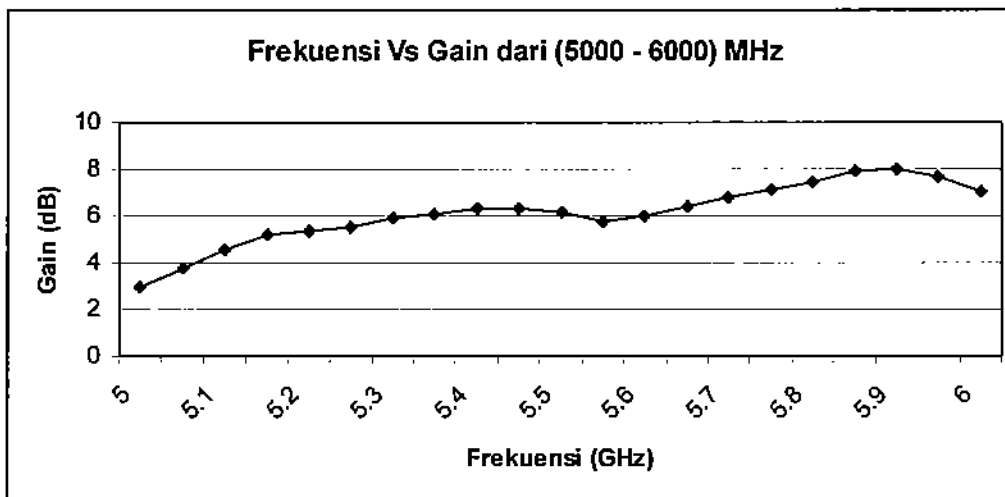
Gambar 4.12 menunjukkan hasil pengukuran gain. *Gain* antena diukur sepanjang frekuensi kerja yang diinginkan yaitu dari 2400 – 2483,5 MHz dan dari frekuensi 5000



MHz – 6000 MHz. Dari grafik tersebut diperoleh *gain* antenna sebesar ~ 4 dB untuk band 2,4 GHz dan ~ 7 dB untuk band 5 GHz .



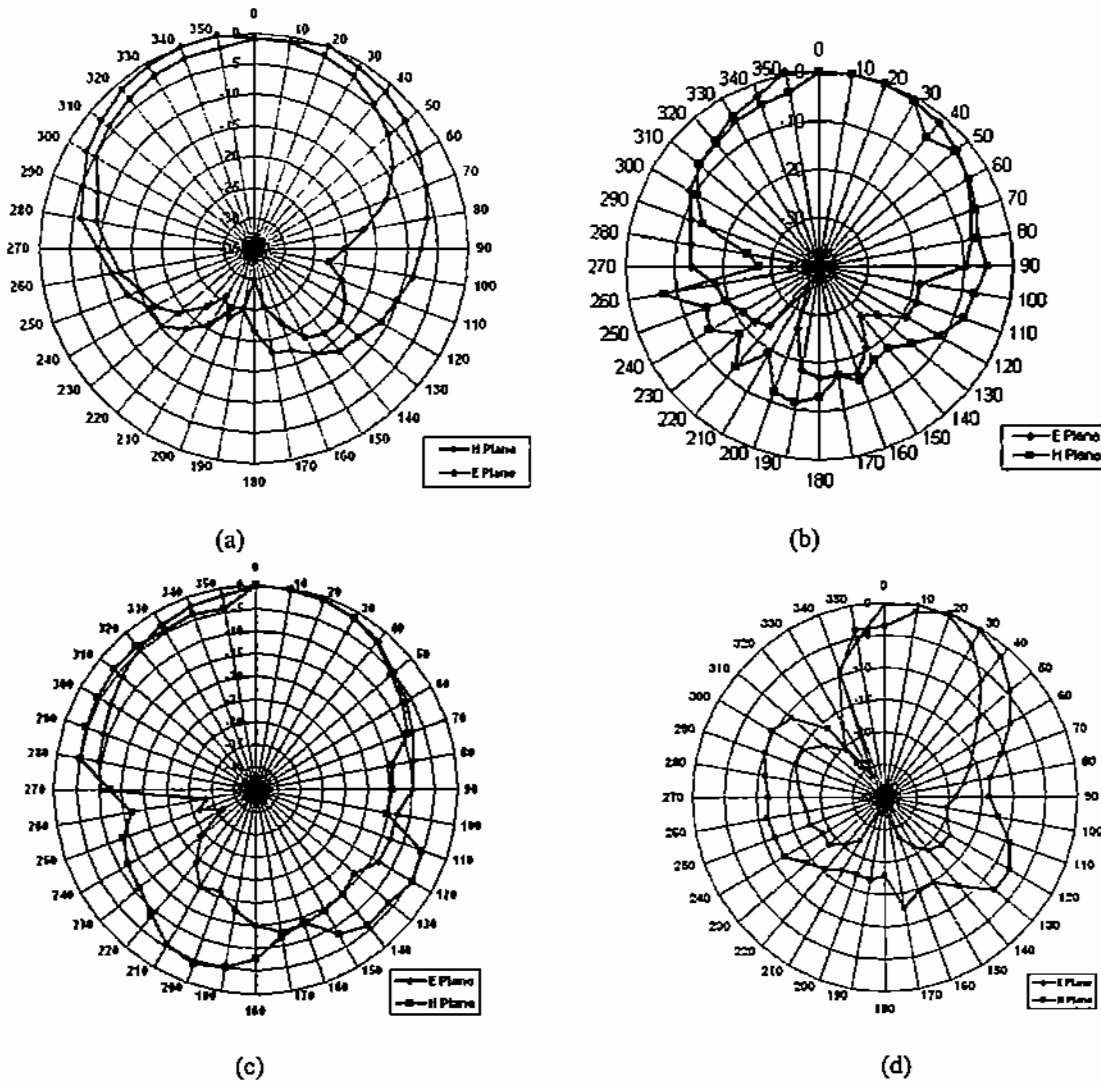
(a)



(b)

Gambar 4.13 Hasil Pengukuran *Gain* Terhadap Frekuensi (a) Range frekuensi 2400 – 2483,5 MHz  
b) Range frekuensi 5000 – 6000 MHz

Gambar 4.14. menunjukkan hasil pengukuran medan E dan medan H pada frekuensi 2,4 GHz, 5,2 GHz, 5,3 GHz dan 5,84 GHz. Dari Gambar 4.13 dapat dilihat bahwa pada frekuensi 5,84 GHz memperlihatkan pola radiasi yang lebih terarah dibandingkan pada frekuensi lainnya yang lebih *omni directional*.



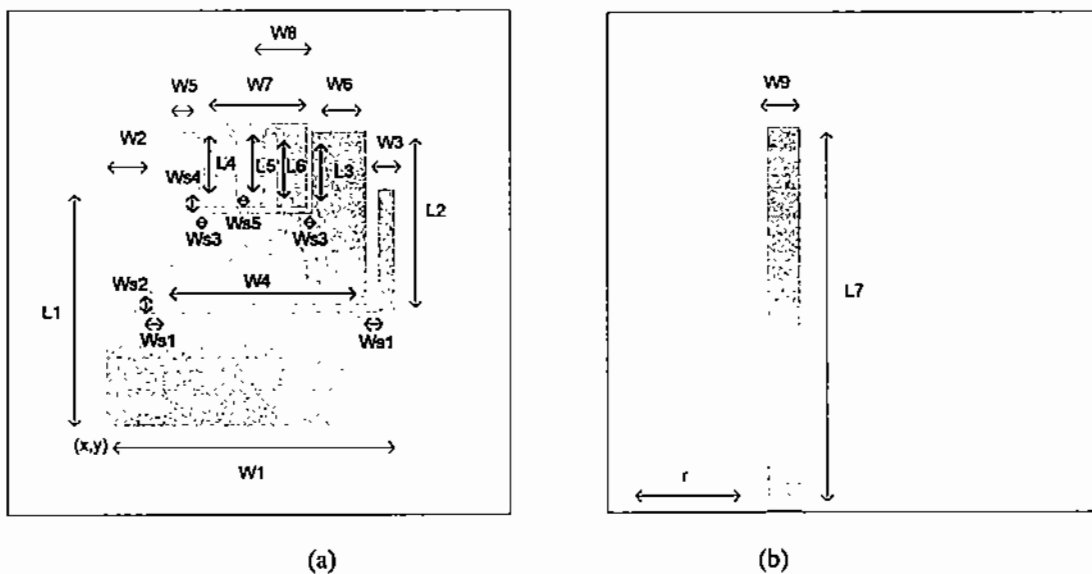
Gambar 4.14 Hasil Pengukuran Pola Radiasi dari Antena Pada Frekuensi (a) 2,4 GHz (b) 5,2 GHz (c) 5,3 GHz (d) 5,84 GHz.

### 4.1.3 Single Element Triple Band

Antena yang dirancang adalah antena yang dapat beroperasi pada tiga frekuensi (*triple band*) yaitu pada frekuensi 2,3 GHz (2,3-2,4 GHz), 3,3 GHz (3,3-3,4 GHz), dan 5,8 GHz (5,725-5,825 GHz). Cara yang digunakan adalah dengan menyusun tiga patch secara *multipatch coplanar* yang bekerja pada frekuensi yang berbeda-beda pada satu lapisan yang merupakan pengembangan dari antena dual band di sub bab 4.1.2.

Teknik *multi-patch coplanar* pada perancangan antena ini adalah dengan cara menambahkan slot berbentuk U untuk memberi tempat bagi antena lain untuk di susun

dalam satu substrat. Pada patch persegi panjang yang menghasilkan frekuensi resonansi 3.35 GHz diberi slot berbentuk U dan menempatkan patch berbentuk S penghasil frekuensi resonansi 5,8 GHz diatas slot U tersebut. Pada patch persegi panjang yang menghasilkan frekuensi resonansi 2,3 GHz juga diberi slot U. Diatas slot U ini ditempatkan patch hasil gabungan dari patch persegi panjang penghasil frekuensi resonansi 3,3 GHz dan patch berbentuk S. Maka dengan menggunakan dua slot U ini, ketiga patch dapat digabungkan dalam satu lapisan substrat. Hasil perancangan antenna diperlihatkan pada Gambar 4.15 dengan dimensi tercantum dalam Tabel 4.3.



Gambar 4.15 Antena *Triple-band Single Elemen* (a) Bagian Patch Atas Antena  
(b) Bagian Pencatu Bawah Antena [50]

Tabel 4.3. Nilai Parameter Antena *Triple-band Single Element*

Parameter	panjang (mm)	Parameter	panjang (mm)
W1	46,4	L4	14
W2	7,6	L5	12
W3	2,8	L6	11,6
W4	32,8	Ws1	1,6
W5	6	Ws2	0,8
W6	9,2	Ws3	0,4
W7	16,8	Ws4	0,4
W8	9,6	Ws5	1,6
L1	38,2	X	6,8
L2	28	Y	13,2
L3	12,8	L7	53,4

## 4.2 ANTENA ARRAY MULTIBAND

Perancangan antenna array multiband merupakan pengembangan dari perancangan *single element multiband antenna* yang telah dirancang pada sub bab 4.1.3. Pada perancangan antenna susunnya kemudian mengalami perubahan substrat yaitu Taconic TLY-5-0600-C1/C1 dengan parameter yang tercantum dalam Tabel 4.4. sebagai berikut :

Tabel 4.4 Parameter Substrat Taconic TLY-5-0600-C1/C1

Parameter	Nilai
Jenis substrat	TLY-5-0600-C1/C1
Konstanta dielektrik relatif ( $\epsilon_r$ )	2.2 +/- 0,02
Tebal dielektrik ( <i>thickness</i> )	1,52 mm
Rugi tangensial ( $\tan \delta$ )	0,0009
Tebal elemen penghantar	0,03556 mm
Konduktivitas Termal (pada suhu 99° C)	0,22 W/m/K

Jenis substrat ini memiliki parameter yang hampir sama dengan jenis substrat sebelumnya (TLY-5-0602-C1/C1) yang digunakan untuk antenna mikrostrip *single* elemen yang sudah ada. Perbedaannya hanya pada tebal dielektrik (*thickness*), dimana substrat TLY-5-0602-C1/C1 memiliki tebal dielektrik 1,57 mm. Walaupun selisih tebal dielektrik substrat TLY-5-0600-C1/C1 dengan substrat TLY-5-0602-C1/C1 sangat kecil yaitu 0,05 mm, hasil simulasi frekuensi terhadap *return loss* tidak sama dan ditunjukkan di Tabel 4.5.

Dari Tabel 4.5. terlihat bahwa pada frekuensi 3,3 GHz, nilai *return loss*  $\leq -10$  dB, oleh karena itu dengan spesifikasi yang baru, dilakukan simulasi ulang dengan perubahan dimensi pencatu L7 sesuai yang tercantum di Tabel 4.6.

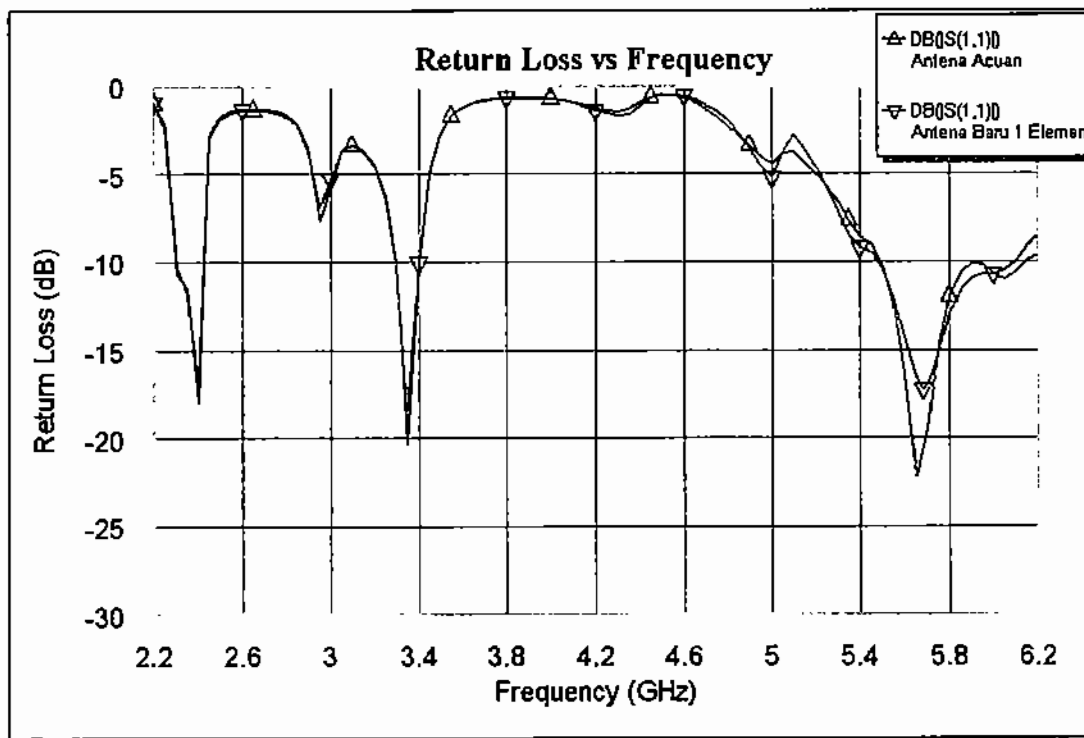
Tabel 4.5. Hasil Simulasi Perubahan Return Loss Akibat Spesifikasi Antena yang Berbeda

Jenis Substrat	Return Loss pada frekuensi (dB)							
	2,3 GHz	2,35 GHz	2,4 GHz	3,3 GHz	3,35 GHz	3,4 GHz	5,725 GHz	5,85 GHz
TLY-5-0600-C1/C1	-10,02	-11,68	-16,02	-9,31	-19,27	-11,09	-21,31	-11,11
TLY-5-0600-C1/C1	-10,69	-11,41	-16,87	-10,04	-20,35	-10,15	-19,45	-10,45

Tabel 4.6. Perubahan Dimensi Antena Multiband

Parameter	panjang (mm)	Parameter	panjang (mm)
W1	46,4	L4	14
W2	7,6	L5	12
W3	2,8	L6	11,6
W4	32,8	L7	56,4
W5	6	Ws1	1,6
W6	9,2	Ws2	0,8
W7	16,8	Ws3	0,4
W8	9,6	Ws4	0,4
W9	4,8	Ws5	1,6
L1	38,2	r	27,6
L2	28	X	11,6
L3	12,8	Y	16,4

Hasil perubahan dimensi ini menghasilkan *triple band* di frekuensi yang diinginkan dengan *impedance bandwidth* yang ditetapkan yang ditunjukkan pada Gambar 4.16 dan tercantum dalam Tabel 4.7.

Gambar 4.16. Grafik *Return Loss* Hasil Simulasi Satu Elemen

Tabel 4.7. Hasil Simulasi dari Dimensi Antena yang Baru

	Frekuensi 2,3 GHz		Frekuensi 3,3 GHz		Frekuensi 5,8 GHz	
	Antena Acuan	Antena Baru	Antena Acuan	Antena Baru	Antena Acuan	Antena Baru
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 <i>bandwidth</i>	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 %)
<i>Return loss</i> terendah	-16,87 dB	-17,99 dB	-20,35 dB	-18,5 dB	-22,24 dB	-16,95 dB

#### 4.2.1 Antena Array Multiband Tanpa DGS

Antena *single band single element* yang telah dirancang kemudian di susun menjadi dua elemen antena. Agar menghasilkan antena *array multiband* maka diatur jarak antar elemen dan pencatu mikrostrip.

##### A. Perancangan Jarak Antar Elemen

Jarak antar elemen dalam perancangan antena mikrostrip *array* perlu diatur sedemikian rupa agar diperoleh hasil yang seoptimal mungkin. Apabila jarak antar elemen terlalu dekat atau lebih kecil dari dua kali panjang gelombang maka dikhawatirkan akan terjadi *mutual coupling* antar elemen yang cukup signifikan. Sebaliknya jika jarak antar elemen terlalu jauh maka penggunaan dimensi substrat menjadi kurang efisien. Jarak antar elemen diukur dari titik pusat elemen ke titik pusat elemen yang berdekatan. Elemen yang dipakai dalam penelitian ini memiliki dimensi 48,8 x 46,4 mm (vertikal x horizontal). Karena elemen disusun secara linear horizontal maka panjang elemen horizontal dijadikan sebagai acuan jarak antar elemen.

Penelitian ini telah melakukan pengujian dengan mengambil beberapa jarak antar elemen yaitu :  $0,4 \lambda$  ;  $0,5 \lambda$  ;  $0,6 \lambda$  ;  $0,7 \lambda$  ;  $0,8 \lambda$  ;  $0,9 \lambda$  ; dan  $\lambda$ . Dari beberapa hasil pengujian tersebut akhirnya mendapatkan jarak antar elemen yang paling optimal adalah sekitar  $0,5 \lambda$ . Dalam perhitungan jarak antar elemen (d), digunakan frekuensi 2,4 GHz. Frekuensi ini digunakan karena berada pada ukuran patch yang terbesar pada antena multiband (antena U 2,3 GHz).

Hasil diatas merupakan jarak antar elemen yang diukur dari titik pusat elemen ke titik pusat elemen yang berdekatan. Karena panjang horizontal elemen 46,4 mm, maka jarak sisi antar elemen adalah 18,84 mm.

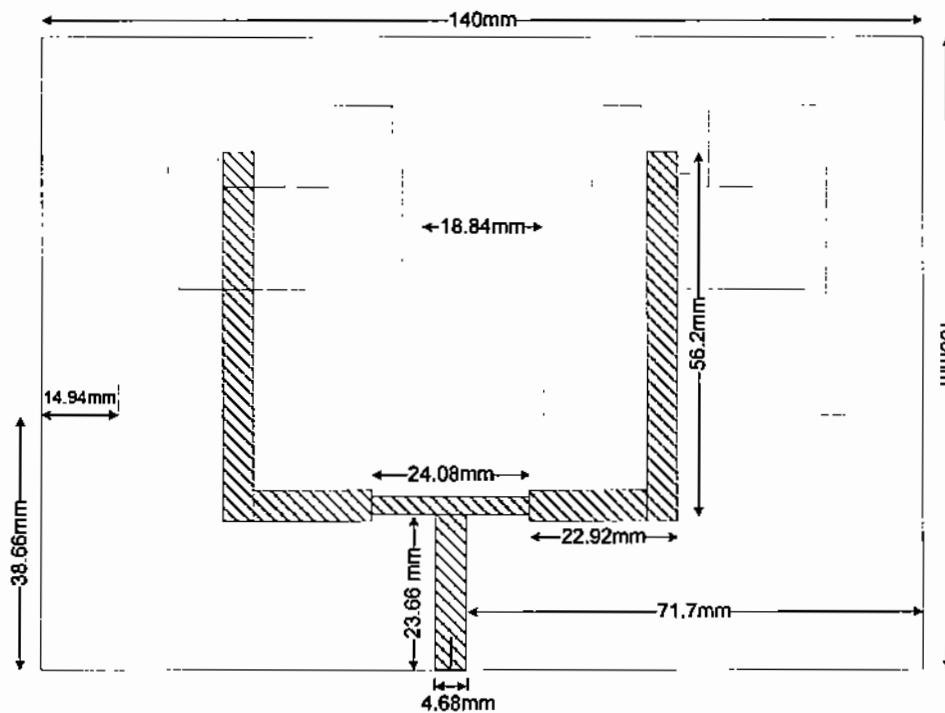
### B. Perancangan Saluran Pencatu

Pada perancangan antenna mikrostrip *array* linear 2 elemen, bentuk *array* yang digunakan adalah seperti huruf T (*T-Junction*) yang disebut sebagai *parallel feed* atau *corporate feed*, dengan dua saluran mikrostrip yaitu  $50 \Omega$  dan  $70,7 \Omega$ . *T-Junction* umumnya dipakai sebagai pembagi daya (*power divider*) dalam antenna *array*.

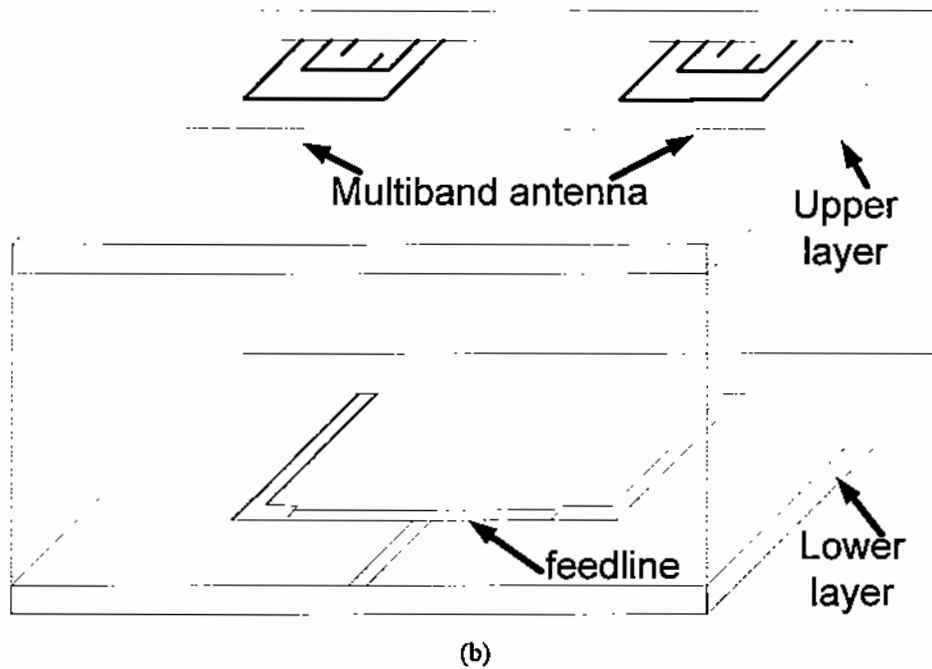
Transformator  $\lambda/4$  adalah suatu teknik *impedance matching* dengan cara memberikan saluran transmisi dengan impedansi  $Z_T$  di antara dua saluran transmisi yang tidak *match*. Saluran pencatu mikrostrip  $70,7 \Omega$  merupakan transformator  $\lambda/4$  antara saluran pencatu  $100 \Omega$  dan  $50 \Omega$ .

Dari hasil perhitungan, lebar saluran pencatu mikrostrip  $70,7 \Omega$  didapatkan sebesar 2,8 mm dan panjang saluran pencatu mikrostrip  $70,7 \Omega$  diperoleh 23,175 mm.

Hasil perhitungan disesuaikan dengan ukuran *grid* 0,4 yang digunakan pada program simulator sehingga panjang ini dibulatkan menjadi 23,2 mm. Hasil akhir perancangan antenna *multiband array* dua elemen diperlihatkan pada Gambar 4.17.



(a)



Gambar 4.17. Antena Mikrostrip *Array* Linear 2 Elemen [51]

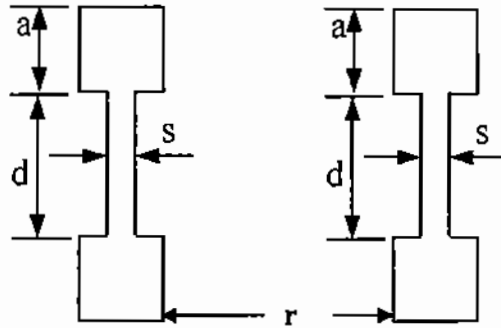
(a) Tampak dari atas

(b) *exploded view*

#### 4.2.2 Antena *Array* Multiband Dengan DGS

Antena array multiband pada [48] diberi DGS bentuk dumbbell kepala kotak yang diletakkan di antara kedua elemen antena. Perancangan antena dengan DGS disimulasikan secara eksperimen yang di mulai dari satu dumbbell. Parameter yang di rubah-rubah adalah luas kepala kotak (panjang sisi  $a$ ), panjang slot yang merupakan jarak antara dua kepala dumbbell ( $d$ ) dan lebar slot ( $s$ ) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.18. Adapun jarak ( $r$ ) disimulasikan setelah satu buah dumbbell tidak menghasilkan perbaikan nilai return loss.





Gambar 4.18 Dimensi dumbbell bentuk kepala kotak

Hasil simulasi belum menunjukkan hasil yang memuaskan pada satu dumbbell sehingga dijadikan dua dumbbell dan seterusnya. Hasil simulasi yang dilakukan ditunjukkan pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8 Karakterisasi DGS Dumbbell

## (a) satu buah dumbbell

- variasi luas kepala dumbbell dengan posisi tetap di tengah,  $d=15$  mm dan  $s = 10$  mm

Luas kepala dumbbell (mm <sup>2</sup> )	Return Loss pada frekuensi 2,3 GHz (dB)	Return Loss pada frekuensi 3,3 GHz (dB)	Return Loss pada frekuensi 5,8 GHz (dB)
36 x 36	- 5,1	- 8,3	-14
32 x 32	- 6,7	- 7,3	-18
28 x 28	- 6,3	- 7,9	-12,2
24 x 24	- 6,9	- 8,1	-13
20 x 20	- 7,1	- 8,3	-12
16 x 16	- 7,4	- 9,0	- 14
12 x 12	- 8,3	- 9,2	- 13
8 x 8	- 9,4	- 9,3	- 15
4 x 4	- 9,0	- 9,1	-16
2 x 2	- 9,0	- 9,2	-16,3

- variasi lebar slot dumbbell ( $s$ ) dengan posisi tetap di tengah,  $d=15$  mm dan luas kepala =  $2 \times 2$

Lebar slot $s$ (mm)	Return Loss pada frekuensi 2,3 GHz (dB)	Return Loss pada frekuensi 3,3 GHz (dB)	Return Loss pada frekuensi 5,8 GHz (dB)
12	- 6	- 8,1	- 12,1
10	- 9	- 9,1	- 12
8	- 9,7	- 8,9	- 12

Tabel 4.8 Karakterisasi DGS Dumbbell (lanjutan)

6	-9,3	-7,1	-11
4	-9,4	-8	-10
0,4	-9	-9,3	-12
0,2	-9,1	-9,4	-13

- variasi panjang slot dumbbell ( $d$ ) dengan posisi tetap di tengah,  $s=0,2$  mm dan luas kepala =  $2 \times 2$

panjang slot $d$ (mm)	Return Loss pada frekuensi 2,3 GHz (dB)	Return Loss pada frekuensi 3,3 GHz (dB)	Return Loss pada frekuensi 5,8 GHz (dB)
15	-6	-8,1	-12,1
14	-9	-9,1	-16
13	-9,7	-8,9	-12
12	-9,3	-7,1	-12
11	-9,4	-8	-12
7,2	-9,1	-9,4	-13
6,8	-8,2	-7,2	-7,9

- variasi posisi slot dumbbell ( $x,y$ ) dengan  $d = 7,2$  mm,  $s = 0,2$  mm dan luas kepala =  $2 \times 2$

Posisi ( $x,y$ )	Return Loss pada frekuensi 2,3 GHz (dB)	Return Loss pada frekuensi 3,3 GHz (dB)	Return Loss pada frekuensi 5,8 GHz (dB)
(56,60)	-4,2	-5,6	-6,5
(72,90)	-6,4	-5,3	-6,1
(90,90)	-6,9	-5,0	-7
(63,6 , 33,6)	-9,5	-9,3	-9,8

#### (b) Dua buah dumbbell

- variasi luas kepala dumbbell dengan posisi tetap di tengah,  $d=10$  mm dan  $s = 5$  mm,  $r = 2$ mm

Luas kepala dumbbell (mm <sup>2</sup> )	Return Loss pada frekuensi 2,3 GHz (dB)	Return Loss pada frekuensi 3,3 GHz (dB)	Return Loss pada frekuensi 5,8 GHz (dB)
25 x 25	-5,4	-6,1	-4,3
24 x 24	-5,7	-6,2	-4,5
20 x 20	-6,7	-8,8	-6
10 x 10	-5,6	-6,8	-5,8
4 x 4	-6,7	-7,8	-8,9
2 x 2	-9,3	-9,4	-9,6

Tabel 4.8 Karakterisasi DGS Dumbbell (lanjutan)

- variasi lebar slot dumbbell ( $s$ ) dengan posisi tetap di tengah,  $d=15$  mm, luas kepala =  $2 \times 2$  dan  $r = 2$  mm

Lebar slot $s$ (mm)	Return Loss pada frekuensi 2,3 GHz (dB)	Return Loss pada frekuensi 3,3 GHz (dB)	Return Loss pada frekuensi 5,8 GHz (dB)
5,2	-5,2	-6,3	-6,2
4,8	-5	-6,6	-6,7
1,6	-5	-6,7	-10,2
0,8	-3,9	-8,5	-12,2
0,4	-7,4	-8,7	-12,6
0,2	-9,1	-9,4	-13

- variasi panjang slot dumbbell ( $d$ ) dengan posisi tetap di tengah,  $s=0,2$  mm, luas kepala =  $2 \times 2$  dan  $r = 2$  mm

panjang slot $d$ (mm)	Return Loss pada frekuensi 2,3 GHz (dB)	Return Loss pada frekuensi 3,3 GHz (dB)	Return Loss pada frekuensi 5,8 GHz (dB)
12	-12,9	-6,8	-8,8
10,4	-12,2	-8,8	-8,9
10	-5,6	-5,4	-5,8
9,6	-6,3	-6,6	-6,7
9,2	-6,7	-7,5	-7,4
7,2	-9,1	-9,2	-11
6,8	-8,2	-7,2	-7,9
5,6	-7,2	-6,7	-11,3

- variasi posisi slot dumbbell ( $x,y$ ) dengan  $d = 7,2$  mm,  $s = 0,2$  mm, luas kepala =  $2 \times 2$  dan  $r = 2$ mm

Posisi ( $x,y$ )	Return Loss pada frekuensi 2,3 GHz (dB)	Return Loss pada frekuensi 3,3 GHz (dB)	Return Loss pada frekuensi 5,8 GHz (dB)
(56,60)	-8,5	-8,8	-5,7
(72,90)	-5,6	-6,7	-6,4
(90,90)	-5,7	-7,6	-6,7
(63,6 , 33,6)	-9,7	-9,5	-9,6

Tabel 4.8 Karakterisasi DGS Dumbbell (lanjutan)

- variasi jarak antar slot dumbbell ( $r$ ) dengan  $d = 7,2$  mm,  $s = 0,2$  mm, posisi (63,6 ,33,6) dan luas kepala =  $2 \times 2$

jarak ( $r$ )	Return Loss pada frekuensi 2,3 GHz (dB)	Return Loss pada frekuensi 3,3 GHz (dB)	Return Loss pada frekuensi 5,8 GHz (dB)
17	- 4,5	-7,6	- 6,8
16,6	- 9	- 5.8	- 7.8
16,2	- 5,1	- 8,6	- 4,5
2	-9,4	- 9,3	- 9,1
1,6	- 9	- 7,5	- 7,4
1,2	-2,2	-4,5	-9,4
0,8	-9,7	-8,5	-8,4
0,4	-6,7	-6,7	-8,5

**(c) Tiga buah dumbbell**

- variasi luas kepala dumbbell dengan posisi tetap di tengah,  $d=10$  mm dan  $s = 6$  mm,  $r = 2$ mm

Luas kepala dumbbell ( $\text{mm}^2$ )	Return Loss pada frekuensi 2,3 GHz (dB)	Return Loss pada frekuensi 3,3 GHz (dB)	Return Loss pada frekuensi 5,8 GHz (dB)
20 x 20	- 5,6	- 6,4	- 7,6
19,6 x 19,6	-5,3	-4,6	-6
14 x 14	- 2,4	- 6,8	- 5,8
7,84 x 7,84	- 6,7	- 5,6	- 6,6
5,76 x 5,76	-2,2	-4,5	-7,7
5,6 x 5,6	-5,8	-4,5	-7,7
4 x 4	-5,1	-6,7	-8,9
2 x 2	- 9,3	-9,4	- 9,6

Tabel 4.8 Karakterisasi DGS Dumbbell (lanjutan)

- variasi lebar slot dumbbell ( $s$ ) dengan posisi tetap di tengah,  $d=10$  mm, luas kepala =  $2 \times 2$  dan  $r = 2$  mm

Lebar slot $s$ (mm)	Return Loss pada frekuensi 2,3 GHz (dB)	Return Loss pada frekuensi 3,3 GHz (dB)	Return Loss pada frekuensi 5,8 GHz (dB)
4,8	-7,1	-7,8	-6,9
1,6	-5	-6,7	-10,2
1,2	-4,4	-5,6	-12,6
0,8	-8,9	-8,6	-7,7
0,4	-9,3	-9,8	-9,9
0,2	-9,1	-9,8	-9,8

- variasi panjang slot dumbbell ( $d$ ) dengan posisi tetap di tengah,  $s=0,4$  mm, luas kepala =  $2 \times 2$  dan  $r = 2$  mm

panjang slot $d$ (mm)	Return Loss pada frekuensi 2,3 GHz (dB)	Return Loss pada frekuensi 3,3 GHz (dB)	Return Loss pada frekuensi 5,8 GHz (dB)
12	-12,8	-6,9	-8,8
10,4	-11,9	-8,8	-8,9
10	-5,3	-5,1	-7,1
7,2	-9,1	-9,4	-13
6,8	-8,2	-7,2	-7,9
5,6	-6,9	-6,7	-11,3

- variasi posisi slot dumbbell ( $x,y$ ) dengan  $d = 7,2$  mm,  $s = 0,4$  mm, luas kepala =  $2 \times 2$  dan  $r = 2$ mm

Posisi ( $x,y$ )	Return Loss pada frekuensi 2,3 GHz (dB)	Return Loss pada frekuensi 3,3 GHz (dB)	Return Loss pada frekuensi 5,8 GHz (dB)
(56,60)	-5,1	-6,9	-7
(72,90)	-6,6	-9,6	-5
(90,90)	-18	-3,4	-8
(63,6, 33,6)	-10,7	-8,6	-11,1

Tabel 4.8 Karakterisasi DGS Dumbbell (lanjutan)

- variasi jarak antar slot dumbbell ( $r$ ) dengan  $d = 7,2$  mm,  $s = 0,4$  mm, posisi (63,6 ,33,6) dan luas kepala =  $2 \times 2$

jarak ( $r$ )	Return Loss pada frekuensi 2,3 GHz (dB)	Return Loss pada frekuensi 3,3 GHz (dB)	Return Loss pada frekuensi 5,8 GHz (dB)
7,2	- 7,78	- 7,71	-10,3
6,8	- 7,75	- 6,99	- 8,77
2	- 10,98	- 8,61	- 8,45
1,6	- 4,54	- 8,45	- 9,29

## (d) Empat buah dumbbell

- variasi luas kepala dumbbell dengan posisi tetap di tengah,  $d=10$  mm dan  $s = 5$  mm,  $r = 2$ mm

Luas kepala dumbbell ( $\text{mm}^2$ )	Return Loss pada frekuensi 2,3 GHz (dB)	Return Loss pada frekuensi 3,3 GHz (dB)	Return Loss pada frekuensi 5,8 GHz (dB)
2,8 x 2,8	-12,9	-10,4	-11,9
2 x 2	- 16,1	-12,2	- 11,2
2,4 x 2,4	-11,9	-10,1	-11,5
1,6 x 1,6	-15,1	-12,3	-11,7

- variasi lebar slot dumbbell ( $s$ ) dengan posisi tetap di tengah,  $d=10$  mm, luas kepala =  $2 \times 2$  dan  $r = 2$  mm

Lebar slot $s$ (mm)	Return Loss pada frekuensi 2,3 GHz (dB)	Return Loss pada frekuensi 3,3 GHz (dB)	Return Loss pada frekuensi 5,8 GHz (dB)
1,6	- 12,6	- 10,1	- 12,2
1,2	- 16,6	-12,2	-7,2
0,8	- 10,9	- 10,1	- 12,2
0,4	- 16,1	- 12,2	- 11,2
0,2	- 11,7	- 12,1	- 10,5

Tabel 4.8 Karakterisasi DGS Dumbbell (lanjutan)

- variasi panjang slot dumbbell ( $d$ ) dengan posisi tetap di tengah,  $s=0,4$  mm, luas kepala =  $2 \times 2$  dan  $r = 2$  mm

panjang slot $d$ (mm)	Return Loss pada frekuensi 2,3 GHz (dB)	Return Loss pada frekuensi 3,3 GHz (dB)	Return Loss pada frekuensi 5,8 GHz (dB)
12	-11,8	-10,2	-11,4
10,4	-15,1	-10,4	-11,6
7,2	-16,1	-12,2	-11,2
5,6	-15,9	-10,2	-11,5

- variasi posisi slot dumbbell ( $x,y$ ) dengan  $d = 7,2$  mm,  $s = 0,4$  mm, luas kepala =  $2 \times 2$  dan  $r = 2$ mm

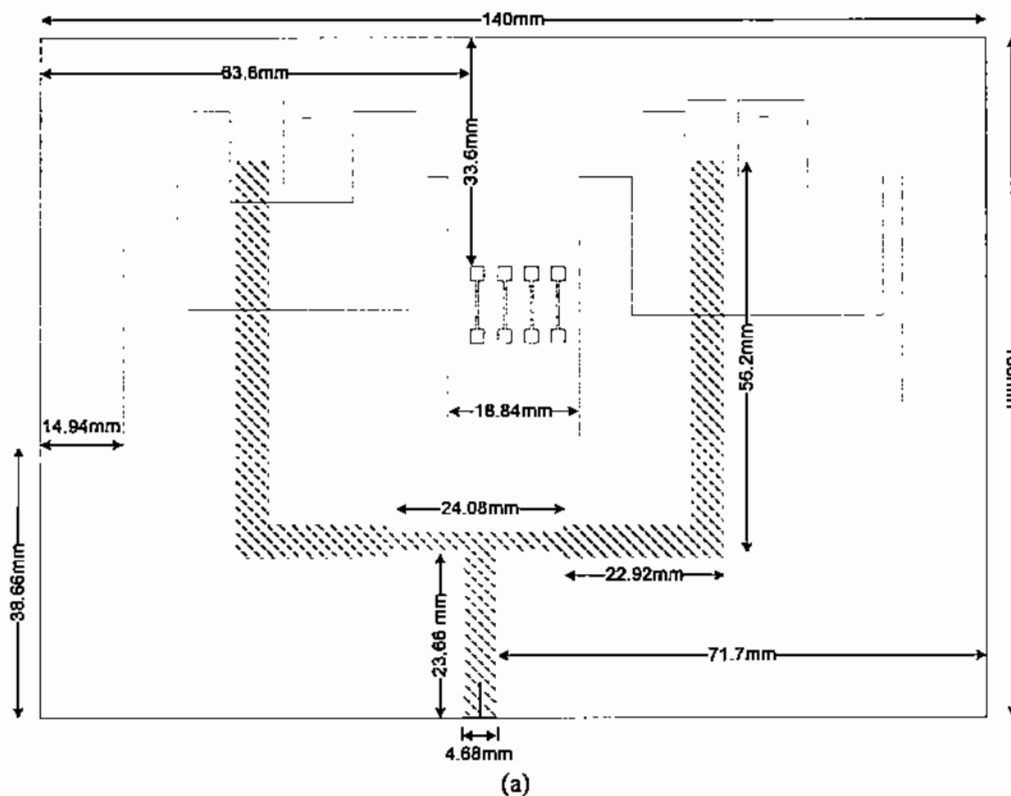
Posisi ( $x,y$ )	Return Loss pada frekuensi 2,3 GHz (dB)	Return Loss pada frekuensi 3,3 GHz (dB)	Return Loss pada frekuensi 5,8 GHz (dB)
(56,60)	-5,1	-6,9	-7
(72,90)	-6,6	-9,6	-5
(90,90)	-18	-3,4	-8
(40,50)	-10,7	-7,8	-11,8
(63,6, 33,6)	-16,1	-12,2	-11,2

- variasi jarak antar slot dumbbell ( $r$ ) dengan  $d = 7,2$  mm,  $s = 0,4$  mm, posisi (63,6, 33,6) dan luas kepala =  $2 \times 2$

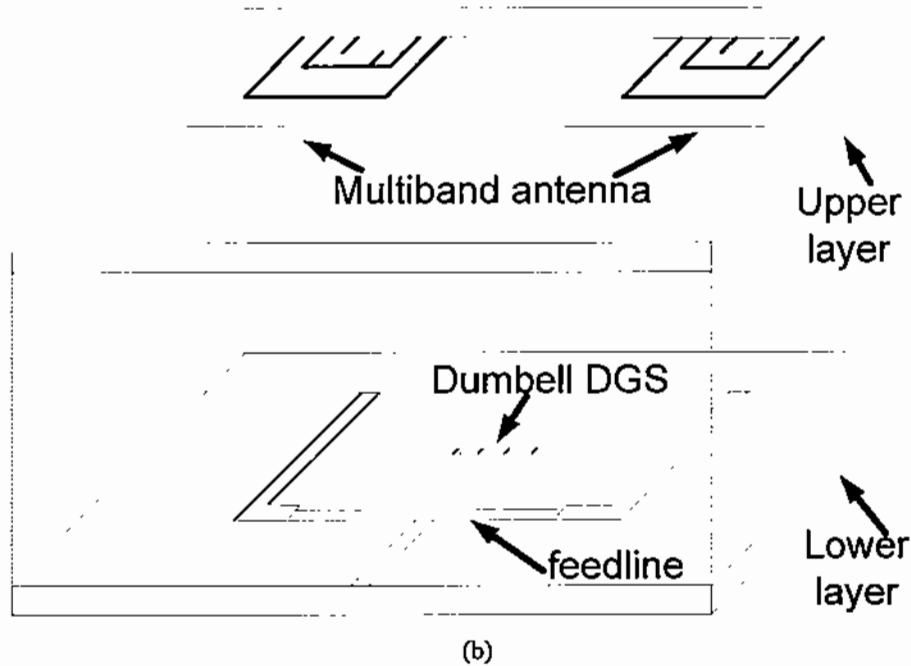
Jarak $r$ (mm)	Return Loss pada frekuensi 2.3 GHz (dB)	Return Loss pada frekuensi 3.3 GHz (dB)	Return Loss pada frekuensi 5,8 GHz (dB)
2	-16,134	-12,248	-11,272
1,2	-11,3	-10	-12,2
0,8	-10,5	-10,3	-11,3
0,4	-15,7	-12,4	-10,1

Hasil simulasi terbaik yang diperoleh ditunjukkan pada Tabel 4.8 (d) dan pada Gambar 4.19 yang terdiri dari empat buah dumbbell dengan:

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 mm<sup>2</sup>.
5. Nilai *Return Loss* terbaik pada ketiga frekuensi kerja antenna terjadi ketika jarak antara masing-masing *slot Dumbbell* DGS adalah 2 mm.







Gambar 4.19. Posisi slot DGS 4 buah dumbbell Terhadap Patch Antena [52]

(a) Tampak Dari Atas

(b) Exploded View

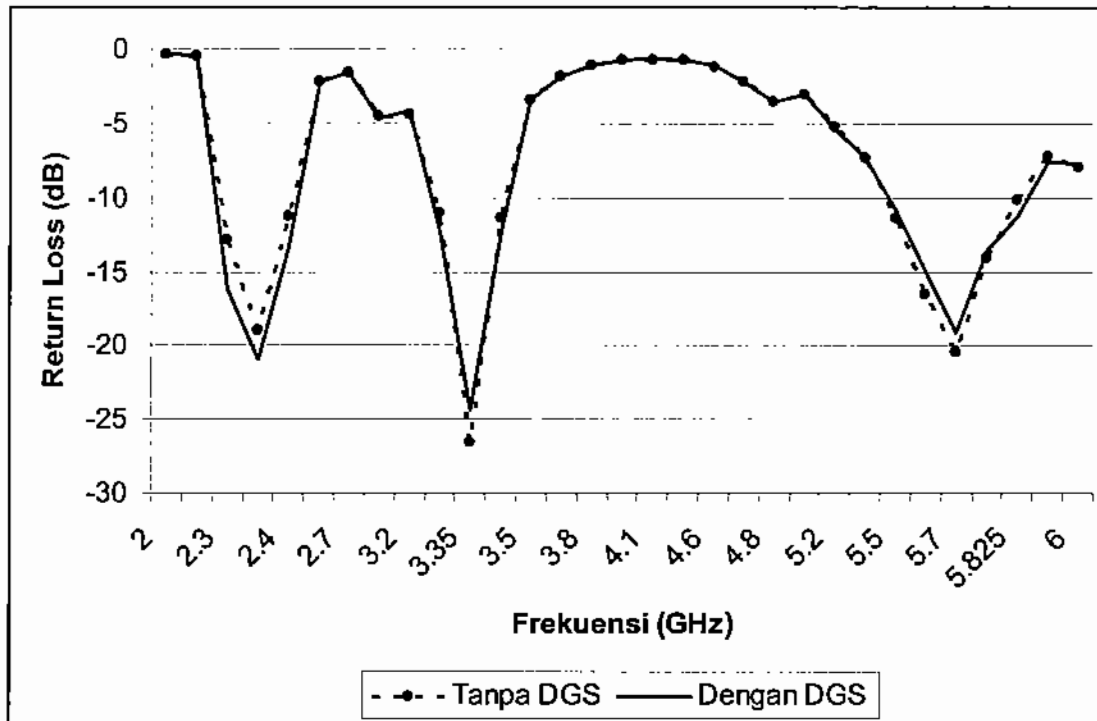
Keempat Slot Dumbbell DGS pada bidang *ground* terletak di antara 2 buah *patch* antenna. Lebih tepat lagi, sudut terluar sebelah kiri atas dari slot DGS tersebut terletak pada 63,6 mm dari batas kiri dan 33,6 mm dari batas atas. Atau pada koordinat (63,6 ; 33,6).

Simulasi juga telah dicoba pada antenna konvensional dengan lima buah DGS bentuk dumbbell, namun hasil simulasi tidak menunjukkan hasil yang lebih baik dari empat buah DGS bentuk dumbbell. Hasil simulasi selengkapnya di bahas di bab 4.2.3.

## 4.2.3 Hasil Simulasi dan Pengukuran

### 4.2.3.1. Hasil Simulasi

Gambar 4.20 dan Tabel 4.9 menunjukkan hasil perbandingan simulasi return loss dari antenna DGS dibandingkan antenna konvensional.

Gambar 4.20 Hasil Simulasi *Return Loss*Tabel 4.9. 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 4.20 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 dengan 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 dengan 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 dengan perbaikan *return loss* sebesar 1,113 dB. Sehingga dapat dikatakan bahwa untuk ketiga frekuensi kerja antenna, nilai *return loss* mengalami perbaikan.

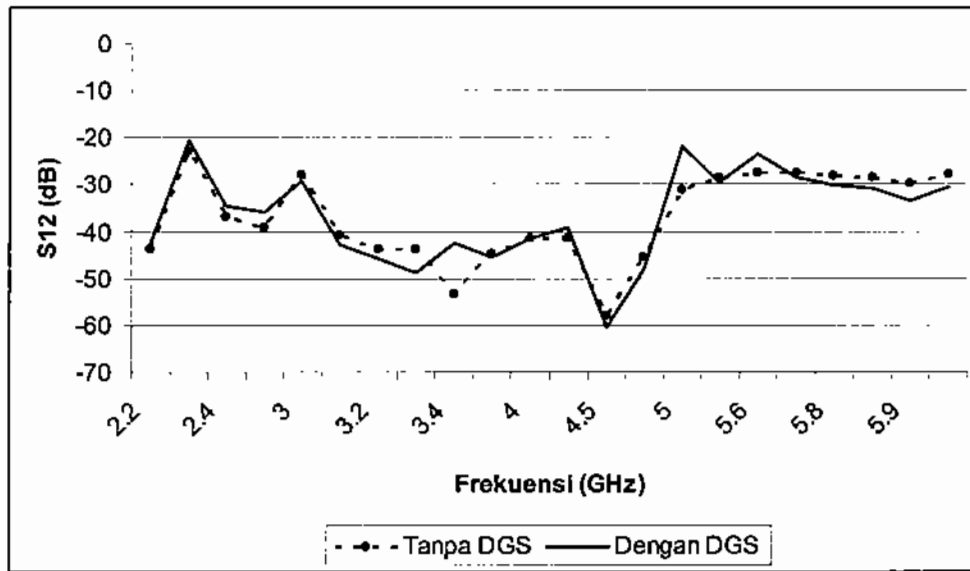
Hal serupa diperlihatkan pada hasil simulasi VSWR yaitu antenna DGS berhasil memperbaiki nilai VSWR antenna konvensionalnya, ini diperlihatkan pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10. 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 4.10, 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.

Parameter yang disimulasikan berikutnya yaitu *nilai Mutual Coupling* yang diperlihatkan pada Gambar 4.21 dan Tabel 4.11.



Gambar 4.21. Hasil Simulasi Efek *Mutual Coupling*

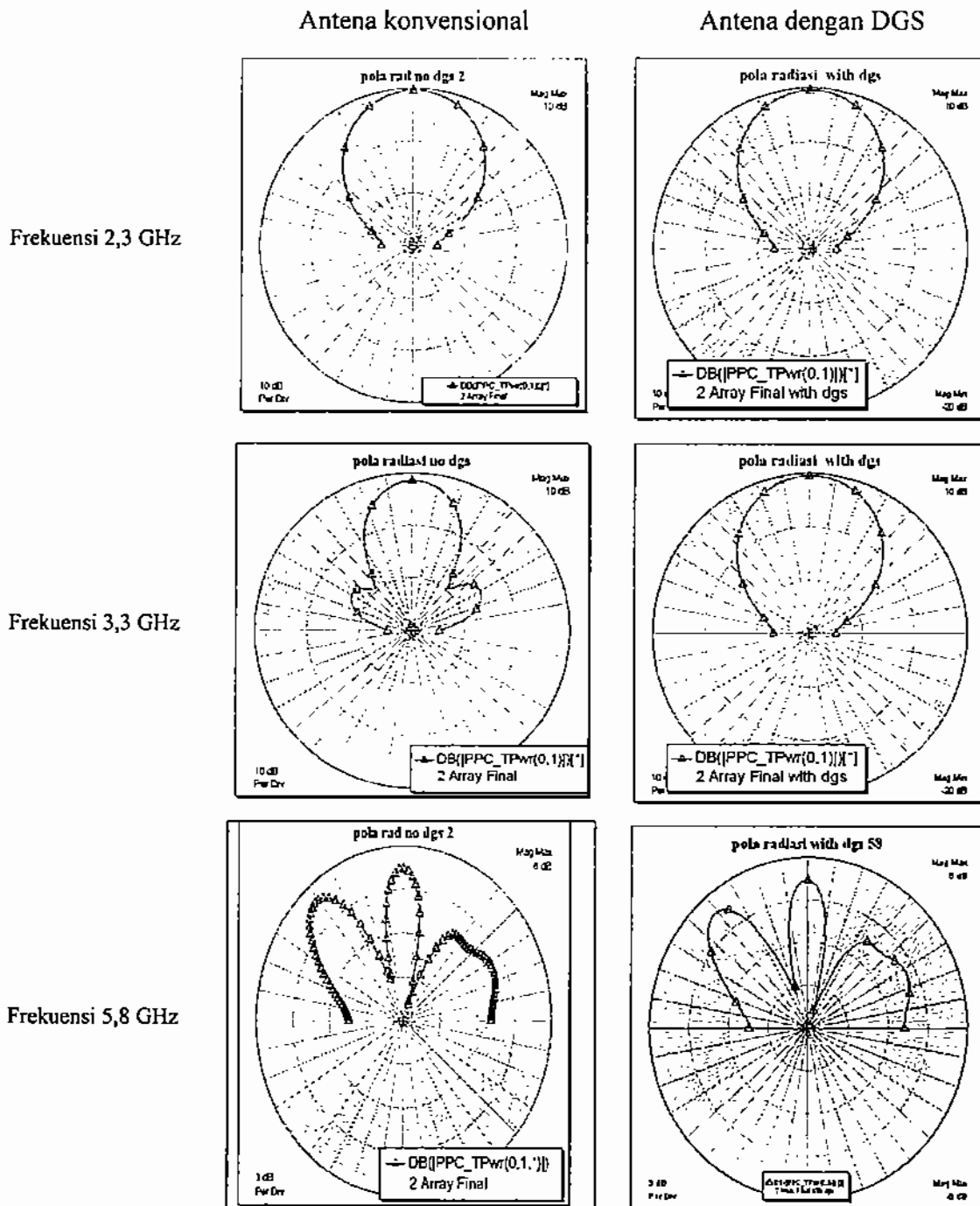
Tabel 4.11. Perbandingan Hasil Simulasi *Mutual Coupling*

	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 4.21, terlihat bahwa antenna dengan DGS pada frekuensi kerja 3,3 GHz berhasil menekan efek mutual coupling sebesar 4,76 dB. Untuk frekuensi kerja 5,825 GHz, antenna dengan DGS berhasil menekan efek mutual coupling sebesar 2,4 dB, namun pada frekuensi kerja 2,3 GHz, antenna dengan menggunakan elemen DGS berbentuk empat buah *slot dumbbell* kurang berhasil menekan efek *mutual coupling*. Hal ini dapat disebabkan karena 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*.

Gambar 4.22 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. Adapun Tabel 4.12 menunjukkan magnitude pola radiasi yang

mengalami kenaikan setelah penambahan DGS. Peningkatan magnitude pola radiasi ini akan berdampak pada peningkatan gain antenna.



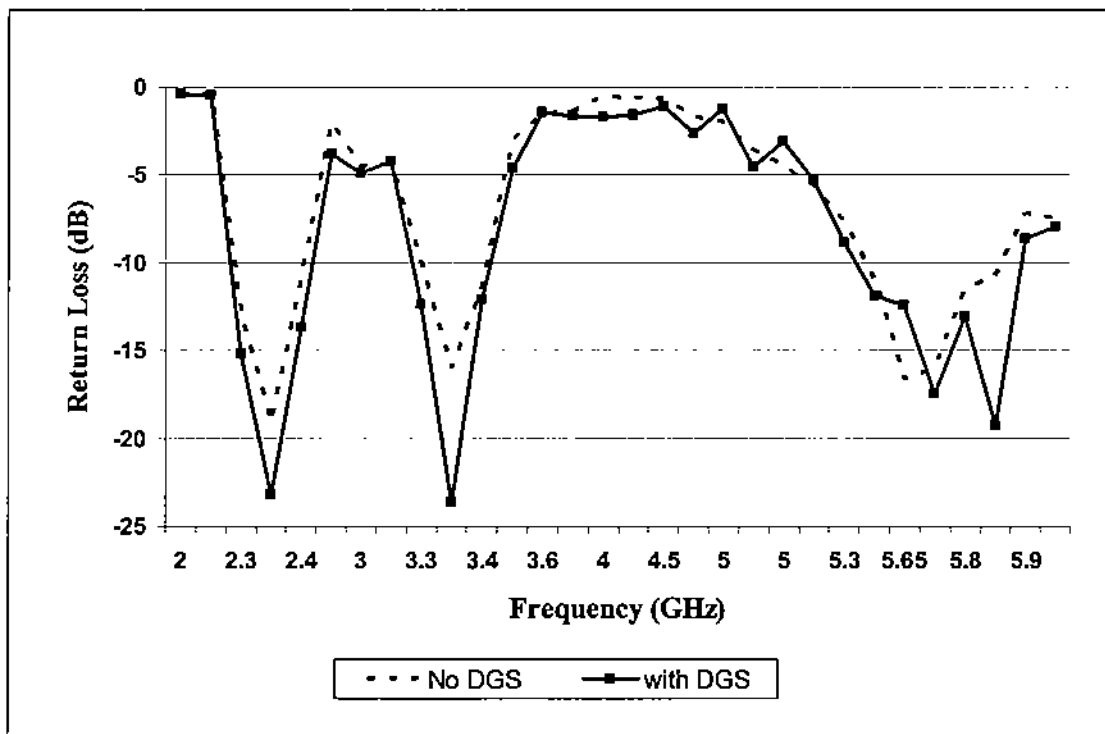
Gambar 4.22. Perbandingan Hasil Simulasi *Return Loss* Antara Antena Tanpa dan Dengan DGS

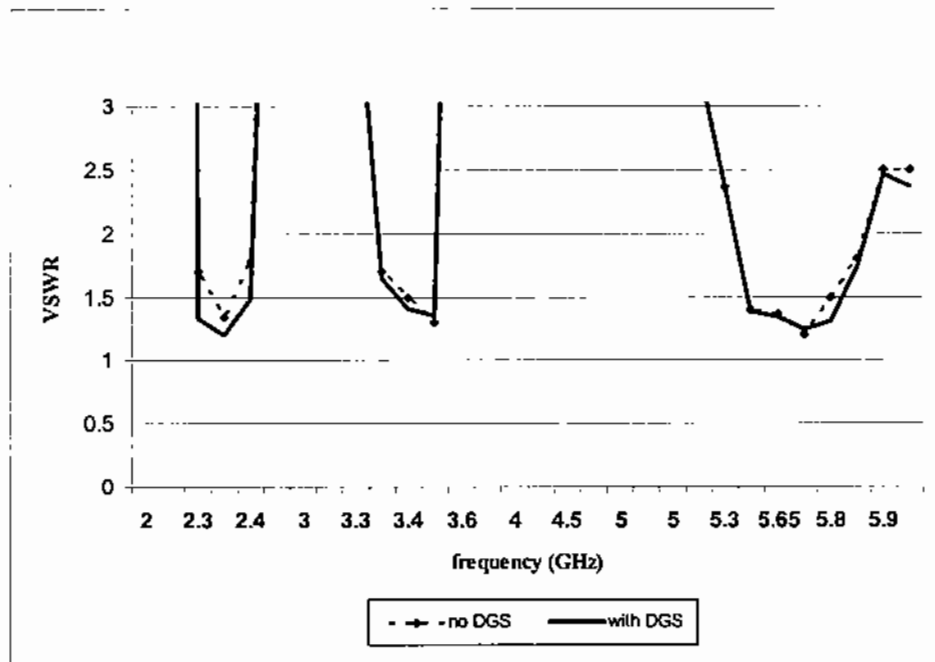
Tabel 4.12. *Magnitude Pola Radiasi Pada Sudut 0°*

Frekuensi (GHz)	<i>Magnitude Pola Radiasi [dB] pada sudut 0°</i>	
	<i>Tanpa DGS</i>	<i>Dengan DGS</i>
2,3	9.500	9.580
3,3	8.300	8.450
5,8	4.378	4.420

#### 4.2.3.2. Hasil Pengukuran

Hasil pengukuran return loss dan VSWR terlebih dahulu di ukur untuk mengetahui karakteristik multiband pada antenna tercapai. Gambar 4.23 dan Gambar 4.24 menunjukkan karakteristik multiband yang serupa antara antenna konvensional dan antenna dengan DGS.

Gambar 4.23 Hasil Pengukuran *Return Loss*



Gambar 4.24 Hasil Pengukuran *VSWR*

Dari Gambar 4.23 terlihat bahwa hasil pengukuran antenna tanpa dan dengan DGS pada *band* 2,3 GHz 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. Ini berarti nilai perbaikan *return loss* setelah antenna di beri DGS adalah 4,10 dB atau sebesar 21,46%.

Pada *band* 3,3 GHz didapatkan nilai *return loss* terendah terjadi 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. Ini menunjukkan bahwa *return loss* mengalami perbaikan sebesar 7,646 dB atau 47,78% pada *band* 3,3 GHz.

Terakhir 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 - 19,296 dB, sehingga *return loss* mengalami perbaikan setelah di beri DGS sebesar 8,496 dB atau 78,6%.

Dari hasil pengukuran *VSWR* juga menunjukkan hasil yang sama dengan *return loss* sehingga hasil pengukuran menunjukkan antenna dengan DGS dapat memperbaiki kinerja RL dan *VSWR* antenna sehingga lebih dalam kondisi *matching*.

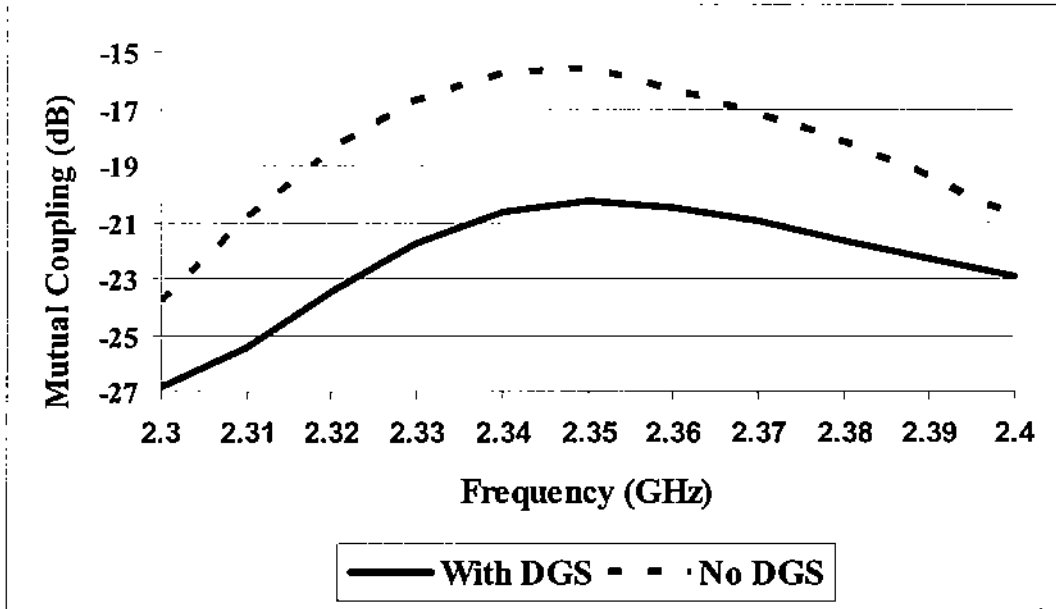
Ini dikuatkan lagi dengan hasil pengukuran impedansi antenna yang nilainya semakin mendekati  $50 \Omega$  dibandingkan antenna tanpa DGS. Pada frekuensi 2,386 GHz didapatkan nilai impedansi adalah  $51,991+j0,997 \Omega$  pada antenna tanpa DGS, dan nilai impedansinya berubah menjadi  $50,621+j0,897 \Omega$  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 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  $54,43+j5,879 \Omega$  pada antenna yang telah diimplementasikan teknik DGS yang sebelumnya bernilai  $56,63+j6,779 \Omega$  sebelum antenna diimplementasikan DGS.

Hasil pengukuran *mutual coupling* ditunjukkan pada Tabel 4.13 dan Gambar 4.25, yang memperlihatkan berhasilnya penekanan nilai *mutual coupling* pada ketiga frekuensi yang diinginkan. Besarnya penekanan terhadap *mutual coupling* untuk ketiga frekuensi tersebut yaitu 4,9 dB untuk band 2,3 GHz atau tepatnya di frekuensi 2,34 GHz, 2,26 dB untuk *band* 3,3GHz atau tepatnya di frekuensi 3,4 GHz dan 2,89 dB untuk *band* 5,8 GHz atau tepatnya di frekuensi 5,8 GHz.

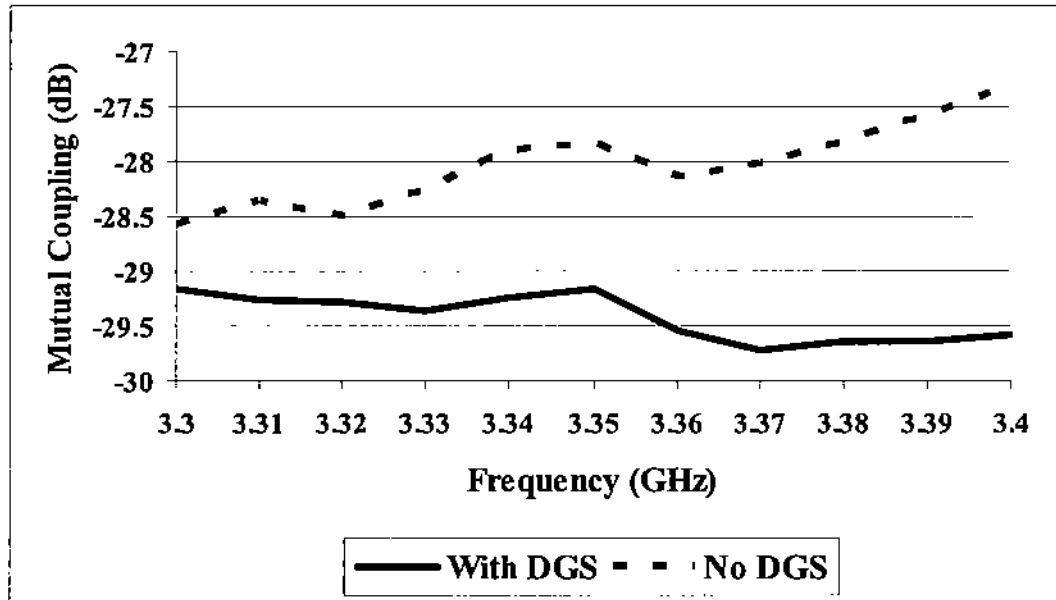
Tabel 4.13 Perbandingan Hasil Pengukuran Efek *Mutual Coupling*

	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	-15,768 dB	-20,671 dB	-29,587 dB	-27,324 dB	-34,05 dB	-31,154 dB
frekuensi	2,34 GHz	2,34 GHz	3,4GHz	3,4GHz	5,8 GHz	5,8 GHz
Penekanan <i>Mutual coupling</i>	4,9 dB		2,26 dB		2,89 dB	

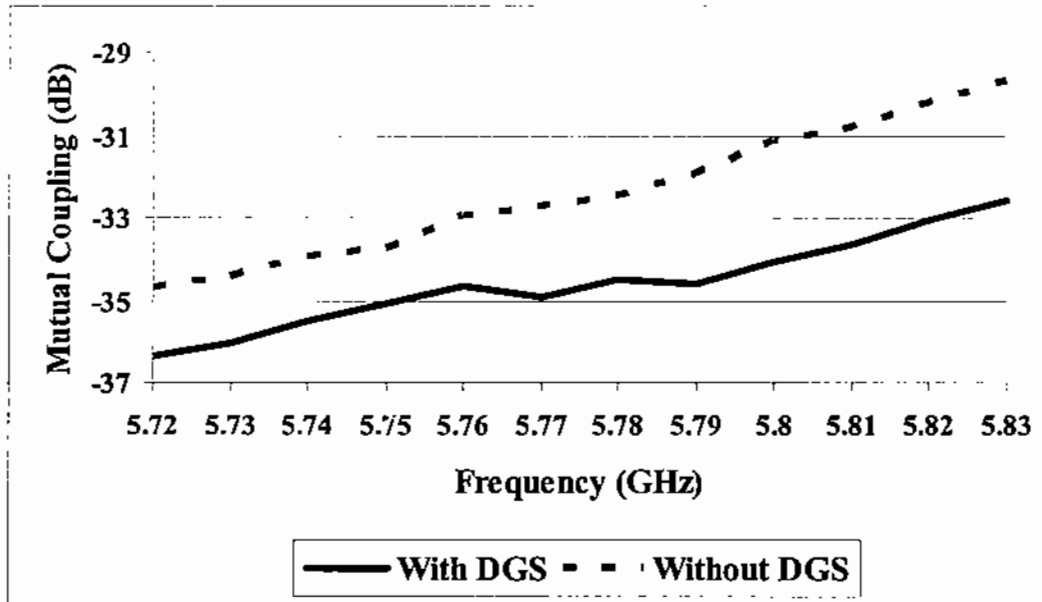




(a)



(b)



(c)

Gambar 4.25 MutualCoupling Antena DGS dan Tanpa DGS

(a) Band 2,3 GHz

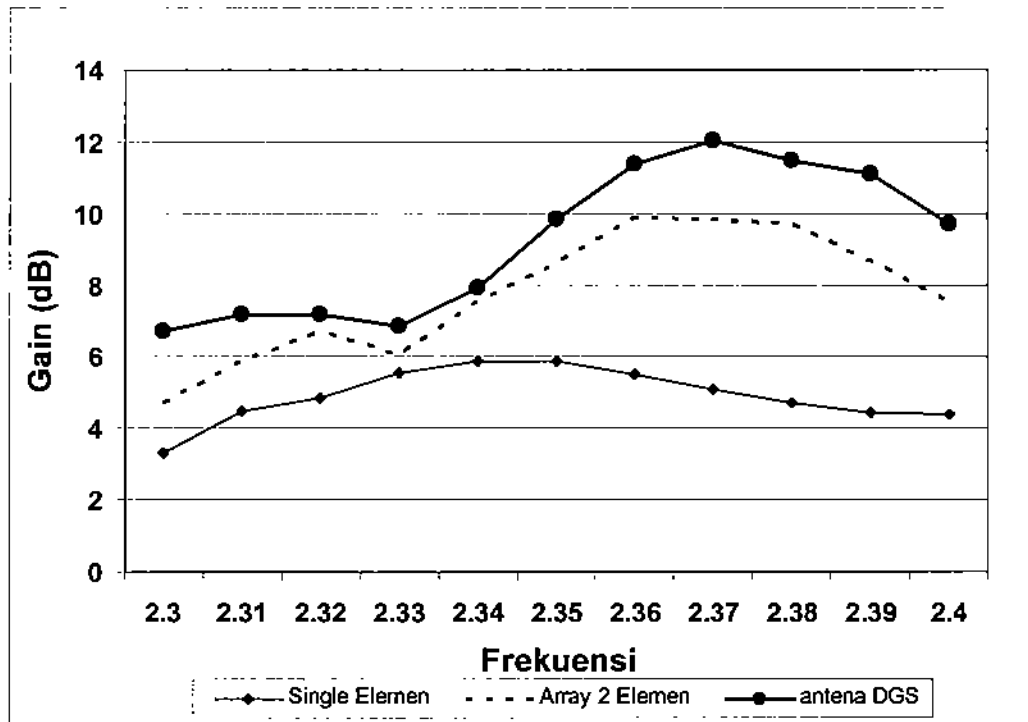
(b) Band 3,3 GHz

(c) Band 5,8 GHz

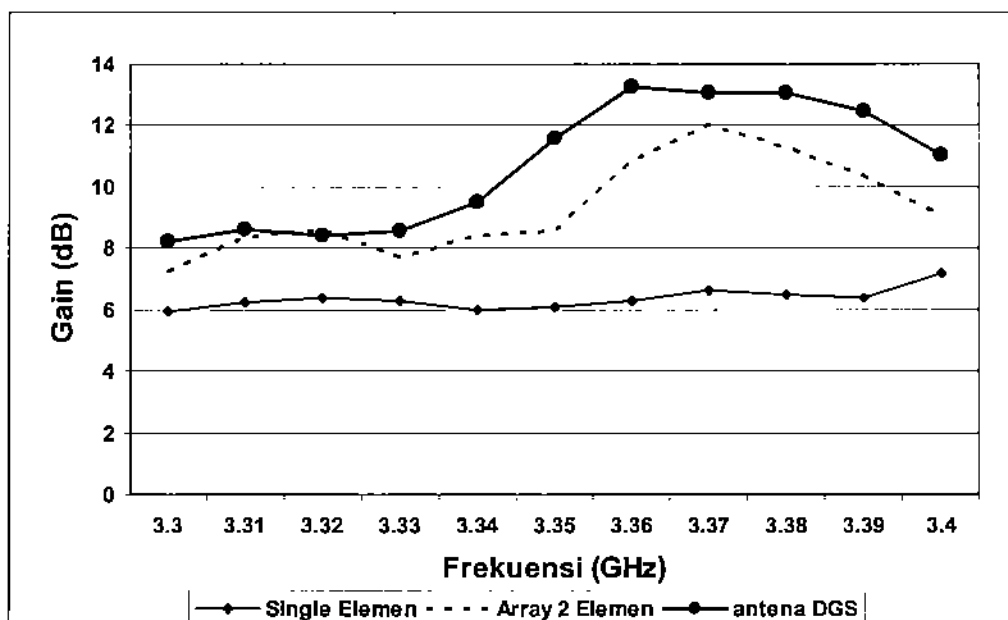
Pengukuran gain juga dilakukan dan diperoleh hasil seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.26 sampai Gambar 4.28. Pada frekuensi 2,3 GHz diukur gain pada rentang frekuensi 2,3 – 2,4 GHz. Untuk frekuensi kerja 3,3 GHz diukur dari rentang frekuensi 3,3 – 3,4 GHz, sedangkan untuk frekuensi 5,8 GHz diukur dari 5,3 GHz sampai 5,9 GHz.

Dari ketiga gambar tersebut, dapat dilihat bahwa pada frekuensi 2,3 GHz diperoleh *gain* sekitar 3 hingga 6 dB untuk antenna *single* elemen, 4 hingga 8 dB untuk antenna *array* 2 elemen, dan 6 hingga 12 dB untuk antenna dengan DGS. Pada frekuensi 3,3 GHz didapatkan *gain* sekitar 6 dB untuk antenna *single* elemen, 7 hingga 12 dB untuk antenna *array* 2 elemen, dan 8 hingga 13 dB untuk antenna dengan DGS. Terakhir pada frekuensi 5,8 GHz diperoleh *gain* sekitar 4 hingga 6 dB untuk antenna *single* elemen, 8 hingga 14 dB untuk antenna *array* 2 elemen, dan 9 hingga 16 dB untuk antenna dengan DGS. Dari hasil pengukuran gain dapat dilihat bahwa antenna mikrostrip yang di beri DGS memiliki *gain* lebih tinggi dari antenna mikrostrip *array* 2 elemen tanpa DGS di tiga

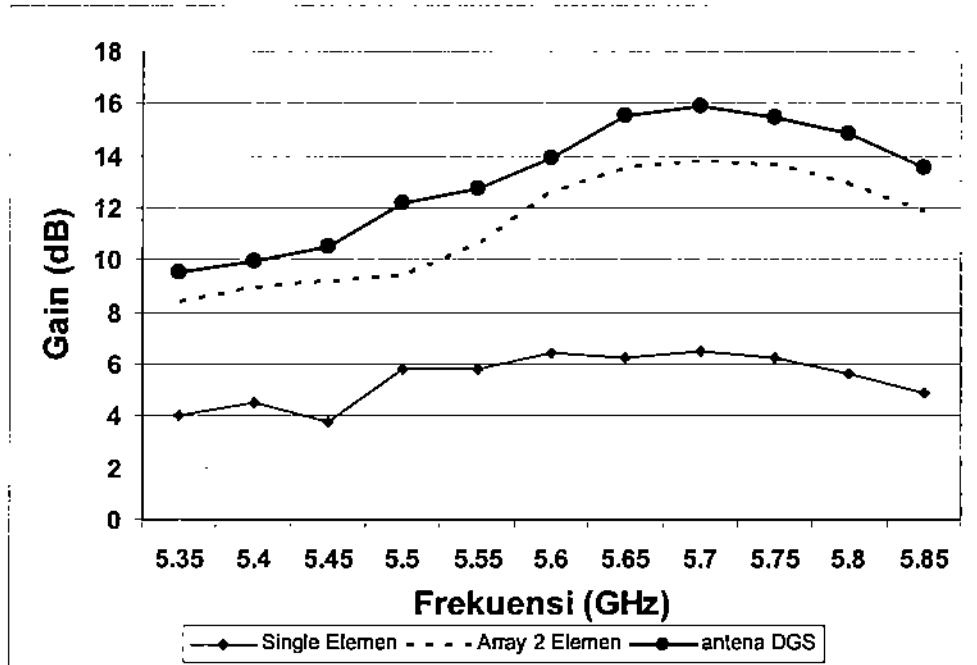
frekuensi kerja sebesar 0,5 hingga 4 dB. Dengan demikian, metoda DGS pada antena ini telah membuktikan dapat meningkatkan karakteristik antena khususnya *gain* antena.



Gambar 4.26 Grafik Frekuensi Vs *Gain* Pada *Band* Frekuensi 2,3GHz

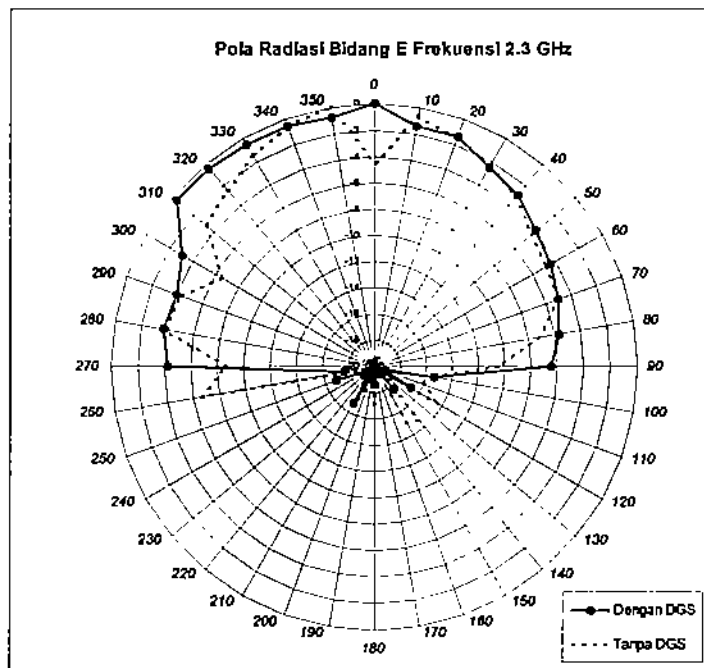


Gambar 4.27. Grafik Frekuensi Vs *Gain* Pada *Band* Frekuensi 3,3GHz

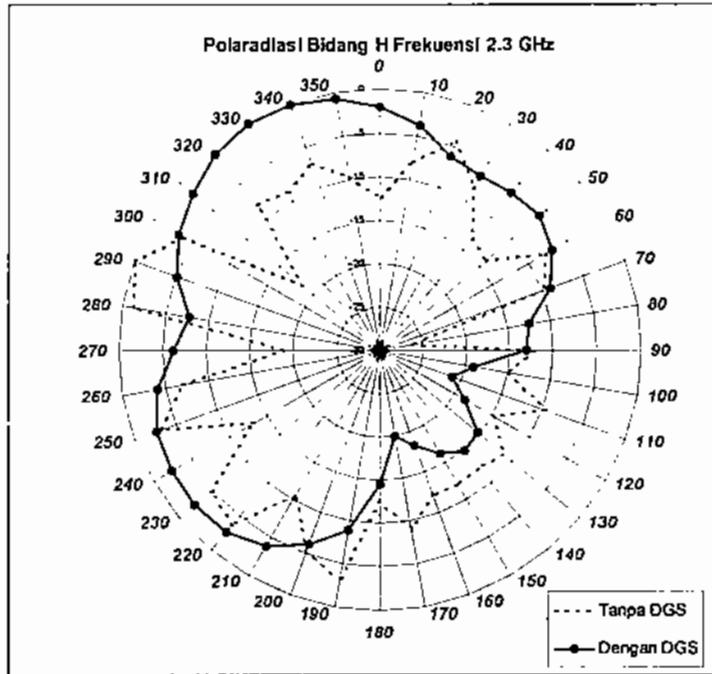


Gambar 4.28. Grafik Frekuensi Vs Gain Pada Band Frekuensi 5,8 GHz

Hasil pengukuran lainnya adalah pengukuran pola radiasi antenna. seperti yang terlihat pada Gambar 4.29 hingga 4.31:

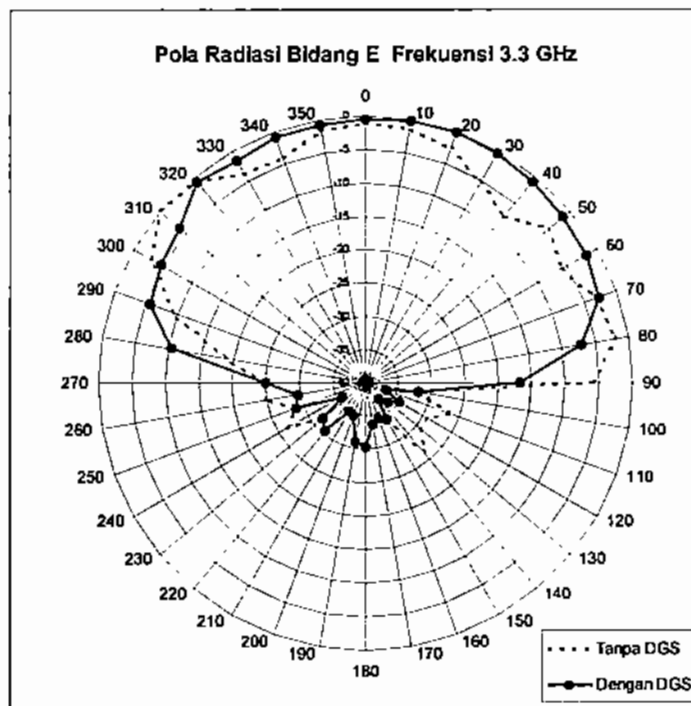


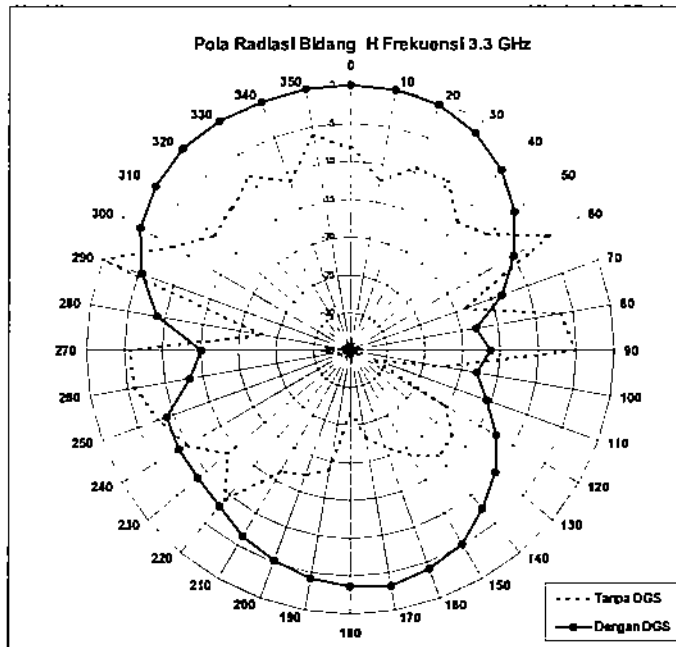
(a)



Gambar 4.29 (a) Pola Radiasi Bidang E di F. Res. 2,3 GHz, Antena Tanpa DGS dan Antena Dengan DGS

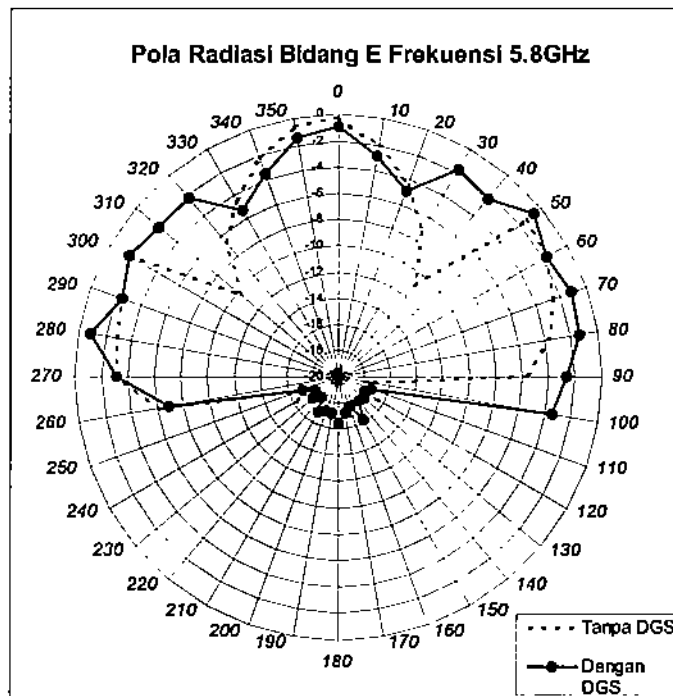
(b) Bidang H di F Res. 2,3 GHz, Antena Tanpa DGS dan Antena Dengan DGS

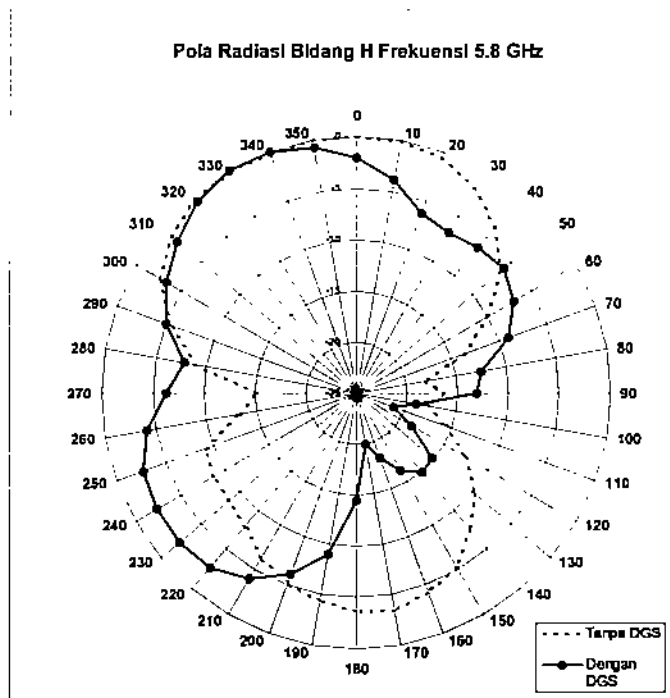




Gambar 4.30 (a) Pola Radiasi Bidang E di F res. 3,3 GHz, Antena Tanpa DGS dan Antena Dengan DGS

(b) Pola Radiasi Bidang H di F res. 3,3 GHz, Antena Tanpa DGS dan Antena Dengan DGS





(b)

Gambar 4.31 (a) Pola Radiasi Bidang E di F res. 5,8 GHz, Antena Tanpa DGS dan Antena Dengan DGS  
 (b) Pola Radiasi Bidang H di F res. 5,8 GHz, Antena Tanpa DGS dan Antena Dengan DGS

Dari Gambar 4.29 hingga Gambar 4.31 dapat dilihat gambar grafik pola radiasi yang didapatkan dengan mengukur pola radiasi pada daerah *far field*. Pola radiasi yang didapatkan pada *bandwidth* pertama yaitu 2,3 GHz cenderung berbentuk unidirectional untuk medan E nya. Untuk medan E, *main lobe* maksimum mengarah pada sudut  $0^\circ$  untuk antena konvensional dan antena dengan DGS. Sedangkan untuk medan H mengarah pada sudut  $340^\circ$  untuk antena dengan DGS dan mengarah pada  $290^\circ$  untuk antena tanpa DGS.

Pada *bandwidth* kedua yaitu 3,3 GHz, pola radiasi untuk medan E menunjukkan *main lobe* maksimum mengarah pada  $0^\circ$  untuk antena tanpa DGS dan dengan DGS. Hasil pola radiasi untuk medan H didapatkan *main lobe* maksimum berada pada sudut  $0^\circ$  untuk antena DGS namun untuk antena tanpa DGS pada sudut  $290^\circ$ .

*Bbandwidth* terakhir yaitu pada 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  $0^\circ$  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.

Hasil pengukuran pola radiasi medan E dan H dari ketiga band frekuensi yang diukur memperlihatkan sidelobe level yang sedikit lebih besar daripada antena konvensional. Hal ini disebabkan adanya DGS yang berlaku sebagai *slot* antena sehingga menyebabkan bocornya distribusi medan.



## BAB 5

### KESIMPULAN

Studi mengenai penerapan DGS pada antena mikrostrip *single band* dan *multiband array* telah dilakukan dengan menghasilkan perbaikan kinerja antena yang signifikan bila dibandingkan dengan antena tanpa DGS.

Pada antena *single band array* konvensional telah diteliti empat macam bentuk DGS berupa segitiga sama kaki, hexagonal, trapesium dan dumbbell. Hasil simulasi menunjukkan antena dengan DGS mampu memperbaiki kinerja antena konvensional berupa perbaikan nilai return loss dan VSWR sehingga lebih mendekati kondisi *matching*. Di samping itu, hasil pengukuran juga menunjukkan peningkatan gain antara 0,2 hingga 1,3 dB setelah penerapan DGS. Adapun dampak negatif dari antena *array* berupa *mutual coupling* mampu direduksi antena DGS bentuk hexagonal sebesar 3,44 dB, pada antena DGS bentuk trapesium sebesar 7,91 dB dan pada antena DGS bentuk dumbbell mampu menekan sampai 19,13 dB. Hasil ini sangat signifikan pada perbaikan kinerja antena konvensional.

Dari hasil penelitian yang diperoleh dari penerapan DGS pada antena *single band array*, hasil simulasi dan pengukuran menunjukkan bahwa DGS bentuk *dumbbell* menghasilkan peningkatan kinerja terbaik dibandingkan dengan DGS bentuk lain yang sudah diteliti yaitu parameter *mutual coupling*, gain antena dan nilai *return loss*. Bentuk DGS *dumbbell* ini dimodelkan dengan metode rangkaian ekuivalen untuk menghitung kinerja antena secara teoritis dan juga dipilih untuk diterapkan pada antena *multiband array*.

Antena *multiband array* konvensional yang telah di desain merupakan antena dengan bentuk kompak namun mampu menghasilkan multifrekuensi. Pada antena konvensional ini dirancang DGS bentuk *dumbbell*. Hasil simulasi menunjukkan tidak pada semua *band* terjadi perbaikan karakteristik kinerja antena konvensional disebabkan penambahan DGS.

Adapun hasil pengukuran menunjukkan bahwa antena dengan DGS mampu memperbaiki karakteristik kinerja antena konvensional pada semua band frekuensinya. Hasil pengukuran menunjukkan peningkatan gain antena 0,5

hingga 3 dB dan juga mampu menekan efek *mutual coupling* pada ketiga frekuensi kerja yang telah di rancang dari 2 hingga 5 dB. Pengukuran *return loss* juga menunjukkan perbaikan nilai RL sebesar 21,46% pada frekuensi 2,386 GHz, 47,78% pada frekuensi 3,35 GHz dan 78,6% pada frekuensi 5,825 GHz.

## DAFTAR ACUAN

- [1] Garg, R.; Bhartia, P., Bahl, I.; and Ittipibon, A., *Microstrip Antenna Design Handbook*, Artech House, Boston, London, 2001.
- [2] Sievenpiper, D.; Zhang, L.; Broas, R.F.J.; Alexopoulos, N.G. and Yablonovitch, E., "High-Impedance Electromagnetic Surfaces with a Forbidden Frequency Band", *IEEE Trans on Microwave Theory and Techniques*, Vol. 47, No.11, November 1999, pp.2059-2074.
- [3] Rahmat-Samii, Y. and Mossalaei, H., "Electromagnetic Band-gap Structures: Classification, Characterization, and Applications", *11<sup>th</sup> International Conference on Antennas and Propagation*, 17 – 20 April 2001.
- [4] Lim, J-S., Kim, C-S., Ahn, D., Jeong, Y-C., and Nam, S, "Design of Low-Pass Filters Using Defected Ground Structure", *IEEE Trans. on Microwave Theory and Tech.*, vol.53, no.8, August 2005.
- [5] Ahn, D.et al., " A Design of the Low-pass Filter Using the Novel Microstrip Defected Ground Structure", *IEEE Trans. Microwave Theory and Tech.*, vol.49, No. 1, Jan. 2001, pp. 86-91.
- [6] Lim, J-S., Kim, C-S., Lee, Y-T, Ahn, D., and Nam, S., "A Spiral-Shaped Defected Ground Structure for Coplanar Waveguide", *IEEE Microw. and Wireless Components Lett.*, vol.12, no.9, September 2002, pp.330 -312.
- [7] Abdel-Rahman, A.; Verma, A.K.; Boutejdar, A.; and Omar, A.S., "Control of Band Stop Response of Hi-Low Microstrip Lowpass Filter Using Slot in Ground Plane", *IEEE Trans. Microwave Theory and Tech.*, vol.52, No.3, Mar 2004, pp. 1008-1013.
- [8] Abdel-Rahman, A.; Boutejdar, A.; Verma, A.K.; Nadim, G.; and Omar, A.S., "Improved Circuit Model for DGS Based Lowpass Filter", *IEEE AP-S*, April 2004, pp.998-1001.
- [9] Park, J.S.; Kim, J.; Lee, J.; and Myung, S.; "A Novel Equivalent Circuit and Modeling Method for Defected Ground Structure and Its Application to Optimisation of a DGS Lowpass Filter", *IEEE Trans. Microwave Theory and Tech. Symposium Dig.*, MTT (S)-2002, pp. 417-420.

- [10] Abdel-Rahman, A.; "Design and Development of High Gain Wideband Microstrip Antenna and DGS Filters Using Numerical Experimentation Approach" Disertasi, Magdeburg, 2005.
- [11] Chung, Y., Jeon, S., Ahn, D., Choi, J., and Itoh, T., "High Isolation Dual-Polarized Patch Antenna Using Integrated Defected Ground Structure", *IEEE Microw. and Wireless Components Lett.*, Vol 14, No 1, 4-6 Jan. 2004.
- [12] Honarbakhsh, B.; and Tavakoli, A.; "Application of Spiral Defected Ground Structures in Design of a Compact Microstrip Slot Antenna", *IEEE AP-S*, 2007, pp.4300-4303.
- [13] Guha, D.; Biswas, M.; Antar, Y.M.M.;, "Microstrip Patch Antenna with Defected Ground Structure for Cross Polarization Suppression", *IEEE Antennas and Wireless Propagat. Lett.*, vol 4, issue1, 2005, pp.455-458.
- [14] Liu, H.; Li, Z.; Sun, X.; and Mao, J.; "Harmonic Suppression With Photonic Bandgap and Defected Ground Structure for a Microstrip Patch Antenna", *IEEE Microwave and Wireless Components Lett.*, Vol 15, No 2, Feb. 2005, pp.55 – 56.
- [15] Sung, Y.J.; Kim, M.; and Kim, Y.S.; "Harmonics Reduction with Defected Ground Structure for a Microstrip Patch Antenna", *IEEE Microwave and Wireless Components Lett.*, Vol 2, Issue 1, pp.111 – 113, 2003.
- [16] Hamad, E. K. I.; Safwat, A.M. E.; and Omar, A. S., "Controlled Capacitance and Inductance Behavior of L-Shaped Defected Ground Structure for Coplanar Waveguide", in *Proc. IEE Microw. Antennas Propagat.*, vol. 152, Oct. 2005, pp. 229-304.
- [17] Guha, D.; Biswas, S.; Biswas, M.; Siddiqui, J.Y.; and Antar, Y.M.M.; "Concentric Ring-Shaped Defected Ground Structures for Microstrip Applications", *Antennas and Wireless Propagat. Lett.*, Vol 5, Issue 1, Des. 2006, pp.402 – 405.
- [18] Sujoy Biswas et al, "New Defected Ground Plane Structures for Microstrip Circuits and Antenna Applications", [http://www.ursi.org/Proceeding/ProcGA05/pdf/BP.21\(0985\).pdf](http://www.ursi.org/Proceeding/ProcGA05/pdf/BP.21(0985).pdf), Juli 2006.

- [19] Dehbashi, R.; Forooraghi, K.; Atlasbaf, Z.; "A New Miniature Inset Fed Microstrip Patch Antenna with Harmonic Rejection Using Defected Ground Structure" *IEEE AP-S*, 2007, pp.4092 - 4095.
- [20] Insik Chang; Bomson Lee; "Design of Defected Ground Structures for Harmonic Control of Active Microstrip Antenna", *IEEE Internat. Symp. Antennas and Propagat. Society*, Vol. 2, 16-21 June 2002, pp.852 – 855.
- [21] Salehi, M.; Motevasselian, A.; Tavakoli, A.; and Heidari, T.; "Mutual Coupling Reduction of Microstrip Antennas using Defected Ground Structure", *10th IEEE International Conference on Communication systems (ICCS)*, Oct. 2006, pp.1 – 5.
- [22] Thakur, J.P.; Park. J.-S.; "An Advance Design Approach for Circular Polarization of the Microstrip Antenna with Unbalance DGS Feedlines", *Antennas and Wireless Propagat. Lett.*, Vol. 5, Issue 1, Dec. 2006, pp.101 – 103.
- [23] Guang, H.; Hai, S.; and Wei, H.; "Bandwidth-Enhanced Microstrip Triangular Antenna with PBG Structure", *IEEE AP-S*, Vol. 2, 20-25 June 2004, pp.2075 – 2078.
- [24] Zainud-Deen, S. H., M. F. Badr, E. El-Deen, K. H. Awadalla, and H. A. Sharshar, "Microstrip antenna with defected ground plane structure as a sensor for landmines detection," *Progress In Electromagnetics Research B*, Vol. 4, 27–39, 2008.
- [25] Yu, A. ang Zhang, X., "A Novel Method to Improve the Performance of Microstrip Antenna Arrays using Dumbbell EBG Structure", *IEEE Antennas and Wireless Propagat Lett.*, Vol 2, 2003.
- [26] Yang, Li.; Feng,Z.; Chen, F.; and Fan, M., "A Novel Compact EBG Structure and its Application in Microstrip Antenna Arrays", *IEEE MTT-S Digest*, 2004, pp.1635-1638.
- [27] Keith, C.H., *Microstrip Antennas : Broadband Radiation Pattern Using Photonic Crystal Substrate*, <http://scholar.lib.vt.edu/theses/available/etd-01112002-113457/unrestricted/etd.pdf>, 21.03.2006.
- [28] Balanis,C.A., *Antenna Theory Analysis and Design*, John Wiley & Sons, Inc., Singapore, 1982.

- [29] Anggorodi, A.; Rahardjo, E.T.; dan Zulkifli, F.Y. "Circularly Polarized Reduced Equilateral-Triangular Microstrip Antenna Dimension using Slot and Single Microstrip Line-Feed", *Proc. Quality in Research Department of Electrical Engineering University of Indonesia*, 2005.
- [30] James, J.R; and Hall, P.S.; eds., *Handbook of Microstrip Antennas*, vol. I and II, Peter Peregrinus (IEE), 1989.
- [31] Fawwaz T. Ulaby, *Fundamentals of applied Electromagnetics*, USA : Prentice Hall, 2001.
- [32] Pozar, D.M., *A Review of Bandwidth Enhancement Techniques for Microstrip antenna.*, New York. IEEE Press, 1995.
- [33] Ozdemir, M. K., Arslan, H. and Arvas, E.; "A Mutual Coupling Model for MIMO Systems", *IEEE Topical Conference on Wireless Communication Technology*, 15 -17 Oct. 2003, pp.306 -307.
- [34] Maci, S.; and Gentili, G.B.;"Dual-Frequency Patch Antennas", *IEEE Antennas and Propagat. Mag.*, Vol.39, No. 6, Des. 1997.
- [35] Croq, F.; and Pozar, D.; "Multifrequency Operation of Microstrip Antennas Using Aperture Coupled Parallel Resonators, *IEEE Trans. On Antennas and Propagat.*, Nov. 1992, pp.1367-1374
- [36] Sun, J-S.; and Chen, G-Y.; "Efficiency of Various Photonic Bandgap (PBG) Structures", *3<sup>rd</sup> Internat. Conf. on Microw. and Millimeter Wave Techn. (ICMMT)*, 17 -19 Aug. 2002, pp. 1055 -1058.
- [37] Parker and Charlton, *Photonic Crystals*, Physics World, 2000.
- [38] Lourtioz, J.M., Benisty, H., Berger, V., Gerard, J.M, Maystre, D., Tchelnokov, A., *Photonic Crystal*, Springer, Berlin, 2005.
- [39] Fan Yang, "Microstrip Antennas Integrated With Electromagnetic Band-Gap (EBG) Structures: A Low Mutual Coupling Design for Array Applications", *IEEE Transactions On Antennas And Propagat.*, Vol. 51, No. 10, October 2003.
- [40] Rahardjo, ET., Zulkifli, F.Y., and Martin, M., "Design of Circularly Polarized Equatorial Triangular Microstrip Antenna Array for Satellite Communication", *International Symposium on Antennas and Propagation*, Messe, Niigata, Japan, August 20-24, 2007.

- [41] Zulkifli, F.Y., Lomorti, S. and Rahardjo, E.T., "Improved Design of Triangular Patch Linear Array Microstrip Antenna Using Isosceles-Triangular Defected Ground Structure" *International Symposium APMC* 2007, Bangkok, Thailand, December, 11-13, 2007.
- [42] Zulkifli, F.Y., Rahardjo, E.T., Hartanto, D.; "Radiation Properties Enhancement of Triangular Patch Microstrip Antenna Array Using Defected Ground Structure", *Int. Journal Progress In Electromagnetic Research M (PIER M)*, vol 5, 2008, ISSN: 1937-8726, pp 101-109
- [43] Zulkifli, F.Y., Leon, D. D., Asvial, M.; "Perancangan Antena Mikrostrip Patch Segitiga Linear Array 2 Elemen Dengan Teknik Defected Ground Structure (DGS) Berbentuk Trapesium", *IES Conference*, Surabaya, Indonesia 6-8 November 2007.
- [44] Zulkifli, F.Y., Rahardjo, E.T., Asvial, M. dan Hartanto, D. ; "Pengembangan Antena Mikrostrip Susun Dua Elemen Dengan Penerapan Defected Ground Structure Berbentuk Trapesium", submit ke *Jurnal Makara*, 2008.
- [45] Rahardjo, E.T., Zulkifli, F.Y., and Amirullah, L., "Improved Radiation Properties of Triangular Patch Linear Array Microstrip Antenna Using Dumbbell Defected Ground Structure" *International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP)*, Taiwan, 27 – 31 Oktober 2008.
- [46] Ansari, J.A and Ram, R.B., "Analysis of Broadband U-slot Microstrip Patch Antenna", *Microw. Opt. Tech. Lett.*, Vol. 50, No. 4, 2008, pp. 1069-1073.
- [47] Zulkifli, F.Y., Narpati, F. and Rahardjo, E.T., "S-Shaped Patch Antenna Fed by Dual Offset Electromagnetically Coupled for 5 – 6 GHz High Speed Network", *Int. Journal PIERS Online vol 3 no 2, 2007*, ISSN:1931-7360, pp.163 -166
- [48] Zulkifli, F.Y., Mauritz, H. and Rahardjo, E.T., "Perbaikan Karakteristik Antena Mikrostrip Berbentuk Huruf S (S Shape) dengan Defected Ground Structure (DGS), (Improved Characteristic of S-Shape Microstrip Antenna using DGS)", *Jurnal Teknologi*, edisi no.1 thn XXII, Maret 2008, ISSN: 0215-1685, pp.31 – 37.
- [49] Zulkifli, F.Y., Rodhiah, D. and Rahardjo, E.T., "Dual Band Microstrip Antenna Using U and S Slots for WLAN Application", *IEEE International*

*Symposium on Antennas and Propagation*, Honolulu, Hawaii USA, 10 - 15 June 2007.

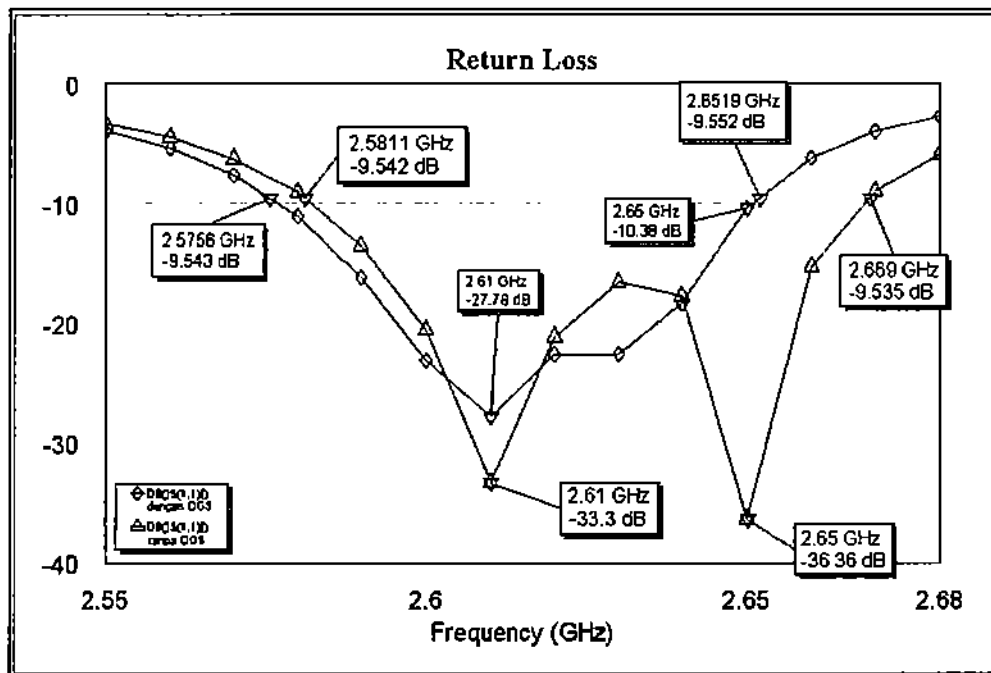
- [50] Zulkifli, F.Y., Halim, H. and Rahardjo, E.T., "A Compact Multiband Microstrip Antenna" *IEEE International Symposium on Antennas and Propagation*, San Diego, 5 – 11 July, 2008.
- [51] Zulkifli, F.Y., Marlana, D., and Rahardjo, ET., "Compact Two Element Array Multiband Microstrip Antenna" *The 3rd Indonesia Japan Joint Scientific Symposium 2008 (IJSS 2008)*, Japan, 2008.
- [52] Zulkifli, F.Y., Rahardjo, ET., and Hartanto, D.; "Mutual Coupling Reduction of Multiband Microstrip Antenna Array Using Defected Ground Structure", submitted to *Electronic Lett., IEEE*, 2008.



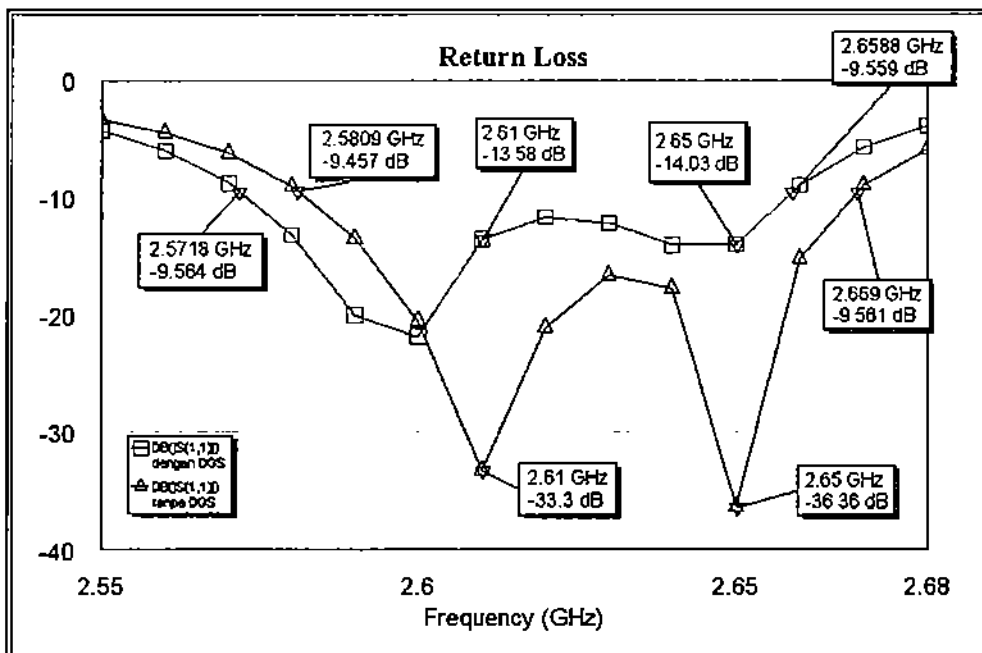
# Lampiran A

## DSG Segitiga Sama Kaki

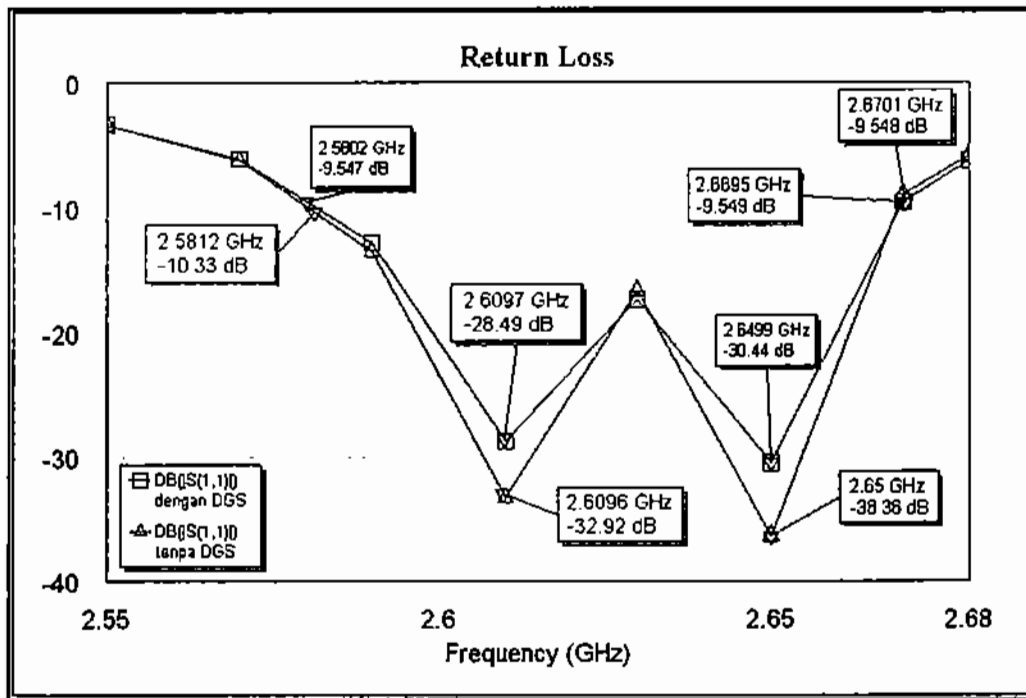
1. panjang alas = 46 mm dan tinggi = 46 mm



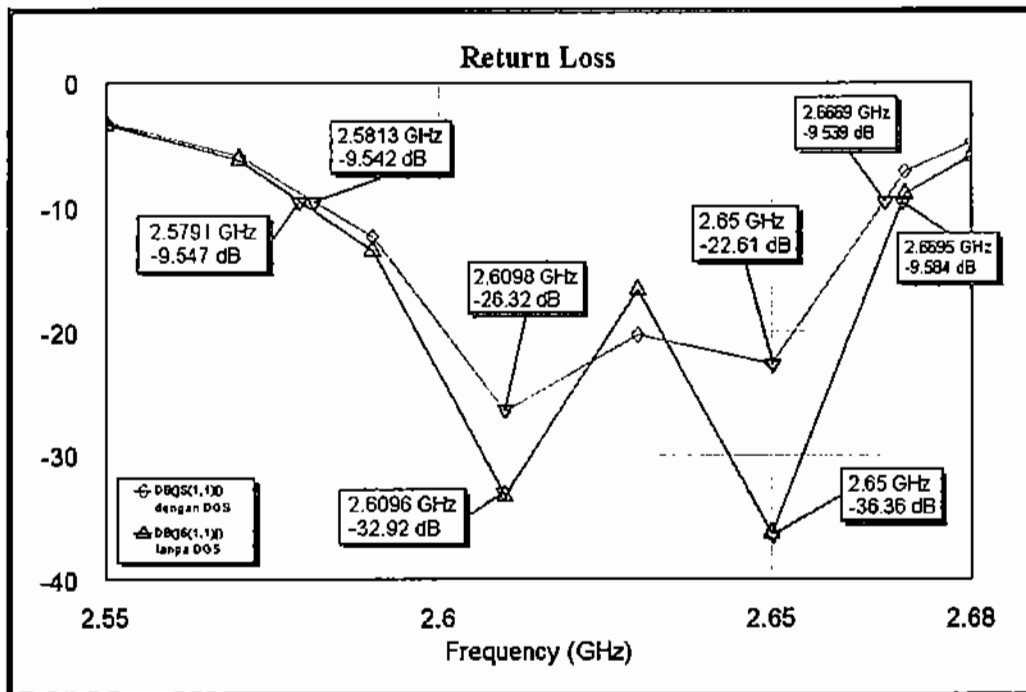
Gambar Lamp.A1. Grafik RL untuk  $x = 66$  mm;  $y = 41$  mm



Gambar Lamp.A2. Grafik RL untuk  $x = 67$  mm;  $y = 62$  mm

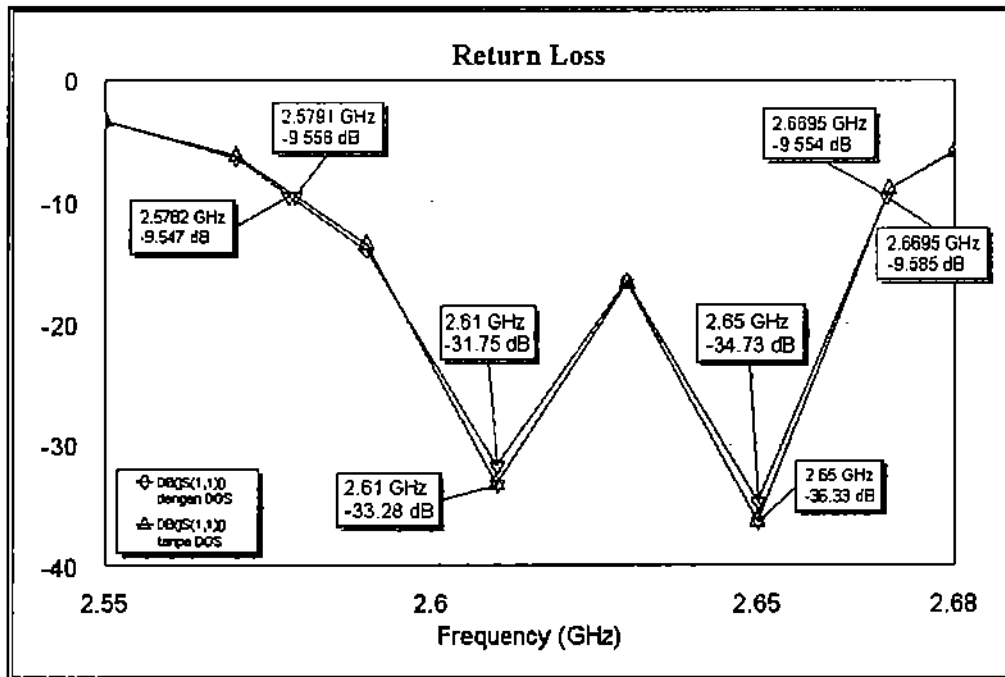


Gambar Lamp.A3. Grafik RL untuk  $x = 68$  mm;  $y = 36$  mm

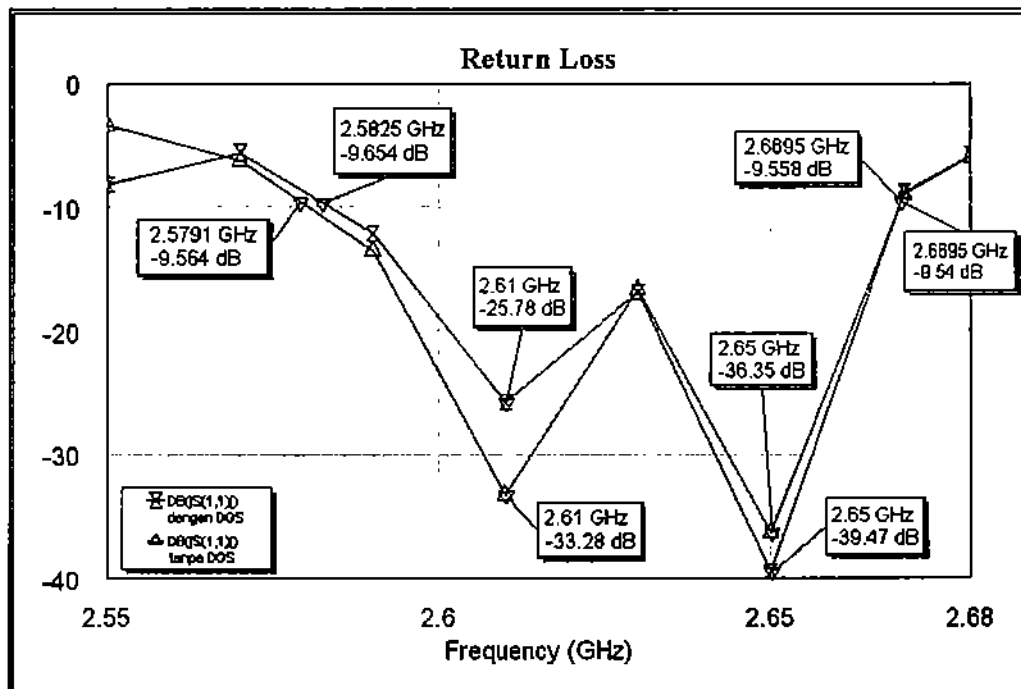


Gambar Lamp.A4. Grafik RL untuk  $x = 66$  mm;  $y = 33$  mm

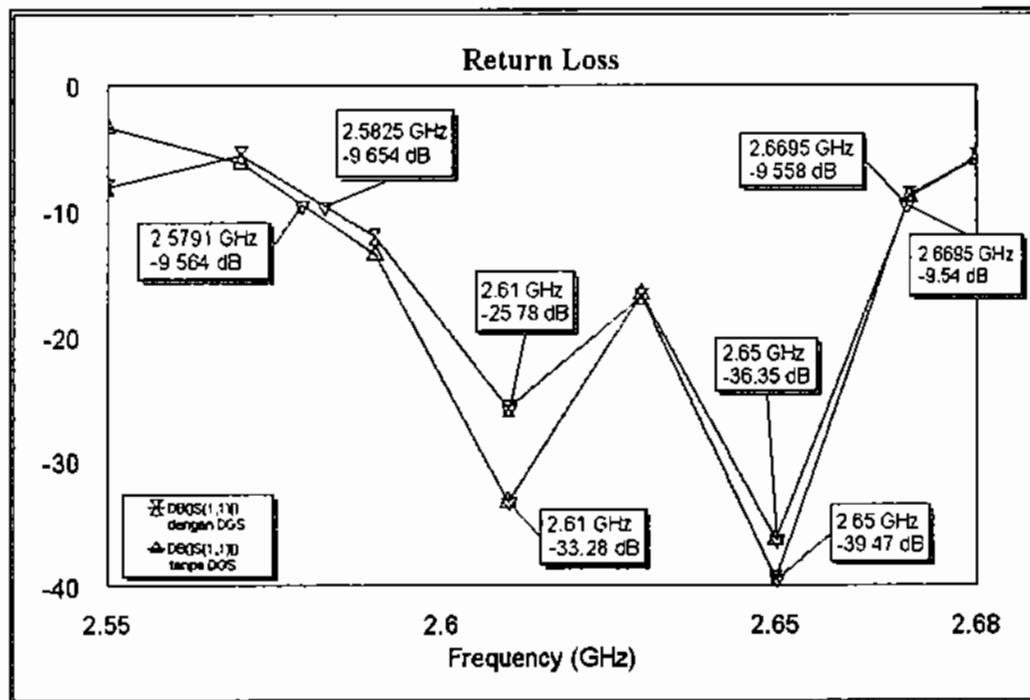
2. panjang alas = 30 mm dan tinggi = 30 mm



Gambar Lamp.A5. Grafik RL untuk x = 66 mm; y = 51 mm

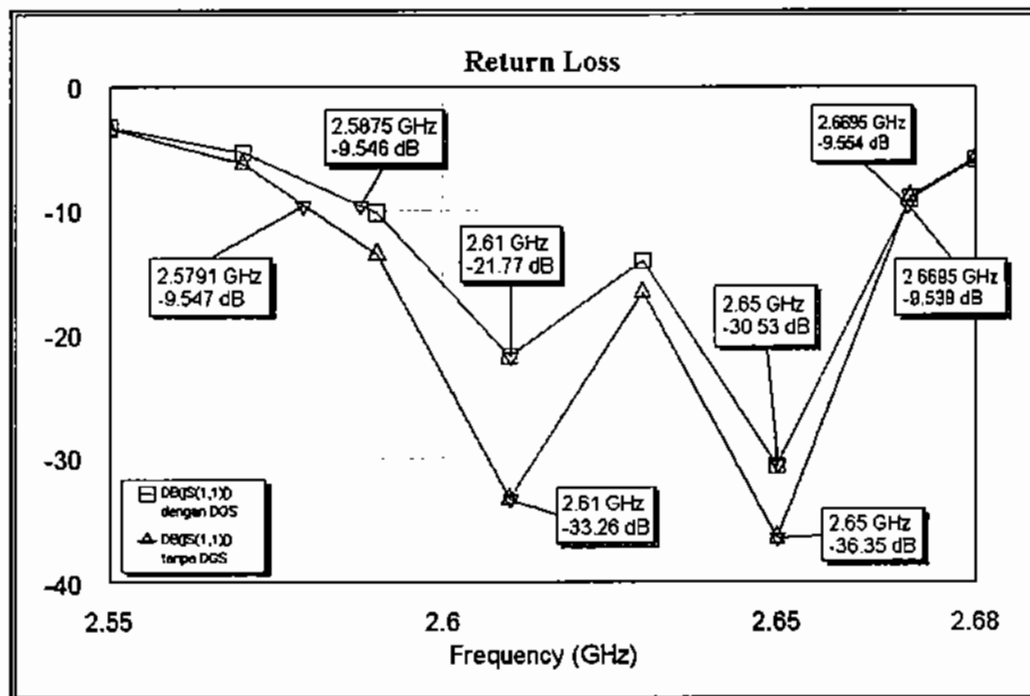


Gambar Lamp.A6. Grafik RL untuk x = 57 mm; y = 80 mm

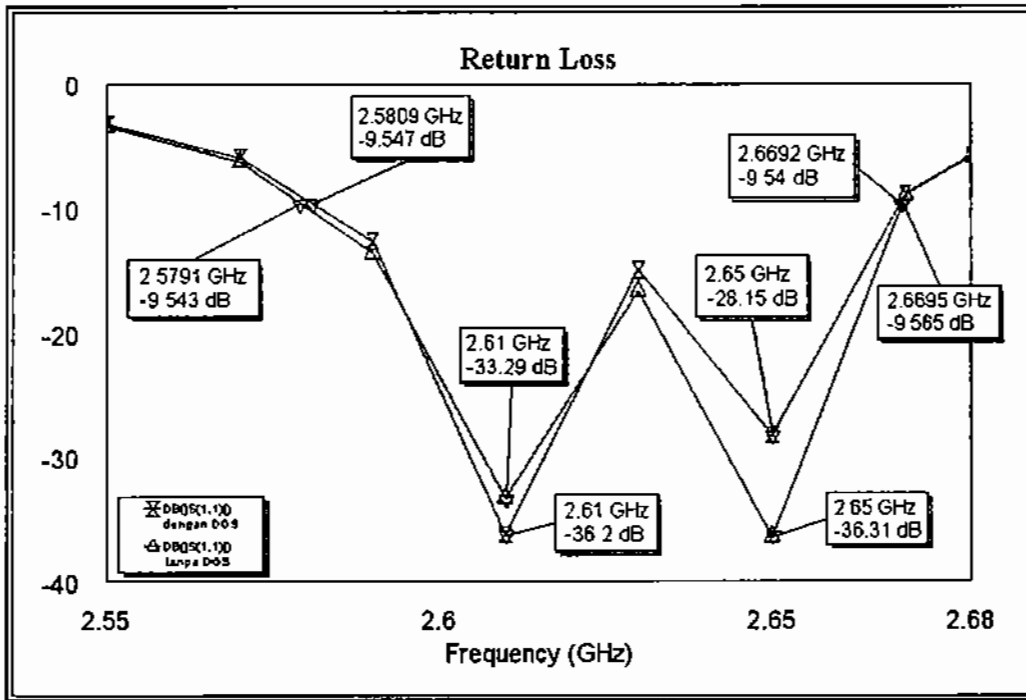


Gambar Lamp.A7. Grafik RL untuk  $x = 66$  mm;  $y = 80$  mm

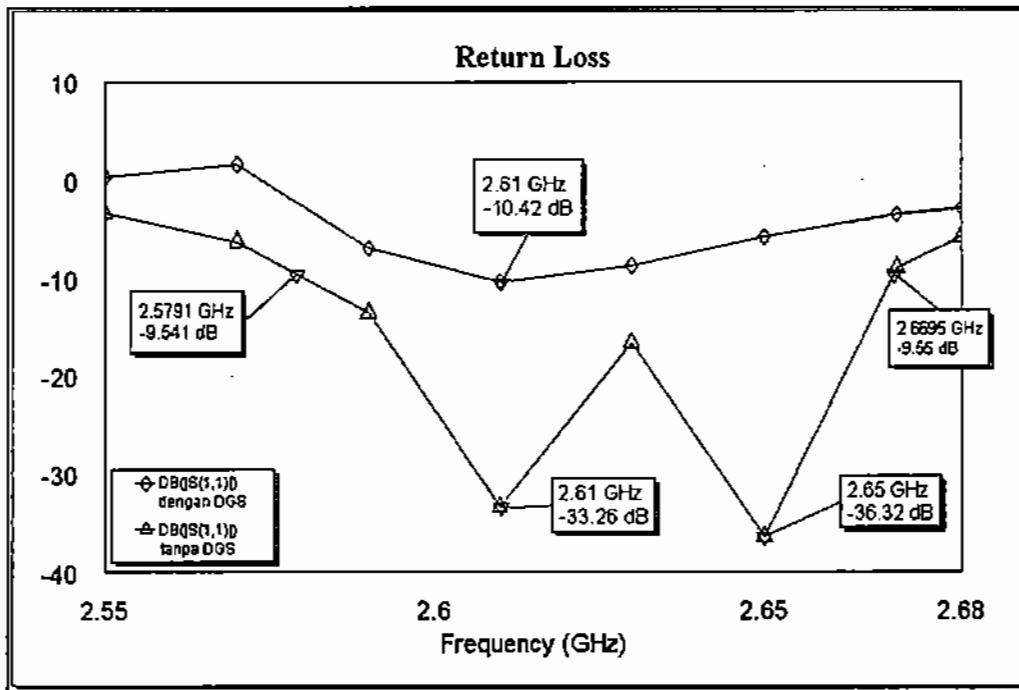
3. panjang alas = 10 mm dan tinggi = 5 mm



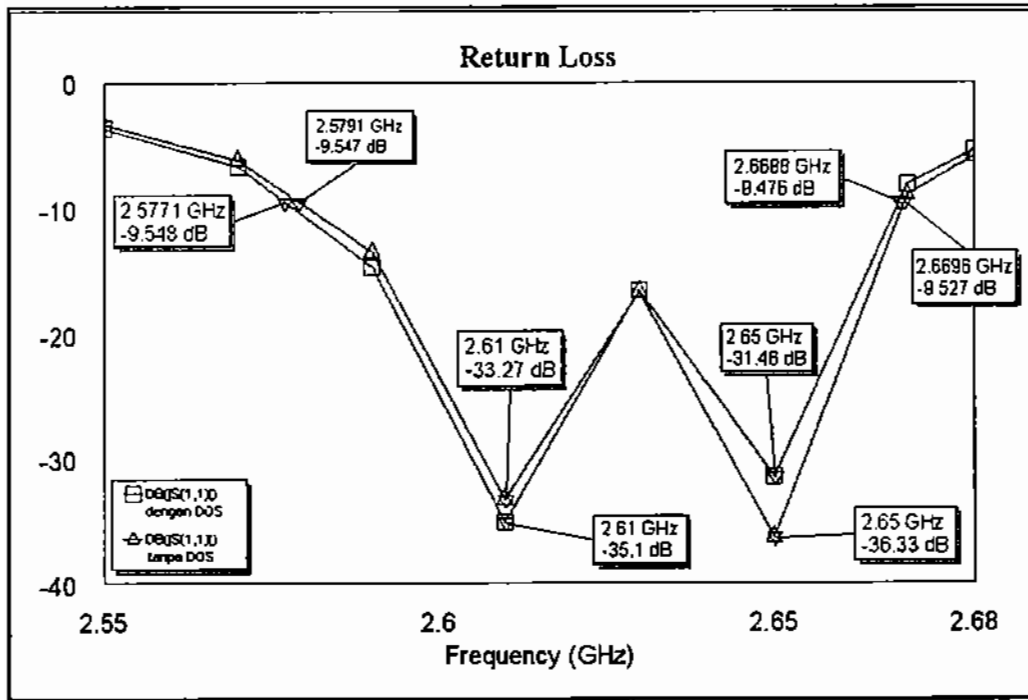
Gambar Lamp.A8. Grafik RL untuk  $x = 63$  mm;  $y = 21$  mm



Gambar Lamp.A9. Grafik RL untuk  $x = 65$  mm;  $y = 42$  mm



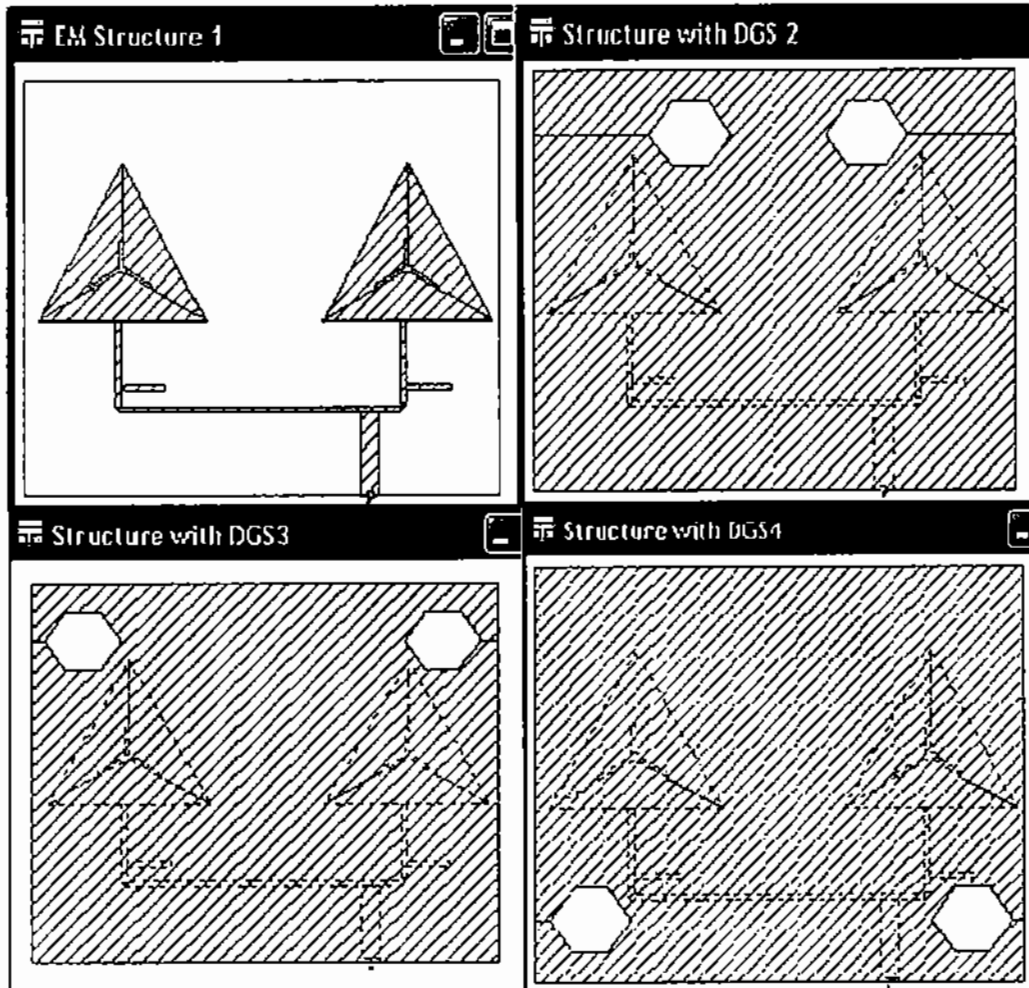
Gambar Lamp.A10. Grafik RL untuk  $x = 55$  mm;  $y = 39$  mm



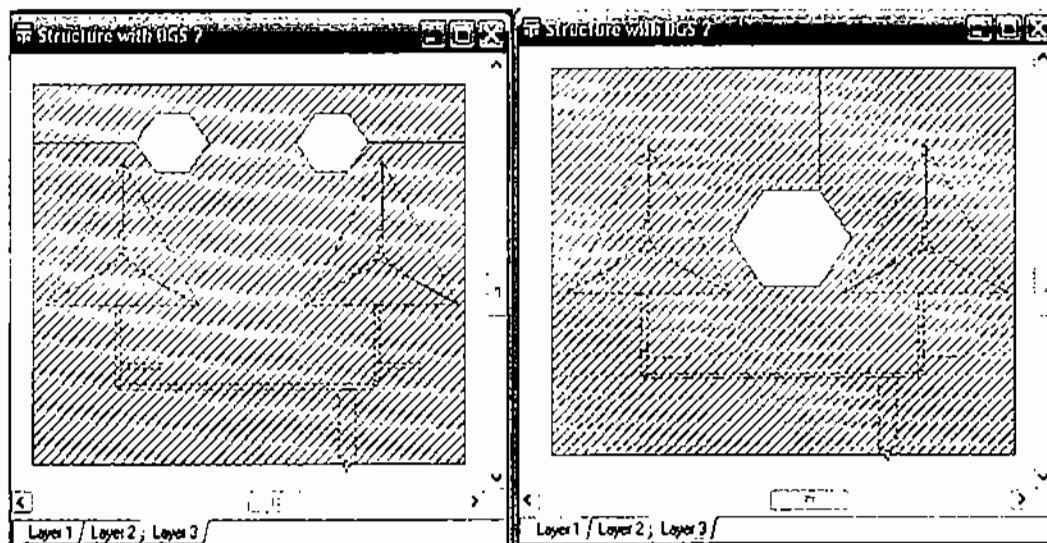
Gambar Lamp.A11. Grafik RL untuk  $x = 57 \text{ mm}$ ;  $y = 56 \text{ mm}$

## Lampiran B

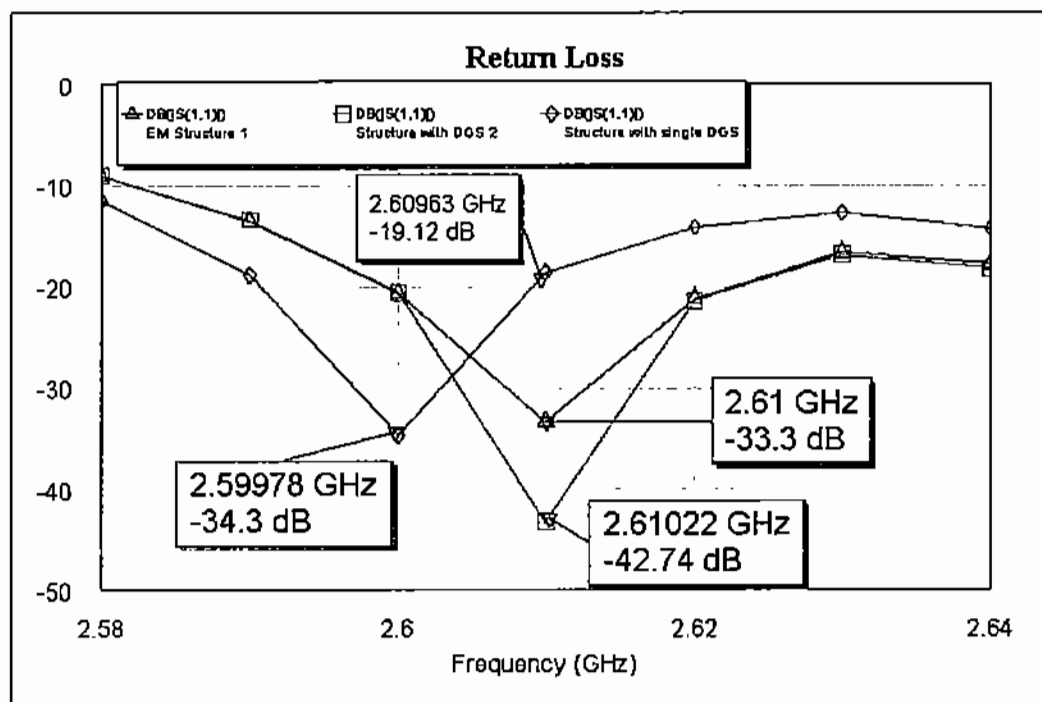
### DSG Hexagonal



Gambar Lamp.B1. Posisi slot DGS untuk mendapatkan karakteristik antenna terbaik

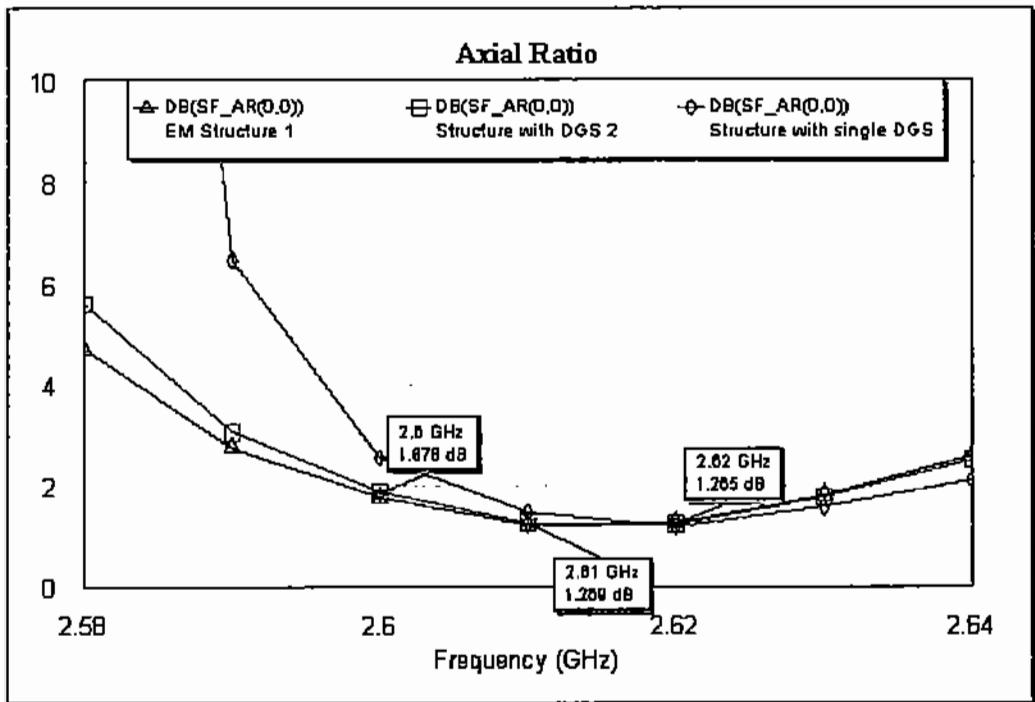


Gambar Lamp.B2. Posisi slot DGS pada *single hexagonal* dan *double hexagonal*



Gambar Lamp.B3. Grafik RL untuk *single hexagonal* dan *double hexagonal*

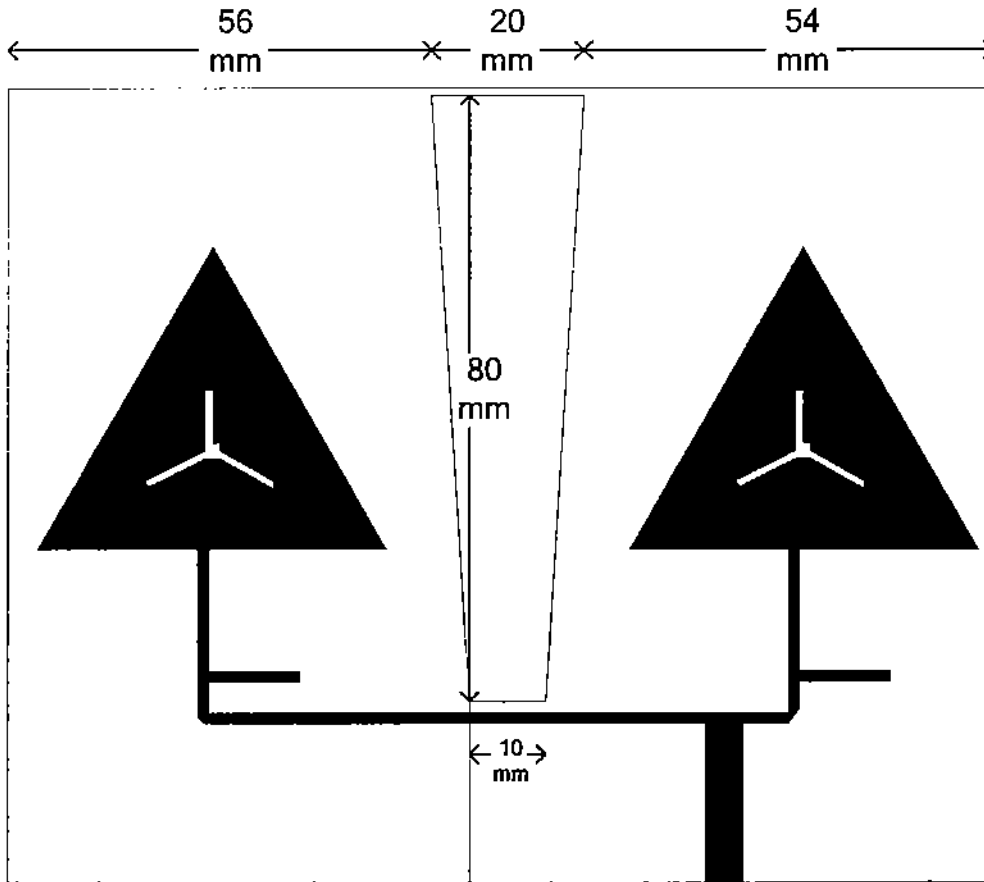




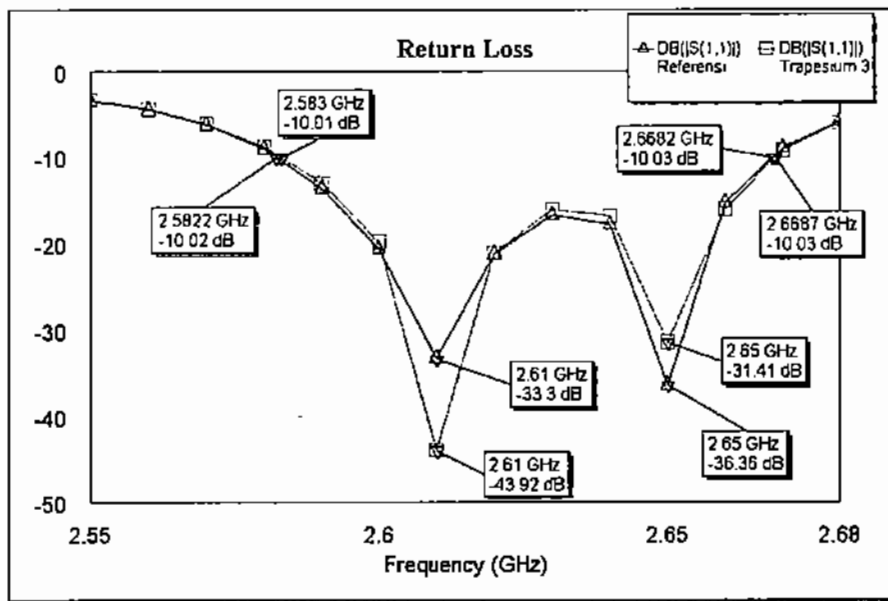
Gambar Lamp.B3. Grafik ARBWL untuk *single* hexagonal dan *double* hexagonal

## Lampiran C DGS Trapesium

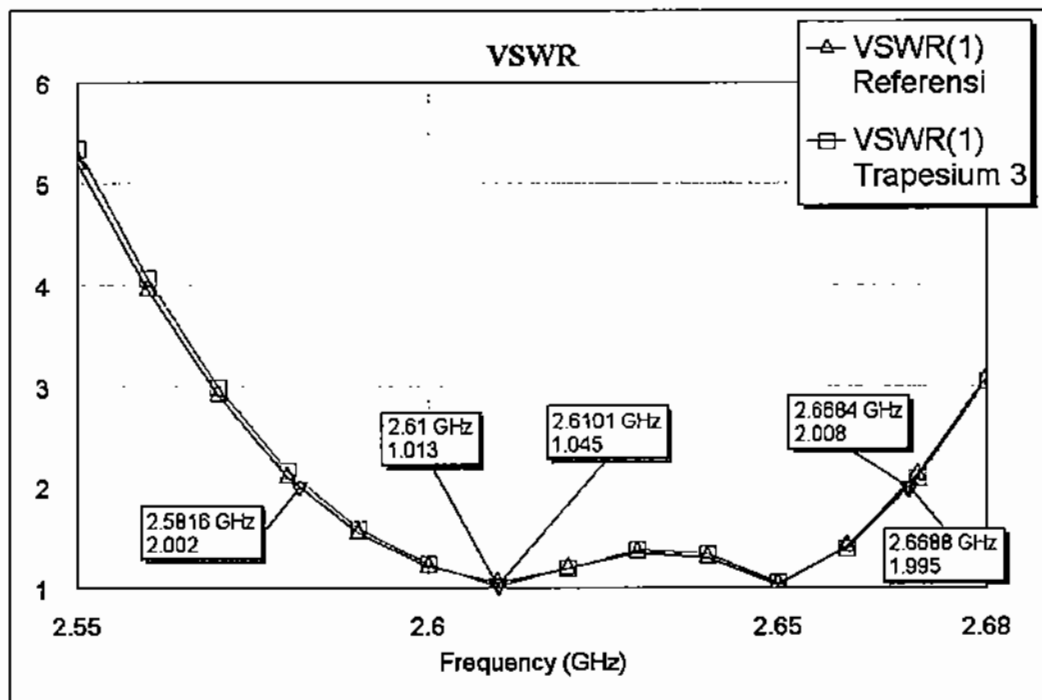
### A. Perancangan DGS Trapesium 3



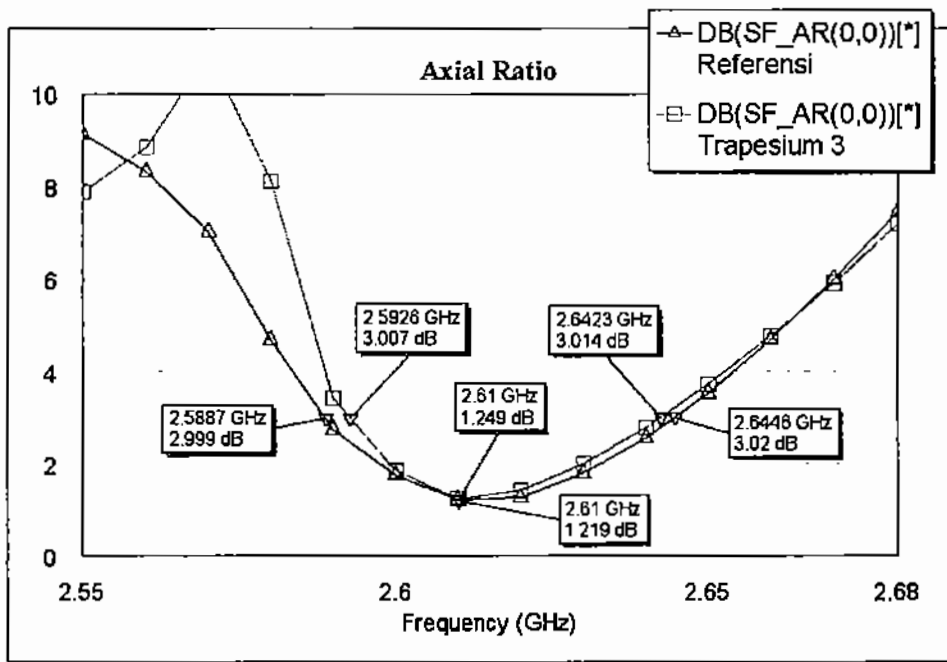
Gambar Lamp.C1. Konfigurasi antena dengan luas Slot DGS  $1200 \text{ mm}^2$  dengan sisi-sisi sejajar adalah 10 mm dan 20 mm, serta tinggi adalah 80 mm



Gambar Lamp.C2. Hasil simulasi RL Trapesium 3

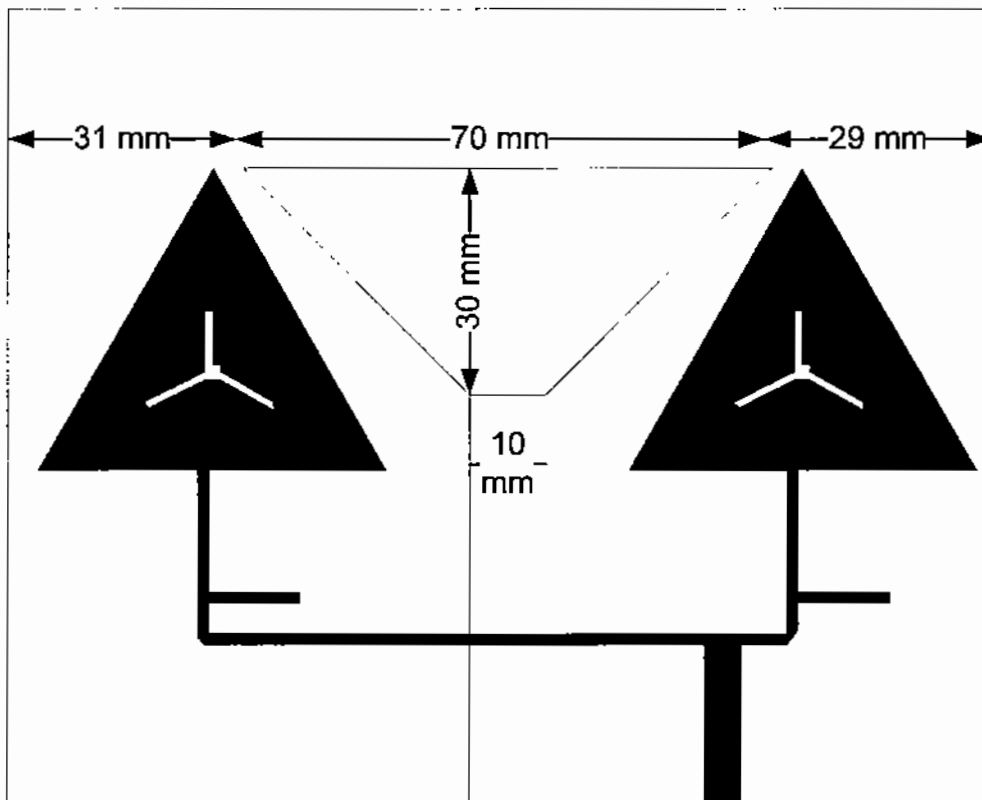


Gambar Lamp.C3. Hasil simulasi VSWR Trapesium 3

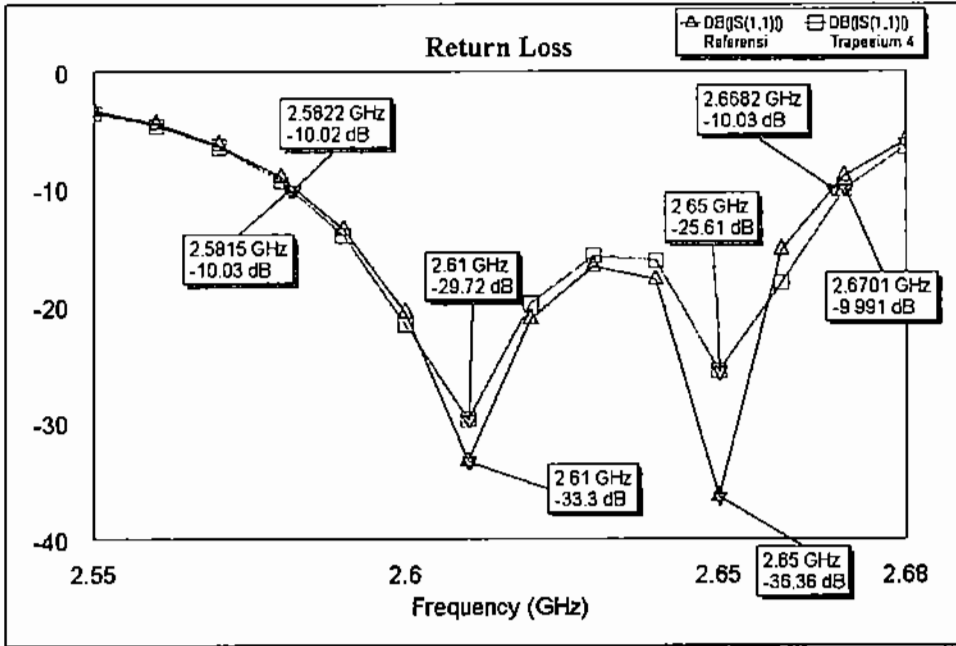


Gambar Lamp.C4. Hasil simulasi ARBW Trapezium 3

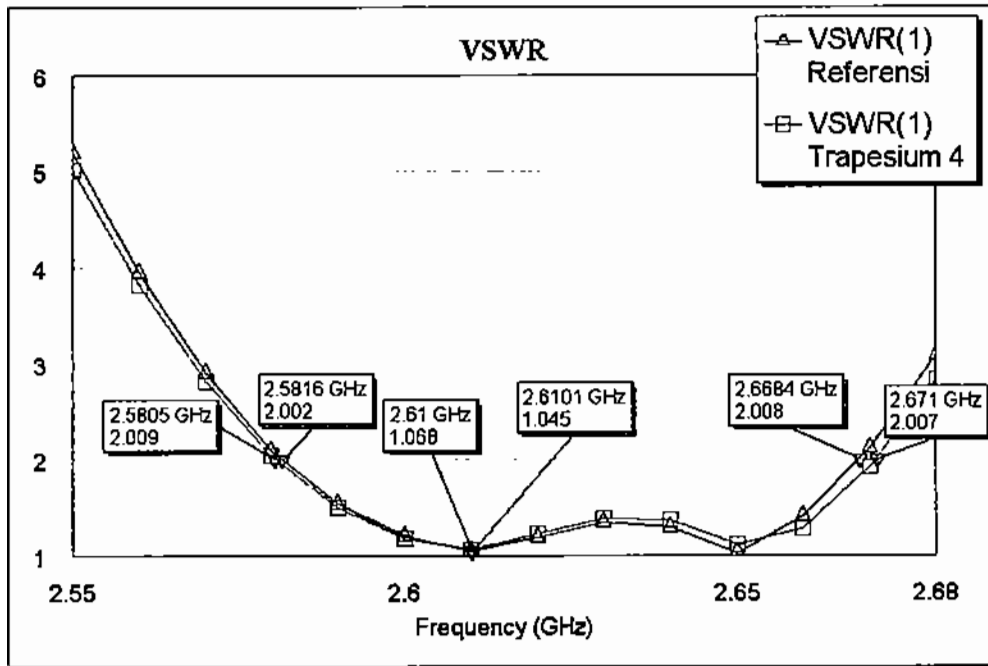
### B. Perancangan DGS Trapezium 4



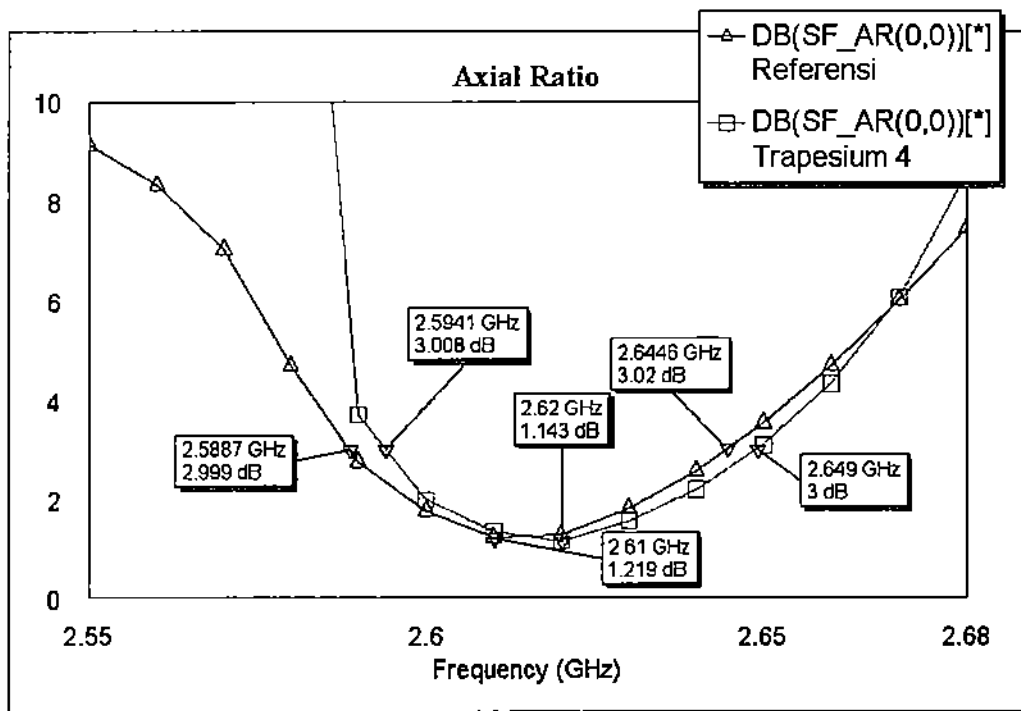
Gambar Lamp.C5. Konfigurasi antenna dengan luas Slot DGS adalah  $1200 \text{ mm}^2$  dengan sisi-sisi sejajar adalah 10 mm dan 70 mm, serta tinggi adalah 30 mm



Gambar Lamp.C6. Hasil simulasi RL Trapesium 4

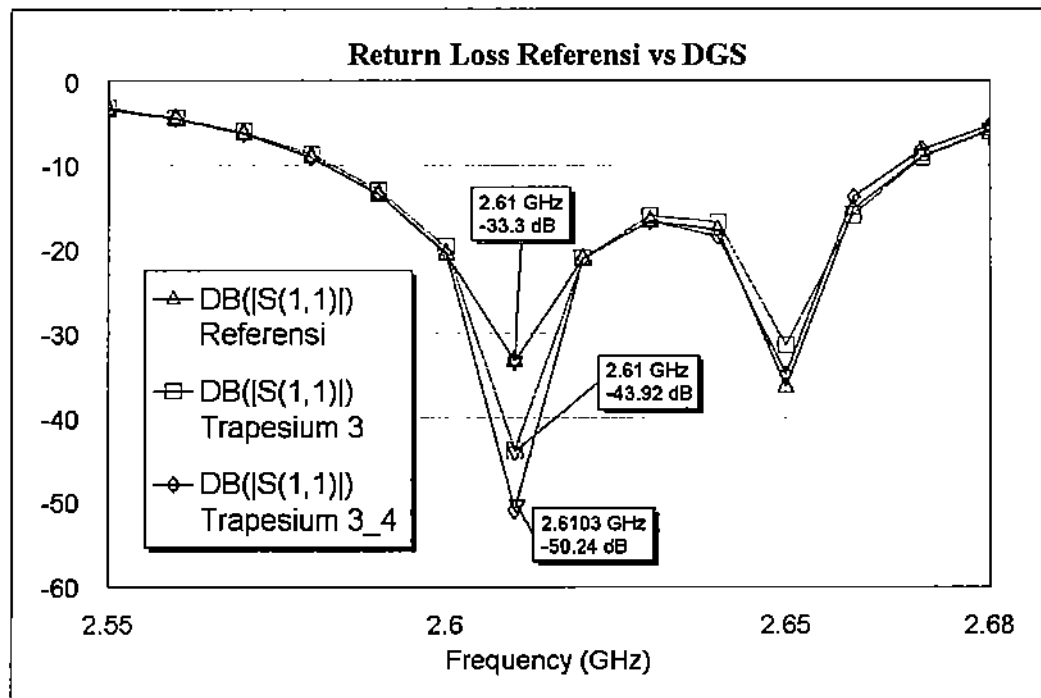


Gambar Lamp.C7. Hasil simulasi VSWR Trapesium 4

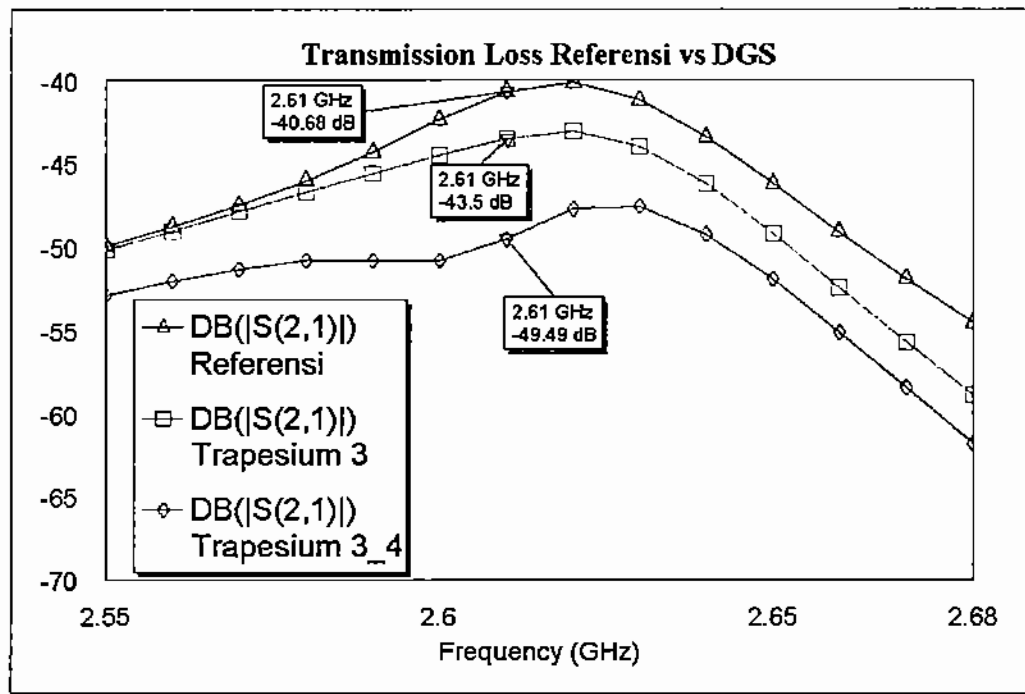


Gambar Lamp.C8. Hasil simulasi ARBW Trapesium 4

C. Hasil simulasi trapesium 3 dan 3\_4



Gambar Lamp.C9. Hasil simulasi RL Trapesium 3 dan 3\_4



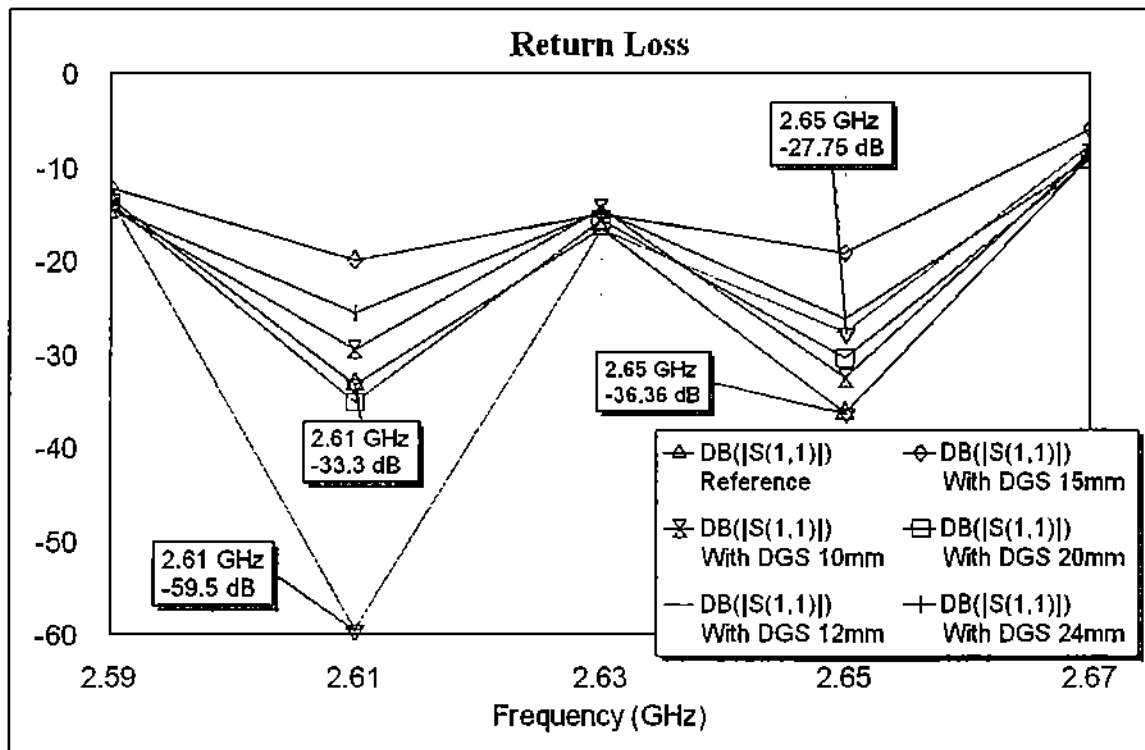
Gambar Lamp.C10. Hasil simulasi *Mutual Coupling* Trapesium 3 dan 3\_4

## Lampiran D DGS Dumbbell

Tabel Lamp.D. 1. Konfigurasi dimensi ukuran *slot* DGS

No	Nama	Sisi a dan b (mm)	Sisi c (mm)	Lebar d (mm)
1.	<i>Dumbbell 1</i>	10	12	2
2.	<i>Dumbbell 2</i>	12	12	2
3.	<i>Dumbbell 3</i>	15	12	2
4.	<i>Dumbbell 4</i>	20	12	2
5.	<i>Dumbbell 5</i>	24	12	4

Gambar berikut merupakan grafik hasil simulasi *return loss* dari setiap dimensi *slot dumbbell square-head* DGS

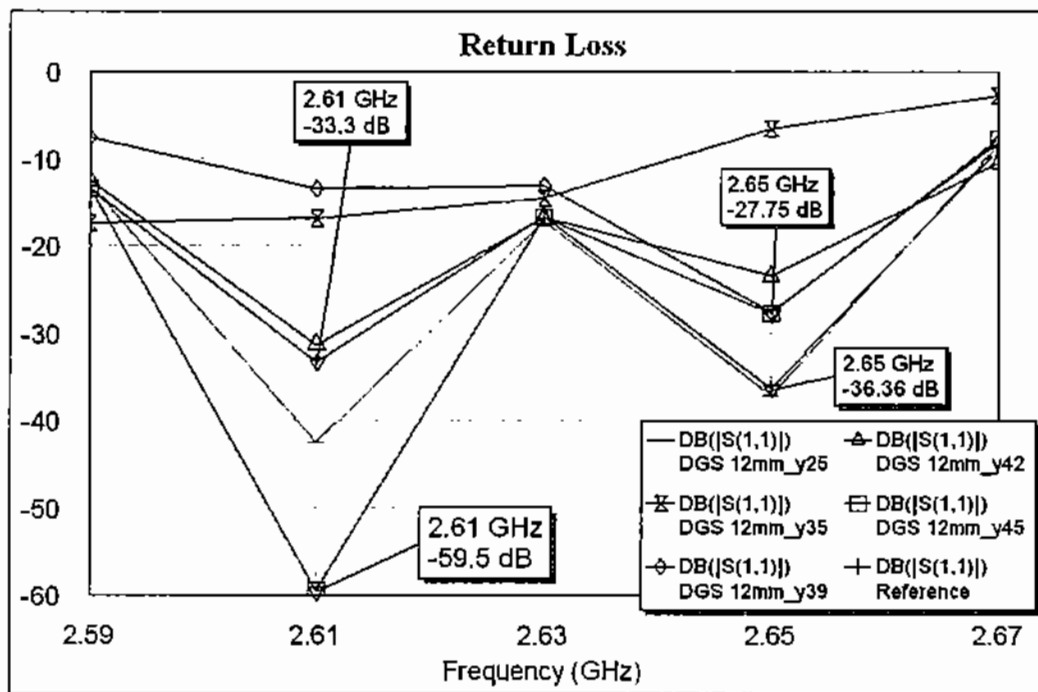


Gambar Lamp. D1. Grafik *return loss* untuk perubahan ukuran *slot* DGS



Tabel Lamp. D. 2. Konfigurasi perubahan posisi *slot* DGS pada arah vertical

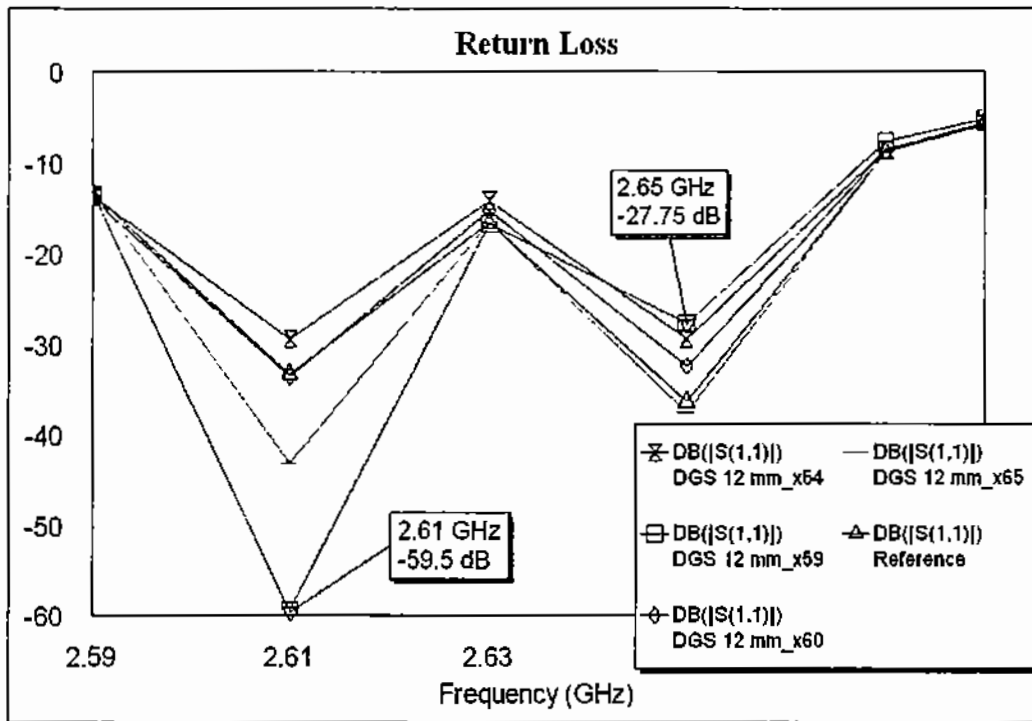
No	Nama	X (mm)	Y (mm)
1.	Dumbbell 2_1	59	45
2.	Dumbbell 2_2	59	42
3.	Dumbbell 2_3	59	39
4.	Dumbbell 2_4	59	35
5.	Dumbbell 2_5	59	25



Gambar Lamp. D2. Grafik RL untuk perubahan posisi *slot* DGS dalam arah vertical. 2.

Tabel Lamp. D. 3. Konfigurasi perubahan posisi *slot* DGS pada arah horizontal

No	Nama	X (mm)	Y (mm)
1.	DGS 12mm_1	59	45
2.	DGS 12mm_2	54	45
3.	DGS 12mm_3	65	45
4.	DGS 12mm_4	60	45



Gambar Lamp. D. 3. Grafik RL untuk perubahan posisi slot DGS dalam arah horizontal