

**RANCANG BANGUN ANTENA MIKROSTRIP
DENGAN MENGGUNAKAN TEKNIK
DEFECTED GROUND STRUCTURE (DGS)
BENTUK *DUMBBELL SQUARE-HEAD* PADA
PATCH SEGITIGA ARRAY LINIER**

SKRIPSI

Oleh

LESTARI AMIRULLAH

NPM. 04 03 03 707 6



**DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA
GENAP 2007/2008**

**RANCANG BANGUN ANTENA MIKROSTRIP
DENGAN MENGGUNAKAN TEKNIK
DEFECTED GROUND STRUCTURE (DGS)
BENTUK *DUMBBELL SQUARE-HEAD* PADA
PATCH SEGITIGA ARRAY LINIER**

SKRIPSI

Oleh

LESTARI AMIRULLAH
NPM. 04 03 03 707 6



**SKRIPSI INI DIAJUKAN UNTUK MELENGKAPI SEBAGIAN
PERSYARATAN MENJADI SARJANA TEKNIK**

**DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA
GENAP 2007/2008**

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi dengan judul :

RANCANG BANGUN ANTENA MIKROSTRIP DENGAN MENGGUNAKAN TEKNIK *DEFECTED GROUND STRUCTURE (DGS)* BENTUK *DUMBBELL SQUARE-HEAD* PADA *PATCH* SEGITIGA ARRAY LINIER

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

Depok, 14 Juli 2008

(Lestari Amirullah)

04 03 03 707 6

PENGESAHAN

Skripsi dengan judul :

**RANCANG BANGUN ANTENA MIKROSTRIP
DENGAN MENGGUNAKAN TEKNIK
DEFECTED GROUND STRUCTURE (DGS)
BENTUK *DUMBBELL SQUARE-HEAD* PADA
*PATCH SEGITIGA ARRAY LINIER***

dibuat untuk melengkapi sebagian persyaratan menjadi Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Skripsi ini telah diujikan pada sidang ujian skripsi pada tanggal 4 Juli 2008 dan dinyatakan memenuhi syarat/sah sebagai skripsi pada Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

Depok, 14 Juli 2008

Dosen Pembimbing

Fitri Yuli Zulkifli, S.T., M.Sc

NIP 132 206 671

UCAPAN TERIMA KASIH

Dengan selesainya penulisan tugas skripsi ini penulis bersyukur kepada Allah SWT atas karunia-Nya dan penulis juga mengucapkan terima kasih kepada:

Fitri Yuli Zulkifli, S.T., M.Sc

selaku dosen pembimbing dalam skripsi ini, yang telah bersedia meluangkan waktunya untuk memberikan pengarahan, diskusi, bimbingan, serta persetujuan.

dan kepada :

Prof. Dr. Ir. Eko Tjipto Raharjo, M.Sc

selaku ketua *Antenna and Microwave Research Group* (AMRG) yang memberikan tempat untuk eksperimen serta menyetujui sebagai bagian dari penelitian pada AMRG sehingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik.

Depok, 14 Juli 2008

Penulis,

Lestari Amirullah

04 03 03 707 6

Lestari Amirullah NPM 04 03 03 707 6 Departemen Teknik Elektro	Dosen Pembimbing Fitri Yuli Zulkifli S.T., M.Sc.
RANCANG BANGUN ANTENA MIKROSTRIP DENGAN MENGGUNAKAN TEKNIK DEFECTED GROUND STRUCTURE (DGS) BENTUK DUMBBELL SQUARE-HEAD PADA PATCH SEGITIGA ARRAY LINIER	
<p>ABSTRAK</p> <p>Antena mikrostrip banyak diaplikasikan dalam dunia telekomunikasi. Hal ini karena antena mikrostrip memiliki beberapa kelebihan jika dibandingkan dengan antena jenis lain, yaitu bentuknya yang tipis dan kecil, memiliki bobot yang ringan, mudah untuk difabrikasi, dan harga yang relatif murah. Akan tetapi antena mikrostrip ini juga memiliki beberapa kelemahan, yaitu <i>gain</i> rendah, <i>bandwidth</i> rendah, efisiensi rendah, dan timbulnya gelombang permukaan.</p> <p>Gelombang permukaan terjadi pada saat antena mikrostrip meradiasikan gelombang ke udara, namun ada gelombang yang terjebak di dalam substrat dan membentuk gelombang permukaan. Gelombang permukaan dapat mengurangi efisiensi dan <i>gain</i>, dan membatasi <i>bandwidth</i>. Salah satu cara untuk menekan gelombang permukaan adalah dengan menggunakan teknik <i>Defected Ground Structure</i> (DGS) dengan cara mencatkatkan bidang <i>ground</i> dari antena.</p> <p>Pada skripsi ini dilakukan perancangan antena mikrostrip dengan menggunakan teknik DGS berbentuk <i>dumbbell square-head</i> pada <i>patch</i> segitiga <i>array</i> linier untuk menekan gelombang permukaan pada antena mikrostrip sehingga performa antena dapat meningkat.</p> <p>Pada hasil pengukuran antena referensi dengan penambahan slot DGS diperoleh nilai <i>return loss</i> optimum sebesar -40.081 dB pada frekuensi 2.66 GHz atau terjadi perbaikan <i>return loss</i> sebesar 32.12%, perbaikan <i>gain</i> sebesar 2.36005 dB dan penekanan <i>mutual coupling</i> sebesar 19.125 dB .</p>	
<p>Kata kunci: Antena mikrostrip, Gelombang Permukaan, <i>Defected Ground Structure</i> (DGS), <i>Dumbell Square-Head</i></p>	

Lestari Amirullah NPM 04 03 03 707 6 Electrical Engineering Departement	Supervisor Fitri Yuli Zulkifli S.T., M.Sc.
DUMBBELL SQUARE-HEAD DGS SLOT ON TRIANGULAR PATCH LINEAR ARRAY MICROSTRIP ANTENNA	
<p>ABSTRACT</p> <p>Microstrip antennas have been widely used in communication because they are small, lightweight, and low fabrication cost. Some disadvantages of microstrip antennas are low gain, narrow bandwidth, low efficiency, and the occurred of surface waves.</p> <p>The surface waves are excited because when a patch antenna radiates, a portion of total available radiated power becomes trapped along the surface of substrate. The surface waves reduce antenna efficiency and gain, and limit the bandwidth. DGS is one of methods to suppress surface waves. DGS is implemented by etching the ground plane of microstrip antenna</p> <p>In this paper, a microstrip antenna using DGS slot with dumbbell square-head shape which is employed on two element triangular microstrip array to suppress the surface wave and increase the performance of antenna microstrip.</p> <p>Measurement of antenna with slot DGS results show that the antenna design with DGS has the best level of return loss -40.081 dB at 2.66 GHz or 32.12% improvement in return loss , gain increases 2.36005 dB at 2.66 GHz , and 19.125 dB pressing in mutual coupling at 2.66 GHz.</p>	
<p>Keywords: Microstrip Antenna, Surface Wave, Defected Ground Structure (DGS), Dumbbell Square-Head</p>	

DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	ii
PENGESAHAN	iii
UCAPAN TERIMA KASIH	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 LATAR BELAKANG	1
1.2 TUJUAN PENELITIAN	2
1.3 BATASAN MASALAH	2
1.4 SISTEMATIKA PENULISAN	2
BAB II ANTENA MIKROSTRIP DAN <i>DEFECTED GROUND STRUCTURE</i> (DGS)	4
2.1. ANTENA MIKROSTRIP	4
2.2. MODEL <i>CAVITY</i>	5
2.3. PARAMETER UMUM ANTENA MIKROSTRIP	6
2.3.1. <i>VSWR (Volt Standing Wave Ratio)</i>	6
2.3.2. Impedansi Masukan	7
2.3.3. Keterarahan (<i>Directivity</i>)	8
2.3.4. <i>Bandwidth</i>	9
2.3.5. Penguatan (<i>Gain</i>)	10
2.5. POLARISASI ANTENA	11
2.5.1. Polarisasi Linear	11
2.5.2. Polarisasi Melingkar	12
2.5.3. Polarisasi Eliptis	12
2.6. TEKNIK PENCATUAN	13

2.6.1. Karakteristik Saluran Mikrostrip (<i>microstrip line</i>) untuk $W/h < 1$ [5]	14
2.6.2. Karakteristik Saluran Mikrostrip (<i>microstrip line</i>) untuk $W/h > 1$ [5]	14
2.7. PENCATUAN POLARISASI LINGKARAN	14
2.8. GELOMBANG PERMUKAAN (<i>SURFACE WAVE</i>)	15
2.9. <i>DEFECTED GROUND STRUCTURE</i> (DGS)	16
2.10. MUTUAL COUPLING	17
BAB III METODOLOGI PERANCANGAN DAN METODOLOGI	
PENGUKURAN ANTENA	19
3.1. UMUM	19
3.2. PERLENGKAPAN YANG DIGUNAKAN	19
3.2.1. Perangkat Lunak	19
3.2.2. Perangkat Keras	19
3.3. DIAGRAM ALIR PERANCANGAN ANTENA	20
3.4. PERANCANGAN ANTENA	22
3.4.1. Dimensi Antena <i>Array</i> Linier Tanpa DGS	22
3.4.2. Perancangan <i>Slot</i> DGS	23
3.5. PROSEDUR PENGUKURAN PARAMETER ANTENA	25
3.5.1. Pengukuran <i>Port</i> Tunggal	25
3.5.2. Pengukuran Pola Radiasi	26
3.5.3. Pengukuran <i>Gain</i> Absolut	27
3.5.4. Pengukuran <i>Axial Ratio</i>	29
3.5.5. Pengukuran <i>Mutual Coupling</i>	30
BAB IV HASIL SIMULASI, HASIL PENGUKURAN, DAN ANALISIS	
ANTENA	31
4.1. HASIL SIMULASI	31
4.2. ANALISIS HASIL SIMULASI	35
4.3. HASIL PENGUKURAN ANTENA	36
4.3.1. Hasil Pengukuran <i>Port</i> Tunggal	37
4.3.2. Hasil Pengukuran Pola Radiasi	39
4.3.3. Hasil Pengukuran <i>Gain</i>	42
4.3.4. Hasil Pengukuran <i>Axial Ratio</i>	44

4.3.5. Hasil Pengukuran <i>Mutual Coupling</i>	45
4.4. ANALISIS HASIL PENGUKURAN ANTENA	47
4.4.1. Karakteristik <i>Return Loss</i> dan <i>Impedance Bandwidth</i>	47
4.4.2. Pola Radiasi dan Gain	48
4.4.3. <i>Axial Ratio Bandwidth</i>	49
4.5. ANALISIS PERBEDAAN HASIL SIMULASI DAN PENGUKURAN	49
BAB V KESIMPULAN	52
4. DAFTAR ACUAN	53
DAFTAR PUSTAKA	55
LAMPIRAN A HASIL SIMULASI	56
LAMPIRAN B HASIL PENGUKURAN <i>PORT</i> TUNGGAL ANTENA DGS	60
LAMPIRAN C HASIL PENGUKURAN <i>PORT</i> TUNGGAL ANTENA	
REFERENSI	61
LAMPIRAN D HASIL PENGUKURAN POLA RADIASI, GAIN, DAN AXIAL RATIO	63
D.1. HASIL PENGUKURAN POLA RADIASI	63
D.1.1 Hasil Pengukuran Pola Radiasi Antena Referensi	63
D.1.2 Hasil Pengukuran Pola Radiasi Antena DGS	67
D.1.3 Perbandingan Antena Referensi dan Antena DGS	73
D.2 Hasil Pengukuran Gain	75
D.3 Hasil Pengukuran Axial Ratio E-Co vs H-Co	77
D.4 Hasil Pengukuran Axial Ratio E-Co vs E-Cross	79
LAMPIRAN E SIMULASI DGS	80
LAMPIRAN F ALIRAN ARUS	84

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1. Struktur dasar antena mikrostrip	4
Gambar 2. 2. Rentang frekuensi yang menjadi bandwidth	9
Gambar 2. 3. Beberapa bentuk polarisasi	11
Gambar 2. 4. Polarisasi linear	12
Gambar 2. 5. Polarisasi melingkar	12
Gambar 2. 6. Polarisasi Eliptis	13
Gambar 2. 7. (a) Pencatuan ganda dengan <i>quadrature hybrid</i> , (b) Pencatuan ganda dengan selisih panjang saluran catu $\lambda/4$, (c) Pencatuan tunggal dengan pertubasi	15
Gambar 2. 8. Propagasi dari gelombang permukaan pada substrat	15
Gambar 2. 9. <i>Coupling</i> pada antena <i>array</i>	18
Gambar 3. 1. Diagram alir perancangan dan fabrikasi antena array linear dengan <i>slot DGS</i>	21
Gambar 3.2. Desain <i>patch</i> segitiga antena referensi [3]	22
Gambar 3.3. Desain antena referensi [3]	23
Gambar 3. 4. Slot DGS <i>dumbbell square-head</i>	24
Gambar 3. 6 Posisi slot DGS terhadap <i>patch</i> antena	25
Gambar 3. 7. Posisi <i>patch</i> untuk mengukur <i>mutual coupling</i>	30
Gambar 4. 1. Grafik <i>Return Loss</i>	31
Gambar 4. 2. Grafik <i>Axial Ratio</i>	32
Gambar 4. 3. Grafik <i>Input Impedance</i>	32
Gambar 4. 4. Grafik Pola Radiasi	33
Gambar 4. 5. Grafik VSWR	34
Gambar 4. 6. Grafik <i>Mutual Coupling</i>	34
Gambar 4. 7. Plot <i>return loss</i> untuk antena dengan DGS	38
Gambar 4. 8. Plot VSWR untuk antena dengan DGS	38
Gambar 4. 9. Plot impedansi masukan untuk antena DGS	39
Gambar 4. 10. Pola radiasi antena mikrostrip <i>array</i> linier dengan DGS	41
Gambar 4. 11. Pola radiasi E-Co antena referensi dan antena DGS	41
Gambar 4. 12. Pola radiasi H-Co antena referensi dan antena DGS	42

Gambar 4. 13. Grafik <i>gain</i> terhadap frekuensi	44
Gambar 4. 14. Grafik perbandingan axial ratio antara antenna DGS dan antenna referensi	45
Gambar 4. 15. <i>Mutual coupling</i> untuk antenna DGS	45
Gambar 4. 16. <i>Mutual coupling</i> antenna referensi	46
Gambar 4. 17. Perbandingan hasil pengukuran <i>mutual coupling</i> antenna referensi dan antenna DGS	47
Gambar 4. 18. Pendekatan persegi dalam simulasi MWO 2004 untuk patch segitiga	51
Gambar Lamp. A. 1. Konfigurasi antenna mikrostrip <i>array</i> linier dengan DGS	56
Gambar Lamp. A. 2. Hasil simulasi <i>return loss</i>	57
Gambar Lamp. A. 3. Hasil simulasi <i>axial ratio</i>	57
Gambar Lamp. A. 4. Hasil simulasi impedansi masukan	58
Gambar Lamp. A. 5. Hasil simulasi pola radiasi	58
Gambar Lamp. A. 6. Hasil simulasi VSWR	59
Gambar Lamp. A. 7. Hasil simulasi <i>mutual coupling</i>	59
Gambar Lamp. B. 1. Hasil pengukuran <i>return loss</i> antenna dengan DGS	60
Gambar Lamp. B. 2. Hasil pengukuran VSWR antenna DGS	60
Gambar Lamp. C. 1. Hasil pengukuran <i>return loss</i> antenna referensi	61
Gambar Lamp. C. 2. Hasil pengukuran impedansi masukan antenna referensi	62
Gambar Lamp. C. 3. Hasil pengukuran VSWR antenna referensi	62
Gambar Lamp. D. 1. Pola radiasi E-Co dan H-Co antenna referensi	65
Gambar Lamp. D. 2. Pola radiasi E-Cross dan H-Cross antenna referensi	67
Gambar Lamp. D. 3. Pola radiasi E-Co dan H-Co antenna DGS	69
Gambar Lamp. D. 4. Pola radiasi E-Cross dan H-Cross antenna DGS	72
Gambar Lamp. D. 5. Perbandingan pola radiasi bidang E	73
Gambar Lamp. D. 6. Perbandingan pola radiasi bidang H	73
Gambar Lamp. D. 7. Perbandingan pola radiasi E-Co	74
Gambar Lamp. D. 8. Perbandingan pola radiasi H-Co	74
Gambar Lamp. D. 9. Grafik <i>gain</i> antenna referensi dan antenna DGS	77
Gambar Lamp. D. 10. Grafik hasil pengukuran <i>axial ratio</i>	78

Gambar Lamp. D. 11. Grafik <i>axial ratio</i> antena DGS	78
Gambar Lamp. D. 12. Grafik perbandingan <i>axial ratio</i> antena referensi dan antena DGS	79
Gambar Lamp. D. 13. Grafik perbandingan <i>axial ratio</i> antena referensi dan antena DGS	79
Gambar Lamp. E. 1. Sketsa umum rancangan antena DGS	80
Gambar Lamp. E. 2. Grafik <i>return loss</i> untuk perubahan ukuran <i>slot</i> DGS	81
Gambar Lamp. E. 3. Grafik <i>return loss</i> untuk perubahan posisi <i>slot</i> DGS dalam arah vertikal	82
Gambar Lamp. E. 4. Grafik <i>return loss</i> untuk perubahan posisi <i>slot</i> DGS dalam arah horizontal	83
Gambar Lamp. F. 1. Animasi medan listrik antena DGS	84
Gambar Lamp. F. 2. Animasi medan listrik antena tanpa DGS	84

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1. Spesifikasi substrat yang digunakan	22
Tabel 3. 2. Karakteristik saluran catu antenna referensi	22
Tabel 4. 1. Hasil pengukuran <i>port</i> tunggal antenna referensi dan antenna dengan DGS	39
Tabel 4. 2. Hasil pengukuran gain untuk antenna mikrostrip <i>array</i> linier dengan DGS	43
Tabel 4. 3 Perbandingan kesalahan relatif antara antenna referensi dan antenna dengan DGS	50
Tabel Lamp. D. 1. Pola radiasi E-Co	63
Tabel Lamp. D. 2. Pola radiasi H-Co	64
Tabel Lamp. D. 3. Pola radiasi E-Cross	65
Tabel Lamp. D. 4. Pola radiasi H-Cross	66
Tabel Lamp. D. 5. Pola radiasi E-Co	67
Tabel Lamp. D. 6. Pola radiasi H-Co	68
Tabel Lamp. D. 7. Pola radiasi E-Cross	70
Tabel Lamp. D. 8. Pola radiasi H-Cross	70
Tabel Lamp. D. 9. Pengukuran daya kombinasi antenna G1+G2	75
Tabel Lamp. D. 10. Pengukuran daya kombinasi antenna G1+G3	75
Tabel Lamp. D. 11. Pengukuran daya kombinasi antenna G2+G3	75
Tabel Lamp. D. 12. Perhitungan lanjutan	76
Tabel Lamp. D. 13. Hasil pengukuran <i>gain</i>	76
Tabel Lamp. D. 14. Pengukuran <i>axial ratio</i> antenna referensi	77
Tabel Lamp. D. 15. Pengukuran <i>axial ratio</i> antenna DGS	77
Tabel Lamp. D. 16. Pengukuran <i>axial ratio</i> antenna DGS	79
Tabel Lamp. E. 1. Konfigurasi dimensi ukuran <i>slot</i> DGS	81
Tabel Lamp. E. 2. Konfigurasi perubahan posisi <i>slot</i> DGS pada arah vertikal	82

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Antena merupakan suatu bagian yang tidak dapat dipisahkan dari sistem telekomunikasi nirkabel saat ini. Saat ini banyak permintaan dari sistem telekomunikasi bergerak yang menuntut adanya aplikasi yang dapat meningkatkan kinerja dari antena. Disebabkan oleh kebutuhan akan antena yang memiliki performa yang tinggi maka teknologi dalam perancangan antena juga harus semakin meningkat. Antena mikrostrip merupakan salah satu jenis antena yang dapat memenuhi kebutuhan ini.

Antena mikrostrip memiliki beberapa kelebihan jika dibandingkan dengan antena jenis lain, yaitu bentuknya yang tipis dan kecil, memiliki bobot yang ringan, mudah untuk difabrikasi, dapat membangkitkan polarisasi linear dan polarisasi melingkar hanya dengan menggunakan pencatuan yang sederhana, mudah untuk diintegrasikan dengan divais elektronika lain, dan harga yang relatif murah [1]. Akan tetapi antena mikrostrip ini juga memiliki beberapa kelemahan, yaitu *gain* rendah, *bandwidth* rendah, efisiensi rendah, dan timbulnya gelombang permukaan

Salah satu kelemahan antena mikrostrip adalah gelombang permukaan. Gelombang permukaan ini biasanya tidak diinginkan karena dapat mengurangi daya yang tersedia untuk diradiasikan ke udara [2]. Gelombang permukaan terjadi pada saat antena mikrostrip meradiasikan gelombang ke udara, namun ada gelombang yang terjebak di dalam substrat dan membentuk gelombang permukaan.

Gelombang permukaan ini dapat meningkatkan jumlah *sidelobe*, dapat mengurangi efisiensi dari antena, mengurangi *gain* antena, membatasi *bandwidth*, meningkatkan *cross polarization*, dan membatasi rentang frekuensi kerja dari antena mikrostrip [1]. Salah satu cara untuk menekan gelombang permukaan adalah dengan menggunakan teknik *Defected Ground Structure* (DGS). DGS ini

diimplementasikan dengan cara mencacatkan bidang *ground* pada antena mikrostrip dengan cara di-*etching*.

Pada antena susun mikrostrip, *surface wave* atau gelombang permukaan mempunyai efek yang sangat besar antar elemen *array* yang dapat menyebabkan *mutual coupling*. *Mutual coupling* ini dapat mengakibatkan penurunan performansi antena, seperti VSWR, *return loss*, dan efisiensi antena [2].

Pada skripsi ini dirancang *slot* DGS berbentuk *dumbbell square-head* pada *ground plane* untuk menekan gelombang permukaan sehingga dapat memperbaiki karakteristik antena referensi [3]. Antena mikrostrip pada perancangan ini menggunakan $\epsilon_r > 1$ maka antena ini memiliki kecenderungan untuk mengalami efek gelombang permukaan terutama *mutual coupling* karena merupakan antena mikrostrip *array*.

1.2 TUJUAN PENELITIAN

Tujuan penulisan adalah rancang bangun *Defected Ground Structure* (DGS) bentuk *dumbell square-head* untuk perbaikan antena mikrostrip *patch* segitiga *array* linier.

1.3 BATASAN MASALAH

Permasalahan dibatasi pada penelitian antena *patch* segitiga *array* linier yang diberi sebuah *slot* DGS berbentuk *dumbbell square-head* pada bidang *ground* antena. Karakteristik antena yang diperhatikan adalah nilai *return loss*, VSWR, dan *gain* yang lebih baik dibandingkan dengan antena referensi [3] dengan menggunakan teknik DGS berbentuk *dumbbell square-head*. Antena akan bekerja pada frekuensi sekitar 2,61 GHz dengan VSWR < 2, dan *axial ratio* < 3 dB.

Pengamatan terhadap perbaikan karakteristik antena dengan menggunakan teknik DGS dapat dilihat melalui grafik *return loss*, *axial ratio*, *mutual coupling* dan VSWR yang dihasilkan dengan bantuan perangkat lunak *Microwave Office 2004*.

1.4 SISTEMATIKA PENULISAN

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

Bab 1 Pendahuluan

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

Bab 2 Landasan Teori

Bagian ini berisi akan teori-teori dasar yang digunakan pada perancangan, yaitu mengenai antena mikrostrip, analisa metode *cavity*, parameter umum antena, pencatuan *electromagnetic coupled*, antena mikrostrip berbentuk persegi panjang, teknik-teknik untuk membuat antena *multi-frequency*, gelombang permukaan, serta *Defected Ground Structure (DGS)*.

Bab 3 Metodologi Perancangan Antena dan Metodologi Simulasi

Bagian ini berisi penjelasan mengenai perlengkapan yang dibutuhkan dalam perancangan, substrat yang dibutuhkan, penentuan dimensi antena, dan prosedur perancangan serta algoritma seluruh prosedur penelitian dalam bentuk diagram alir.

Bab 4 Hasil Simulasi dan Analisis Hasil Simulasi

Bagian ini membahas hasil simulasi, prosedur pengukuran parameter antena, hasil pengukuran, beberapa perhitungan hasil pengukuran, serta analisis dari hasil simulasi dan hasil pengukuran dari antena yang telah dibuat.

Bab 5 Penutup

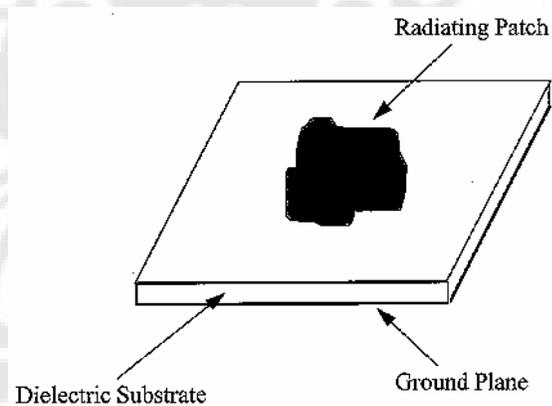
Bagian ini berisi kesimpulan dari keseluruhan penulisan skripsi.

BAB II

ANTENA MIKROSTRIP DAN *DEFECTED GROUND* *STRUCTURE (DGS)*

2.1. ANTENA MIKROSTRIP

Antena mikrostrip merupakan salah satu dari berbagai jenis antena yang ada saat ini. Ide dari antena mikrostrip mulai berkembang sejak tahun 1953 dan telah dipatenkan sejak tahun 1955 [1] namun baru mulai mendapatkan perhatian yang serius sejak tahun 1970-an [1,4]. Antena mikrostrip ini telah diaplikasikan pada berbagai bidang seperti komunikasi satelit, komunikasi radar, militer, aplikasi bergerak, dan kesehatan [1,4]. Struktur dasar dari antena mikrostrip terdiri dari 3 elemen lapisan (Gambar 2.1), yaitu elemen peradiasi (*radiating patch*), substrat (*dielectric substrate*), dan elemen pentanahan (*ground plane*).



Gambar 2. 1. Struktur dasar antena mikrostrip [2]

Elemen peradiasi atau *patch* berfungsi untuk meradiasikan gelombang elektromagnetik. Lapisan substrat merupakan bagian dielektrik yang membatasi elemen peradiasi dengan elemen pentanahan. Bagian ini memiliki nilai konstanta dielektrik (ϵ_r) dimana nilai dari konstanta dielektrik ini mempengaruhi frekuensi

kerja, efisiensi, dan juga *bandwidth* dari antenna. Elemen yang terakhir yaitu elemen *ground* atau pentanahan bagi sistem antenna mikrostrip.

Saat ini telah dikembangkan berbagai macam bentuk *patch* dari antenna mikrostrip, seperti segiempat (*rectangular*), segitiga, lingkaran, cincin (*ring*), elips, dan lain-lain. Bentuk *patch* yang paling sering digunakan yaitu *patch* yang berbentuk segiempat dan lingkaran. Hal ini disebabkan oleh bentuk *patch* ini mudah dalam analisis dan fabrikasi, serta memiliki *cross polarization* yang rendah [2].

Antena mikrostrip memiliki beberapa keuntungan dibandingkan dengan antenna jenis lainnya baik dari segi fisik maupun dari segi ekonomi, yaitu antenna mikrostrip ini memiliki dimensi yang kecil, lebih tipis, lebih kecil, dan lebih ringan, biaya fabrikasi yang murah, dengan pencatutan yang sederhana dapat membangkitkan polarisasi linear dan lingkaran, dan sebagainya [2]. Disamping segala kelebihan yang dimiliki oleh antenna mikrostrip, terdapat juga beberapa keterbatasan, yaitu *gain* yang lebih rendah (-6dB), *bandwidth* yang sempit, dan sebagainya [1]. *Bandwidth* yang sempit dapat diperbaiki dengan berbagai cara, salah satunya yaitu dengan menambah ketebalan dari substrat. Namun hal ini akan berpengaruh terhadap timbulnya gelombang permukaan (*surface wave*) [2].

2.2. MODEL CAVITY

Antena mikrostrip merupakan antenna yang memiliki pita resonansi yang sempit. Keadaan ini dapat disebut sebagai *lossy cavities*.

Beberapa dasar dari asumsi model *cavity* ini adalah berdasarkan observasi dari substrat tipis ($h \ll \lambda_0$) [1]:

- a. Medan di daerah interior tidak berubah terhadap z ($\partial/\partial z \equiv 0$) karena substrat sangat tipis ($h \ll \lambda_0$).
- b. Medan elektrik E_z hanya muncul pada arah z saja, dan medan magnetis hanya ada komponen transversnya saja (H_x dan H_y) pada daerah yang dibatasi oleh *patch* dan bidang petanahan (*ground*).
- c. *Patch* arus listrik tidak mempunyai komponen normal pada ujung metal, yang juga menyatakan bahwa komponen tangensial dari \vec{H}

sepanjang sisi diabaikan, dan dinding medan magnet ditempatkan pada sisi luar. ($\partial E_z / \partial n = 0$).

Model *cavity* ini menggunakan persamaan *Maxwell* [5]. Adapun persamaan *Maxwells* untuk daerah di bawah *patch* adalah sebagai berikut :

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

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

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

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

dimana :

- E = medan elektrik
- H = medan magnetik
- ε = permitivitas dari substrat
- μ_0 = permeabilitas substrat
- J = rapat arus

2.3. PARAMETER UMUM ANTENA MIKROSTRIP

2.3.1. VSWR (*Volt Standing Wave Ratio*)

VSWR adalah perbandingan antara amplitudo gelombang berdiri (*standing wave*) maksimum dengan minimum [8]. Ada dua komponen gelombang tegangan pada saluran transmisi, yaitu tegangan yang dikirimkan (V_0^+) dan tegangan yang direfleksikan (V_0^-). Perbandingan antara tegangan yang direfleksikan dengan tegangan yang dikirimkan disebut sebagai koefisien refleksi tegangan (Γ) [7]:

$$\Gamma = \frac{V_0^-}{V_0^+} = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} \quad \dots\dots\dots(2.14)$$

dimana :

- Z_L : impedansi beban (*load*)
- Z_0 : impedansi saluran *lossless*.

Koefisien refleksi tegangan (Γ) memiliki nilai kompleks, yang merepresentasikan besarnya magnitudo dan fasa dari refleksi. Untuk beberapa kasus yang sederhana, ketika bagian imajiner dari Γ adalah nol, maka [8]:

- $\Gamma = -1$: 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.

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

Rumus untuk mencari nilai VSWR adalah [8]:

$$S = \frac{|V_{\max}|}{|V_{\min}|} = \frac{1+|\Gamma|}{1-|\Gamma|} \quad \dots\dots\dots(2.15)$$

2.3.2. Impedansi Masukan

Impedansi masukan didefinisikan sebagai impedansi pada terminal antena atau perbandingan tegangan terhadap arus pada terminal atau perbandingan dari komponen-komponen bersesuaian dari medan elektrik terhadap medan magnetik pada suatu titik [2].

$$Z_A = R_A + jX_A \quad \dots\dots\dots(2.16)$$

$$R_A = R_r + R_L \quad \dots\dots\dots(2.17)$$

dimana :

Z_A = impedansi antena

R_A = resistansi antena

X_A = reaktansi antena

R_r = resistansi radiasi (tahanan pancar)

R_L = tahanan ohmik

Impedansi masukan ini bervariasi untuk nilai posisi tertentu [8].

$$Z_{in}(z) = \frac{\tilde{V}(z)}{\tilde{I}(z)} = \frac{V_0^+[e^{-j\beta z} + \Gamma e^{j\beta z}]}{V_0^+[e^{-j\beta z} - \Gamma e^{j\beta z}]} Z_0 = Z_0 \left[\frac{1 + \Gamma e^{j2\beta z}}{1 - \Gamma e^{j2\beta z}} \right] \quad \dots\dots\dots(2.18)$$

Dimana $Z_{in}(z)$ merupakan perbandingan antara jumlah tegangan (tegangan masuk dan tegangan refleksi) terhadap jumlah arus pada setiap titik z pada saluran, berbeda dengan karakteristik impedansi saluran (Z_0) yang berhubungan dengan tegangan dan arus pada setiap gelombang.

Pada saluran transmisi, nilai z diganti dengan nilai $-l$ ($z = -l$), sehingga persamaan di atas menjadi [8]:

$$Z_{in}(-l) = \frac{\tilde{V}(l)}{\tilde{I}(l)} = \frac{V_0^+[e^{j\beta l} + \Gamma e^{-j\beta l}]}{V_0^+[e^{j\beta l} - \Gamma e^{-j\beta l}]} Z_0 = Z_0 \left[\frac{1 + \Gamma e^{-j2\beta l}}{1 - \Gamma e^{-j2\beta l}} \right] = Z_0 \left(\frac{Z_L \cos \beta l + jZ_0 \sin \beta l}{Z_0 \cos \beta l + jZ_L \sin \beta l} \right) \dots\dots\dots(2.19)$$

2.3.3. Keterarahan (*Directivity*)

Keterarahan dari sebuah antena didefinisikan sebagai perbandingan intensitas radiasi pada arah tertentu terhadap intensitas radiasi rata-rata pada semua arah. Intensitas radiasi rata-rata sama dengan total daya yang diradiasikan oleh antena dibagi 4π . Jika arah tidak ditentukan, arah dari intensitas radiasi maksimum merupakan arah yang dimaksud. Keterarahan tersebut dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut [2] :

$$D = \frac{U}{U_0} = \frac{4\pi U}{P_{rad}} \dots\dots\dots(2.20)$$

Jika arah tidak ditentukan, keterarahan dinyatakan dengan intensitas maksimum radiasi yang dapat dinyatakan ke dalam persamaan berikut [2] :

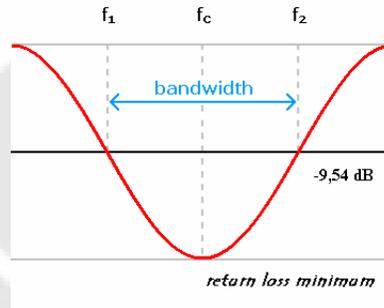
$$D_{max} = D_0 = \frac{U_{max}}{U_0} = \frac{4\pi U_{max}}{P_{rad}} \dots\dots\dots(2.21)$$

dimana :

- D = keterarahan
- D_0 = keterarahan maksimum
- U = intensitas radiasi
- U_{max} = intensitas radiasi maksimum
- U_0 = intensitas radiasi pada sumber isotropik
- P_{rad} = daya total radiasi

2.3.4. Bandwidth

Bandwidth dari suatu antenna didefinisikan sebagai rentang frekuensi dimana kinerja dari antenna yang berhubungan dengan beberapa karakteristik seperti impedansi masukan, *beamwidth*, polarisasi, penguatan (*gain*), keterarahan (*directivity*), efisiensi radiasi memenuhi spesifikasi standar [2].



Gambar 2. 2. Rentang frekuensi yang menjadi bandwidth [9]

Besarnya *bandwidth* dapat dinyatakan dalam persentase *bandwidth* dengan menggunakan persamaan:

$$BW = \frac{f_2 - f_1}{f_c} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(2.22)$$

dimana:

BW = *bandwidth* antenna (%)

f_2 = frekuensi tertinggi (Hz)

f_1 = frekuensi terendah (Hz)

f_c = frekuensi tengah (Hz)

Ada beberapa jenis *bandwidth* yang berkaitan dengan antenna mikrostrip, yaitu [10] :

- *Impedance bandwidth*, yaitu rentang frekuensi dimana *patch* antenna berada dalam kondisi *match* dengan saluran pencatu. Hal ini terjadi karena impedansi dari *patch* dan saluran pencatu nilainya bervariasi tergantung pada nilai frekuensi. Kondisi *matching* dari suatu antenna dapat dilihat dari nilai *return loss* atau VSWR. *Impedance bandwidth* dapat didefinisikan sebagai rentang frekuensi dimana nilai *return loss* dan VSWR masih dianggap baik, yaitu kurang dari -9,45 dB untuk *return loss* dan kurang dari 2 untuk VSWR.

- *Pattern bandwidth*, yaitu rentang frekuensi dimana *beamwidth*, *sidelobe* atau *gain* memenuhi nilai tertentu. Nilai ini bervariasi menurut frekuensi dan harus ditentukan pada awal perancangan antenna agar nilai *bandwidth* dapat dicari.
- *Polarization* atau *axial ratio bandwidth*, yaitu Rentang frekuensi dimana polarisasi (linear atau lingkaran) masih terjadi. Nilai *axial ratio* untuk polarisasi melingkar adalah kurang dari 3 dB.

2.3.5. Penguatan (*Gain*)

Penguatan atau *gain* dari sebuah antenna berkaitan erat dengan keterarahan atau *directivity*, yaitu merupakan suatu besaran yang berhubungan dengan efisiensi dari antenna dan kemampuan direksionalnya [2].

Ada dua jenis parameter penguatan atau *gain*, yaitu *absolute gain* dan *relative gain*. *Absolute gain* didefinisikan sebagai perbandingan dari intensitas pada arah tertentu terhadap intensitas radiasi yang diperoleh pada saat daya yang diterima oleh antenna diradiasikan secara isotropik. Intensitas radiasi yang berhubungan dengan daya yang diradiasikan secara isotropik sama dengan daya yang diterima oleh antenna dibagi dengan 4π . Dapat dituliskan ke dalam persamaan berikut [2] :

$$Gain = 4\pi \frac{\text{intensitas radiasi}}{\text{daya input total}} = 4\pi \frac{U(\theta, \phi)}{P_{in}} \dots\dots\dots(2.23)$$

Relative gain didefinisikan sebagai perbandingan dari *gain* pada suatu arah tertentu terhadap *gain* dari antenna referensi dalam arah referensinya. Daya masukan harus sama untuk kedua antenna. Antenna referensi biasanya berbentuk *dipole*, *horn*, dan antenna lainnya yang *gain*-nya dapat dihitung ataupun telah diketahui. Dapat dituliskan ke dalam persamaan berikut [2] :

$$G_g(\theta, \phi) = \eta D_g(\theta, \phi) \dots\dots\dots(2.24)$$

$$G_0 = G_g(\theta, \phi)|_{\max} = \eta D_0 \dots\dots\dots(2.25)$$

dimana :

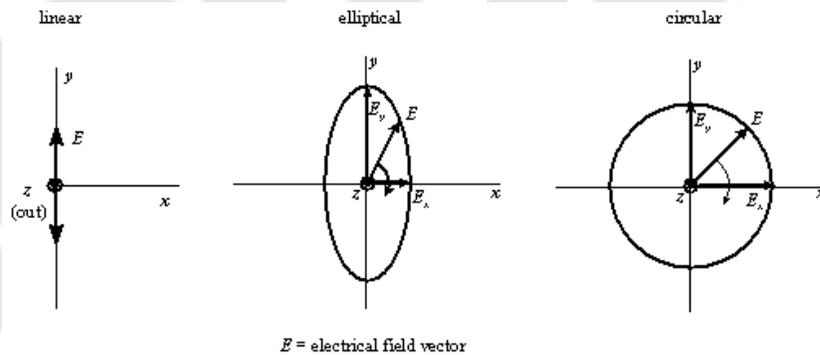
G_g = *gain* direktif

G_0 = *gain* (dB)

η = efisiensi (%)

2.5. POLARISASI ANTENA

Polarisasi antenna pada suatu arah tertentu didefinisikan sebagai polarisasi dari gelombang yang ditransmisikan atau diradiasikan oleh sebuah antenna [2]. Jika arah tidak ditentukan maka polarisasi merupakan pada arah *gain* bernilai maksimum. Polarisasi menggambarkan bentuk vektor medan \mathbf{E} dari gelombang yang berjalan pada suatu titik sebagai fungsi waktu [11]. Ada tiga macam polarisasi antenna, yaitu polarisasi *linear* (linear), *circular* (melingkar), dan *elliptical* (elips) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.3



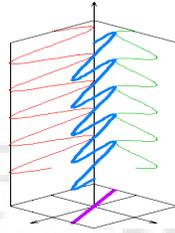
Gambar 2. 3. Beberapa bentuk polarisasi [10]

2.5.1. Polarisasi Linear

Polarisasi linier terjadi ketika ada gelombang merambat pada satu arah dengan beda fasa antar vektor E sebesar $\delta=0^\circ$ (*in phase*) atau $\delta =180^\circ$ (*out of phase*) [11].

Suatu gelombang yang berubah menurut waktu akan terpolarisasi linear pada suatu titik dalam suatu ruang apabila vektor medan elektrik atau medan magnet pada titik tersebut selalu berorientasi pada garis lurus yang sama setiap waktu. Hal ini dapat terjadi apabila vektor medan listrik maupun magnet memenuhi [2]:

- Hanya ada satu komponen, atau
- 2 komponen yang tegak lurus secara linear dengan beda fasa 180° atau kelipatannya.



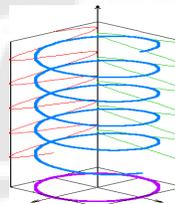
Gambar 2. 4. Polarisasi linear [9]

2.5.2. Polarisasi Melingkar

Polarisasi melingkar dibagi menjadi dua, yaitu *Left Hand Circular Polarization* (LHCP) dan *Right Hand Circular Polarization* (RHCP). LHCP terjadi ketika $\delta = +\pi/2$, sebaliknya RHCP terjadi ketika $\delta = -\pi/2$ [11].

Suatu gelombang yang berubah menurut waktu akan terpolarisasi melingkar pada suatu titik dalam suatu ruang apabila vektor medan listrik atau medan magnet pada titik tersebut berada pada jalur lingkaran sebagai fungsi waktu. Kondisi yang harus dipenuhi untuk mencapai jenis polarisasi ini, yaitu [2]:

- Medan harus memiliki dua buah komponen yang tegak lurus secara linear.
- Kedua komponen tersebut harus memiliki magnitudo yang sama.
- Kedua kompone tersebut harus memiliki beda fasa waktu pada kelipatan ganjil 90^0 .



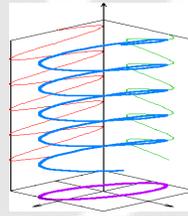
Gambar 2. 5. Polarisasi melingkar [9]

2.5.3. Polarisasi Eliptis

Polarisasi elips (Gambar 2.6) terjadi ketika gelombang yang berubah menurut waktu memiliki vektor medan (elektrik atau magnet) berada pada jalur kedudukan elips pada ruang. Kondisi yang harus dipenuhi untuk mencapai polarisasi ini, yaitu [2] :

- Medan harus memiliki dua komponen yang saling tegak lurus secara linear.

- b. Kedua komponen tersebut berada pada magnitudo yang sama atau berbeda.
- c. Jika kedua komponen tidak berada pada magnitudo yang sama, maka beda fasa antara keduanya tidak boleh bernilai 0^0 atau kelipatan 180^0 (karena akan menjadi linear). Jika kedua berada pada magnitudo yang sama, maka beda fasa antara kedua komponen tersebut tidak boleh bernilai kelipatan ganjil dari 90^0 (karena akan menjadi lingkaran).



Gambar 2. 6. Polarisasi Eliptis [9]

2.6. TEKNIK PENCATUAN

Ada beberapa konfigurasi pencatuan yang dapat digunakan pada antena mikrostrip. Namun ada empat yang paling sering digunakan yaitu, *microstrip line*, *coaxial probe*, *aperture coupling*, dan *proximity coupling* [2].

Teknik pencatuan *microstrip line* merupakan metode yang paling mudah digunakan. Pada teknik pencatuan *microstrip line* ini saluran pencatu berada pada lapisan yang sama dengan elemen peradiasi. Saluran pencatu berada pada lapisan yang sama dengan elemen peradiasi dan pada umumnya pencatu memiliki lebar yang lebih sempit dibandingkan elemen peradiasi. Keuntungan dari pencatuan *microstrip line* ini antara lain mudah untuk difabrikasi, *matching* mudah dilakukan hanya dengan mengubah letak *inset*, dan memiliki bentuk yang sederhana [1]. Selain itu, teknik pencatuan ini juga menghemat bahan karena hanya menggunakan substrat saja, yaitu substrat yang sama dengan substrat digunakan untuk meletakkan *patch* dibandingkan dengan teknik pencatuan lain seperti *electromagnetic coupled* yang memerlukan *double* substrat [1]. Kekurangan dari teknik pencatuan ini adalah semakin tebal substrat yang digunakan maka akan memperbesar radiasi dari saluran catu yang efeknya akan membatasi *bandwidth* antena (2-5%) [2].

2.6.1. Karakteristik Saluran Mikrostrip (*microstrip line*) untuk $W/h < 1$ [5]

Konstanta dielektrik efektif (ϵ_{eff})

$$\epsilon_{ff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[\frac{1}{\sqrt{1 + 12h/W}} + 0.04 \left(1 - \frac{W}{h} \right)^2 \right] \dots\dots\dots(2.26)$$

Dan karakteristik impedansi

$$Z_0 = \frac{60}{\sqrt{\epsilon_{ff}}} \ln \left(\frac{8h}{w} + \frac{w}{4h} \right) \dots\dots\dots(2.27)$$

2.6.2. Karakteristik Saluran Mikrostrip (*microstrip line*) untuk $W/h > 1$ [5]

Konstanta dielektrik efektif (ϵ_{eff})

$$\epsilon_{ff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[\frac{1}{\sqrt{1 + 12h/W}} \right] \dots\dots\dots(2.28)$$

Dan karakteristik impedansi

$$Z_0 = \frac{120\pi / \sqrt{\epsilon_{ff}}}{W/h + 1.393 + 2/3 \ln(W/h + 1.44)} \dots\dots\dots(2.29)$$

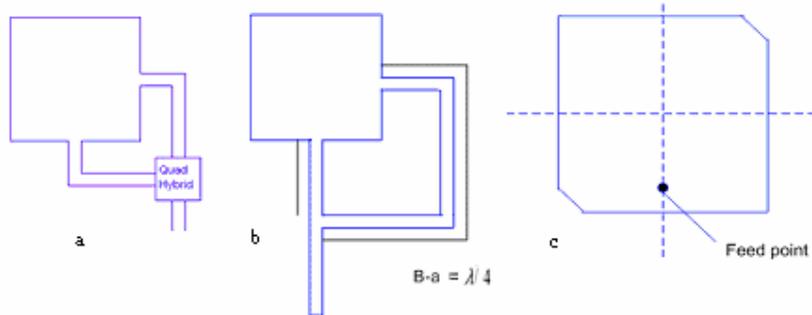
2.7. PENCATUAN POLARISASI LINGKARAN

Prinsip untuk membangkitkan polarisasi melingkar pada antenna mikrostrip adalah menciptakan mode arus yang tegak lurus di dalam *patch* secara simultan dengan amplitudo yang sama dan berbeda fase 90° [1]. Ada dua metode yang dapat dilakukan untuk dapat membangkitkan polarisasi melingkar pada antenna mikrostrip, yaitu pencatuan ganda (*dual feed*) dan pencatuan tunggal (*single feed*).

Polarisasi melingkar dapat dihasilkan dengan menggunakan pencatuan ganda yang saling tegak lurus (*dual orthogonal feed*) atau memiliki beda fasa 90° antara yang satu dengan yang lainnya. Untuk mendapatkan perbedaan fasa sebesar itu dapat dilakukan dengan berbagai cara, seperti *quadrature hybrid* atau *phase shifter*. Selain itu, untuk dapat memperoleh beda fasa sebesar 90° dapat dilakukan dengan cara mengatur saluran catu sehingga selisih panjangnya sebesar $\lambda/4$.

Selain dengan menggunakan pencatuan ganda, polarisasi melingkar juga dapat dibangkitkan dengan menggunakan pencatuan tunggal. Pada umumnya,

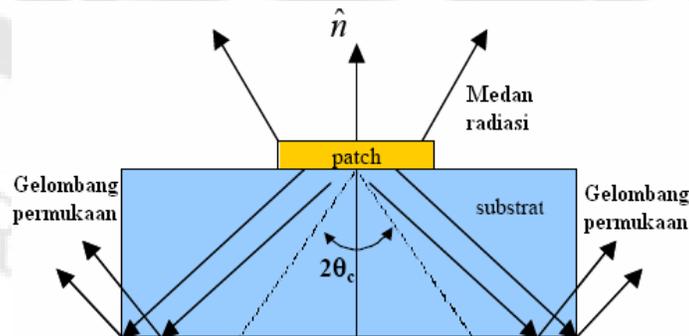
patch dengan saluran pencatu tunggal akan menghasilkan polarisasi linier. Untuk menghasilkan polarisasi melingkar maka perlu dibangkitkan dua mode arus yang tegak lurus dengan amplitudo yang sama dan berbeda *phase* 90° [1]. Salah satu caranya adalah memberikan sedikit perturbasi/gangguan pada *patch* sehingga membangkitkan arus yang berbeda fasa sebesar 90° , maka polarisasi melingkar akan didapatkan [13]. Gambar 2.7 menunjukkan beberapa teknik pencatuan untuk menghasilkan polarisasi melingkar, baik ganda ((a) dan (b)) maupun tunggal (c).



Gambar 2. 7. (a) Pencatuan ganda dengan *quadrature hybrid*, (b) Pencatuan ganda dengan selisih panjang saluran satu $\lambda/4$, (c) Pencatuan tunggal dengan perturbasi

2.8. GELOMBANG PERMUKAAN (*SURFACE WAVE*)

Gelombang permukaan dibangkitkan pada antena mikrostrip ketika substrat memiliki konstanta dielektrik sebesar $\epsilon_r > 1$. Selain radiasi *end-fire*, gelombang permukaan juga meningkatkan kopling diantara beberapa susunan elemen [1]. Gelombang permukaan dapat dilihat pada Gambar 2.10.



Gambar 2. 8. Propagasi dari gelombang permukaan pada substrat [14]

Ketika *patch* peradiasi dari antena 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 θ_c ($\theta_c = \text{Arc sin}(1/\sqrt{\epsilon_r})$) [1]. Gelombang ini terjadi pada bidang pentanahan (*ground plane*) dengan sudut tertentu dan kemudian direfleksikan ke perbatasan dielektrik-udara. Dari perbatasan dielektrik-udara ini gelombang tersebut akan direfleksikan lagi sehingga akan terbentuk jalur *zigzag* dan akhirnya akan mencapai batas dari struktur mikrostrip, dimana gelombang ini akan direfleksikan kembali dan dibelokkan oleh ujung yang akan menyebabkan meningkatnya radiasi *end-fire*. Pada saat menuju kebatas struktur, jika ada antena lain yang berdekatan dengan antena ini maka gelombang permukaan ini akan membentuk *gandengan* (*coupled*) [1]. Karena penurunan gelombang permukaan bernilai $1/\sqrt{r}$, maka *gandengan* (*coupled*) akan menurun ketika berada semakin jauh dari titik eksitasi [1].

2.9. DEFECTED GROUND STRUCTURE (DGS)

Propagasi gelombang permukaan merupakan masalah yang serius pada antena mikrostrip. Gelombang permukaan mereduksi efisiensi gain, membatasi *bandwidth*, meningkatkan radiasi *end-fire*, meningkatkan tingkat *cross-polarization*, membatasi rentang frekuensi, serta meningkatkan *mutual coupling* pada antena *array*. Dengan kata lain, terdapat halangan untuk memperkecil dimensi antena mikrostrip dengan integrasinya dengan rangkaian mikrostrip lainnya karena untuk mencapai keadaan itu dibutuhkan konstanta dielektrik yang sangat besar dan beresiko terhadap timbulnya gelombang permukaan.

Dua solusi yang dapat ditawarkan untuk mengatasi permasalahan ini, yaitu teknologi *micromachining* di mana substrat di bawah elemen peradiasi dihilangkan untuk memperkecil nilai efektif konstanta dielektrik; dan *photonic bandgap* (PBG) yaitu suatu metode dimana substrat diberi beban secara periodik sehingga pancaran gelombang permukaan membentuk rentang frekuensi terlarang di sekitar frekuensi operasi antena [1]. Oleh karena gelombang permukaan tidak dapat berpropagasi sepanjang substrat, sejumlah besar daya yang teradiasi saling menggandeng ke udara. Juga, *gandengan* gelombang permukaan lain seperti

mutual coupling antara elemen *array* sekarang tidak ada lagi [1]. PBG merupakan salah satu teknik pengembangan dari *Electromagnetic Bandgap* (EBG).

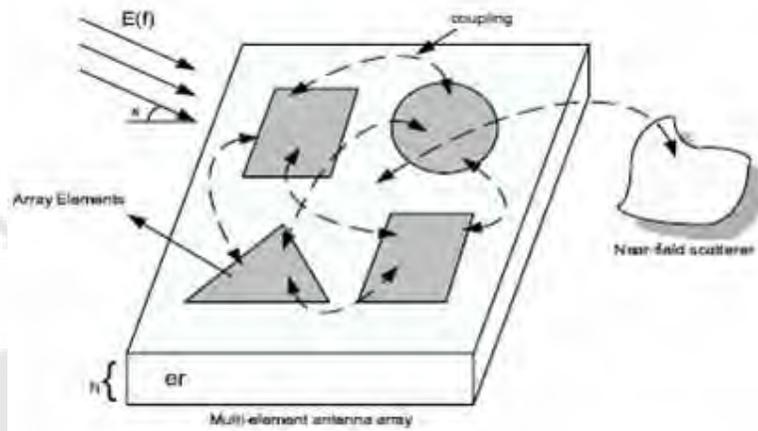
Salah satu teknik pengembangan dari EBG (*Electromagnetic Bandgap*) yang telah banyak diteliti adalah *Defected Ground Structure* (DGS). DGS telah diaplikasikan untuk menekan radiasi *cross-polarized* dari *patch* antena [15], menekan harmonisasi [16], dan sebagainya.

Defected Ground Structure (DGS) merupakan salah satu cara EBG pada untuk menekan gelombang permukaan yang sering dipakai pada antena mikrostrip. Teknik DGS dilakukan dengan cara meng-*etch* daerah *ground* pada substrat. Teknik ini mempunyai keunggulan dibandingkan dengan teknik PBG, yaitu DGS tidak memerlukan pembuatan lubang pada substrat dan cukup dengan meng-*etch* bagian *ground* saja. Dengan kata lain, di bagian *ground* dari antena mikrostrip dibuat *slot*. Hal ini tentu saja mempermudah fabrikasi.

Sekarang ini ada beberapa bentuk *slot* (elemen) DGS yang sudah dikembangkan, diantaranya lingkaran [15], segiempat [16]. Pengembangan terhadap bentuk ini terus dilakukan dan masih terdapat banyak lagi modifikasi dari bentuk-bentuk standar yang sudah ada sekarang ini.

2.10. 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 ke arah yang berbeda seperti suatu *transmitter* yang baru [2]. 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* dan koefisien refleksi



Gambar 2. 9. *Coupling* pada antenna array [18]

BAB III

METODOLOGI PERANCANGAN DAN METODOLOGI PENGUKURAN ANTENA

3.1. UMUM

Antena yang digunakan pada skripsi ini merupakan antena mikrostrip *array* linier *patch* segitiga sama kaki dengan *slot* “Y”. *Slot* DGS diterapkan pada bidang *ground* untuk memperbaiki level *return loss* antena.

Pengukuran antena dilakukan di Laboratorium Telekomunikasi lantai 4 gedung Departemen Elektro FTUI, tepatnya pada *Anechoic Chamber*. *Anechoic Chamber* berguna untuk mengurangi efek gelombang elektromagnetik di ruang terbuka dan meminimalisir efek pantulan antena yang diukur.

3.2. PERLENGKAPAN YANG DIGUNAKAN

Perlengkapan yang digunakan terdiri dari perangkat lunak dan perangkat keras. Perangkat lunak digunakan untuk melakukan simulasi dan untuk mengetahui karakteristik antena. Sedangkan perangkat keras digunakan untuk fabrikasi dan pengukuran.

3.2.1. Perangkat Lunak

- a. Perangkat lunak *AWR Microwave Office 2004*, untuk mensimulasikan antena.
- b. Perangkat lunak *Microsoft Visio 2003*, untuk menggambar rancangan antena hasil simulasi *software* MWO sesuai dengan ukuran sebenarnya.
- c. Perangkat lunak *Microsoft Excel 2003*, untuk menghitung persamaan sistematis.

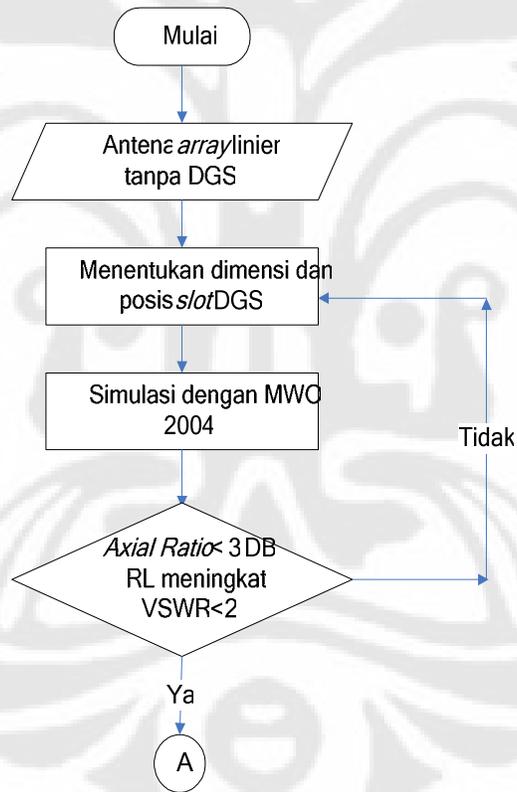
3.2.2. Perangkat Keras

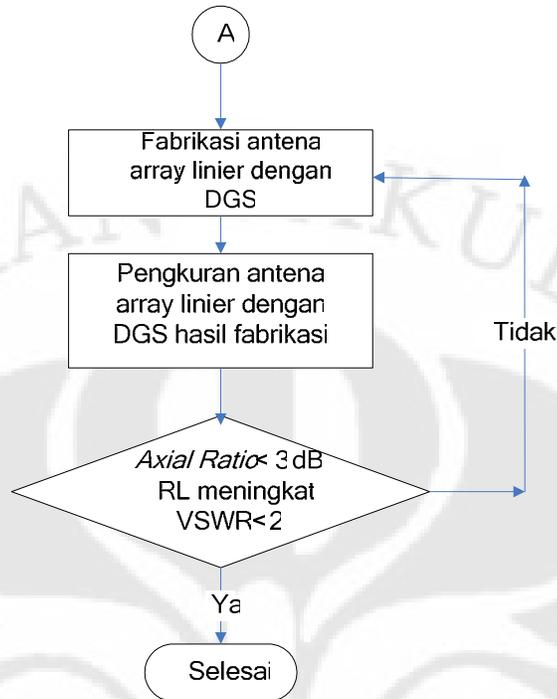
- a. *Network Analyzer Hewlett Packard 8753E* (30 KHz-6 GHz) yang digunakan untuk mengukur karakteristik antena, seperti *return loss*, *VSWR*, impedansi masukan, *bandwidth*, frekuensi resonansi, dan pola radiasi.

- b. *Power Meter Aritsu ML83A* dan *Power Sensor Aritsu MA72B* yang digunakan untuk mengukur daya keluaran absolut.
- c. Substrat mikrostrip Taconic TLY-5-0620-CH/CH.
- d. Kabel *coaxial* 50 Ohm untuk pencatu.
- e. *Probe* dan konektor dengan impedansi karakteristik 50 Ohm.

3.3. DIAGRAM ALIR PERANCANGAN ANTENA

Ada beberapa tahapan-tahapan yang diperlukan dalam proses perancangan. Gambar 3.1 merupakan gambar diagram alir (*flowchart*) dari perancangan antenna skripsi ini.





Gambar 3. 1. Diagram alir perancangan dan fabrikasi antenna array linear dengan *slot* DGS

Berikut ini adalah langkah-langkah perancangan antenna :

1. Antena *array* linier tanpa DGS merupakan antenna referensi dari [3], yang memiliki konstanta dielektrik sebesar 2.2 dan ketebalan 0.061 inchi (1.57 mm). Pada [3] diketahui bahwa antenna bekerja pada frekuensi 2.61 GHz serta hasil simulasi antenna tersebut.
2. Untuk merancang antenna linier pada [3] dengan tambahan *slot* DGS, hal pertama yang dilakukan adalah menentukan dimensi *slot* yang akan dipakai dan kemudian dilakukan penempatan *slot* DGS.
3. Setelah itu dilakukan simulasi dengan menggunakan AWR *Microwave Office* 2004 untuk mengetahui karakteristik antenna, yaitu nilai *return loss*, *VSWR*, *axial ratio*, impedansi masukan, dan pola radiasi. Proses ini dilakukan dengan melakukan iterasi penempatan *slot* DGS. Langkah ini berakhir ketika nilai *return loss* antenna *array* linier dengan *slot* DGS lebih baik daripada antenna *array* linier tanpa DGS.
4. Fabrikasi antenna *array* linier tanpa DGS dan antenna *array* linier dengan DGS.
5. Melakukan pengukuran *port* tunggal, hingga didapatkan karakteristik yang diinginkan.

3.4. PERANCANGAN ANTENA

3.4.1. Dimensi Antena Array Linier Tanpa DGS

Sebelum perancangan *slot* DGS pada antena referensi, perlu diketahui rancangan antena referensi. Tabel 3.1 merupakan tabel spesifikasi substrat referensi dan tabel 3.2 merupakan tabel karakteristik saluran catu antena referensi. Lebar saluran catu yang sebesar 4.9548 mm akan dibulatkan menjadi 5 mm [3].

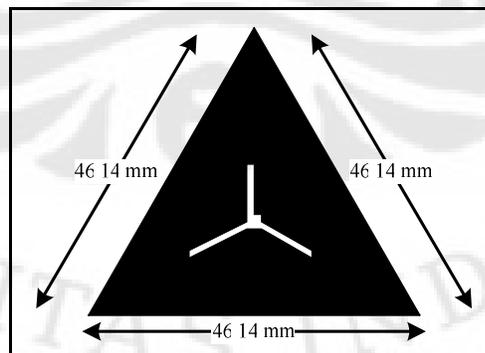
Tabel 3. 1. Spesifikasi substrat yang digunakan [3]

Jenis Substrat	Taconic TLY-5-0620-CH/CH
Konstanta Dielektrik Relatif (ϵ_r)	2.2
Ketebalan Substrat (h)	0.0620 inch
Rugi Tangensial ($\tan \delta$)	0.0009
Tebal Elemen Penghantar	0.0001 mm
Konduktivitas Bahan	5.8×10^7 (copper)

Tabel 3. 2. Karakteristik saluran catu antena referensi [3]

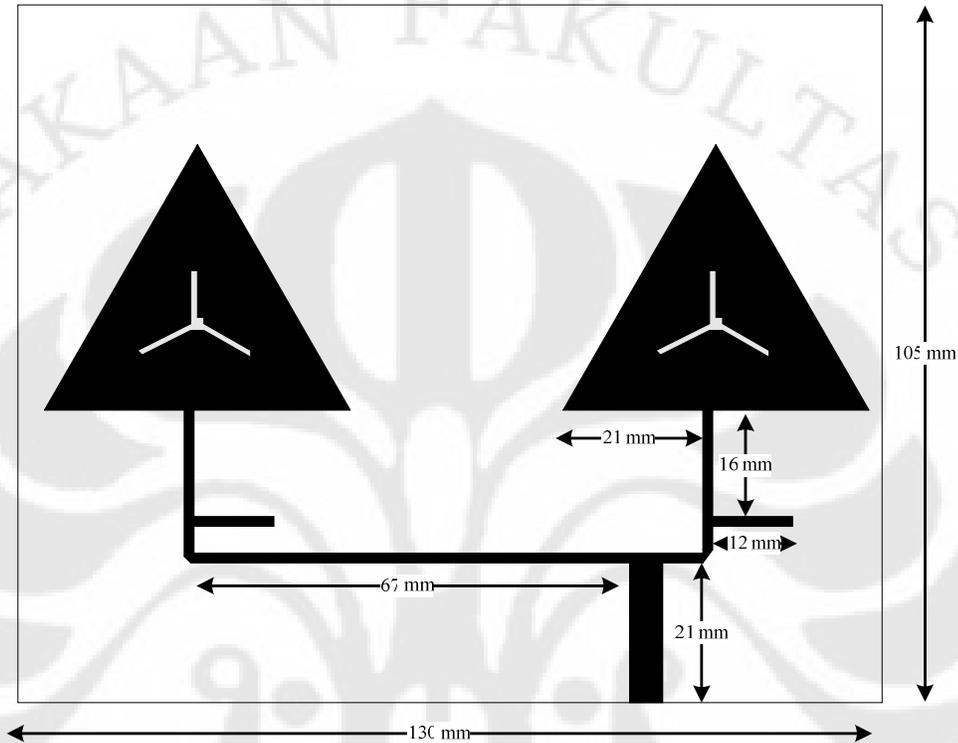
Parameter	Spesifikasi	Spesifikasi
Lebar saluran	1.5 mm	4.9548 mm
Permitivitas efektif	1.9197	1.9197
Impedansi saluran	100 Ohm	50 Ohm

Patch antena referensi memiliki bentuk segitiga sama sisi dengan panjang sisi miring sebesar 46.14 mm. *Patch* ini memiliki *slot* yang berbentuk “Y”. Gambar 3.2 menunjukkan desain *patch* segitiga sama sisi antena referensi.



Gambar 3.2. Desain patch segitiga antena referensi [3]

Gambar 3.3 merupakan desain antenna *array* linier yang merupakan antenna referensi pada skripsi ini. Pada saat fabrikasi, bagian yang berwarna putih merupakan bagian yang di-*etching*.



Gambar 3.3. Desain antenna referensi [3]

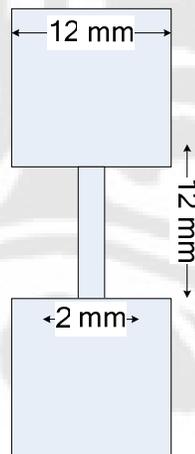
3.4.2. Perancangan *Slot DGS*

Perancangan elemen DGS dimulai dengan menentukan dimensi dari *dumbbell* yang akan dihilangkan (di-*etch*). Perancangan *dumbbell square-head* ini dilakukan dengan menggunakan pendekatan bentuk persegi panjang yang melalui perhitungan didapatkan luasan sebesar 1200mm^2 . Berdasarkan luasan tersebut didesain *slot DGS* dengan luasan *square-head* masing sebesar 576mm^2 dan luasan persegi panjang penghubung seluas 48mm^2 . Selain itu juga dilakukan simulasi terhadap beberapa *dumbbell*, yaitu dengan luasan masing-masing *square-head* 400mm^2 , 225mm^2 , 144mm^2 , dan 100mm^2 dan luasan persegi panjang penghubung yang sama yaitu 24mm^2 . Pada simulasi ini *slot DGS* ditempatkan di antara kedua elemen *array*. Dengan kata lain, *slot DGS* diletakkan pada area yang di atasnya tidak terdapat *patch* atau saluran mikrostrip. Alasan mengenai peletakan

posisi di tengah dua elemen ini adalah agar efek gelombang permukaan pada antenna *array* dapat dikurangi. Oleh karena itu, *slot* DGS ini diletakkan pada posisi pertengahan jarak antara elemen 1 dengan elemen 2.

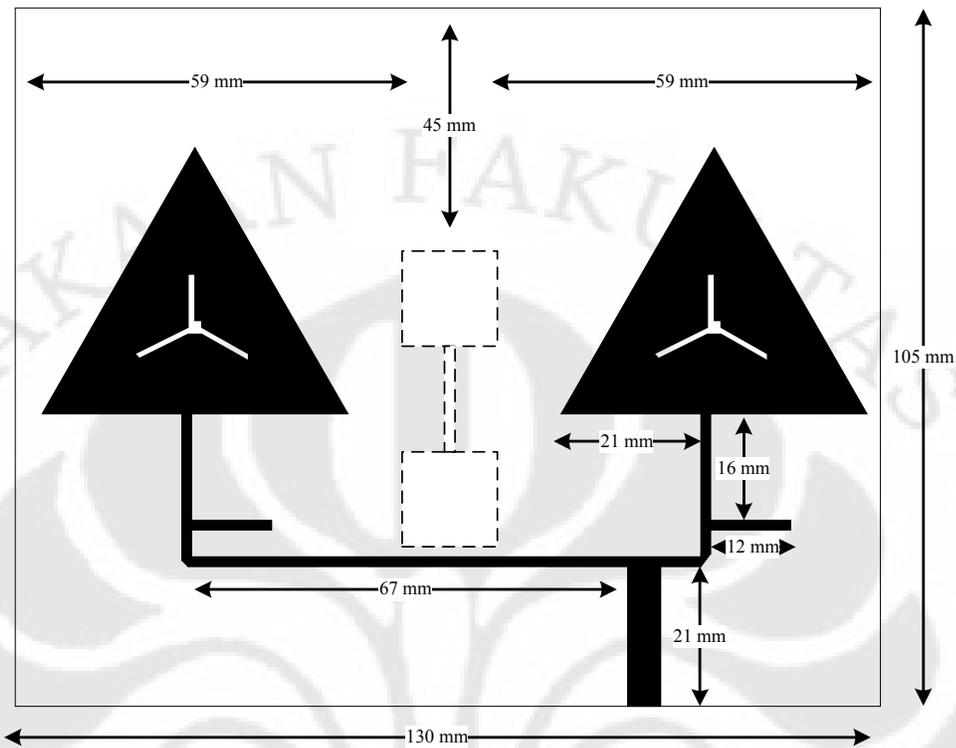
Simulasi dilakukan dengan menggunakan MWO 2004 untuk melihat karakteristik *return loss*. Dari variasi luasan *dumbbell square-head* diatas diperoleh nilai *return loss* yang paling optimum pada luasan 312mm^2 atau dengan kata lain pada *dumbbell square-head* dengan luas masing-masing *square-head* 144mm^2 dan luasan persegi panjang penghubung 24mm^2 . Setelah didapatkan 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. Gambar desain *slot* DGS dan hasil simulasi *return loss* dari desain awal dapat dilihat pada lampiran A.

Setelah diperoleh nilai *return loss* yang optimum, dilakukan simulasi secara keseluruhan untuk mendapatkan karakteristik antenna lainnya, seperti $\text{VSWR} < 2$, pola radiasi, impedansi masukan, dan *axial ratio* < 3 .



Gambar 3. 4. Slot DGS *dumbbell square-head*

Untuk mengetahui posisi *slot* DGS terhadap *patch* dapat dilihat pada gambar 3.5.



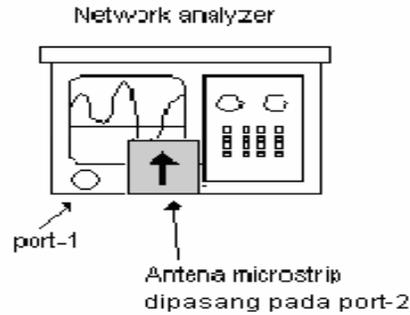
Gambar 3. 5 Posisi slot DGS terhadap patch antenna

3.5. PROSEDUR PENGUKURAN PARAMETER ANTENA

Pengukuran dilakukan di ruang *Anechoic Chamber*, karena dinding ruangan ini bersifat menyerap gelombang elektromagnetik yang dapat mengurangi pengaruh pantulan dan interferensi gelombang terhadap hasil pengukuran antenna.

3.5.1. Pengukuran *Port Tunggal*

Pengukuran *port tunggal* merupakan pengukuran tanpa melibatkan antenna yang lain. Pada pengukuran *port tunggal* ini, antenna yang telah difabrikasi diukur dengan menggunakan *Network Analyzer*. Antenna dipasang pada salah satu port (*port 1* atau *port 2*), kemudian ditentukan dengan format pengukuran S_{11} atau S_{22} memanggil *register* yang telah dikalibrasi sebelumnya. Parameter-parameter yang dapat diketahui dari hasil pengukuran *port tunggal* ini antara lain *VSWR*, *return loss*, frekuensi resonansi, *bandwidth*, dan impedansi masukan. Konfigurasi pengukuran *port tunggal* dapat dilihat pada Gambar 3.6.



Gambar 3. 6. Konfigurasi pengukuran *port* tunggal

3.5.2. Pengukuran Pola Radiasi

Pola radiasi merupakan visualisasi radiasi dan penerimaan antenna dalam koordinat sumbu. Medan radiasi antenna terdiri dari medan jauh (*far-field*) dan medan dekat (*near-field*). Secara umum pola radiasi digambarkan sebagai daerah medan jauh. Hal ini disebabkan karena pada medan jauh distribusi medan angular tidak tergantung pada besarnya jarak antar antenna. Jarak minimum medan jauh antara antenna pengirim dan antenna penerima dinyatakan sebagai berikut :

$$r_{\min} = \frac{2D^2}{\lambda} \dots\dots\dots(3.1)$$

dimana:

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

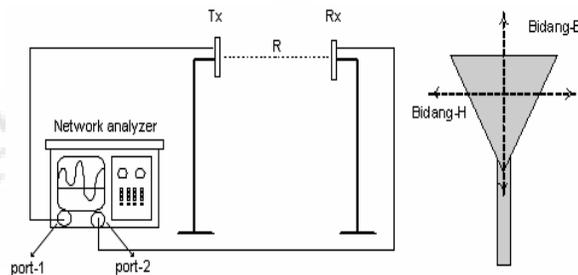
D = dimensi terbesar dari antenna (cm)

λ = panjang gelombang (cm)

dengan D = 13.8 cm dan λ sebesar 11.49 cm (pada f = 2.61 GHz) maka diperoleh jarak minimum sebesar 33.15 cm. berdasarkan hasil perhitungan, maka pengukuran untuk pola radiasi dapat dilakukan pada jarak lebih dari 33.15 cm. untuk memberi toleransi agar tidak ada pengaruh oleh medan dekat maka pengukuran dilakukan pada jarak 38 cm.

Pengukuran pola radiasi dilakukan dengan alat ukur *Network Analyzer* dengan mengacu pada jarak minimum pengukuran. Format pengukuran yang digunakan adalah jenis S_{21} dengan antenna pemancar diletakkan pada *port* 1 dan antenna penerima diletakkan pada *port* 2. Antenna pemancar menggunakan antenna yang memiliki frekuensi kerja yang sama dengan antenna hasil perancangan.

Konfigurasi peralatan dan orientasi arah bidang-E dan bidang-H selama proses pengukuran adalah seperti Gambar 3.7.



Gambar 3. 7. Rangkaian peralatan pada pengukuran pola radiasi

Pengukuran pola radiasi dilakukan di dalam ruang *Anechoic Chamber* yang dindingnya bersifat menyerap gelombang elektromagnetik untuk mengurangi pantulan interferensi. Jarak pisah antara antenna pemancar dan penerima sebesar 38 cm. Jarak pisah ini memenuhi jarak minimum untuk mengatur medan jauh (*far-field*). Alat ukur *Network Analyzer* diatur untuk melakukan pengukuran parameter S_{21} . Sudut penerimaan antenna penerima diubah-ubah dari 0° hingga 360° dengan interval 10° . Pengukuran dilakukan sebanyak 2 kali, untuk medan H dan medan E dan dilakukan pada frekuensi melingkar dari antenna.

3.5.3. Pengukuran *Gain Absolut*

Gain merupakan salah satu parameter antenna yang penting. Secara umum terdapat dua metode yang dapat digunakan untuk mengukur *gain* dari elemen peradiasi elektromagnetik, yaitu *absolute-gain* dan *gain-transfer*. Dalam skripsi ini akan digunakan pengukuran dengan metode *absolute-gain* dengan menggunakan metode tiga antenna.

Konfigurasi pengukuran *gain* adalah seperti yang terlihat pada Gambar 3.8 dengan jarak antar antenna pengirim dan antenna penerima sejauh 38 cm (jarak *port 1* dan *port 2*). Kedua antenna diletakkan pada arah berkas utama pola radiasi dengan memperhatikan jarak minimum pengukuran medan jauh. Karena menggunakan metode tiga antenna, maka terdapat 3 kemungkinan pasangan antenna pengirim dan penerima, yaitu :

1. Antena pengirim 1 dan penerima 2
2. Antena pengirim 1 dan penerima 3
3. Antena pengirim 2 dan penerima 3

Hal yang perlu diperhitungkan dalam metode tiga antena adalah pasangan kombinasi antena. Tidak diperhitungkan apakah antena tersebut sebagai pengirim atau penerima.

Perhitungan *gain* ini berdasarkan pada persamaan *Friis* [16]. Secara umum persamaan *Friis* dinyatakan sebagai berikut (dalam dB) :

$$(G_{ot})_{dB} + (G_{or})_{dB} = 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi R}{\lambda} \right) + 10 \log_{10} \left(\frac{P_r}{P_t} \right) \dots\dots\dots(3.2)$$

Sehingga ketiga persamaan untuk masing-masing kombinasi adalah :

- a. Kombinasi 1-2

$$(G_1)_{dB} + (G_2)_{dB} = 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi R}{\lambda} \right) + 10 \log_{10} \left(\frac{P_{r_2}}{P_{t_1}} \right) \dots\dots\dots(3.3)$$

- b. Kombinasi 1-3

$$(G_1)_{dB} + (G_3)_{dB} = 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi R}{\lambda} \right) + 10 \log_{10} \left(\frac{P_{r_3}}{P_{t_1}} \right) \dots\dots\dots(3.4)$$

- c. Kombinasi 2-3

$$(G_2)_{dB} + (G_3)_{dB} = 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi R}{\lambda} \right) + 10 \log_{10} \left(\frac{P_{r_3}}{P_{t_2}} \right) \dots\dots\dots(3.5)$$

dimana :

G = *gain* absolut (dB)

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

λ = panjang gelombang pada frekuensi yang digunakan (meter)

P_t = daya pengirim (Watt)

P_r = daya penerimaan (Watt)

Ketiga persamaan di atas dapat dituliskan sebagai :

$$G_1(dB) + G_2(dB) = A \dots\dots\dots(3.6)$$

$$G_1(dB) + G_3(dB) = B \dots\dots\dots(3.7)$$

$$G_2(dB) + G_3(dB) = C \dots\dots\dots(3.8)$$

Dengan demikian penyelesaian untuk ketiga persamaan di atas adalah :

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

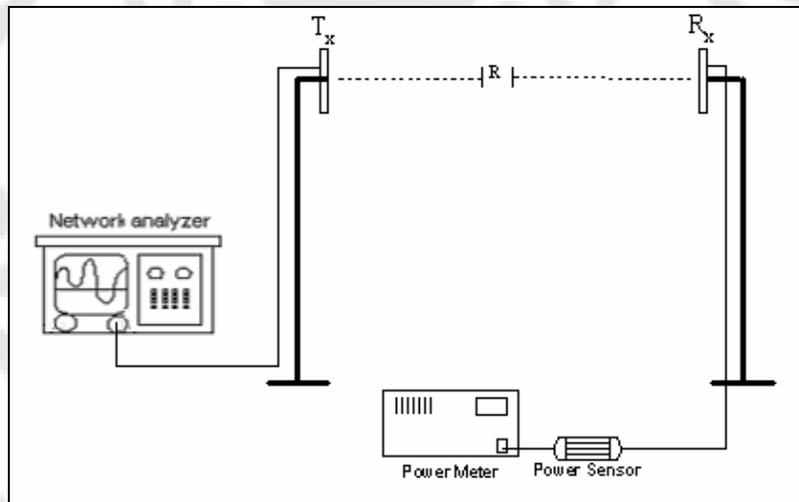
$$G_2(dB) = \frac{1}{2}(A - B + C) \quad \dots\dots\dots(3.10)$$

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

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

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

Pengukuran *gain* dilakukan di dalam ruangan *Anechoic Chamber*. Jarak pisah antara antena pemancar dengan antena penerima sebesar 38 cm. Rangkaian peralatan selama proses pengukuran dapat dilihat pada Gambar 3.8.



Gambar 3. 8. Rangkaian peralatan pada pengukuran *gain*

3.5.4. Pengukuran *Axial Ratio*

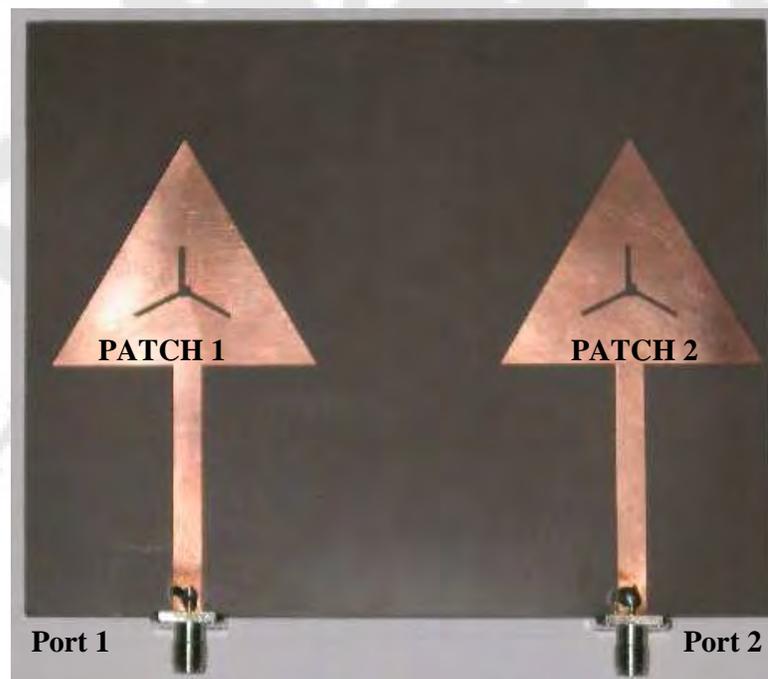
Axial ratio adalah rentang frekuensi dimana polarisasi melingkar masih terjadi. Untuk mengetahui apakah suatu antena memiliki polarisasi melingkar atau tidak dapat dilakukan dengan dua cara. Cara pertama, yaitu dengan melihat bentuk

kurva *smith chart* yang berbentuk angka tiga. Cara kedua, yaitu dengan melihat plot grafik selisih antara daya yang diterima bila posisi antenna pengirim pada bidang E dan antenna pengirim pada bidang H tidak lebih dari 3 dB atau dengan kata lain besarnya *log magnitude* antara bidang E dan bidang H untuk rentang frekuensi tertentu tidak boleh melebihi dari 3 dB.

Pengukuran dilakukan dengan 2 buah antenna, antenna yang pertama diletakkan pada *port 1* dan bertindak sebagai antenna pengirim dengan polarisasi linear. Sedangkan antenna yang akan diukur *axial rationnya* diletakkan pada *port 2*. Jarak pengukuran mengacu pada jarak minimum medan jauh. Pengukuran dilakukan dengan cara memvariasikannya terhadap frekuensi untuk masing-masing medan pada bidang E dan bidang H.

3.5.5. Pengukuran *Mutual Coupling*

Pada skripsi ini dibuat suatu antenna 2 elemen dengan substrat yang sama berdasarkan model analisis *diversity criteria*, dimana patch antenna disusun sedemikian rupa pada substrat yang sama dan masing-masing diberikan pencatu seperti pada Gambar 3.6. *Port 1* berfungsi sebagai *port* eksitasi dan *patch 1* berfungsi sebagai pemancar, kemudian *port 2* berfungsi sebagai port terminasi dan *patch 2* sebagai penerima.



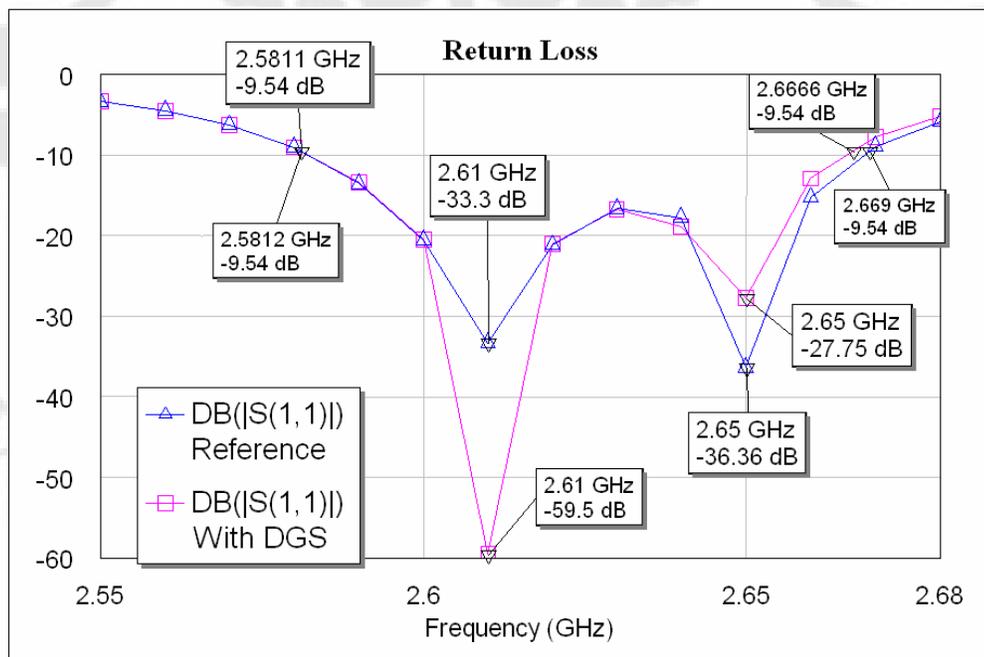
Gambar 3. 6. Posisi *patch* untuk mengukur *mutual coupling*

BAB IV

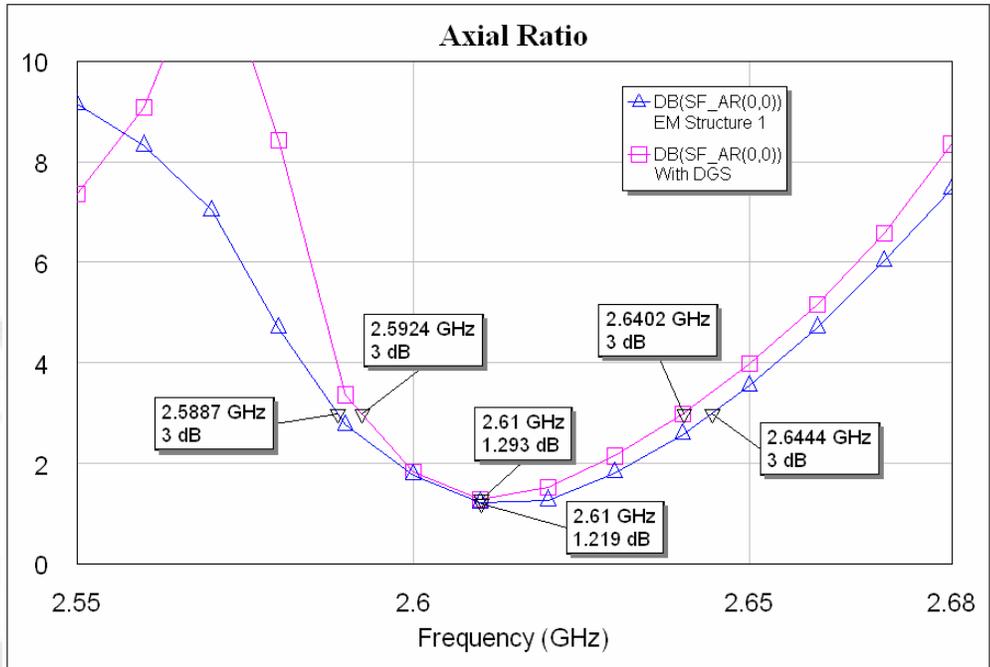
HASIL SIMULASI, HASIL PENGUKURAN, DAN ANALISIS ANTENA

4.1. HASIL SIMULASI

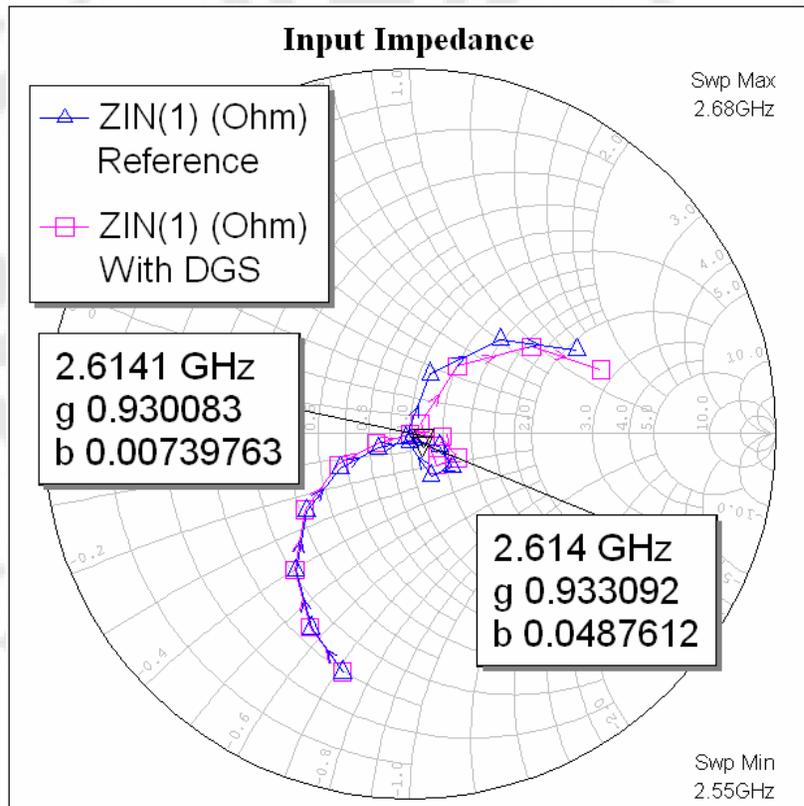
Simulasi dilakukan dengan menggunakan *AWR Microwave Office 2004* untuk mendapatkan parameter antenna. Pada simulasi, parameter antenna yang disimulasikan adalah *return loss* (gambar 4.1), *axial ratio* (gambar 4.2), *input impedance* (gambar 4.3), *VSWR* (gambar 4.4), pola radiasi (gambar 4.5) dan *mutual coupling* (gambar 4.6). Dari hasil simulasi dapat dilihat perbedaan antara karakteristik antenna tanpa DGS dengan karakteristik antenna yang menggunakan DGS dimana pada grafik antenna referensi tanpa DGS ditunjukkan dengan warna biru dan warna merah muda menunjukkan antenna yang menggunakan elemen DGS.



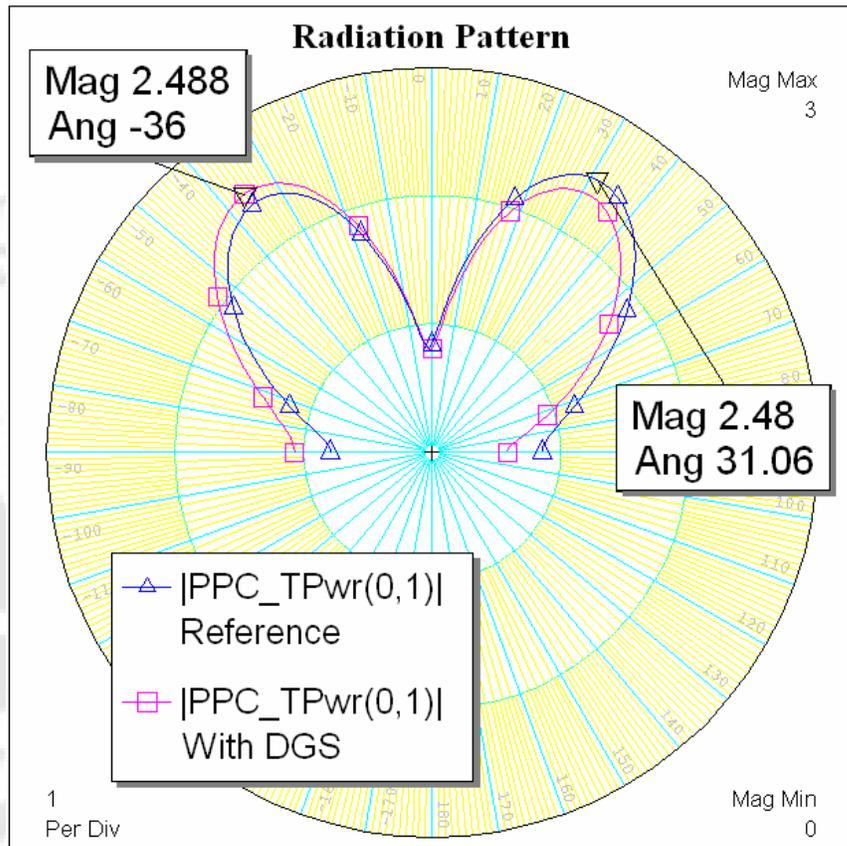
Gambar 4. 1. Grafik Return Loss



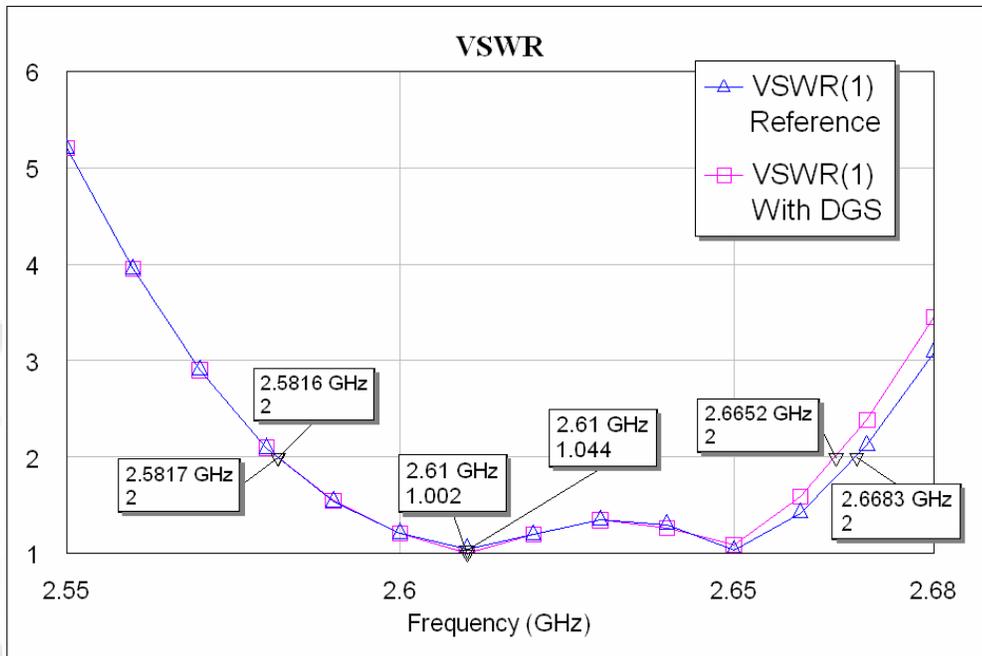
Gambar 4. 2. Grafik Axial Ratio



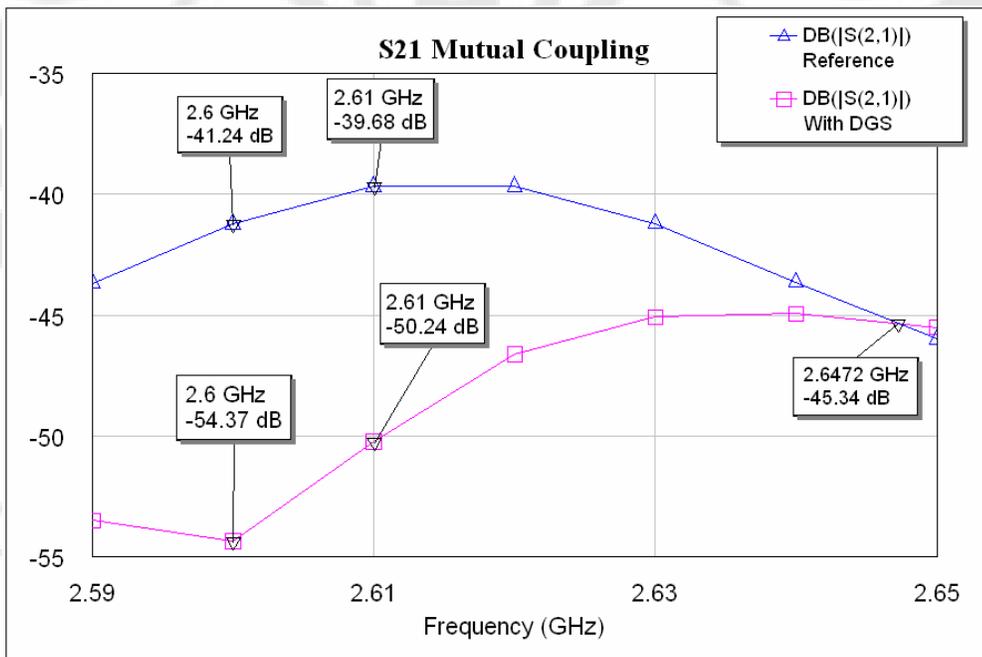
Gambar 4. 3. Grafik Input Impedance



Gambar 4. 4. Grafik Pola Radiasi



Gambar 4. 5. Grafik VSWR



Gambar 4. 6. Grafik Mutual Coupling

4.2. ANALISIS HASIL SIMULASI

Pada gambar 4.1 antenna tanpa DGS memiliki nilai *return loss* yang paling optimum pada frekuensi 2.61 GHz sebesar -33.3 dB. Rentang frekuensi yang nilai memiliki *return loss* di bawah -9.54 berkisar antara 2.5811 GHz sampai 2.669 GHz, sehingga dapat diketahui *bandwidth* impedansinya sebesar :

$$\text{bandwidth} = \frac{f_{atas} - f_{bawah}}{f_{tengah}} \times 100\%$$

$$\text{bandwidth} = \frac{2.669 - 2.2811}{2.62505} \times 100\%$$

$$\text{bandwidth} = 3.349\% \text{ (87.9 MHz)}$$

Sedangkan antenna dengan DGS memiliki *return loss* optimum pada 2.61 GHz sebesar -59.5 dB. Rentang frekuensi yang memiliki *return loss* di bawah -9.54 dB berkisar antara 2.5812 GHz sampai 2.6666 GHz, sehingga dapat diketahui *bandwidth* impedansinya sebesar :

$$\text{bandwidth} = \frac{f_{atas} - f_{bawah}}{f_{tengah}} \times 100\%$$

$$\text{bandwidth} = \frac{2.6666 - 2.5812}{2.62505} \times 100\%$$

$$\text{bandwidth} = 3.253\% \text{ (85.4 MHz)}$$

Antena dengan DGS memiliki nilai *return loss* yang lebih baik daripada antenna tanpa DGS, yaitu sekitar 26.2 dB. Efisiensi antenna dapat ditingkatkan, karena berdasarkan [2], rumus efisiensi antenna adalah :

$$e_0 = e_r e_{cd}$$

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, menyebabkan efisiensi refleksi (e_r) semakin meningkat. Daya yang diakibatkan oleh gelombang permukaan ditekan, menyebabkan efisiensi radiasi (e_{cd}) meningkat.

Untuk nilai *axial ratio* pada gambar 4.2 terlihat bahwa pada frekuensi kerja 2.61 GHz, nilai *axial ratio* antenna dengan elemen DGS, yaitu sebesar 1.293

dB. Namun *bandwidth axial ratio* menunjukkan perbedaan yang cukup signifikan. *Bandwidth axial ratio* antenna dengan DGS adalah sebesar 47,8 MHz sedangkan *bandwidth axial ratio* antenna referensi adalah 55,7 MHz. Dari kedua data ini didapat perbedaan *bandwidth axial ratio* sebesar 14,18%.

Polarisasi lingkaran terjadi ketika nilai *axial ratio* antenna lebih kecil dari 3 dB. Salah satu ciri antenna yang memiliki polarisasi melingkar dapat dilihat dari grafik impedansi masukan (Gambar 4.3) yang menyerupai angka 3. Baik antenna referensi tanpa DGS maupun dengan elemen DGS memiliki plot impedansi masukan yang menyerupai angka 3.

Nilai VSWR suatu antenna yang baik adalah harus lebih kecil dari 2. Pada gambar 4.4 menunjukkan VSWR antenna tanpa DGS sebesar 1.044 dan pada antenna dengan DGS sebesar 1.002 pada frekuensi kerja 2.61 GHz. Dari kedua data ini didapat perbaikan nilai VSWR pada antenna dengan DGS dibandingkan antenna referensi sebesar 4.02%. Nilai perbaikan ini menunjukkan bahwa performa antenna ditingkatkan dan efek dari gelombang dapat dikurangi, karena salah satu efek dari gelombang permukaan adalah menurunnya performansi antenna [1].

Gambar 4.6 merupakan hasil simulasi mengenai efek DGS terhadap penekanan *mutual coupling* antara elemen *array*. Seperti terlihat pada gambar 4.6 bahwa terjadi perbaikan nilai *mutual coupling*, dimana besar *mutual coupling* antenna referensi pada frekuensi kerja 2.61 GHz adalah -39,68 dB sedangkan dengan menggunakan elemen DGS sebesar -50.24 dB. Jadi dengan menggunakan elemen DGS berbentuk *dumbbell square-head* dapat menekan *mutual coupling*.

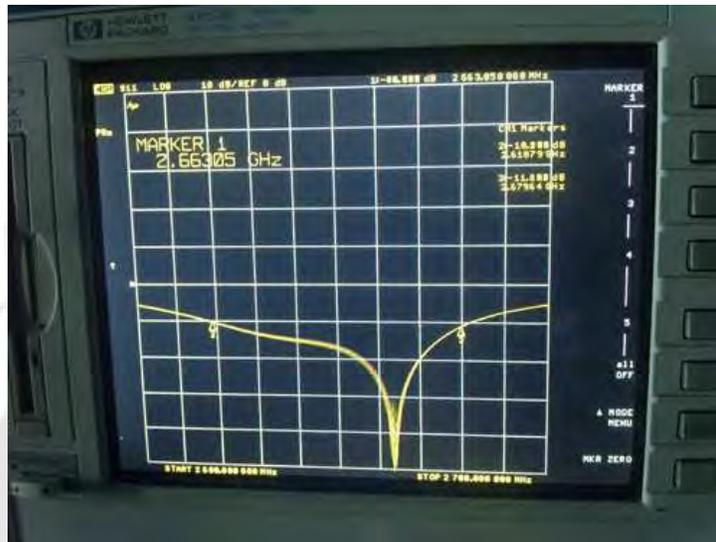
4.3. HASIL PENGUKURAN ANTENA

Setelah proses simulasi dilakukan langkah selanjutnya adalah proses fabrikasi. Untuk mencetak hasil rancangan pada MWO 2004 sesuai dengan ukuran yang sebenarnya, digunakan *Microsoft Visio 2003*. Fabrikasi dilakukan di Bandung. Setelah fabrikasi selesai, antenna diukur. Pengukuran antenna yang dilakukan pada ruang *Anechoic Chamber* Departemen Elektro. Pengukuran yang dilakukan meliputi pengukuran VSWR, *input impedance*, *return loss*, *gain*, *pola radiasi*, dan *axial ratio*.

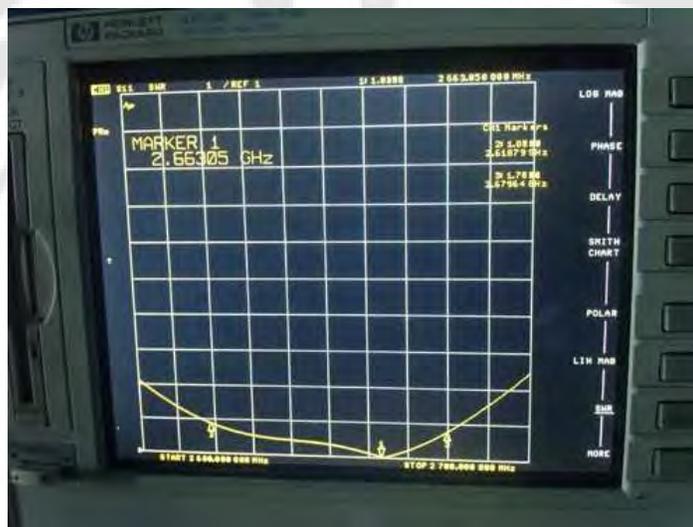
4.3.1. Hasil Pengukuran *Port Tunggal*

Pada pengukuran *port tunggal* hanya menggunakan antenna yang akan diukur, tanpa melibatkan antenna yang lain. Antena yang telah difabrikasi dapat diukur dengan menggunakan *Network Analyzer*. Format yang dapat dipakai dalam pengukuran ada dua, yaitu format S_{11} dan S_{22} . Format S_{11} digunakan jika antenna dipasang pada *port* 1, sedangkan format S_{22} digunakan jika antenna dipasanga pada *port* 2. Parameter-parameter yang dapat diketahui dari hasil pengukuran *port tunggal* antara lain *VSWR*, *return loss*, dan *input impedance*. Pada skripsi ini dilakukan pengukuran terhadap antenna referensi (tanpa DGS) dan antenna dengan DGS. Hasil pengukuran antenna referensi dapat dilihat pada bagian Lampiran B dan Lampiran C.

Dari gambar 4.7 terlihat bahwa nilai *return loss* yang paling rendah sebesar -40.081 dB tercapai pada frekuensi 2.66305 GHz. Rentang frekuensi yang memiliki *return loss* lebih kecil dari -9,54 yaitu sekitar 2.61879 GHz hingga 2.67964 GHz. Dari gambar 4.8 dapat dilihat antenna mulai bekerja pada frekuensi 2.61879 GHz hingga 2.67964 GHz, yaitu ketika nilai *VSWR* dari pengukuran lebih kecil dari 2. Nilai *VSWR* yang paling rendah adalah 1.0215 yaitu pada frekuensi 2.66305 GHz. Grafik *smith chart* pada gambar 4.9 menunjukkan bahwa impedansi masukan yang diperoleh adalah sebesar $51.607 - j0.62441$ Ohm pada frekuensi 2.66305 GHz. Nilai impedansi masukan ini sudah mendekati nilai keadaan ideal yaitu 50 Ohm.



Gambar 4. 7. Plot *return loss* untuk antenna dengan DGS



Gambar 4. 8. Plot VSWR untuk antenna dengan DGS



Gambar 4. 9. Plot impedansi masukan untuk antenna DGS

Berdasarkan hasil pengukuran *port* tunggal dapat diketahui perbandingan karakteristik antara antenna referensi dan antenna dengan DGS sebagai berikut.

Tabel 4. 1. Hasil pengukuran port tunggal antenna referensi dan antenna dengan DGS

	Antena Referensi	Antena dengan DGS
<i>Return loss</i> minimum	-30.335 dB	-40.081 dB
<i>Bandwidth</i> VSWR	1.619 % (43 MHz)	2.28 % (60.85 MHz)
<i>Return loss</i> pada frekuensi 2.61 GHz	-6.4604 dB	-10.009 dB
<i>Impedance bandwidth</i>	1.619 % (43 MHz)	2.28 % (60.85 MHz)
Nilai VSWR minimum	1.09	1.0215

4.3.2. Hasil Pengukuran Pola Radiasi

Pengukuran pola radiasi bertujuan untuk menggambarkan daerah yang terlingkupi oleh medan elektromagnetik yang dipancarkan oleh antenna. Medan elektromagnetik yang diradiasikan ke berbagai arah di sekitar antenna tersebut memiliki kekuatan yang berbeda untuk tiap arahnya. Arah di mana antenna meradiasikan medan elektromagnetik yang paling kuat disebut berkas utama.

Medan radiasi antenna terdiri dari medan jauh (*far-field*) dan medan dekat (*near-field*). Secara umum, pola radiasi digambarkan pada daerah medan jauh, karena pada medan jauh distribusi medan angular tidak tergantung pada besarnya jarak antar antenna. Jarak minimum medan jauh antara antenna pengirim dan antenna penerima dinyatakan sebagai berikut :

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

dimana :

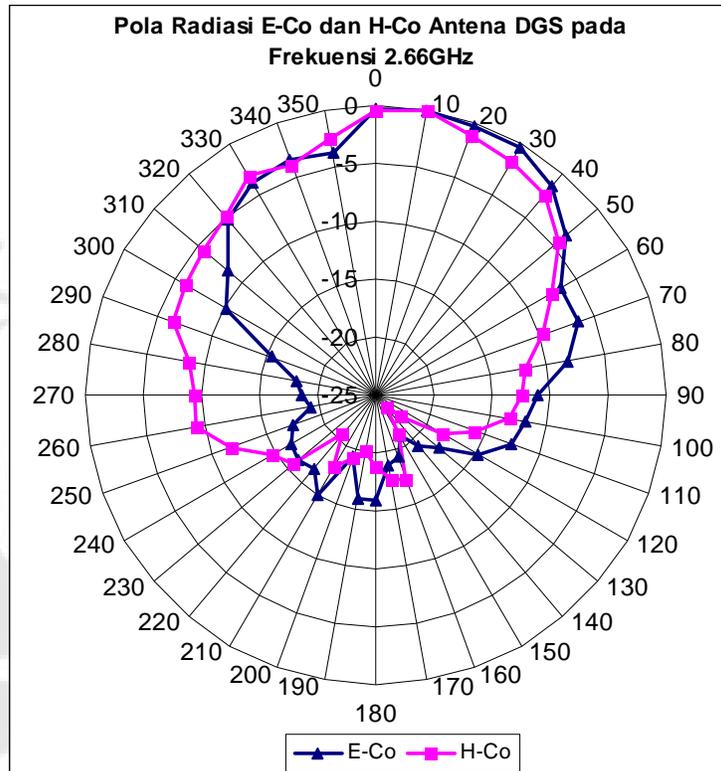
r_{\min} = jarak minimum pemancar dengan penerima (cm)

D = dimensi terbesar dari antena (cm)

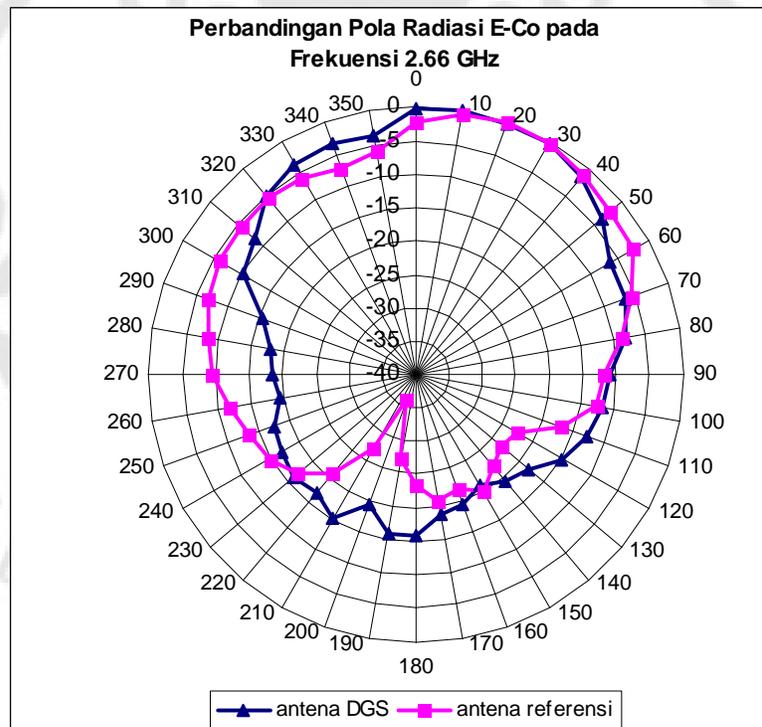
λ = panjang gelombang (cm)

dengan D = 13.8 cm dan λ sebesar 11.49 cm (pada f = 2.61 GHz) maka diperoleh jarak minimum sebesar 33.15 cm. berdasarkan hasil perhitungan, maka pengukuran untuk pola radiasi dapat dilakukan pada jarak lebih dari 33.15 cm. untuk memberi toleransi agar tidak ada pengaruh oleh medan dekat maka pengukuran dilakukan pada jarak 38 cm.

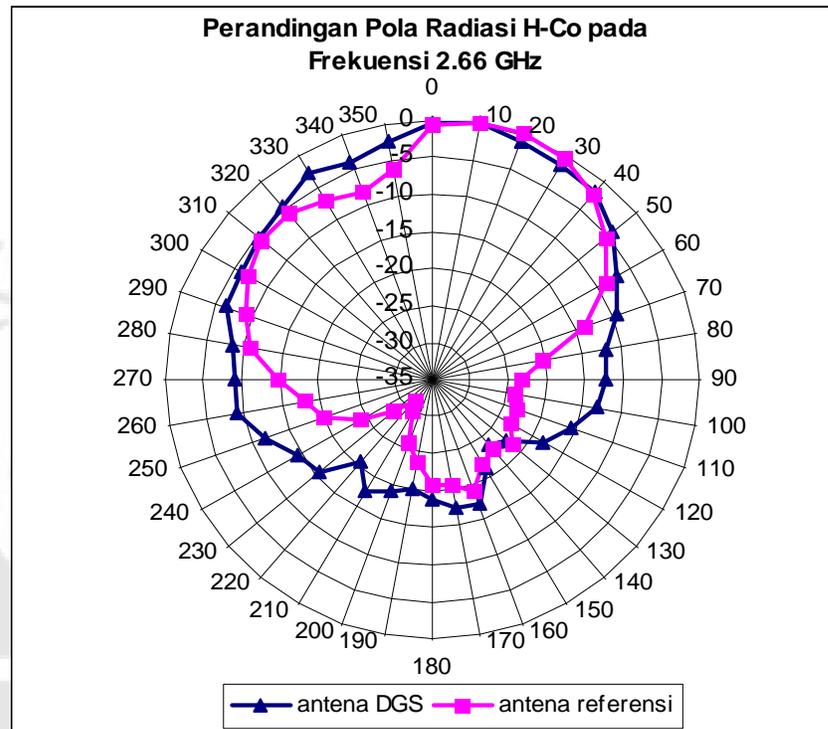
Data yang diperoleh dari pengukuran merupakan besarnya daya yang dikirim dan daya yang diterima oleh antena. Kemudian data ini diolah menggunakan *Microsoft Excel 2003* dan dinormalisasikan, seperti pada lampiran D. Gambar 4.10 menunjukkan grafik pola radiasi antena dengan DGS pada frekuensi 2.66 GHz. Terjadinya polarisasi melingkar pada frekuensi 2.66 GHz dapat dilihat pada radiasi E-Co, yaitu pada berkas utamanya (sudut 0°). Pada berkas utama ini daya yang diterima pada bidang E dan daya yang diterima pada bidang H tidak lebih dari 3 dB. Gambar 4.11 merupakan gambar grafik pola radiasi E-Co antena referensi dan antena DGS. Berkas utama antena referensi pada sudut 20°. Gambar 4.12 merupakan gambar grafik pola radiasi H-Co antena referensi dan antena DGS.



Gambar 4. 10. Pola radiasi antena mikrostrip *array* linier dengan DGS



Gambar 4. 11. Pola radiasi E-Co antena referensi dan antena DGS



Gambar 4. 12. Pola radiasi H-Co antenna referensi dan antenna DGS

4.3.3. Hasil Pengukuran Gain

Dalam skripsi ini digunakan metode pengukuran gain-absolute dengan menggunakan metode tiga antenna. Ketiga antenna tersebut memiliki frekuensi kerja yang hampir sama atau identik. Antena penerima diletakkan pada arah berkas utama pola radiasi. Terdapat 3 kemungkinan pasangan antenna pengirim dan penerima, yaitu :

1. Antena pengirim 1 dan penerima 2
2. Antena pengirim 1 dan penerima 3
3. Antena pengirim 2 dan penerima 3

Metode tiga antenna tidak memperhitungkan status antenna sebagai pengirim maupun penerima. Dalam hal ini yang perlu diperhitungkan adalah pasangan kombinasi antenna. Perhitungan *gain* dibantu dengan perangkat lunak *Microsoft Office Excel 2003* dan didasarkan pada persamaan *Friss*, seperti yang telah dijelaskan pada bab 3.

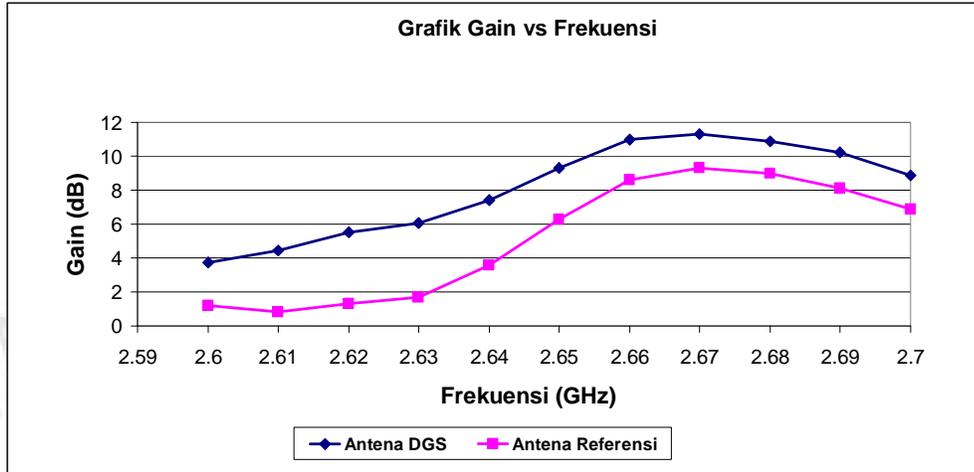
Pengukuran *gain* dilakukan di dalam ruangan *Anechoic Chamber*. Jarak pisah antara antenna pemancar dan penerima sejauh 38 cm. Pengukuran nilai *gain*

dilakukan dari frekuensi 2.6 GHz hingga frekuensi 2.7 GHz. Secara lengkap hasil perhitungan *gain* dapat dilihat pada bagian lampiran D.

Tabel 4. 2. Hasil pengukuran *gain* untuk antena mikrostrip *array* linier dengan DGS

Frekuensi (GHz)	Antena DGS (dB)	Antena Referensi (dB)
2.6	3.7478545	1.1892375
2.61	4.4391845	0.7976905
2.62	5.509437	1.293299
2.63	6.0504835	1.6489635
2.64	7.404215	3.549445
2.65	9.31517	6.2724
2.66	10.96527	8.60522
2.67	11.3038	9.27449
2.68	10.885695	8.952935
2.69	10.22065	8.11095
2.7	8.87137	6.88377

Dari hasil pengukuran diketahui bahwa pada frekuensi 2.66 GHz *gain* yang dihasilkan oleh antena DGS adalah sebesar 10.96527 dB. Nilai *gain* maksimum diperoleh pada frekuensi 2.67 GHz, yaitu sebesar 11.3038 dB. Nilai *gain* antena referensi pada frekuensi 2.66 GHz adalah sebesar 8.60522 dB, sedangkan *gain* maksimum tercapai pada frekuensi 2.67 GHz sebesar 9.27449 dB. Pada frekuensi 2.66 GHz *gain* yang dihasilkan oleh antena DGS lebih tinggi dibandingkan *gain* yang dihasilkan antena referensi. Perbedaan diantara keduanya sebesar 2.36005 dB. Dari hasil tersebut dapat dilihat bahwa *gain* dari suatu antena dapat ditingkatkan dengan menggunakan teknik DGS. Peningkatan *gain* ini disebabkan karena daya yang diradiasikan oleh antena dengan DGS lebih besar dibandingkan daya yang diradiasikan oleh antena tanpa DGS. Grafik perbandingan *gain* terhadap frekuensi antara antena mikrostrip *array* linier tanpa DGS (referensi) dan antena mikrostrip *array* linier dengan DGS dapat dilihat pada gambar 4.13.

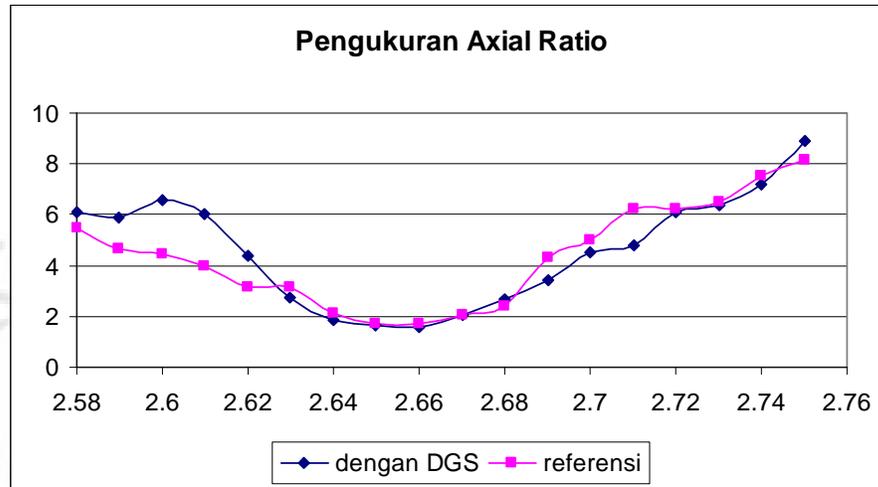


Gambar 4. 13. Grafik *gain* terhadap frekuensi

4.3.4. Hasil Pengukuran Axial Ratio

Axial Ratio adalah rentang frekuensi dimana polarisasi melingkar masih terjadi. Pengukuran pola radiasi untuk mengetahui *axial ratio* hanya dilakukan pada sekitar daerah berkas utama. Pada penelitian ini berkas utama berada pada 10° , sehingga pengukuran *axial ratio* cukup dilakukan pada arah 10° . Pengukuran *axial ratio* pada penelitian dilakukan pada rentang frekuensi 2,58 GHz hingga 2,75 GHz. Daya yang diterima masing-masing bidang E dan bidang H diukur, lalu dibandingkan selisih diantara keduanya. Data pengukuran *axial ratio* secara lengkap dapat dilihat pada Lampiran D. Gambar 4.14 memperlihatkan grafik perbandingan hasil pengukuran *axial ratio* antena referensi dan antena DGS yang telah diolah menggunakan perangkat lunak *Microsoft Office Excel 2003*.

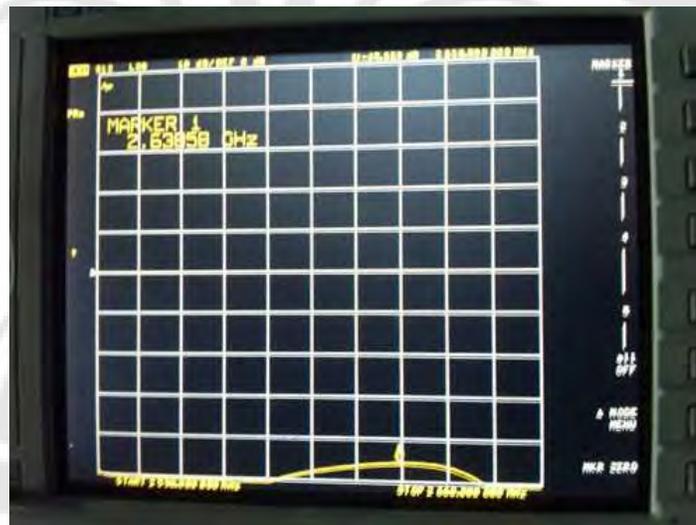
Dari gambar 4.14 dapat dilihat bahwa pada antena DGS nilai *axial ratio* yang kurang dari 3 didapatkan dari frekuensi 2.63 GHz hingga frekuensi 2.68 GHz. Nilai *axial ratio* paling rendah didapatkan pada frekuensi 2.66 GHz, yaitu sebesar 1.568. Sedangkan pada antena referensi nilai *axial ratio* kurang dari 3 diperoleh dari frekuensi 2.64 GHz hingga 2.68 GHz dengan nilai *axial ratio* paling minimum pada frekuensi 2.66 GHz sebesar 1.68.



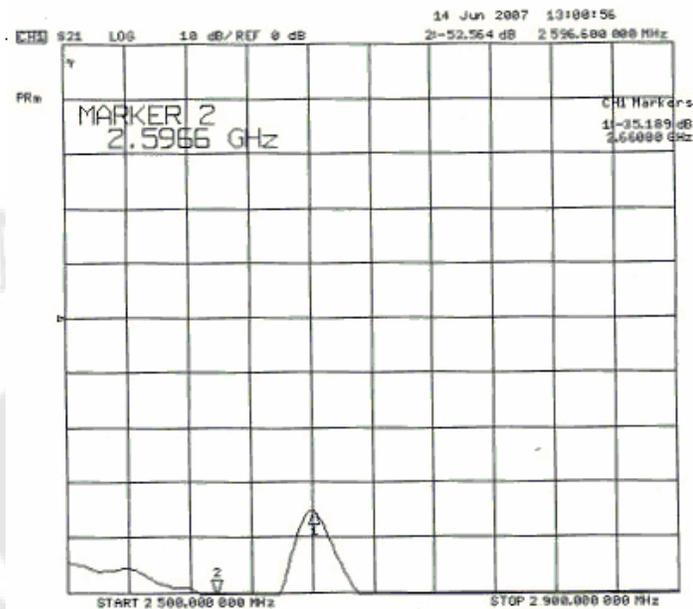
Gambar 4. 14. Grafik perbandingan axial ratio antara antenna DGS dan antenna referensi

4.3.5. Hasil Pengukuran *Mutual Coupling*

Hasil pengukuran *mutual coupling* untuk antenna DGS dapat dilihat pada gambar 4.15 dan gambar 4.16 untuk antenna referensi.



Gambar 4. 15. *Mutual coupling* untuk antenna DGS



Gambar 4. 16. *Mutual coupling* antenna referensi

Dari gambar 4.16 dapat dilihat bahwa hasil fabrikasi antenna referensi yang seharusnya bekerja pada frekuensi 2.61 GHz mengalami pergeseran frekuensi kerja yaitu 2.66 GHz dengan nilai *mutual coupling* sebesar -35.18 dB. Sedangkan antenna DGS hasil fabrikasi mengalami pergeseran frekuensi kerja menjadi sekitar 2.64 GHz dengan nilai *mutual coupling* sebesar -45.901 dB dan nilai *mutual coupling* pada frekuensi 2.66 GHz sebesar -54.314 dB. Dari hasil pengukuran dapat dianalisis bahwa dengan menggunakan elemen DGS *mutual coupling* dari antenna referensi pada frekuensi 2.66 GHz dapat ditekan sekitar 19.134 dB atau sebesar 35.22%.

$$\text{Penekanan } MC = \left| \frac{MC_{DGS} - MC_{referensi}}{MC_{DGS}} \right| \times 100\%$$

$$\text{Penekanan } MC = \left| \frac{54.314 - 35.18}{54.314} \right| \times 100\% = 35.22\%$$

Kesalahan relatif pengukuran untuk antenna referensi dan antenna DGS, yaitu:

- Untuk antenna referensi

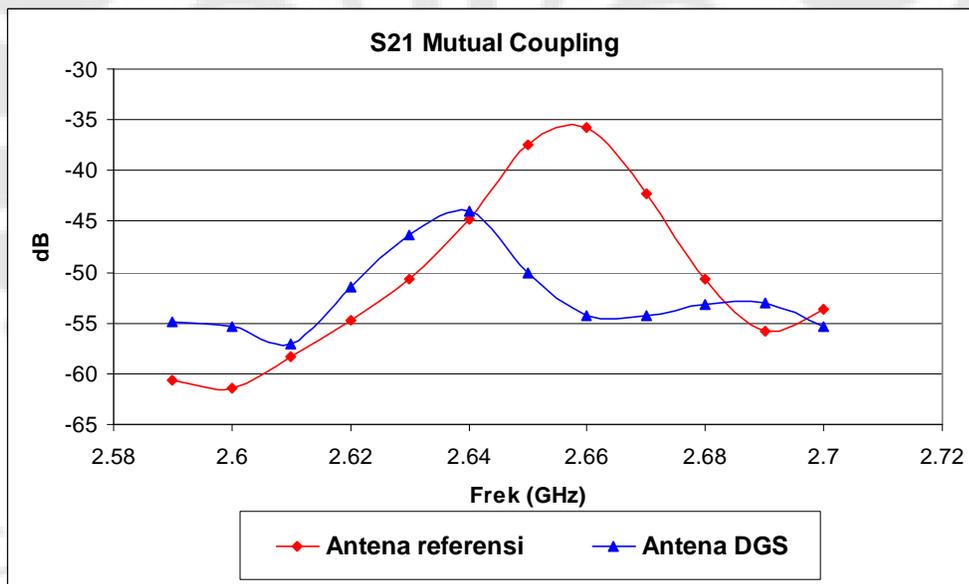
$$Error\ MC = \left| \frac{MC_{simulasi} - MC_{pengukuran}}{MC_{simulasi}} \right| \times 100\%$$

$$Error\ MC = \left| \frac{39.68dB - 35.18dB}{39.68dB} \right| \times 100\% = 11\%$$

- Untuk antenna DGS

$$Error\ MC = \left| \frac{MC_{simulasi} - MC_{pengukuran}}{MC_{simulasi}} \right| \times 100\%$$

$$Error\ MC = \left| \frac{50.24dB - 54.314dB}{50.24dB} \right| \times 100\% = 8.11\%$$



Gambar 4. 17. Perbandingan hasil pengukuran *mutual coupling* antenna referensi dan antenna DGS

4.4. ANALISIS HASIL PENGUKURAN ANTENA

4.4.1. Karakteristik *Return Loss* dan *Impedance Bandwidth*

Dari hasil pengukuran dapat dilihat bahwa dengan penambahan *slot* DGS pada antenna referensi dapat memperbaiki level *return loss* dimana pada

antena referensi *return loss* yang diperoleh pada saat pengukuran sebesar -30.335 dB dan *return loss* yang diperoleh untuk antenna dengan *slot* DGS sebesar -40.081 dB. Perbaikan level *return loss* dari antenna dengan *slot* DGS adalah sebesar 32.77%. *Impedance bandwidth* yang diperoleh dari pengukuran untuk antenna mikrostrip *array linier* dengan DGS adalah sebesar 60.86 MHz atau sebesar 2.29%. Sedangkan *impedance bandwidth array linier* tanpa DGS adalah 43 MHz atau sebesar 1.619%. Perbaikan level *return loss* dan *impedance bandwidth* ini disebabkan karena *slot* DGS yang dibuat pada bidang *ground* antenna menyebabkan gelombang permukaan tidak dapat berpropagasi disepanjang substrat. Karena gelombang permukaan tidak dapat berpropagasi, maka sejumlah besar daya teradiasi ke udara. Karena daya yang teradiasi ke udara (daya yang hilang) jumlahnya besar, maka faktor kualitas (Q_T) akan berkurang. Karena Q_T berkurang, maka *impedance bandwidth* akan meningkat.

4.4.2. Pola Radiasi dan Gain

Pengukuran *gain* dilakukan pada rentang 2.61 GHz hingga 2.7 GHz. Pada antenna mikrostrip *array linier* dengan DGS, *gain* maksimum diperoleh pada frekuensi 2.67 GHz sebesar 11.3038 dB. *Gain* maksimum dari antenna referensi juga diperoleh pada frekuensi 2.67 GHz, yaitu sebesar 9.16074 dB dengan demikian didapatkan perbaikan *gain* dari antenna referensi pada frekuensi 2.67 GHz sebesar 23.4%. Dari nilai VSWR yang diperoleh seharusnya nilai *gain* maksimum diperoleh pada frekuensi 2.66305 GHz karena nilai VSWR paling kecil diperoleh pada frekuensi ini. Apabila nilai VSWR semakin besar maka refleksi juga semakin besar sehingga daya yang diterima oleh antenna untuk dipancarkan akan semakin kecil.

Peningkatan *gain* juga akan memperbaiki keterarahan dari pola radiasi antenna referensi. Dari hasil pengukuran yang diperoleh, dapat dilihat bahwa antenna mikrostrip referensi memiliki keterarahan pada sudut 20°. Pada gambar pola radiasi antenna DGS bidang E-co dan H-co dapat dilihat bahwa berkas utama terjadi pada sudut 10°. Seperti terlihat pada gambar 4.11 dan 4.12 bahwa antenna DGS memiliki *side lobe*. *Side lobe* ini disebabkan radiasi oleh saluran catu. Radiasi yang dihasilkan oleh saluran catu dapat mengganggu pola radiasi yang dihasilkan baik oleh antenna referensi maupun antenna DGS.

4.4.3. Axial Ratio Bandwidth

Hasil pengukuran yang diperoleh menunjukkan *axial ratio bandwidth* untuk antenna DGS lebih besar dibandingkan antenna referensi. Untuk antenna dengan elemen DGS nilai *axial ratio* yang kurang dari 3 didapatkan dari frekuensi 2.63 GHz hingga frekuensi 2.68 GHz. Nilai *axial ratio* paling rendah didapatkan pada frekuensi 2.66 GHz, yaitu sebesar 1.568. Sedangkan pada antenna referensi nilai *axial ratio* kurang dari 3 diperoleh dari frekuensi 2.64 GHz hingga 2.68 GHz dengan nilai *axial ratio* paling minimum pada frekuensi 2.66 GHz sebesar 1.68.

Perbandingan *axial ratio bandwidth* pada kedua antenna tersebut sebesar:

- Untuk antenna DGS

$$\text{Bandwidth (\%)} = [(f_{atas} - f_{bawah}) / f_{tengah}] \times 100\%$$

$$\% BW_{2.66GHz} = \frac{2.68GHz - 2.63GHz}{2.66GHz} \times 100\% = 1.9\%$$

- Untuk antenna referensi

$$\% BW_{2.66GHz} = \frac{2.68GHz - 2.64GHz}{2.66GHz} \times 100\% = 1.5\%$$

Sehingga dengan menggunakan elemen DGS dapat memperbaiki karakteristik *axial ratio* sebesar:

$$\text{Bandwidth (\%)} = [(BW_{DGS} - BW_{ref}) / BW_{DGS}] \times 100\%$$

$$BW_{AR} = \frac{50MHz - 40MHz}{50MHz} \times 100\% = 20\%$$

4.5. ANALISIS PERBEDAAN HASIL SIMULASI DAN PENGUKURAN

Ketika dilakukan pengukuran *port* tunggal, terjadi pergeseran frekuensi kerja antenna mikrostrip *array linier* referensi dan antenna mikrostrip dengan DGS 2.61 GHz (simulasi) ke 2.66 GHz. *Bandwidth* dari antenna hasil fabrikasi sempit sehingga mengakibatkan frekuensi kerja 2.61 GHz tidak masuk dalam karakteristik antenna, seperti *return loss*, VSWR, dan impedansi masukan. Karena terdapat perbedaan frekuensi kerja pada saat simulasi dan pengukuran, maka dapat dihitung besarnya kesalahan relatif pada antenna DGS untuk frekuensi kerja, yaitu:

$$\% Error_f = \left| \frac{F_L \text{ pengukuran} - F_L \text{ simulasi}}{F_L \text{ simulasi}} \right| \times 100\% = \left| \frac{2.66GHz - 2.61GHz}{2.61GHz} \right| \times 100\% = 1.916\%$$

Sedangkan kesalahan relatif pada antenna DGS untuk bandwidth sebesar:

$$\% Error_f = \left| \frac{BW_{pengukuran} - BW_{simulasi}}{BW_{simulasi}} \right| \times 100\% = \left| \frac{64.91MHz - 85.4MHz}{85.4MHz} \right| \times 100\% = 20.49\%$$

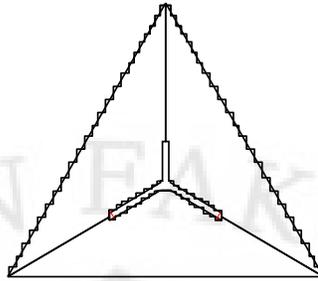
Pada table 4.3 dapat dilihat perbandingan kesalahan relatif antara antenna referensi dan antenna dengan DGS.

Tabel 4. 3 Perbandingan kesalahan relatif antara antenna referensi dan antenna dengan DGS

	antena referensi	antena dengan DGS
frekuensi kerja	1.92%	1.92%
bandwidth	53.39%	28.74%

Perbedaan antara hasil simulasi dengan hasil pengukuran disebabkan oleh beberapa faktor, antara lain:

1. Pada simulasi semua keadaan dalam kondisi ideal sehingga menghasilkan nilai *return loss* yang maksimal.
2. Dimensi antenna yang tidak presisi, kemungkinan terjadi kesalahan dalam pabrikan cukup besar karena kesalahan pemotongan yang mengurangi beberapa mm dari ukuran yang sebenarnya akan mengubah parameter antenna yang diukur. Selain itu pemotongan substrat yang masih dilakukan secara manual menyebabkan adanya bagian dari antenna yang tidak rata, sehingga terjadi pemantulan gelombang di bagian tersebut.
3. Penyolderan konektor pencatu yang dapat memberikan rugi-rugi tambahan.
4. Kabel koaksial yang digunakan pada saat pengukuran pola radiasi dan gain memiliki redaman yang cukup besar sehingga tidak semua daya dapat dikirimkan, melainkan sebagian teredam.
5. Substrat terlalu sering dipegang dan adanya debu yang menempel sehingga menimbulkan variasi *loss tangent* dan permitivitas pada substrat.
6. *Microwave Office 2004* menggunakan analisa *method of moment* yang menganalisa antenna dalam bentuk kotak-kotak (*grid*). Masalah timbul ketika rancangan antenna menggunakan sisi-sisi miring, sehingga terjadi ketidaksempurnaan analisa yang dilakukan oleh simulator, seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.18.



Gambar 4. 18. Pendekatan persegi dalam simulasi MWO 2004 untuk patch segitiga

7. Kesalahan pengukuran disebabkan oleh kondisi lingkungan pengukuran yang masih memungkinkan adanya gelombang pantul yang dihasilkan oleh dinding atau benda-benda disekitar objek pengukuran.

BAB V

KESIMPULAN

Pada skripsi telah dirancang suatu antena mikrostrip dengan menggunakan teknik *Defected Ground Structure* (DGS) bentuk *dumbbell square-head* pada *patch* antena segitiga *array linier*. Pada pengukuran didapatkan terjadinya pergeseran frekuensi dari hasil simulasi tapi pada masih dapat dilihat efek DGS terhadap perbaikan karakteristik antena referensi. Penambahan suatu pola DGS pada *ground plane* antena mikrostrip memperbaiki karakteristik antena referensi. Dari hasil studi, simulasi dan fabrikasi dapat disimpulkan bahwa:

1. Antena dengan DGS memiliki *return loss* optimum dari pengukuran sebesar -40.081 dB sedangkan pada antena referensi nilai *return loss* nya sebesar -30.188 dB. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa dengan menggunakan teknik DGS maka level *return loss* antena dapat diperbaiki sebesar 32.77%.
2. Nilai *bandwidth* VSWR dan *return loss* dari pengukuran antena dengan DGS adalah 60.85 MHz atau sebesar 2.28%, sedangkan nilai *bandwidth* VSWR dan *return loss* dari antena referensi adalah 43 MHz atau sebesar 1.619%.
3. *Gain* antena referensi pada frekuensi 2.66 GHz dapat ditingkatkan sebesar 2.36005 dB.
4. Dengan penambahan elemen DGS pada antena referensi, *mutual coupling* antena referensi pada frekuensi 2.66 GHz dapat ditekan sebesar 19.134 dB.

DAFTAR ACUAN

- [1] Garg, R., Bhartia, P, Bahl, I., dan Ittipiboon, A., “*Microstrip Design Handbook*”, Artech House Inc., Norwood, MA, 2001.
- [2] Constantine. A. Balanis, *Antena Theory : Analysis and Design*, (USA : John Willey and Sons,1997).
- [3] Martin, Mario, “Antena Mikrostrip Patch Segitiga 2-Elemen Linear Array Dengan Teknik Y Slot Untuk Menghasilkan Polarisasi Melingkar”, Skripsi S1 pada Universitas Indonesia, 2006.
- [4] M. Pozar, David, Fellow, IEEE., “*Microstrip Antennas*”, in *Proceedings of the IEEE*, vol. 80, No. 1, January 1992.
- [5] J.R. James and P.S. Hall,eds., *Handbook of Microstrip Antennas*, (vol. I and II, Peter Peregrinus (IEE), 1989).
- [6] Lu, J.H., Tang, C.L., dan Wong, K.L., “Circular Polarisation Design of a Single-Feed Equilateral-Triangular Microstrip Antenna,” *Electron. Lett.* vol. 34, pp. 319-321, 1998.
- [7] Lee, K.F., Luk K.M., dan Dahele, J.S., “Characteristics of the Equilateral Triangular Antena”, *IEEE Transaction on Antenas and Propagation*, vol. 36, no. 11, pp. 1510-1518, November 1988.
- [8] Fawwaz T. Ulaby, *Fundamentals of applied Electromagnetics*, (USA : Prentice Hall, 2001).
- [9]] <http://en.wikipedia.org/>
- [10] David M. Pozar, *A Review of Bandwidth Enhancement Techniques for Microstrip Antenna*, (New York : IEEE Press, 1995).
- [11] Helszajn, J., James, D.S., dan Nisbet, W.T., “Circulators Using Planar Triangular Resonators”, *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 27, no.2, pp. 188-193, February 1979.
- [12] Demir, Simsek dan Canon Toker, “Optimum Design of Feed Structures for High G/T Passive and Active Antenna Arrays,” *IEEE Transactions on Antennaa and Propagation*, Vol. 47, No. 3, March 1999.

- [13] Hirasawa, K. dan Haneishi, M., "Analysis, Design, and Measurement of Small and Low-Profile Antenas", Artech House, Norwood MA, 1992.
- [14] January 1981 issue of *IEEE Trans. on Antenna and Propagation*, Vol. AP-29.
- [15] Guha, D., Biswas, M., dan Antar, Y.M.M., "Microstrip Patch Antenna With Defected Ground Structure for Cross Polarization Suppression", *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 4, pp. 455-458, 2005.
- [16] Liu, Haiwen, *et al.*, "Harmonic Suppression With Photonic Bandgap and Defected Ground Structure for a Microstrip Patch Antenna", *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, vol. 15, no. 2, pp. 55-56, February 2005.
- [17] Keith C. Huie, "Microstrip Antennas: Broadband Radiation Patterns Using Photonic Crystal Substrate".
- [18] Mehmet Kemal Ozdemir, Huseyin Arslan, Erçument Arvas "A Mutual Coupling Model for MIMO Systems" (c)2003 *IEEE*
- [19] Lamia M. Khashan, Hala A. Elsadek dan Essam A. Hashish, " FDTD Study of The Mutual Coupling between Microstrip Antennas for Diversity Wireless Systems", International Symposium on Antennas and Propagation-ISAP 2006.

DAFTAR PUSTAKA

Balanis, C.A, “Antenna Theory, Analysis, and Design”, Harper & Row
Publisher, New York, 1982.

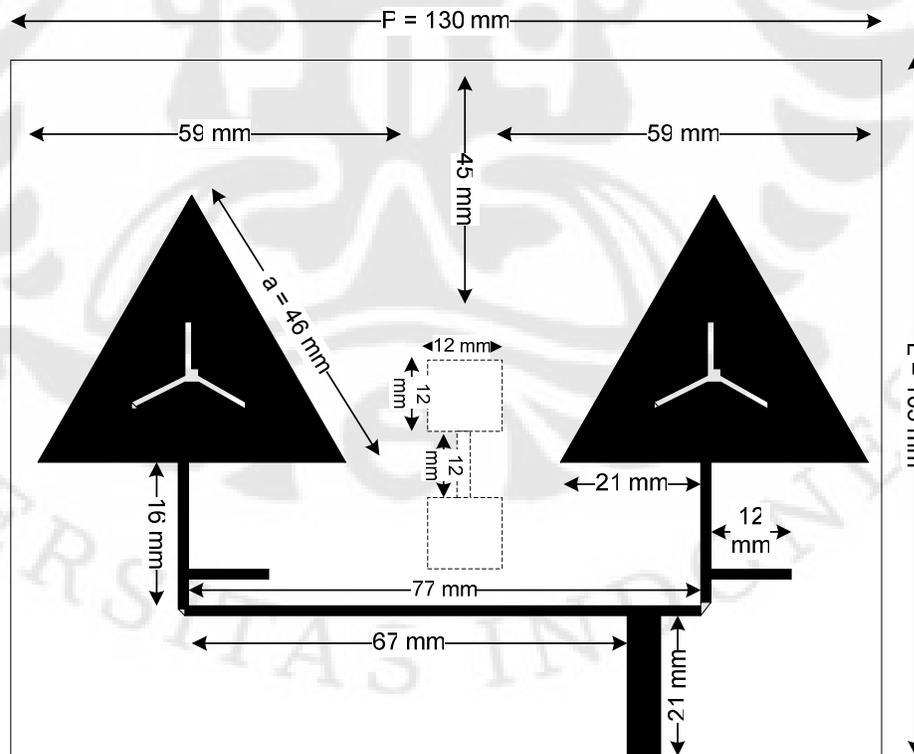
Garg, R., Bhartia, P., Bahl, I., and Ittipiboon, A., “Microstrip Design Handbook”,
Artech House. Inc, Norwood MA, 2001.



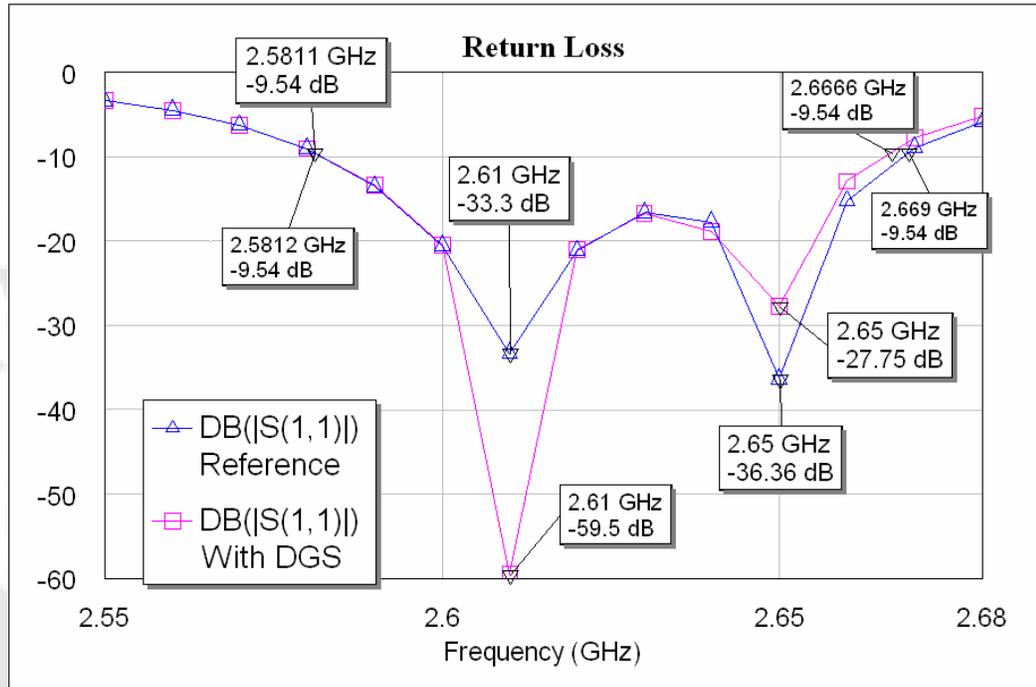
LAMPIRAN A

HASIL SIMULASI

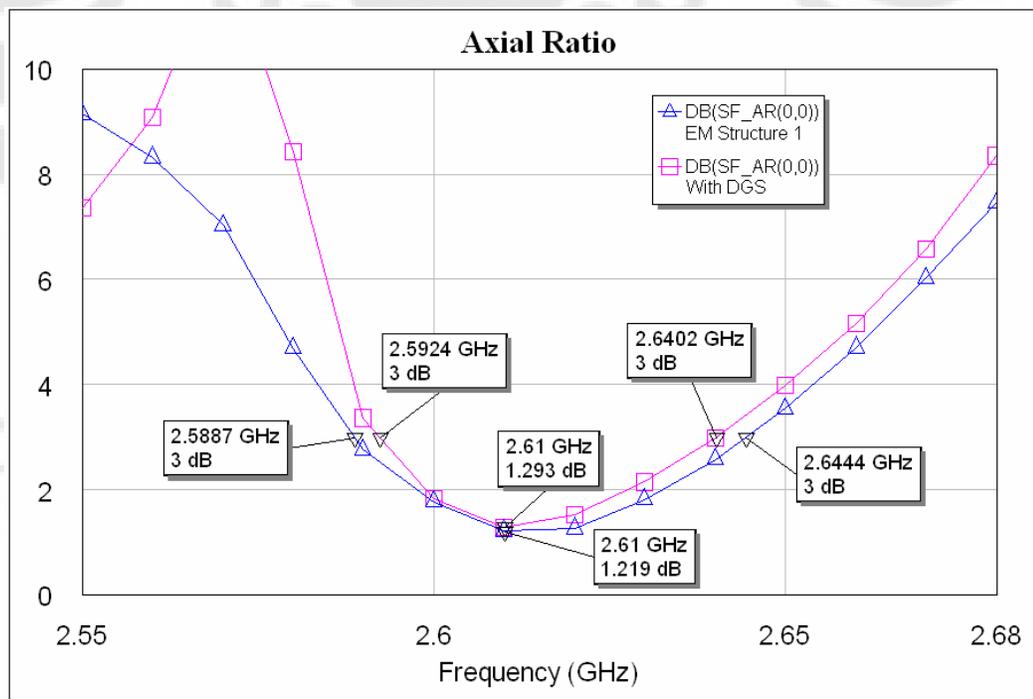
Pada bagian ini akan ditampilkan hasil simulasi rancangan yang digunakan untuk fabrikasi dan pengukuran. Simulasi dilakukan dengan menggunakan Microwave Office 2004 untuk melihat karakterisasi antenna yang telah dirancang. Karakterisasi yang diperoleh adalah *return loss*, *VSWR*, *axial ratio*, impedansi masukan pola radiasi, dan *mutual coupling*. Gambar Lamp 1.1 merupakan hasil rancangan antenna dengan DGS, dan Gambar Lamp 1.2 hingga Gambar Lamp 1.7 merupakan perbandingan karakteristik antenna referensi dan antenna dengan DGS. Dari hasil simulasi dapat dilihat perbedaan antara karakteristik antenna tanpa DGS dengan karakteristik antenna yang menggunakan DGS dimana pada grafik antenna referensi tanpa DGS ditunjukkan dengan warna biru dan warna merah muda menunjukkan antenna yang menggunakan elemen DGS.



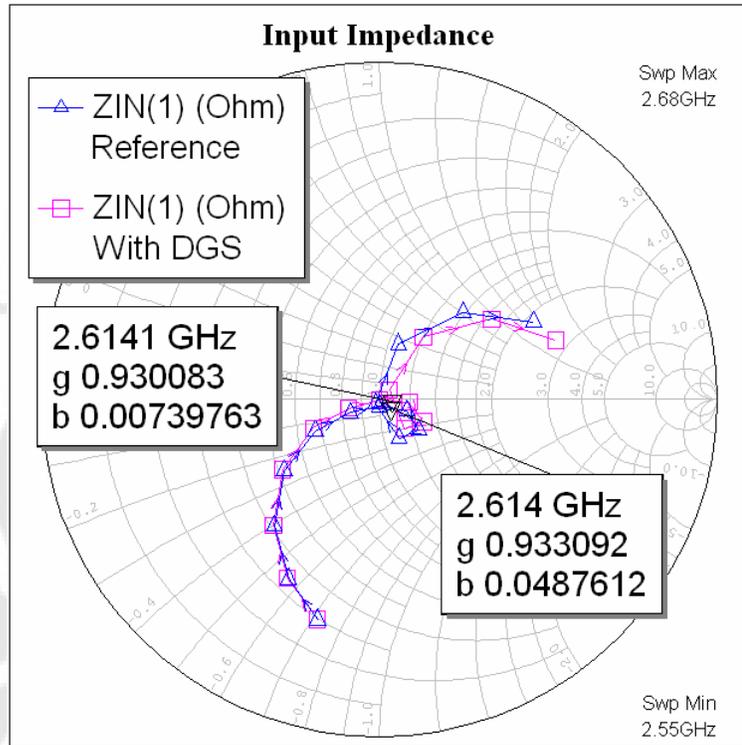
Gambar Lamp. A. 1. Konfigurasi antenna mikrostrip *array* linier dengan DGS



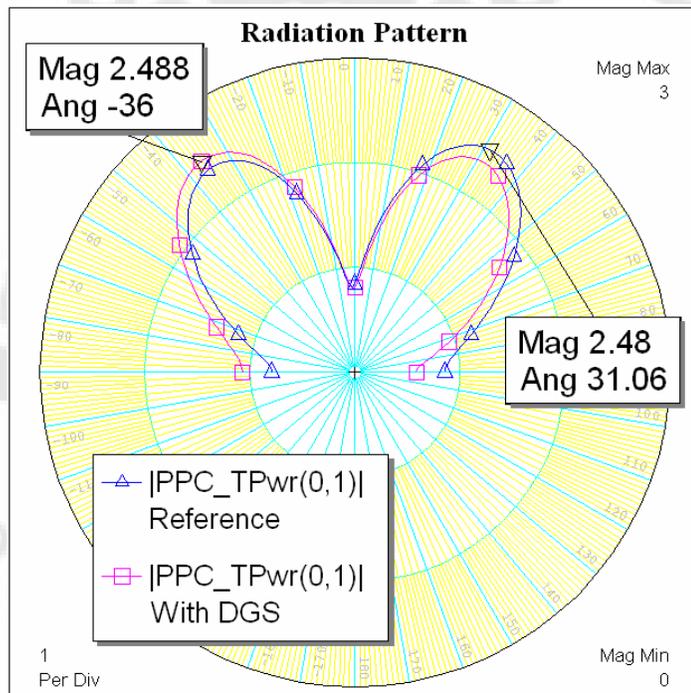
Gambar Lamp. A. 2. Hasil simulasi *return loss*



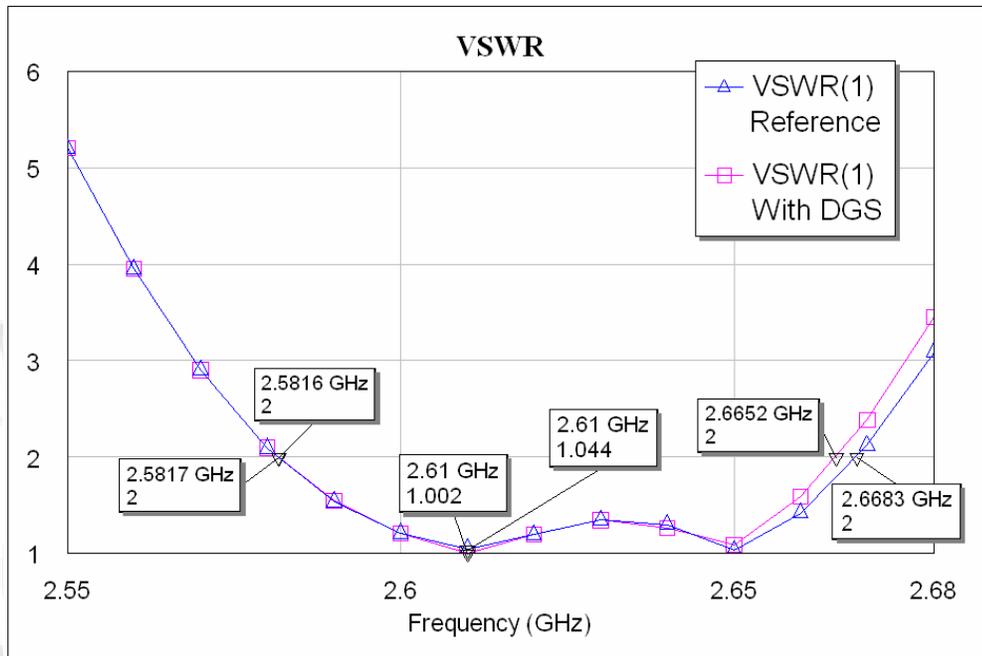
Gambar Lamp. A. 3. Hasil simulasi *axial ratio*



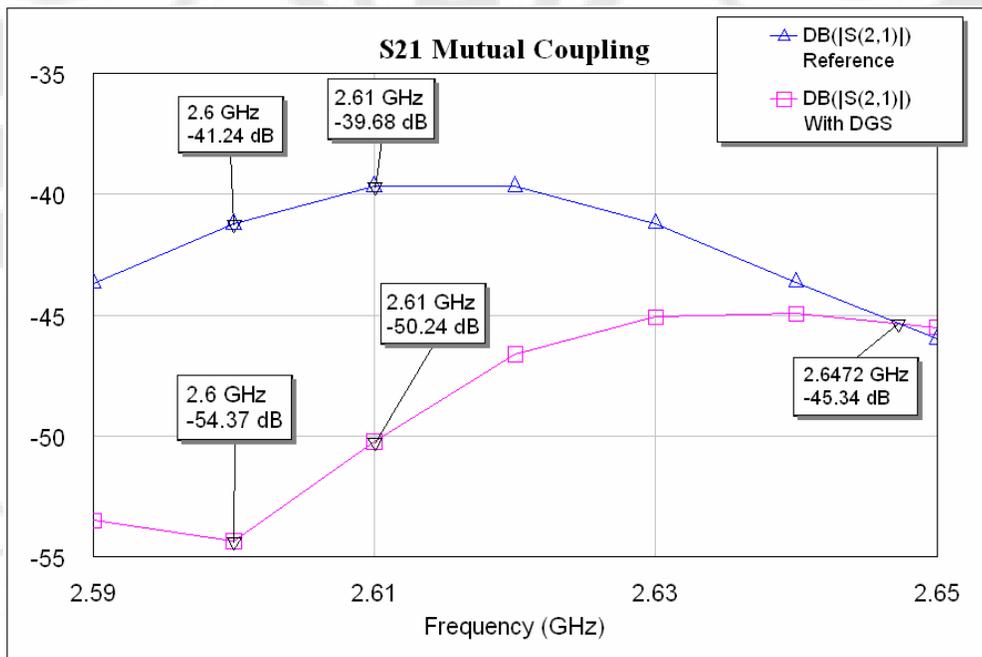
Gambar Lamp. A. 4. Hasil simulasi impedansi masukan



Gambar Lamp. A. 5. Hasil simulasi pola radiasi



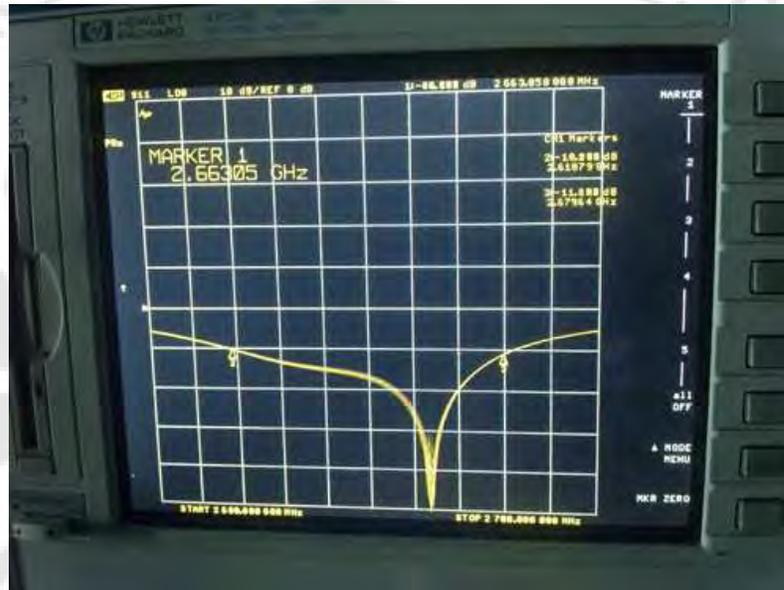
Gambar Lamp. A. 6. Hasil simulasi VSWR



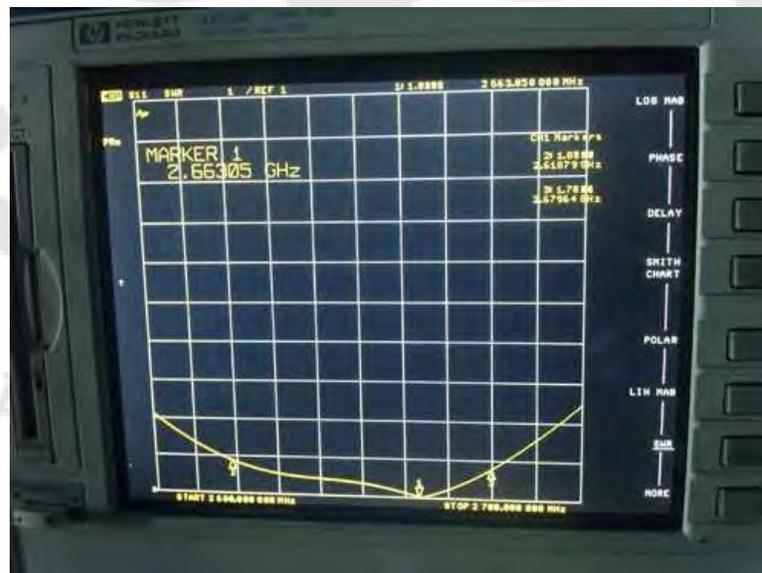
Gambar Lamp. A. 7. Hasil simulasi mutual coupling

LAMPIRAN B

HASIL PENGUKURAN *PORT* TUNGGAL ANTENA DGS

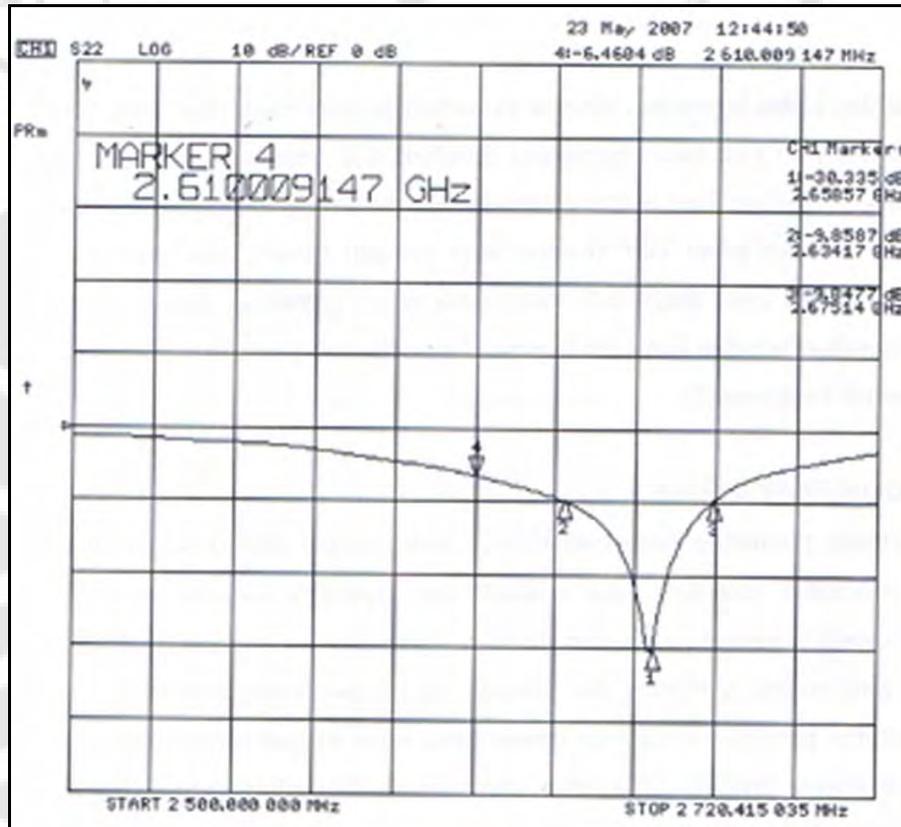


Gambar Lamp. B. 1. Hasil pengukuran *return loss* antenna dengan DGS

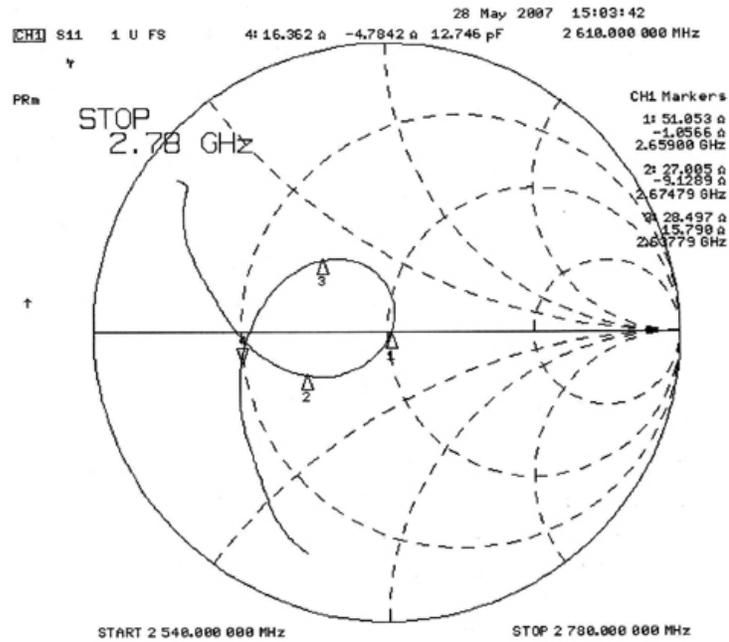


Gambar Lamp. B. 2. Hasil pengukuran VSWR antenna DGS

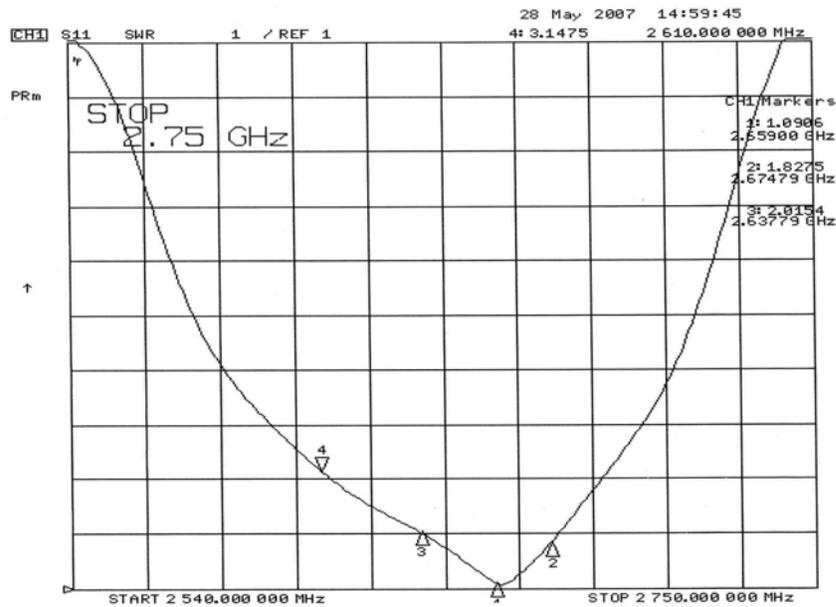
LAMPIRAN C
HASIL PENGUKURAN *PORT* TUNGGAL ANTENA
REFERENSI



Gambar Lamp. C. 1. Hasil pengukuran *return loss* antenna referensi



Gambar Lamp. C. 2. Hasil pengukuran impedansi masukan antenna referensi



Gambar Lamp. C. 3. Hasil pengukuran VSWR antenna referensi

LAMPIRAN D

HASIL PENGUKURAN POLA RADIASI, GAIN, DAN AXIAL RATIO

D.1. HASIL PENGUKURAN POLA RADIASI

D.1.1 Hasil Pengukuran Pola Radiasi Antena Referensi

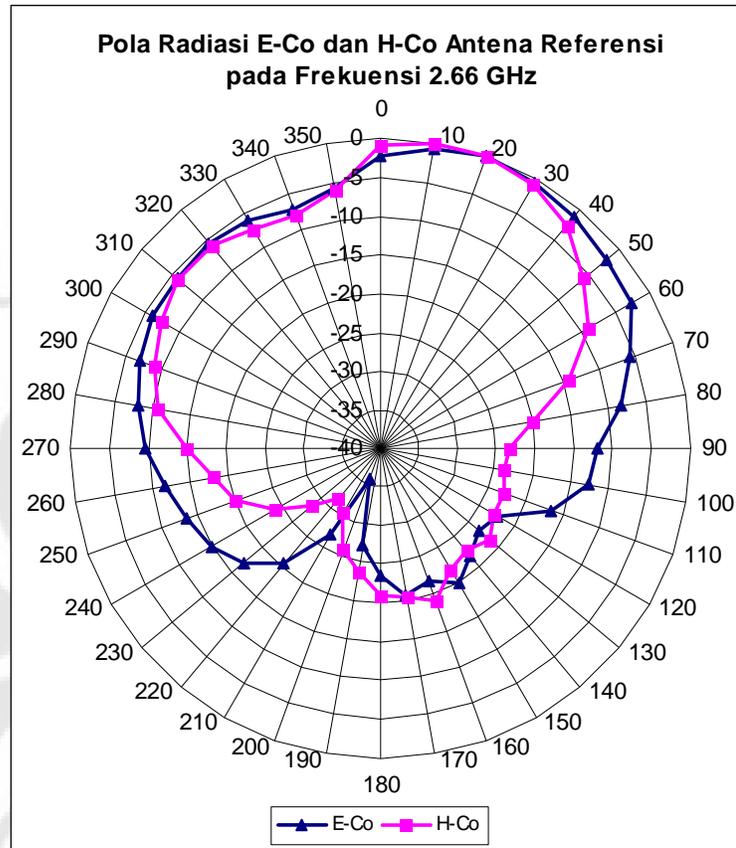
Tabel Lamp. D. 1. Pola radiasi E-Co

sudut	data1	data2	rata-rata	normalisasi
0	-21.364	-21.897	-21.6305	-2.3525
10	-19.732	-20.153	-19.9425	-0.6645
20	-19.526	-19.03	-19.278	0
30	-19.55	-19.793	-19.6715	-0.3935
40	-20.147	-20.671	-20.409	-1.131
50	-20.921	-21.713	-21.317	-2.039
60	-21.761	-22.025	-21.893	-2.615
70	-24.025	-26.141	-25.083	-5.805
80	-27.524	-28.236	-27.88	-8.602
90	-31.095	-31.33	-31.2125	-11.9345
100	-31.464	-32.717	-32.0905	-12.8125
110	-35.541	-36.471	-36.006	-16.728
120	-41.211	-42.66	-41.9355	-22.6575
130	-41.548	-43.703	-42.6255	-23.3475
140	-43.971	-38.714	-41.3425	-22.0645
150	-41.291	-37.074	-39.1825	-19.9045
160	-40.369	-41.47	-40.9195	-21.6415
170	-41.226	-39.124	-40.175	-20.897
180	-42.174	-43.62	-42.897	-23.619
190	-46.101	-47.106	-46.6035	-27.3255
200	-53.134	-57.027	-55.0805	-35.8025
210	-49.325	-43.701	-46.513	-27.235
220	-40.444	-39.07	-39.757	-20.479
230	-36.568	-36.381	-36.4745	-17.1965
240	-34.416	-33.512	-33.964	-14.686
250	-32.784	-32.775	-32.7795	-13.5015
260	-31.145	-30.931	-31.038	-11.76
270	-28.966	-28.791	-28.8785	-9.6005
280	-27.795	-27.314	-27.5545	-8.2765
290	-26.266	-26.124	-26.195	-6.917
300	-25.061	-25.432	-25.2465	-5.9685
310	-24.998	-25.273	-25.1355	-5.8575
320	-24.654	-24.786	-24.72	-5.442
330	-25.346	-25.267	-25.3065	-6.0285
340	-26.764	-26.198	-26.481	-7.203

350	-25.34	-25.34	-25.34	-6.062
-----	--------	--------	--------	--------

Tabel Lamp. D. 2. Pola radiasi H-Co

sudut	data1	data2	rata-rata	normalisasi
0	-20.435	-21.117	-20.776	-0.972
10	-19.571	-20.173	-19.872	-0.068
20	-19.562	-20.046	-19.804	0
30	-20.386	-20.816	-20.601	-0.797
40	-21.834	-22.711	-22.2725	-2.4685
50	-24.566	-26.374	-25.47	-5.666
60	-27.677	-29.984	-28.8305	-9.0265
70	-31.767	-36.011	-33.889	-14.085
80	-36.632	-43.419	-40.0255	-20.2215
90	-40.926	-45.524	-43.225	-23.421
100	-44.294	-43.161	-43.7275	-23.9235
110	-45.717	-40.321	-43.019	-23.215
120	-46.312	-39.736	-43.024	-23.22
130	-45.166	-37.449	-41.3075	-21.5035
140	-44.744	-40.592	-42.668	-22.864
150	-46.1	-37.486	-41.793	-21.989
160	-40.037	-37.965	-39.001	-19.197
170	-40.476	-40.356	-40.416	-20.612
180	-40.564	-40.927	-40.7455	-20.9415
190	-42.824	-44.364	-43.594	-23.79
200	-44.517	-47.262	-45.8895	-26.0855
210	-45.37	-54.911	-50.1405	-30.3365
220	-49.365	-53.174	-51.2695	-31.4655
230	-51.733	-44.525	-48.129	-28.325
240	-48.582	-39.41	-43.996	-24.192
250	-43.587	-36.122	-39.8545	-20.0505
260	-42.777	-33.233	-38.005	-18.201
270	-39.021	-30.779	-34.9	-15.096
280	-31.922	-29.46	-30.691	-10.887
290	-29.791	-27.922	-28.8565	-9.0525
300	-28.138	-26.244	-27.191	-7.387
310	-25.724	-25.727	-25.7255	-5.9215
320	-25.51	-25.927	-25.7185	-5.9145
330	-26.668	-27.829	-27.2485	-7.4445
340	-27.574	-28.174	-27.874	-8.07
350	-25.595	-26.683	-26.139	-6.335



Gambar Lamp. D. 1. Pola radiasi E-Co dan H-Co antenna referensi

Tabel Lamp. D. 3. Pola radiasi E-Cross

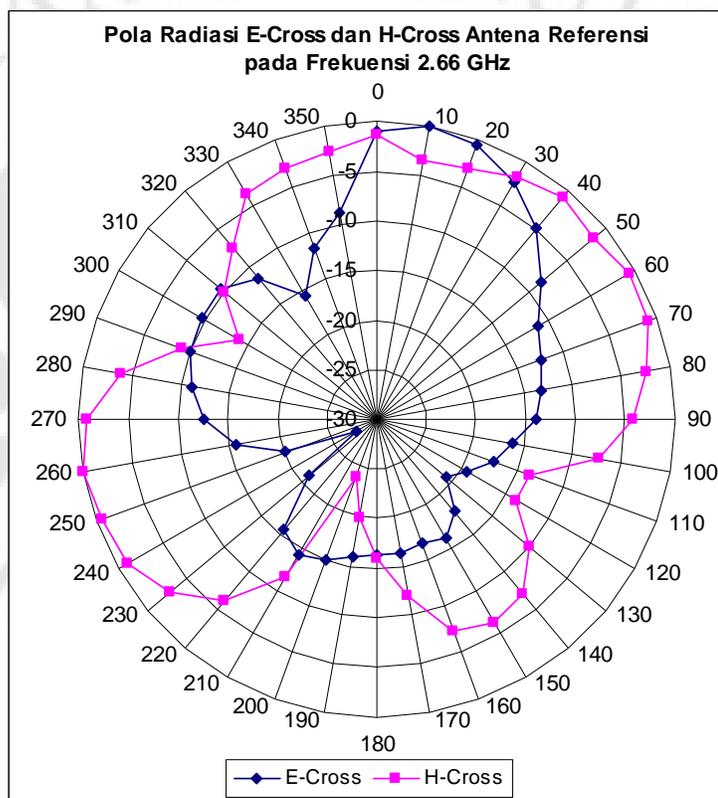
sudut	data1	data2	rata-rata	Normalisasi
0	-31.327	-31.734	-31.5305	-0.9615
10	-30.476	-30.662	-30.569	0
20	-31.525	-31.036	-31.2805	-0.7115
30	-33.462	-32.614	-33.038	-2.469
40	-35.782	-35.185	-35.4835	-4.9145
50	-39.801	-38.217	-39.009	-8.44
60	-42.727	-40.791	-41.759	-11.19
70	-43.476	-42.712	-43.094	-12.525
80	-44.17	-43.61	-43.89	-13.321
90	-44.961	-44.111	-44.536	-13.967
100	-46.344	-47.155	-46.7495	-16.1805
110	-48.923	-47.447	-48.185	-17.616
120	-49.771	-50.464	-50.1175	-19.5485
130	-51.455	-51.737	-51.596	-21.027
140	-49.441	-47.635	-48.538	-17.969
150	-47.413	-46.246	-46.8295	-16.2605
160	-46.713	-47.731	-47.222	-16.653
170	-47.072	-46.825	-46.9485	-16.3795
180	-47.464	-46.52	-46.992	-16.423

190	-46.591	-46.48	-46.5355	-15.9665
200	-45.462	-45.819	-45.6405	-15.0715
210	-45.074	-44.72	-44.897	-14.328
220	-46.729	-45.42	-46.0745	-15.5055
230	-55.964	-47.44	-51.702	-21.133
240	-61.773	-54.71	-58.2415	-27.6725
250	-47.964	-53.678	-50.821	-20.252
260	-44.514	-47.932	-46.223	-15.654
270	-41.792	-44.51	-43.151	-12.582
280	-40.534	-42.727	-41.6305	-11.0615
290	-39.746	-41.373	-40.5595	-9.9905
300	-39.543	-40.923	-40.233	-9.664
310	-40.14	-40.105	-40.1225	-9.5535
320	-42.127	-41.821	-41.974	-11.405
330	-47.374	-45.021	-46.1975	-15.6285
340	-42.041	-42.714	-42.3775	-11.8085
350	-39.92	-39.067	-39.4935	-8.9245

Tabel Lamp. D. 4. Pola radiasi H-Cross

sudut	data1	data2	rata-rata	Normalisasi
0	-34.617	-35.974	-35.2955	-1.3365
10	-37.471	-37.762	-37.6165	-3.6575
20	-37.44	-37.021	-37.2305	-3.2715
30	-35.148	-36.45	-35.799	-1.84
40	-35.175	-34.577	-34.876	-0.917
50	-35.765	-35.277	-35.521	-1.562
60	-32.576	-36.785	-34.6805	-0.7215
70	-35.428	-34.556	-34.992	-1.033
80	-37.561	-35.442	-36.5015	-2.5425
90	-38.574	-37.78	-38.177	-4.218
100	-43.242	-39.234	-41.238	-7.279
110	-52.603	-42.569	-47.586	-13.627
120	-52.915	-42.781	-47.848	-13.889
130	-44.197	-43.732	-43.9645	-10.0055
140	-41.115	-41.113	-41.114	-7.155
150	-41.104	-39.706	-40.405	-6.446
160	-40.194	-42.517	-41.3555	-7.3965
170	-45.236	-46.629	-45.9325	-11.9735
180	-51.101	-48.791	-49.946	-15.987
190	-56.23	-51.45	-53.84	-19.881
200	-54.782	-60.923	-57.8525	-23.8935
210	-45.794	-45.586	-45.69	-11.731
220	-40.171	-39.864	-40.0175	-6.0585
230	-37.271	-36.425	-36.848	-2.889
240	-35.079	-35.048	-35.0635	-1.1045
250	-34.091	-35.117	-34.604	-0.645
260	-33.901	-34.017	-33.959	0
270	-35.56	-34.229	-34.8945	-0.9355
280	-39.571	-36.11	-37.8405	-3.8815
290	-45.135	-41.222	-43.1785	-9.2195

300	-50.361	-45.938	-48.1495	-14.1905
310	-42.04	-45.912	-43.976	-10.017
320	-37.913	-45.122	-41.5175	-7.5585
330	-37.104	-38.762	-37.933	-3.974
340	-36.154	-37.954	-37.054	-3.095
350	-36.202	-37.105	-36.6535	-2.6945



Gambar Lamp. D. 2. Pola radiasi E-Cross dan H-Cross antena referensi

D.1.2 Hasil Pengukuran Pola Radiasi Antena DGS

Tabel Lamp. D. 5. Pola radiasi E-Co

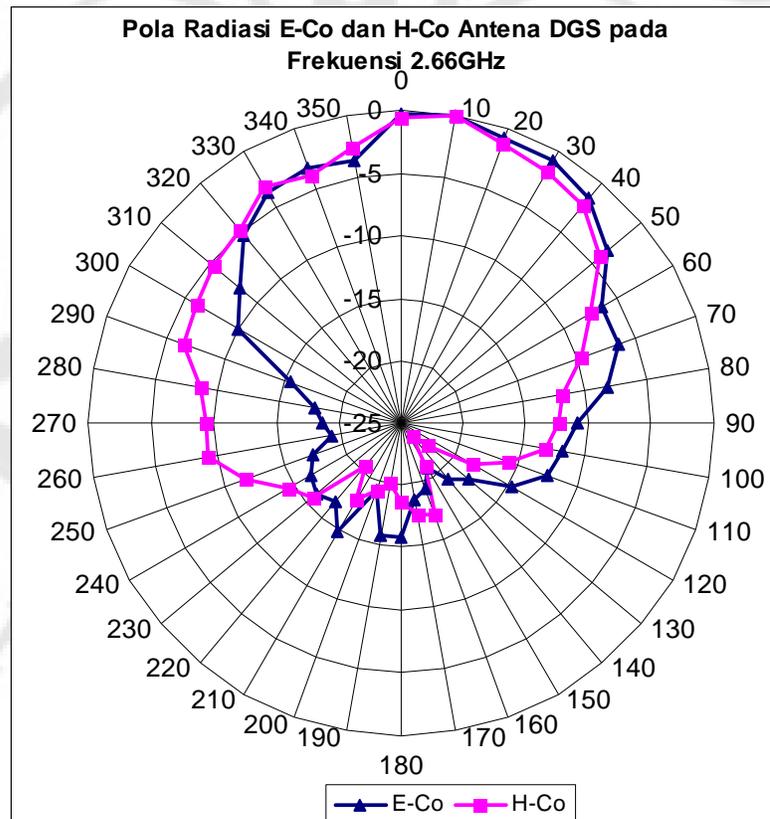
sudut	data 1	data 2	rata-rata	Normalisasi
0	-20.158	-21.697	-20.9275	-0.312
10	-20.507	-20.724	-20.6155	0
20	-21.158	-21.697	-20.9275	-0.812
30	-21.801	-21.066	-20.9335	-0.818
40	-21.533	-22.857	-22.195	-1.5795
50	-23.928	-24.567	-24.2475	-3.632
60	-27.37	-27.126	-27.248	-6.6325
70	-27.37	-26.967	-27.1685	-6.553
80	-30.699	-27.031	-28.865	-8.2495
90	-35.128	-28.092	-31.61	-10.9945

100	-35.455	-29.799	-32.627	-12.0115
110	-35.163	-31.364	-33.2635	-12.648
120	-37.94	-33.028	-35.484	-14.8685
130	-41.286	-35.84	-38.563	-17.9475
140	-41.961	-37.692	-39.8265	-19.211
150	-43.083	-39.907	-41.495	-20.8795
160	-39.36	-40.701	-40.0305	-19.415
170	-37.582	-41.179	-39.3805	-18.765
180	-34.941	-38.155	-36.548	-15.9325
190	-34.852	-38.071	-36.4615	-15.846
200	-40.201	-39.678	-39.9395	-19.324
210	-36.251	-35.014	-35.6325	-15.017
220	-36.701	-37.943	-37.322	-16.7065
230	-36.179	-37.411	-36.795	-16.1795
240	-37.224	-37.42	-37.322	-16.7065
250	-38.452	-37.712	-38.082	-17.4665
260	-40.004	-39.819	-39.9115	-19.296
270	-39.515	-39.007	-39.261	-18.6455
280	-38.781	-38.469	-38.625	-18.0095
290	-34.822	-37.469	-36.1455	-15.53
300	-29.264	-32.166	-30.715	-10.0995
310	-29.011	-28.747	-28.879	-8.2635
320	-26.779	-25.101	-25.94	-5.3245
330	-24.158	-24.697	-24.4275	-3.812
340	-24.801	-23.066	-23.9335	-3.318
350	-24.792	-24.04	-24.416	-3.8005

Tabel Lamp. D. 6. Pola radiasi H-Co

sudut	data 1	data 2	rata-rata	Normalisasi
0	-22.048	-23.923	-22.9855	-0.528
10	-22.825	-22.09	-22.4575	0
20	-24.004	-23.226	-23.615	-1.1575
30	-24.576	-23.94	-24.258	-1.8005
40	-25.758	-23.905	-24.8315	-2.374
50	-27.701	-25.864	-26.7825	-4.325
60	-29.89	-29.984	-29.937	-7.4795
70	-32.161	-32.185	-32.173	-9.7155
80	-34.197	-34.754	-34.4755	-12.018
90	-34.511	-35.288	-34.8995	-12.442
100	-35.255	-36.351	-35.803	-13.3455
110	-38.24	-38.411	-38.3255	-15.868
120	-42.042	-39.551	-40.7965	-18.339
130	-45.278	-44.134	-44.706	-22.2485
140	-46.111	-46.198	-46.1545	-23.697
150	-43.108	-44.1	-43.604	-21.1465

160	-40.263	-39.212	-39.7375	-17.28
170	-40.271	-39.788	-40.0295	-17.572
180	-41.47	-40.987	-41.2285	-18.771
190	-42.651	-42.421	-42.536	-20.0785
200	-41.695	-41.826	-41.7605	-19.303
210	-39.98	-40.74	-40.36	-17.9025
220	-43.968	-42.009	-42.9885	-20.531
230	-37.666	-38.82	-38.243	-15.7855
240	-37.918	-36.478	-37.198	-14.7405
250	-35.34	-33.299	-34.3195	-11.862
260	-31.604	-31.903	-31.7535	-9.296
270	-32.258	-31.429	-31.8435	-9.386
280	-31.835	-30.473	-31.154	-8.6965
290	-29.897	-28.197	-29.047	-6.5895
300	-27.693	-29.385	-28.539	-6.0815
310	-28.415	-27.623	-28.019	-5.5615
320	-27.209	-27.443	-27.326	-4.8685
330	-25.146	-26.167	-25.6565	-3.199
340	-26.121	-26.639	-26.38	-3.9225
350	-25.64	-24.542	-25.091	-2.6335



Gambar Lamp. D. 3. Pola radiasi E-Co dan H-Co antenna DGS

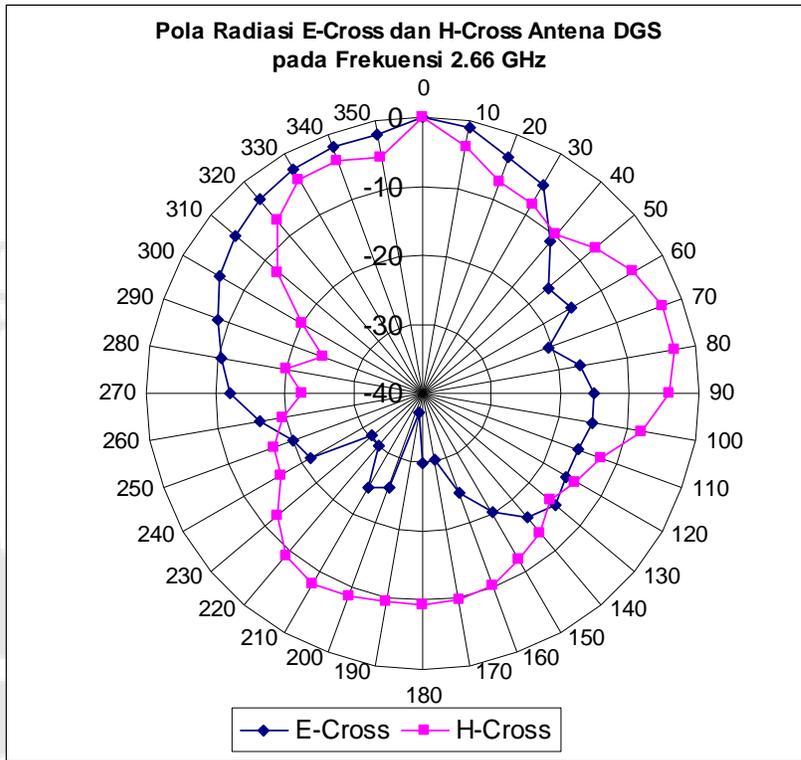
Tabel Lamp. D. 7. Pola radiasi E-Cross

sudut	data 1	data 2	rata-rata	normalisasi
0	-31.59	-30.286	-30.938	0
10	-32.064	-31.891	-31.9775	-1.0395
20	-34.471	-34.446	-34.4585	-3.5205
30	-34.459	-37.815	-36.137	-5.199
40	-37.507	-47.23	-42.3685	-11.4305
50	-40.089	-54.216	-47.1525	-16.2145
60	-44.332	-47.81	-46.071	-15.133
70	-57.302	-45.43	-51.366	-20.428
80	-47.971	-47.992	-47.9815	-17.0435
90	-44.949	-47.507	-46.228	-15.29
100	-45.934	-46.17	-46.052	-15.114
110	-47.512	-46.045	-46.7785	-15.8405
120	-47.938	-45.755	-46.8465	-15.9085
130	-45.086	-46.521	-45.8035	-14.8655
140	-43.323	-51.51	-47.4165	-16.4785
150	-46.896	-55.05	-50.973	-20.035
160	-54.804	-56.044	-55.424	-24.486
170	-61.188	-60.88	-61.034	-30.096
180	-66.391	-55.454	-60.9225	-29.9845
190	-68.213	-68.213	-68.213	-37.275
200	-51.631	-61.144	-56.3875	-25.4495
210	-55.463	-55.075	-55.269	-24.331
220	-62.982	-59.337	-61.1595	-30.2215
230	-61.11	-61.451	-61.2805	-30.3425
240	-55.3	-48.911	-52.1055	-21.1675
250	-51.442	-50.27	-50.856	-19.918
260	-50.4	-43.795	-47.0975	-16.1595
270	-43.858	-42.313	-43.0855	-12.1475
280	-41.62	-40.859	-41.2395	-10.3015
290	-39.742	-39.111	-39.4265	-8.4885
300	-37.126	-36.99	-37.058	-6.12
310	-35.602	-35.636	-35.619	-4.681
320	-34.508	-33.943	-34.2255	-3.2875
330	-33.488	-33.511	-33.4995	-2.5615
340	-33.188	-32.872	-33.03	-2.092
350	-32.206	-33.946	-33.076	-2.138

Tabel Lamp. D. 8. Pola radiasi H-Cross

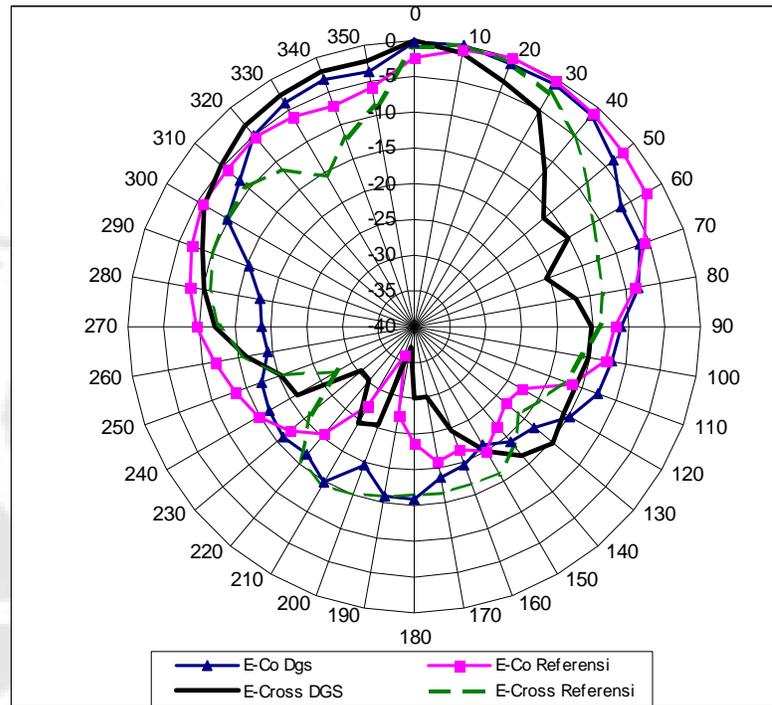
sudut	data 1	data 2	rata-rata	normalisasi
0	-32.413	-31.75	-32.0815	0
10	-36.033	-35.679	-35.856	-3.7745
20	-40.151	-38.522	-39.3365	-7.255
30	-40.095	-40.574	-40.3345	-8.253
40	-42.101	-41.921	-42.011	-9.9295
50	-43.552	-35.48	-39.516	-7.4345
60	-40.114	-33.453	-36.7835	-4.702
70	-35.497	-34.979	-35.238	-3.1565

80	-34.042	-36.317	-35.1795	-3.098
90	-34.657	-38.338	-36.4975	-4.416
100	-36.901	-43.009	-39.955	-7.8735
110	-40.402	-48.362	-44.382	-12.3005
120	-43.332	-49.671	-46.5015	-14.42
130	-51.701	-44.522	-48.1115	-16.03
140	-47.132	-43.823	-45.4775	-13.396
150	-44.469	-44.066	-44.2675	-12.186
160	-44.204	-40.691	-42.4475	-10.366
170	-40.849	-42.569	-41.709	-9.6275
180	-40.523	-42.471	-41.497	-9.4155
190	-41.43	-41.328	-41.379	-9.2975
200	-41.857	-40.072	-40.9645	-8.883
210	-40.069	-40.29	-40.1795	-8.098
220	-40.025	-42.287	-41.156	-9.0745
230	-42.513	-46.519	-44.516	-12.4345
240	-46.408	-50.177	-48.2925	-16.211
250	-49.207	-49.19	-49.1985	-17.117
260	-51.848	-51.115	-51.4815	-19.4
270	-53.964	-55.018	-54.491	-22.4095
280	-51.838	-52.084	-51.961	-19.8795
290	-57.518	-55.798	-56.658	-24.5765
300	-52.045	-51.855	-51.95	-19.8685
310	-45.165	-44.278	-44.7215	-12.64
320	-40.173	-38.482	-39.3275	-7.246
330	-36.675	-36.309	-36.492	-4.4105
340	-35.6	-36.768	-36.184	-4.1025
350	-35.698	-38.911	-37.3045	-5.223

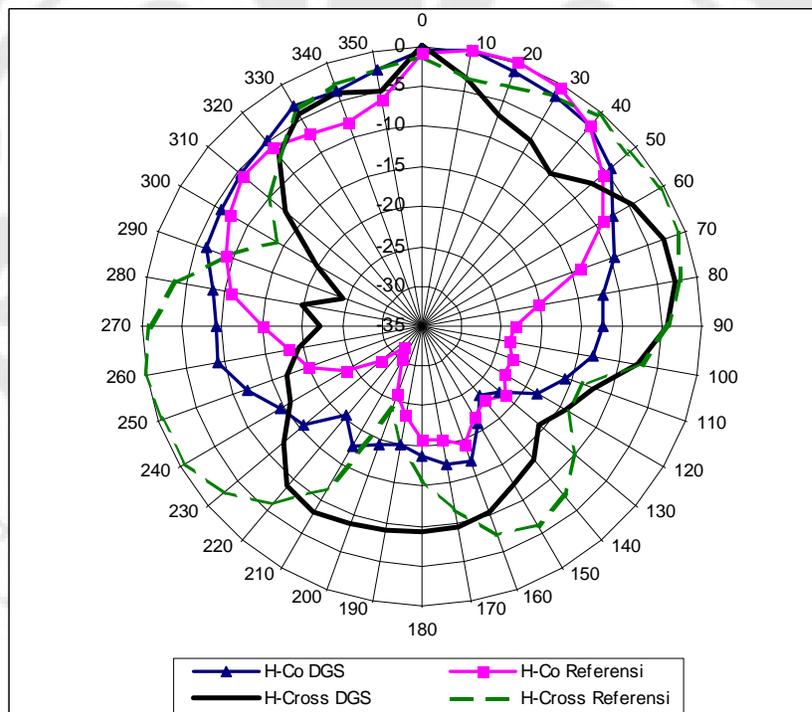


Gambar Lamp. D. 4. Pola radiasi E-Cross dan H-Cross antenna DGS

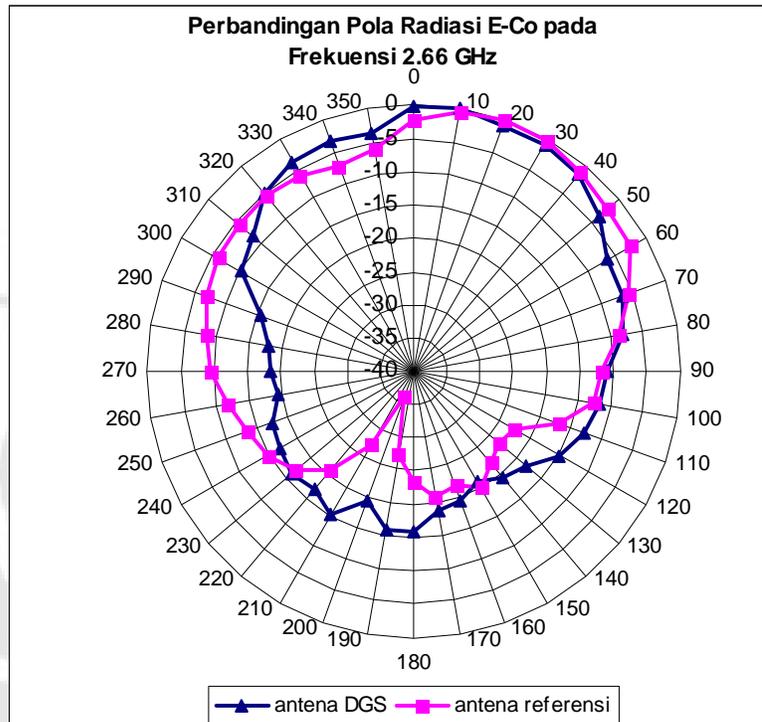
D.1.3 Perbandingan Antena Referensi dan Antena DGS



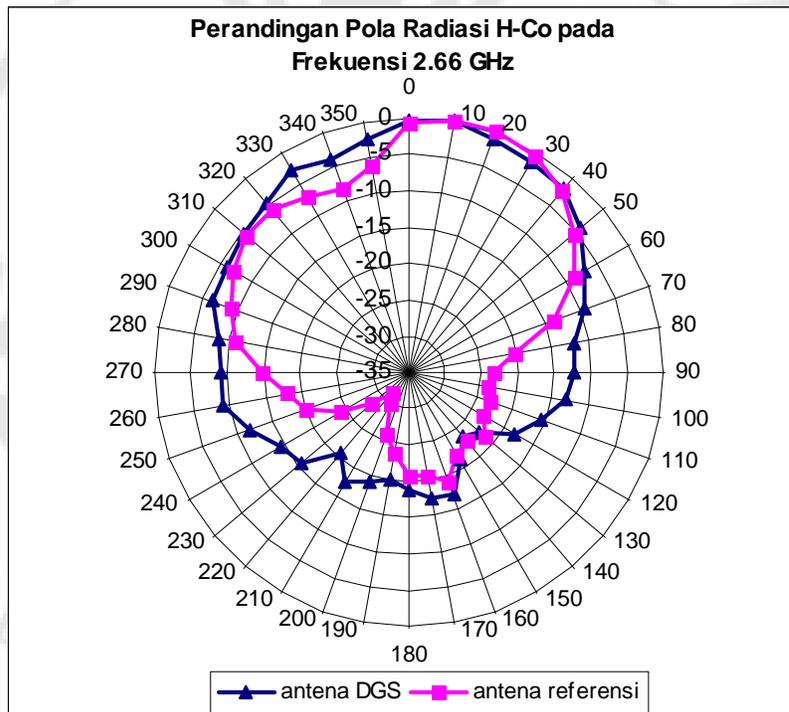
Gambar Lamp. D. 5. Perbandingan pola radiasi bidang E



Gambar Lamp. D. 6. Perbandingan pola radiasi bidang H



Gambar Lamp. D. 7. Perbandingan pola radiasi E-Co



Gambar Lamp. D. 8. Perbandingan pola radiasi H-Co

D.2 Hasil Pengukuran Gain

Tabel Lamp. D. 9. Pengukuran daya kombinasi antenna G1+G2

Frekuensi (GHz)	Daya Pengirim (mW)	Daya Penerima (μ W)			Lambda (cm)
		I	II	Rata-rata	
2.6	0.726	0.34	0.339	0.3395	11.53846154
2.61	0.719	0.358	0.357	0.3575	11.49425287
2.62	0.72	0.509	0.51	0.5095	11.45038168
2.63	0.728	0.628	0.629	0.6285	11.40684411
2.64	0.731	1.34	1.31	1.325	11.36363636
2.65	0.721	3.78	3.76	3.77	11.32075472
2.66	0.712	9.24	9.25	9.245	11.27819549
2.67	0.714	11.61	11.6	11.605	11.23595506
2.68	0.721	9.8	9.82	9.81	11.19402985
2.69	0.726	6.92	6.94	6.93	11.15241636
2.7	0.723	3.63	3.65	3.64	11.11111111

Tabel Lamp. D. 10. Pengukuran daya kombinasi antenna G1+G3

Frekuensi (GHz)	Daya Pengirim (mW)	Daya Penerima (μ W)			Lambda (cm)
		I	II	Rata-rata	
2.6	0.726	0.442	0.443	0.4425	11.53846154
2.61	0.719	0.603	0.602	0.6025	11.49425287
2.62	0.72	0.877	0.876	0.8765	11.45038168
2.63	0.728	1.53	1.52	1.525	11.40684411
2.64	0.731	2.71	2.7	2.705	11.36363636
2.65	0.721	5.36	5.38	5.37	11.32075472
2.66	0.712	10.04	10.02	10.03	11.27819549
2.67	0.714	11.32	11.29	11.305	11.23595506
2.68	0.721	9.72	9.74	9.73	11.19402985
2.69	0.726	6.97	6.96	6.965	11.15241636
2.7	0.723	3.79	3.78	3.785	11.11111111

Tabel Lamp. D. 11. Pengukuran daya kombinasi antenna G2+G3

Frekuensi (GHz)	Daya Pengirim (mW)	Daya Penerima (μ W)			Lambda (cm)
		I	II	Rata-rata	
2.6	0.726	0.246	0.245	0.2455	11.53846154
2.61	0.719	0.261	0.26	0.2605	11.49425287
2.62	0.72	0.333	0.331	0.332	11.45038168
2.63	0.728	0.554	0.553	0.5535	11.40684411

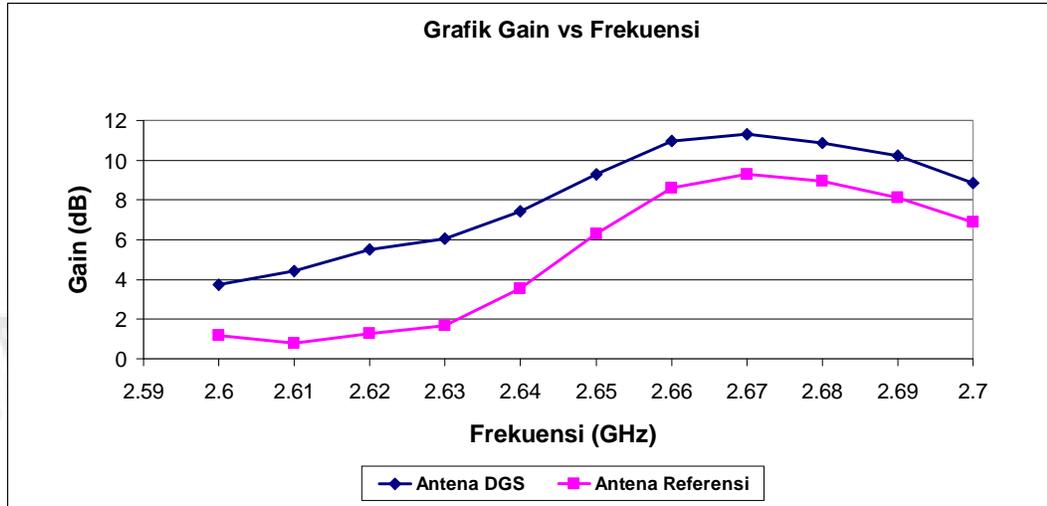
2.64	0.731	1.113	1.114	1.1135	11.36363636
2.65	0.721	2.66	2.67	2.665	11.32075472
2.66	0.712	5.81	5.84	5.825	11.27819549
2.67	0.714	7.08	7.09	7.085	11.23595506
2.68	0.721	6.24	6.23	6.235	11.19402985
2.69	0.726	4.29	4.28	4.285	11.15241636
2.7	0.723	2.39	2.4	2.395	11.11111111

Tabel Lamp. D. 12. Perhitungan lanjutan

Frekuensi (GHz)	Gpt1+Gpt2 (dB)	Gpt2+Gpt3 (dB)	Gpt1+Gpt3 (dB)
2.6	4.937092	6.087826	3.529209
2.61	5.236875	7.503685	3.862191
2.62	6.802736	9.158813	4.942675
2.63	7.699447	11.54909	7.14757
2.64	10.95366	14.05317	10.1984
2.65	15.58757	17.1239	14.08113
2.66	19.57049	19.92444	17.56439
2.67	20.57829	20.46454	18.43523
2.68	19.83863	19.80306	17.8703
2.69	18.3316	18.35348	16.24378
2.7	15.75514	15.75514	13.76754

Tabel Lamp. D. 13. Hasil pengukuran gain

Frekuensi (GHz)	G1 (dB)	G2 (dB)	G3 (dB)
2.6	3.7478545	1.1892375	2.3399715
2.61	4.4391845	0.7976905	3.0645005
2.62	5.509437	1.293299	3.649376
2.63	6.0504835	1.6489635	5.4986065
2.64	7.404215	3.549445	6.648955
2.65	9.31517	6.2724	7.80873
2.66	10.96527	8.60522	8.95917
2.67	11.3038	9.27449	9.16074
2.68	10.885695	8.952935	8.917365
2.69	10.22065	8.11095	8.13283
2.7	8.87137	6.88377	6.88377



Gambar Lamp. D. 9. Grafik gain antenna referensi dan antenna DGS

D.3 Hasil Pengukuran Axial Ratio E-Co vs H-Co

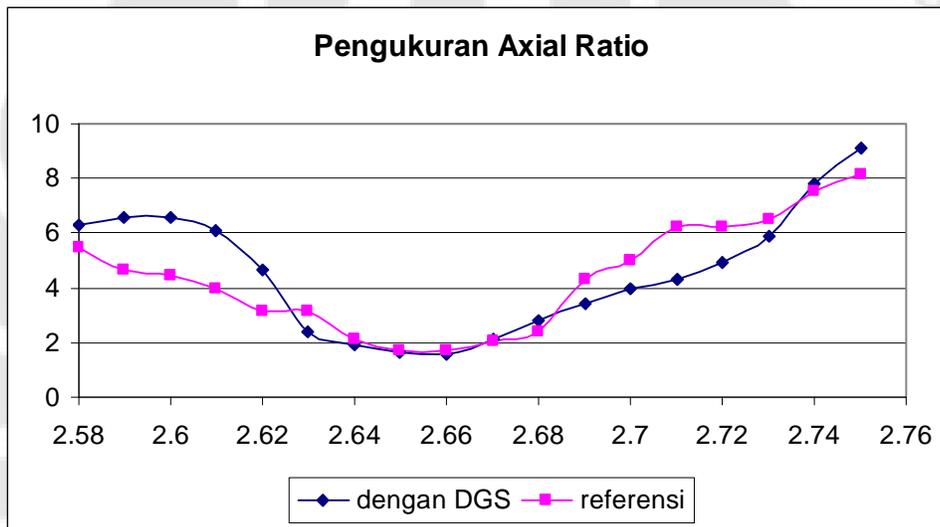
Tabel Lamp. D. 14. Pengukuran axial ratio antenna referensi

Frekuensi	Bidang E	Bidang H	AR
2.58	-41.28	-46.76	5.48
2.59	-41.78	-46.43	4.65
2.60	-41.09	-45.56	4.47
2.61	-39.34	-43.3	3.96
2.62	-37.65	-40.79	3.14
2.63	-36.21	-39.34	3.13
2.64	-36.03	-38.12	2.09
2.65	-35.59	-37.31	1.72
2.66	-35.52	-37.2	1.68
2.67	-36.4	-38.43	2.03
2.68	-37.02	-39.45	2.43
2.69	-38.23	-42.56	4.33
2.70	-39.43	-44.43	5
2.71	-40.12	-46.35	6.23
2.72	-42.32	-48.54	6.22
2.73	-43.23	-49.76	6.53
2.74	-43.44	-50.99	7.55
2.75	-44.43	-52.55	8.12

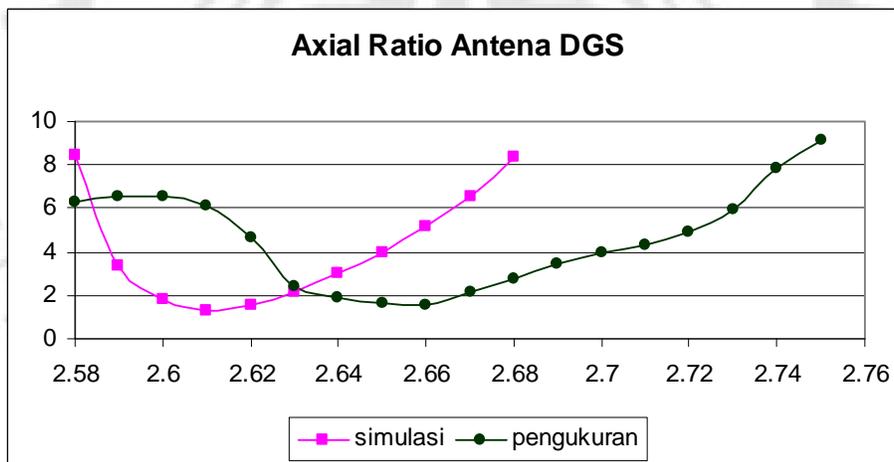
Tabel Lamp. D. 15. Pengukuran axial ratio antenna DGS

Frekuensi	Bidang E	Bidang H	AR
2.58	-43.528	-49.825	6.297
2.59	-42.328	-48.906	6.578
2.60	-41.087	-47.64	6.553
2.61	-41.039	-47.118	6.079
2.62	-40.293	-44.939	4.646
2.63	-39.498	-41.877	2.379

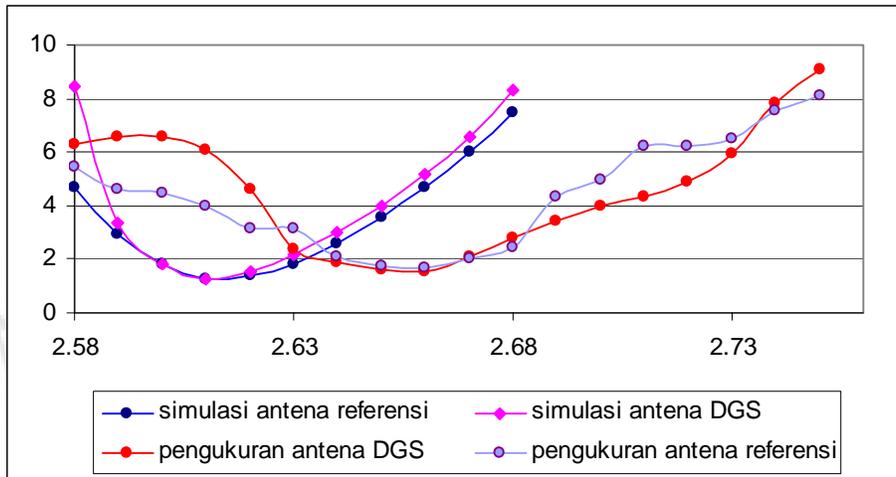
2.64	-38.345	-40.267	1.922
2.65	-37.94	-39.58	1.64
2.66	-36.121	-37.69	1.569
2.67	-37.224	-39.35	2.126
2.68	-38.525	-41.3	2.775
2.69	-39.176	-42.59	3.414
2.7	-40.854	-44.83	3.976
2.71	-42.627	-46.97	4.343
2.72	-41.894	-46.81	4.916
2.73	-40.947	-46.86	5.913
2.74	-42.581	-50.39	7.809
2.75	-43.855	-52.97	9.115



Gambar Lamp. D. 10. Grafik hasil pengukuran *axial ratio*



Gambar Lamp. D. 11. Grafik *axial ratio* antena DGS

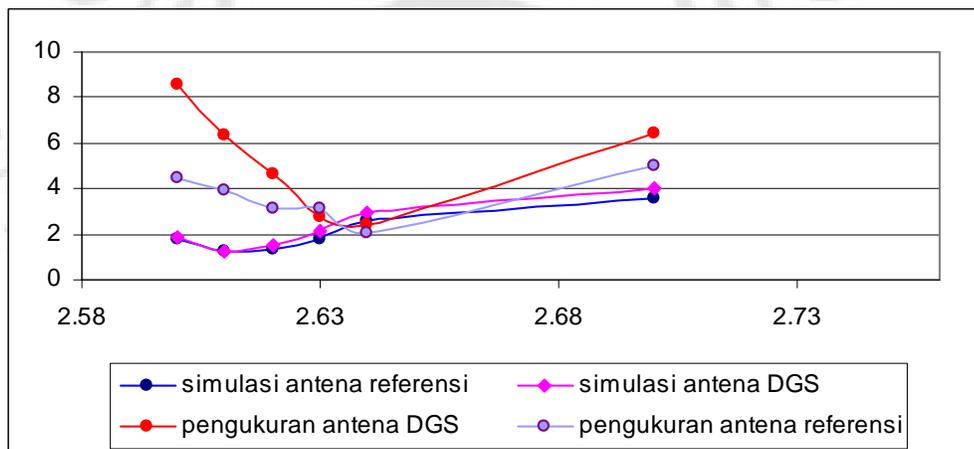


Gambar Lamp. D. 12. Grafik perbandingan *axial ratio* antenna referensi dan antenna DGS

D.4 Hasil Pengukuran Axial Ratio E-Co vs E-Cross

Tabel Lamp. D. 16. Pengukuran *axial ratio* antenna DGS

Frekuensi	Bidang E	Bidang E-Cr	AR
2.6	-45.85	-54.4	8.55
2.61	-46.933	-53.278	6.345
2.62	-46.77	-51.41	4.64
2.63	-42.125	-44.852	2.727
2.64	-36.89	-39.342	2.452
2.65	-34.93	-36.554	1.624
2.66	-31.639	-33.439	1.8
2.67	-28.85	-31.577	2.727
2.68	-28.254	-30.837	2.583
2.69	-29.129	-33.218	4.089
2.7	-28.169	-34.604	6.435

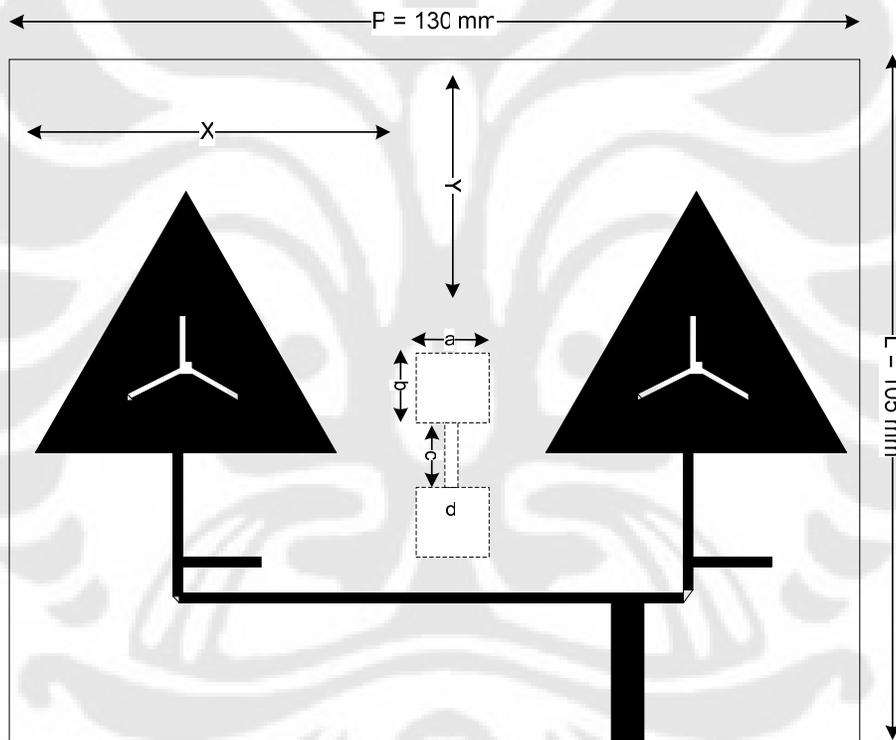


Gambar Lamp. D. 13. Grafik perbandingan *axial ratio* antenna referensi dan antenna DGS

LAMPIRAN E

SIMULASI DGS

Pada bagian ini akan dilampirkan hasil simulasi untuk mendapatkan karakteristik antenna yang diinginkan. Gambar Lamp. E.1 adalah gambaran sketsa antenna dengan DGS secara umum. X merupakan jarak dari tepi sebelah kiri antenna hingga ke sisi kiri dari *dumbbell*, sedangkan Y merupakan jarak dari tepi sebelah atas antenna ke sisi atas *dumbbell*.



Gambar Lamp. E. 1. Sketsa umum rancangan antenna DGS

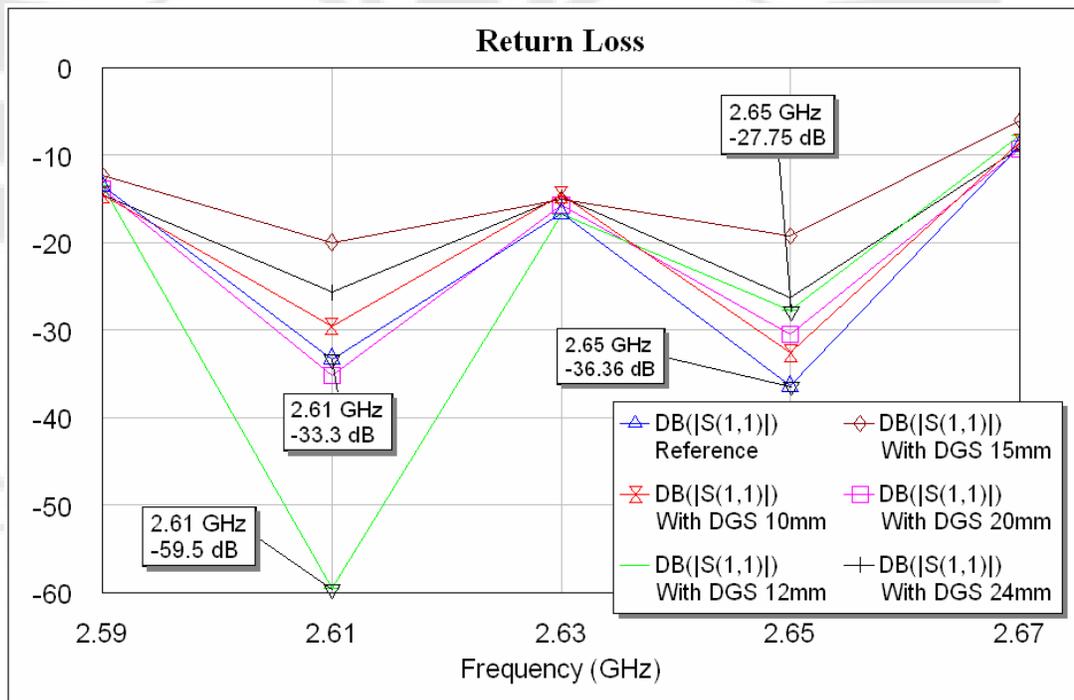
Seperti yang telah disebutkan pada Bab 3, perancangan DGS dimulai dengan melakukan simulasi terhadap beberapa ukuran *slot* DGS. Konfigurasi dimensi ukuran *slot* DGS dapat dilihat pada Tabel Lamp. E.1. *Slot* ditempatkan di antara kedua elemen *array*. Dengan kata lain, *slot* DGS diletakkan pada area yang di atasnya tidak terdapat *patch* atau saluran mikrostrip. Alasan mengenai peletakan

posisi di tengah dua elemen ini adalah agar efek gelombang permukaan pada antenna *array* dapat dikurangi. Oleh karena itu, slot DGS ini diletakkan pada posisi pertengahan jarak antara elemen 1 dengan elemen 2.

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

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

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



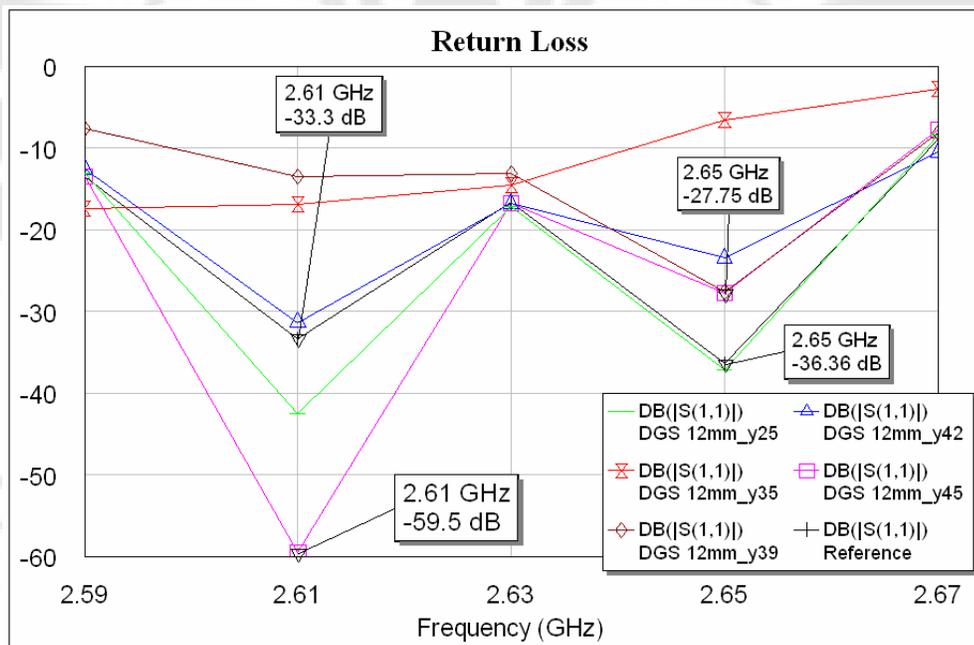
Gambar Lamp. E. 2. Grafik *return loss* untuk perubahan ukuran *slot* DGS

Setiap bentuk dan ukuran DGS telah disimulasikan menggunakan perangkat lunak AWR *Microwave Office* 2004. Nilai *return loss* yang paling baik adalah bentuk DGS *Dumbbell 2*.

Untuk mendapatkan nilai *return loss* yang paling optimal, dilakukan iterasi terhadap perubahan posisi *slot* DGS *Dumbbell 2*. Perubahan posisi dilakukan pada arah horisontal maupun pada arah vertikal. Beberapa posisi vertikal yang dijalankan pada simulasi, yaitu:

Tabel Lamp. E. 2. Konfigurasi perubahan posisi *slot* DGS pada arah vertikal

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

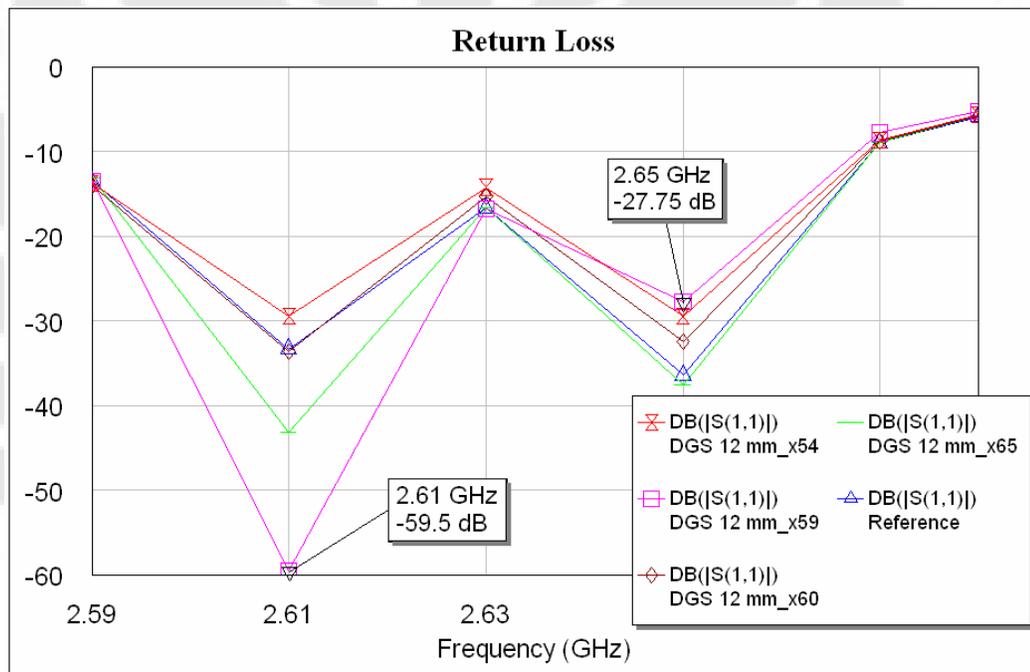


Gambar Lamp. E. 3. Grafik *return loss* untuk perubahan posisi *slot* DGS dalam arah vertikal

Selain simulasi perubahan pada arah vertikal, dilakukan juga simulasi perubahan posisi *slot* DGS pada arah horizontal. Beberapa posisi horizontal yang dijalankan pada simulasi, yaitu:

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

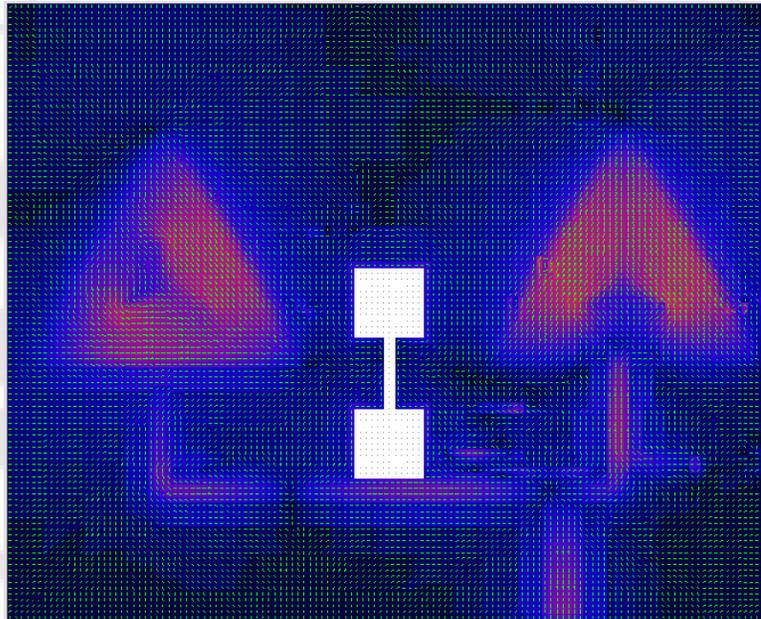
No	Nama	X (mm)	Y (mm)
1.	DGS 12mm_1	59	45
2.	DGS 12mm_2	54	45
3.	DGS 12mm_3	65	45
4.	DGS 12mm_4	60	45



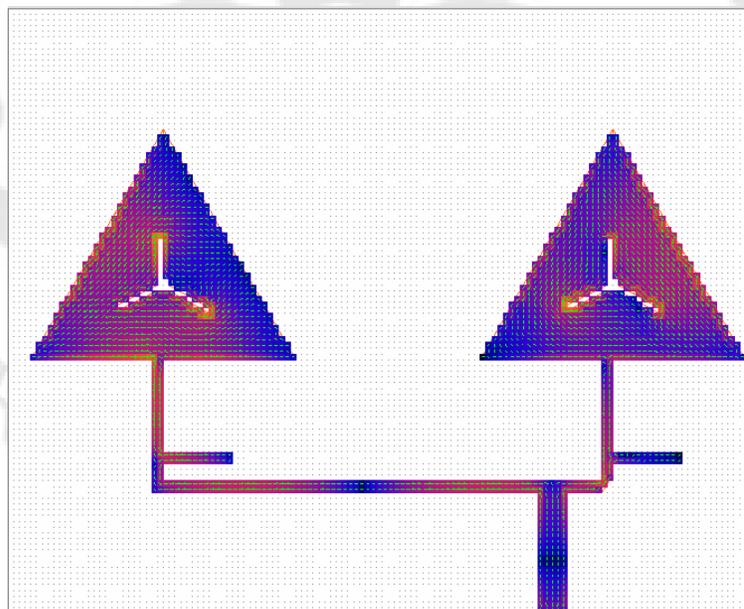
Gambar Lamp. E. 4. Grafik *return loss* untuk perubahan posisi *slot* DGS dalam arah horizontal

LAMPIRAN F

ALIRAN ARUS



Gambar Lamp. F. 1. Animasi medan listrik antenna DGS



Gambar Lamp. F. 2. Animasi medan listrik antenna tanpa DGS