



UNIVERSITAS INDONESIA

STUDI KARAKTERISTIK PANCARAN ANTENA
MIKROSTRIP SLOT *ARRAY* DENGAN PENCATUAN MODEL
GARPU UNTUK MEMPERLEBAR *BANDWIDTH*

DISERTASI

ISKANDAR FITRI
8403032012

P
00924

FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
DEPOK
DESEMBER 2008





UNIVERSITAS INDONESIA

**STUDI KARAKTERISTIK PANCARAN ANTENA
MIKROSTRIP SLOT *ARRAY* DENGAN PENCATUAN MODEL
GARPU UNTUK MEMPERLEBAR *BANDWIDTH***

DISERTASI

Diajukan sebagai salah satu syarat memperoleh gelar Doktor Teknik Elektro

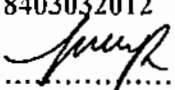
ISKANDAR FITRI
8403032012

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



HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Iskandar Fitri
NPM : 8403032012
Tanda Tangan : 
Tanggal : 30 Desember 2008

HALAMAN PENGESAHAN

Disertasi ini diajukan oleh :

Nama : Iskandar Fitri
NPM : 8403032012
Program Studi : Teknik Elektro
Judul Disertasi : Studi Karakteristik Pancaran Antena Mikrostrip Slot *Array*
Dengan Pencatuan Model Garpu Untuk Memperlebar
Bandwidth

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

DEWAN PENGUJI

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

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

Tim Penguji : Prof. Dr. Ir. Dadang Gunawan, M.Eng.

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

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

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

: Dr. Adrian A. Lestari (Anggota)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 30 Desember 2008

KATA PENGANTAR / UCAPAN TERIMA KASIH

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

- (1) Prof. Dr. Ir. Eko Tjipto Rahardjo, M.Sc., selaku dosen Promotor dan sekaligus sebagai Pembimbing Akademik. Saya sampaikan rasa hormat dan ucapan terima kasih kepada beliau yang dengan sepenuh hati membimbing saya dalam penelitian di bidang antena mikrostrip selama 6 tahun penuh mulai dari Tesis S-2 sampai penyelesaian Disertasi ini.
- (2) Prof. Dr.Ir. Djoko Hartanto, M.Sc., selaku dosen Kopromotor yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan Disertasi ini;
- (3) Pimpinan Universitas Nasional yang telah memberikan dukungan moril dan materil selama saya menempuh perkuliahan ini.
- (4) Orang tua dan keluarga saya yang telah memberikan dukungannya sampai saat ini; dan
- (5) Sahabat serta rekan kerja di Fakultas Teknologi Komunikasi dan Informatika Universitas Nasional yang telah memberikan dukungannya sehingga Disertasi ini dapat diselesaikan dengan baik.

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

Depok, 30 Desember 2008

Iskandar Fitri

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN DISERTASI UNTUK
KEPENTINGAN AKADEMIS**

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

Nama : Iskandar Fitri
NPM : 8403032012
Program Studi : Teknik Elektro
Departemen : Teknik Elektro
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Disertasi

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

**STUDI KARAKTERISTIK PANCARAN ANTENA
MIKROSTRIP SLOT *ARRAY* DENGAN PENCATUAN MODEL
GARPU UNTUK MEMPERLEBAR *BANDWIDTH***

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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Tanggal : 30 Desember 2008

Yang Menyatakan


(Iskandar Fitri)

ABSTRAK

Nama : Iskandar Fitri
Program Studi : Teknik Elektro
Judul : Studi Karakteristik Pancaran Antena Mikrostrip Slot
Array Dengan Pencatuan Model Garpu Untuk
Memperlebar *Bandwidth*.
Promotor : Prof. Dr. Ir. Eko Tjipto Rahardjo, M.Sc.
Ko-promotor : Prof. Dr.Ir. Djoko Hartanto, M.Sc.

Beberapa penelitian pada antena mikrostrip slot lebar dan slot sempit telah dirancang untuk memperlebar bandwidth. Perancangan antena mikrostrip slot dengan menggunakan elemen peradiasi tunggal telah diperoleh dengan lebar bandwidth yang bervariasi dari 0.7 GHz sampai 8.8 GHz. Dalam kasus perancangan antena mikrostrip array terdapat beberapa penelitian yang menghasilkan karakteristik wideband. Perancangan antena *array* dengan menggunakan 64 elemen *folded flat dipole* menghasilkan bandwidth sebesar 8 GHz pada rentang frekuensi 8 – 16 GHz. Perancangan antena *array* yang menggunakan model *log periodic short-circuited patch* memiliki bandwidth 6,1 GHz pada rentang frekuensi 0.9 – 6 GHz. Sejauh yang penulis ketahui, belum terdapat penelitian pada antena mikrostrip slot untuk slot tunggal dan konfigurasi *array* yang dicatu secara gandeng elektromagnetik dengan menggunakan jaringan impedansi *multi tuning stub* untuk memperlebar bandwidth.

Penelitian ini mengacu pada perancangan sebelumnya yang menggunakan slot lebar untuk meningkatkan lebar bandwidth antena. Peningkatan lebar bandwidth dihasilkan dengan menggunakan model saluran pencatu mikrostrip berbentuk seperti garpu. Model pencatuan tersebut telah terbukti dapat meningkatkan bandwidth sebesar 1,4 GHz pada jarak frekuensi dari 1.6 GHz sampai 3 GHz. Pada penelitian ini dilakukan perancangan antena mikrostrip slot lebar menggunakan model saluran pencatu mikrostrip berbentuk seperti garpu yang ditambahkan batang penyesuaian pada saluran masukan. Setelah diperoleh hasil yang sesuai antara simulasi dan pengukuran pada antena mikrostrip slot tunggal, kemudian dikembangkan perancangan antena mikrostrip dengan dua slot menggunakan simulasi menggunakan setting yang sama dalam piranti lunak seperti pada perancangan slot tunggal. Selanjutnya dikembangkan juga untuk

perancangan antena mikrostrip slot array dengan empat slot dan delapan slot. Pada kasus delapan slot menggunakan tiga model konfigurasi saluran pencatu. Model pertama yaitu menggunakan jaringan saluran catu paralel dengan satu cabang pembagi untuk dua, empat dan delapan slot. Model kedua yaitu menggunakan jaringan saluran catu paralel dengan dua cabang pembagi untuk delapan slot. Model ketiga adalah menggunakan jaringan saluran catu paralel secara planar untuk delapan slot. Sehingga dari macam-macam model konfigurasi array pada antena mikrostrip slot dapat diketahui konfigurasi yang paling baik performansinya dilihat dari segi pelebaran bandwidth.

Dari hasil penelitian ini diperoleh bandwidth yang lebar pada perancangan antena mikrostrip slot tunggal sebesar 3,8 GHz. Untuk antena mikrostrip dua slot array hanya menghasilkan 5,85 GHz dengan menggunakan konfigurasi jaringan model pertama. Pengembangan selanjutnya dilakukan perancangan pada antena mikrostrip empat slot array menghasilkan bandwidth sebesar 6.15 Ghz yang menggunakan konfigurasi saluran catu paralel model pertama. Pelebaran bandwidth diperoleh seiring dengan bertambahnya jumlah slot. Sehingga penggunaan delapan slot array dengan konfigurasi saluran pencatu model pertama dapat menghasilkan bandwidth yang lebih lebar dari empat slot array yaitu sebesar 11.77 GHz. Pada kasus delapan slot, jika menggunakan model jaringan pencatu dengan dua cabang pembagi menghasilkan bandwidth sebesar 9.27 GHz dan dengan jaringan pencatu planar menghasilkan bandwidth 9.74 GHz. Sehingga bandwidth yang paling lebar dicapai pada perancangan antena mikrostrip delapan slot array menggunakan jaringan saluran catu paralel dengan satu cabang pembagi. Hal ini disebabkan karena pada delapan slot array ini memiliki jumlah saluran catu mikrostrip bentuk garpu yang paling banyak. Sehingga memberikan efek kopling yang paling besar pada slot antena. Pada akhirnya memberikan peningkatan bandwidth yang paling lebar.

Kata Kunci :

Karakteristik Wideband, antena slot mikrostrip, antena array, multi batang penyetelan.

ABSTRACT

Nama : Iskandar Fitri
Study Program : Electrical Engineering
Title : Study on Radiation Characteristics of Microstrip Slot Array Using Fork Feeding system For Broaden Bandwidth.
Promotor : Prof. Dr. Ir. Eko Tjipto Rahardjo, M.Sc.
Co-promotor : Prof. Dr.Ir. Djoko Hartanto, M.Sc.

Several reaserchs to use microstrip slot antenna with wide and narrow slot have designed for bandwidth enhancement. Design of microstrip slot antenna by using single element radiator has been obtained with variation bandwidth from 0.7 GHz to 8.8 GHz. In cases of microstrip array antenna, there are several design for achievement of wideband characterization. Design of array antenna using 64 element of *folded flat dipole* has bandwidth of 8 GHz in frequency range from 8 GHz to 16 GHz. Antenna design with *log periodic short-circuited patch* has bandwidth of 6,1 GHz in the range of 0.9 – 6 GHz. So far, there is not yet any reaserch of microstrip slot antenna for single slot and array model that is fed by coupling electromagnetically using impedance network with multi tuning stub for broaden of bandwidth.

The research refer to previous design which used of wide slot for enhancement the antenna bandwidth. The wider bandwidth is achived by use model of microstrip feedline like fork. The feedline had proved that it could enhance bandwidth of 1,4 GHz in frequency range from 1,6 GHz to 3 GHz. In this research it had been conducted the design of wide slot microstrip antenna used to microstrip feedline like fork that added tuning stub at input of microstrip line. After the results of simulation and measurement was very well obtained for single slot of microstrip antenna, it has been developed the design of microstrip slot antenna array with two slots by using the same setting in software as like as in design of single slot. After that, the microstrip slot array antennas with four and eight elements are developed. In case of eight slots was used three configuration models of feeding line was developed. The first model use parallel feed line

network with one branch divider for cases of two, four and eight slots. The second model use the parallel feed line network with two branches divider for case of eight slot. The third model use planar feed line network for case of eight slot. From all kind of array configuration models in microstrip, slot antennas could find the best configuration for the antenna performance from the view of bandwidth and the antenna size. The compact antenna size is used to mobile communication device and low production cost.

From these research, the wide bandwidth in design of single microstrip slot antenna is 3.8 Ghz is obtained. Microstrip slot antenna with two slot array provide 5.85 GHz which use first model of network configuration. The next development is designed of microstrip slot antenna with four array that produce the bandwidth of 6.15 GHz that use the first model of feeding line configuration. The wider bandwidth is obtained with more added number of slot. By using eight slots array with first model feeding line configuration, it has been produce wider bandwidth than four slots is 11.77 GHz. In the case of eight slot, the antenna use network feeding model with two branch divider has wider bandwidth than four slots array is 11,77 GHz. In the case of eight slots by using of network feeding model with two branch divider, the slots have the bandwidth of 9,74 GHz. The wider bandwidth achieved at design of eight microstrip slot array antenna use parallel feed line network with one branch divider. This case caused that in eighth slots array has more microstripline feed like fork than others. It had given stronger coupling effect to slots antenna. Finally, it had given increasing widest the bandwidth antenna.

Keywords :

Wideband characterization, microstrip slot antenna, array antenna, multi tuning stubs

DAFTAR ISI

	Hal
HALAMAN JUDUL	ii
LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS	iii
LEMBAR PENGESAHAN	iv
KATA PENGANTAR	v
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	vi
ABSTRAK	vii
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR GRAFIK	xix
DAFTAR LAMPIRAN	xx
1. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang dan Permasalahan	1
1.2 Penelitian yang Dilakukan	4
1.3 Tujuan Penelitian	5
1.4 Kontribusi Penelitian	5
1.5 Batasan Penelitian	5
1.6 Metodologi Penelitian	6
1.7 Sistematika Penulisan	7
1.8 Hubungan Antara Bab	8
2. ANTENA SLOT MIKROSTRIP DAN JARINGAN	
SALURAN PENCATU MIKROSTRIP.....	10
2.1 Antena Mikrostrip	10
2.2 Antena Slot Mikrostrip	11
2.3 Mekanisme Peningkatan Bandwidth pada MSA	16
2.4 Impedansi Karakteristik Saluran Mikrostrip	20
2.5 Konsep Dasar Antena Mikrostrip Array	22
2.5.1 Sistem Jaringan Pencatuan Paralel	22
2.5.2 Sistem Jaringan Pencatuan Seri	24

2.6 Teknik Penyesuaian Impedansi dengan Stub.....	25
3. ANTENA SLOT MIKROSTRIP SATU DAN DUA ELEMEN DENGAN BENTUK RADIATOR SEGIEMPAT.....	27
3.1 Pendahuluan.....	27
3.2 Rancangan MSA Dicatu Saluran Mikrostrip Multi Tuning Stub	29
3.3 Rancangan Antena Mikrostrip Slot Array Dua elemen.....	36
3.3.1 Pengaruh Perubahan Tuning Stub Terhadap Bandwidth.....	37
3.3.2 Pola Radiasi.....	39
3.3.3 Gain Antena.....	40
3.3.4 Impedansi Masukan	41
3.4 Kesimpulan	43
4. ANTENA MIKROSTRIP SLOT ARRAY MENGGUNAKAN JARINGAN SALURAN CATU PARALEL DENGAN SATU CABANG PEMBAGI	44
4.1 Pendahuluan.....	44
4.2 Rancangan Antena Mikrostrip Empat Slot Array.....	44
4.2.1 Perubahan Bandwidth Terhadap Geometri Antena	46
4.2.2 Pola Radiasi	48
4.2.3 Gain Antena.....	49
4.2.4 Impedansi Masukan.....	51
4.3. Rancangan Antena Mikrostrip Delapan Slot Array.....	52
4.3.1 Perubahan Bandwidth Terhadap Geometri Antena.....	53
4.3.2 Gain Antena.....	56
4.3.3 Pola Radiasi.....	57
4.3.4 Impedansi Masukan.....	59
4.4 Kesimpulan	60

5. ANTENA MIKROSTRIP SLOT ARRAY MENGGUNAKAN JARINGAN SALURAN CATU PARALEL DENGAN DUA CABANG PEMBAGI	62
5.1 Pendahuluan.....	62
5.2 Rancangan Antena Mikrostrip Empat Slot Array.....	62
5.2.1 Perubahan Bandwidth Terhadap Geometri Antena.....	64
5.2.2 Pola Radiasi	67
5.2.3 Gain Antena	69
5.3.4 Impedansi Masukan.....	70
5.3 Kesimpulan	71
6. ANTENA MIKROSTRIP SLOT ARRAY MENGGUNAKAN JARINGAN SALURAN CATU PARALEL PLANAR..... ..	72
6.1 Pendahuluan.....	72
6.2 Rancangan Antena Mikrostrip Empat Slot Array Planar.....	72
6.2.1 Bandwidth Terhadap Perubahan Geometri Antena	74
6.2.2 Pola Radiasi	76
6.2.3 Gain Antena.....	79
6.2.4 Impedansi Masukan.....	79
6.3 Kesimpulan	81
7. KESIMPULAN	82
DAFTAR REFERENSI.....	84
DAFTAR LAMPIRAN	
Lampiran 1. Gambar cetak foto fisik antena mikrostrip slot tunggal	90

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Antena Slot Segi Empat Sama Sisi	10
Gambar 2.2. Geometri antena celah (slot) tunggal	11
Gambar 2.3. Geometri antenna celah lebar dicatu dengan saluran microstrip terbuka	13
Gambar 2.4. Daerah lintasan antena slot dengan pencatu saluran mikrostrip	14
Gambar 2.5. (a) Struktur antena slot yang dicatu saluran mikrostrip (b) rangkaian ekivalen antena slot	17
Gambar 2.6. Struktur Saluran Mikrostrip	21
Gambar 2.7. Dasar Jaringan Saluran Catu <i>Corporate</i> : (a) Konfigurasi Simetris (b) Konfigurasi Asymetris	23
Gambar 2.8. Jaringan Saluran Catu Pararel Dua-Dimesional	24
Gambar 2.9. Jaringan Saluran Catu Seri: (a) Konfigurasi Untranpos (b) Konfigurasi Tranpos	24
Gambar 2.10. Saluran catu dengan <i>stub</i> seri.	25
Gambar 3.1. Antena slot mikrostrip dalam acuan. Geometri antena	27
Gambar 3.2. Antena slot mikrostrip dalam acuan	28
Gambar 3.3. Ukuran antena perancangan dari hasil pengukuran	30
Gambar 3.4. Variasi perubahan jarak antara pusat saluran kedua cabang ..	31
Gambar 3.5. Variasi perubahan dua cabang <i>stub</i> dengan panjang yang sama	31
Gambar 3.6. Variasi perubahan jarak batang penyesuaian	32

Gambar 3.7. Hasil pengukuran dan simulasi nilai <i>return loss</i> terhadap frekuensi untuk antenna mikrostrip slot segiempat tunggal	34
Gambar 3.8. Gain antenna slot tunggal	35
Gambar 3.9. Hasil pengukuran pola radiasi untuk antenna mikrostrip slot tunggal.	36
Gambar 3.10. Impedansi masukan antenna perancangan pada Gambar 3.1.	37
Gambar 3.11. Geometri antenna mikrostrip array dua slot segiempat dari hasil simulasi	38
Gambar 3.12. Variasi perubahan d_0 secara serempak terhadap bandwidth.	39
Gambar 3.13. Variasi perubahan panjang antara cabang saluran pencatu dengan pinggir slot D terhadap bandwidth.	39
Gambar 3.14. Hasil simulasi antenna mikrostrip array dual slot segiempat	40
Gambar 3.15. Pola radiasi antenna perancangan pada Gambar 3.10 untuk setiap tahap frekuensi (a) 1.5 GHz (b) 2.5 GHz (c) 3.5 GHz (d) 4.5 GHz (e) 5.5 Ghz	41
Gambar 3.16. Hasil simulasi Gain (dB) terhadap frekuensi (GHz) antenna mikrostrip empat slot array.	42

Gambar 3.17. Impedansi masukan antenna perancangan	
pada Gambar 3.11.	43
Gambar 4.1. Geometri antenna mikrostrip empat slot array	45
Gambar 4.2. Grafik perubahan jarak stub secara serempak terhadap	
bandwidth pada antenna mikrostrip empat slot array.....	47
Gambar 4.3. Hasil simulasi return loss (dB) terhadap frekuensi (GHz)	
Antenna mikrostrip empat slot array.	48
Gambar 4.4. Hasil simulasi nilai VSWR terhadap frekuensi (GHz)	
Antenna mikrostrip empat slot array.	48
Gambar 4.5. Pola radiasi antenna perancangan pada Gambar 4.1	
untuk setiap tahap frekuensi	49
Gambar 4.6. Gain antenna perancangan pada Gambar 4.1	51
Gambar 4.7. Impedansi masukan antenna perancangan pada Gambar 4.1 ...	53
Gambar 4.8. Geometri antenna mikrostrip delapan slot array	54
Gambar 4.9. Grafik perubahan lebar garpu secara serempak terhadap	
bandwidth pada antenna mikrostrip delapan slot array.	55
Gambar 4.10. Hasil optimal simulasi return loss (dB) terhadap	
frekuensi (GHz) antenna mikrostrip delapan slot array	56
Gambar 4.11. Hasil simulasi nilai VSWR terhadap frekuensi (GHz)	
antenna mikrostrip delapan slot array.	56
Gambar 4.12. Grafik gain (dB) terhadap frekuensi (GHz)	
antenna mikrostrip delapan slot array.	57

Gambar 4.13. Pola radiasi antenna mikrostrip 8 slot array (Gambar 4.8)	
untuk setiap tahap frekuensi pada lebar-pita 27 – 37.3 GHz. .	58
Gambar 4.14. Impedansi masukan antenna perancangan pada	
Gambar 4.8 untuk lebar-pita 0.68 – 12.45 GHz.	60
Gambar 5.1. Geometri antenna mikrostrip delapan slot array	64
Gambar 5.2. Grafik perubahan jarak stub secara serempak terhadap	
bandwidth pada antenna mikrostrip delapan slot array.	65
Gambar 5.3. Grafik perubahan jarak stub secara serempak terhadap	
bandwidth pada antenna mikrostrip delapan slot array.	66
Gambar 5.4. Hasil optimal simulasi return loss (dB) terhadap	
frekuensi (GHz) antenna mikrostrip delapan slot array.	67
Gambar 5.5. Hasil optimal simulasi VSWR terhadap	
frekuensi (GHz) antenna mikrostrip delapan slot array.	67
Gambar 5.6. Pola radiasi antenna pada Gambar 5.15 untuk setiap	
tahap frekuensi dari 1.5 – 10.5 GHz	68
Gambar 5.7. Gain (dB) terhadap frekuensi (GHz) antenna mikrostrip	
delapan slot array.	70
Gambar 5.8. Impedansi masukan antenna perancangan pada	
Gambar 5.15 untuk lebar-pita 0.69 – 9.96 GHz.	71
Gambar 6.1. Geometri antenna mikrostrip array delapan slot	
segiempat dari hasil simulasi.....	74

Gambar 6.2. Grafik perubahan jarak stub (d_n) terhadap bandwidth pada antenna mikrostrip delapan slot array planar.	75
Gambar 6.3. Hasil simulasi bandwidth antenna mikrostrip delapan slot array planar.	76
Gambar 6.4. Hasil optimal simulasi VSWR terhadap frekuensi (GHz) antenna mikrostrip delapan slot array planar.	76
Gambar 6.5. Pola radiasi antenna pada Gambar 6.1 untuk setiap tahap frekuensi pada lebar-pita 27 – 37.3 GHz	78
Gambar 6.6. Gain (dB) terhadap frekuensi (GHz) antenna mikrostrip delapan slot array.	80
Gambar 6.7. Impedansi masukan antenna perancangan pada Gambar 6.1..	81

DAFTAR GRAFIK

Tabel 3.1. Nilai imajiner dan ril dari impedansi masukan pada Gambar 3.3.....	37
Tabel 3.2. Nilai imajiner dan ril dari impedansi masukan dari Gambar 3.11.....	43
Tabel 4.1. Nilai imajiner dan ril dari impedansi masukan dari Gambar 4.1.....	52
Tabel 4.2. Nilai imajiner dan ril dari impedansi masukan pada Gambar 4.8.....	61
Tabel 5.1. Nilai imajiner dan ril dari impedansi masukan pada Gambar 5.1.....	71
Tabel 6.1. Nilai imajiner dan ril dari impedansi masukan pada Gambar 6.1.....	81

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Gambar Cetak Foto Fisik Antena Mikrostrip Slot Tunggal 86

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang dan Permasalahan

Saat ini kebutuhan pasar telekomunikasi mengarah pada penyaluran informasi dalam kapasitas besar. Sehingga diperlukan perangkat komunikasi yang bekerja dengan bandwidth yang sangat lebar atau *wideband*. Untuk menunjang kebutuhan tersebut diperlukan antena yang mempunyai karakteristik *wideband*. Bila mengacu dari definisi ITU bahwa penggunaan frekuensi radio dengan bandwidth lebih besar atau sama dengan 1 MHz merupakan kategori *wideband*. Lebar bandwidth tersebut khususnya untuk aplikasi sistem gelombang mikro [1].

Dalam rekomendasinya ITU telah menjabarkan kebutuhan bandwidth untuk kasus wideband ke dalam beberapa alokasi frekuensi yaitu [1]-[2] ; bandwidth 10 MHz untuk jarak frekuensi dari 30 MHz sampai 10 GHz, 50 MHz untuk 1 GHz sampai 3 GHz, 100 MHz untuk 3 GHz sampai 10 GHz, 250 MHz untuk 10 GHz sampai 15 GHz, dan 500 MHz untuk jarak frekuensi diatas 15 GHz. Terdapat beberapa alokasi sistem komunikasi gelombang mikro yang memerlukan bandwidth yang sangat lebar seperti *fixed-satellite service* (FSS) yang menempati beberapa alokasi frekuensi (3,4 – 4,2 GHz, 5,725 – 6,726 GHz, 7,25 – 7,75 GHz, 7,9 – 8,84 GHz, 10,7 – 12,75 GHz, 12,75 – 13,25 GHz, dan 13,75 – 14,8 GHz), *Broadcasting-satellite service* (11,7-12,75 GHz), aeronautical telemetry (3 – 16 GHz), sistem bergerak IMT-2000 (1,885 – 2,025 GHz, 2,110 – 2,2 GHz, 1,98 – 2,010 GHz, dan 2,17 – 2,2 GHz). Aplikasi lain yang membutuhkan bandwidth yang sangat lebar yaitu teknologi ultrawideband (UWB). Di sebagian negara [2] terdapat beberapa alternatif alokasi frekuensi untuk aplikasi ultrawideband seperti Amerika dan Eropa mengalokasikan untuk sistem radar pencitraan dengan band frekuensi dibawah 900 MHz, 1,9 – 10,6 GHz dan 3,1 – 10,6 GHz. Kedua untuk *vehicular radar system* pada 22 – 29 GHz, 24 – 24,25 GHz dan 23,6 – 24 GHz. Ketiga untuk aplikasi pada sistem komunikasi tanpa kabel yang beroperasi pada 3,1 – 10,6 GHz. Dilain pihak, *Infocomm Development Authority* (IDA), sebuah badan regulasi spektrum Singapura menetapkan alokasi frekuensi UWB pada 2,2 – 10,6 GHz.

Sehingga masih besar kemungkinan penggunaan spektrum frekuensi untuk aplikasi UWB dari 0.3 GHz sampai 100 GHz di beberapa negara lainnya. Sehingga saat ini mencuat istilah *multi-wideband*. Konsep *multi-wideband* ditemukan dalam perancangan antenna ditujukan agar satu antenna dapat diaplikasikan pada banyak sistem komunikasi pita-lebar yang menggunakan alokasi frekuensi yang berbeda-beda seperti yang telah dicontohkan pada paragraf diatas.

Untuk menunjang teknologi tersebut dibutuhkan antenna yang mempunyai karakteristik yang dapat menerima frekuensi yang lebar (*wideband*) dan sekaligus ringkas untuk mendukung komunikasi bergerak. Salah satu jenis antenna yang dapat menunjang teknologi tersebut dengan beberapa keuntungan adalah antenna mikrostrip. Jenis antenna ini memiliki beberapa keunggulan terutama pada rancangan antenanya yang tipis, kecil, ringan dan dapat diterapkan ke dalam *Microwave Integrated Circuit (MICs)*.

Pada prinsipnya antenna mikrostrip memiliki karakteristik dengan bandwidth yang sempit. Salah satu teknik untuk memperlebar bandwidth yaitu dengan menggunakan teknik array. Selain pelebaran bandwidth, teknik *array* juga dapat meningkatkan gain antenna. Persoalannya dalam merancang antenna mikrostrip dengan konfigurasi *array* dibutuhkan penghitungan jaringan impedansi yang sangat rumit untuk mencatu masing-masing elemen peradiasi. Dalam teknik array pencatuan yang umumnya digunakan adalah saluran mikrostrip. Jika saluran mikrostrip digunakan untuk mencatu elemen peradiasi (antenna bentuk patch) pada lapisan yang sama, maka akan menghasilkan efek kopling yang rendah sehingga lebar bandwidth terbatas. Untuk mengatasi hal tersebut digunakan saluran mikrostrip berada lebih rendah atau dibawah elemen peradiasinya sehingga memberikan efek kopling yang lebih kuat. Teknik pencatuan tersebut menggunakan elektromagnetik kopel dimana antara saluran dan elemen peradiasi secara fisik tidak terhubung langsung atau terhubung secara elektromagnetik.

Teknik dengan menggunakan *slot* lebar (*wide slot*) diistilahkan sebagai *microstrip slot antenna (MSA)*. Sehingga teknik pencatuan secara elektromagnetik dengan menggunakan *slot* lebih efisien dalam penggunaan substrat untuk antenna. Pada antenna mikrostrip slot memiliki mekanisme kopling,

dimana saluran mikrostrip memberikan imbas gelombang elektromagnetik menuju elemen peradiasi (*slot*) melalui sebuah substrat. Efek kopling diberikan antara saluran mikrostrip dan elemen peradiasi sebagai transformer ideal [3]. Pada penelitian ini difokuskan pada perancangan antenna mikrostrip menggunakan slot tunggal dan dengan konfigurasi array atau disebut dengan antenna mikrostrip slot array.

Beberapa penelitian dengan menggunakan MSA baik dengan slot sempit maupun slot lebar untuk meningkatkan bandwidth telah dilakukan. Dimana antenna-antenna mikrostrip slot dengan menggunakan elemen peradiasi tunggal telah diperoleh dengan lebar bandwidth yang bervariasi dari 0,7 GHz sampai lebar bandwidth 8.8 GHz [4]-[14]. Jika antenna mikrostrip slot dirancang dalam konfigurasi array diperoleh lebar bandwidth sebesar 14 GHz [15]. Sedangkan perancangan antenna mikrostrip array menggunakan teknik penyesuaian impedansi $\lambda/4$ menghasilkan lebar bandwidth 0,8 GHz, 10 GHz dan 11.9 GHz [16]-[18]. Untuk perancangan jenis antenna lain yang bertujuan untuk menghasilkan karakteristik wideband telah diperoleh dengan hasil yang bervariasi dari mulai yang terendah sebesar 0.4 GHz sampai 32 GHz [19]-[23]. Beberapa tahun belakangan ini perancangan antenna banyak difokuskan untuk mempunyai karakteristik wideband yang salah satunya ditujukan untuk aplikasi ultrawideband [24]-[32]. Bahkan saat ini, penelitian bidang antenna sudah mengarah pada karakteristik *multi-wideband* atau *multi-ultrawideband* [19], [33]-[34]. Dalam kasus perancangan antenna mikrostrip array terdapat beberapa penelitian yang menghasilkan karakteristik wideband [35]-[44]. Seperti perancangan antenna array yang menggunakan 64 elemen *folded flat dipole* menghasilkan bandwidth sebesar 8 GHz pada rentang frekuensi 8 – 16 GHz [38]. Perancangan antenna array yang menghasilkan bandwidth lebar yaitu model *log periodic short-circuited patch* yang memiliki bandwidth 6,1 GHz pada rentang frekuensi 0.9 – 6 GHz [39]. Tetapi sejauh yang penulis ketahui belum ada penelitian pada MSA untuk slot tunggal dan konfigurasi array yang dicatu secara gandeng elektromagnetik dengan menggunakan jaringan impedansi *multi tuning stub* untuk antenna *wideband* untuk menghasilkan bandwidth yang sangat lebar.

1.2. Penelitian yang Dilakukan

Pada penelitian ini diusulkan suatu teknik baru untuk meningkatkan bandwidth pada antenna mikrostrip dengan konfigurasi array menggunakan elemen peradiasi slot. Jumlah peradiasi slot yang digunakan terdiri dari satu slot, dua slot, empat slot dan delapan slot. Pada kasus delapan slot digunakan 3 model pencatutan jaringan impedansi untuk mengetahui pengaruhnya terhadap pelebaran bandwidth. Semua perancangan antenna tersebut ditujukan untuk meningkatkan lebar bandwidth pada jarak frekuensi dari 0,5 GHz sampai 12 GHz. Teknik perancangan yang diusulkan menggunakan jaringan impedansi *multi tuning stub* yang dicatukan ke setiap slot secara kopel elektromagnetik (*electromagnetic coupled*). Bentuk elemen peradiasi yang diujikan adalah persegi-empat.

Dasar perancangan yang dilakukan berdasarkan dari dua perancangan sebelumnya yang masing-masing menggunakan model patch dan slot. Pada antenna mikrostrip model *patch* dengan pencatutan *proximity coupling* telah terbukti dapat meningkatkan bandwidth antenna mikrostrip dengan menggunakan pencatu saluran mikrostrip dengan stub diperoleh 0,48 GHz [45]. Perancangan kedua menggunakan slot yang dicatu dengan saluran mikrostrip berbentuk seperti garpu menghasilkan lebar bandwidth 1,1 GHz [7]. Dari kedua perancangan tersebut dilakukan modifikasi dengan menambah *stub* secara *shunt* yang disipkan pada saluran mikrostrip berbentuk seperti garpu dibawah *patch* dan diperoleh bandwidth sebesar 1,8 GHz [46].

Pada penelitian ini konsep pencatutan saluran mikrostrip berbentuk garpu yang ditambah dengan stub tersebut atau disebut dengan *multi tuning stub* diterapkan pada antenna mikrostrip slot tunggal. Dari hasil simulasi yang sesuai dengan pengukuran diperoleh lebar bandwidth sebesar 3,1 GHz [47]. Pengembangan berikutnya dengan model saluran *multi tuning stub* menggunakan konfigurasi array dengan dua slot diperoleh bandwidth sebesar 5,85 GHz [38]-[39]. Kemudian dilakukan perancangan antenna mikrostrip slot menggunakan empat elemen model konfigurasi jaringan pencatu dengan satu cabang pembagi. Dari hasil simulasi perancangan tersebut menghasilkan lebar bandwidth sebesar 6,15 GHz [40].

Dari perancangan antenna mikrostrip dengan empat slot, kemudian dikembangkan menjadi delapan elemen dengan tiga model konfigurasi jaringan pencatu. Model pertama menggunakan saluran catu paralel dengan satu cabang pembagi yang menghasilkan bandwidth sebesar 11,77 GHz. Model kedua dengan menggunakan saluran catu paralel dengan dua cabang pembagi menghasilkan bandwidth sebesar 9,27 GHz. Ketiga, disimulasikan antenna mikrostrip delapan slot menggunakan jaringan saluran catu secara planar yang menghasilkan bandwidth sebesar 9,74 GHz.

1.3. Tujuan Penelitian

Pada penelitian ini diusulkan suatu teknik baru pada antenna mikrostrip slot persegiempat yang dikonfigurasi dalam model array dua elemen, empat elemen dan delapan elemen. Antenna mikrostrip slot array ini dicatu dengan saluran mikrostrip membentuk jaringan impedansi dengan teknik *multi tuning stub* secara kopel elektromagnetik untuk memperlebar bandwidth (*wideband*). Untuk antenna mikrostrip delapan slot array menggunakan tiga model jaringan pencatuan. Dari ketiga model jaringan pencatuan ditujukan untuk mengetahui perbedaan karakteristik pancaran yang dihasilkan.

1.4. Kontribusi Penelitian

Kontribusi yang diberikan pada penelitian ini adalah dengan mengimplementasikan jaringan penyesuaian pada pencatu menggunakan teknik *multi tuning stub* untuk antenna mikrostrip slot array. Dari beberapa antenna mikrostrip slot array dengan jumlah elemen dan konfigurasi saluran pencatu yang berbeda-beda, maka dapat meningkatkan lebar bandwidth seiring dengan penambahan jumlah elemen peradiasi (slot).

1.5. Batasan Penelitian

Pada penelitian ini perancangan antenna slot mikrostrip array menggunakan slot persegiempat dengan konfigurasi dua elemen, empat elemen dan delapan elemen. Perancangan antenna mikrostrip slot delapan elemen menggunakan tiga model pencatuan yaitu jaringan saluran catu paralel dengan satu cabang pembagi,

jaringan saluran catu paralel dengan dua cabang pembagi dan jaringan saluran catu paralel planar. Karena pada umumnya perangkat telekomunikasi memiliki karakteristik impedansi keluaran 50 Ohm, maka semua perancangan tersebut dirancang menggunakan impedansi masukan 50 Ohm.

Antena ini dimaksudkan untuk dapat digunakan pada beberapa alokasi sistem komunikasi gelombang mikro yang memerlukan bandwidth lebar seperti *fixed-satellite service* (FSS) yang menempati beberapa alokasi frekuensi (3,4 – 4,2 GHz, 5,725 – 6,726 GHz, 7,25 – 7,75 GHz, 7,9 – 8,84 GHz, 10,7 – 12,75 GHz, 12,75 – 13,25 GHz, dan 13,75 – 14,8 GHz), *Broadcasting-satellite service* (11,7-12,75 GHz), sistem bergerak IMT-2000 (1,885 – 2,025 GHz, 2,110 – 2,2 GHz, 1,98 – 2,010 GHz, dan 2,17 – 2,2 GHz), aplikasi ultrawideband dengan band frekuensi dibawah 900 MHz, 1,9 – 10,6 GHz dan 3,1 – 10,6 GHz. Untuk keperluan tersebut, antena slot mikrostrip array dirancang agar dapat memperlebar cakupan frekuensi dari 0,5 GHz sampai 12 GHz.

1.6. Metodologi Penelitian

Tahap rancang bangun antena mikrostrip slot ini dimulai dengan menentukan frekuensi operasi dari antena mikrostrip tersebut. Kemudian ditentukan pemilihan bahan yang akan digunakan yaitu pemilihan substrat untuk elemen peradiasi dan saluran pencatu mikrostrip. Adapun parameter yang perlu diperhatikan dalam menentukan substrat ini adalah konstanta dielektrik substrat, rugi-rugi tangensial dan tebal substrat.

Untuk mengetahui hubungan antara jumlah elemen peradiasi terhadap pelebaran bandwidth dirancang antena dengan jumlah elemen peradiasi secara bertingkat. Komposisi elemen peradiasi terdiri dari satu elemen, dua elemen, empat elemen, dan delapan. Dalam penelitian ini, perancangan antena menggunakan simulasi dan diverifikasi secara pengukuran. Perancangan dimulai dengan menghitung lebar saluran catu yang menggunakan piranti lunak PCAAD 3.0 (*Personal Computer Antenna Aided Design version 3.0*) dengan memasukkan nilai ketebalan substrat dan konstanta dielektrik serta nilai impedansi sebesar 50 Ohm. Maka akan diperoleh lebar saluran catu yang ekuivalen dengan nilai 50 Ohm. Kemudian dengan menggunakan piranti lunak *microwave office 2004*, digambar

slot antenna pada lapisan pertama dan saluran catu bentuk garpu yang ditambah dengan *tuning stub* di lapisan kedua. Kemudian memasukan informasi substrat yang akan dirancang dengan membuat nilai *enclosure* pada dimensi dan divisi X, serta pada dimensi dan divisi Y, lapisan dielektrik untuk ketebalan masing-masing substrat, dan harga perbatasan adalah impedansi karakteristik ruang bebas yang mendekati 377 Ohm (*Approximate open*) pada bagian atas dan konduktor sempurna (*perfect conductor*) pada bagian bawah. Untuk kasus slot bagian atas dan bawah menggunakan setting udara (377 Ohm). Spesifikasi substrat yang digunakan memiliki rugi-rugi tangensial $\tan \delta = 0.265$ dan nilai konduktivitasnya adalah 5.8×10^7 S/m. Selanjutnya menentukan jarak frekuensi kerja antenna mulai dari 0.3 GHz dan akhir 6 GHz dengan step frekuensi 0.5 GHz untuk kasus elemen tunggal. Jalankan proses simulasi dengan menggunakan perintah *analyze*. Untuk mendapatkan lebar pita yang optimal dilakukan dengan mengubah-ubah panjang dan lebar slot, serta saluran pencatu bentuk garpu dan *tuning stub*.

Setelah diperoleh lebar bandwidth yang optimal, maka akan dilakukan pabrikan antenna. Setelah antenna sudah jadi dilakukan pengukuran dengan menggunakan *network analyzer* untuk mengetahui bandwidth antenna yang akan dibandingkan dengan hasil simulasi. Jika hasil pengukuran tidak sesuai dengan hasil yang diharapkan dalam simulasi, maka akan ditinjau kembali ukuran antenna dan setting simulasi. Jika grafik *return loss* terhadap frekuensi telah diperoleh, pengukuran dilanjutkan untuk mendapatkan parameter pola radiasi dan gain yang diukur pada setiap step frekuensi dari seluruh cakupan frekuensi yang diperoleh. Proses perancangan sampai tahap pengukuran dilakukan hanya pada satu elemen peradiasi. Perancangan antenna array untuk konfigurasi empat elemen dan delapan elemen dilakukan dalam simulasi dengan menggunakan setting yang sama ketika mensimulasikan satu elemen dimana dimensi slot dan ukuran saluran pencatu bentuk garpu dibuat dengan ukuran yang sama.

1.7. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan hasil penelitian ini dibagi menjadi 7 bab, yaitu : Bab 1 berisi pendahuluan yang menjelaskan latar belakang dan permasalahan, penelitian yang dilakukan, tujuan penelitian, kontribusi penelitian, metodologi penelitian dan

sistematika penulisan. Bab 2 berisi mengenai teori antena slot mikrostrip, prinsip ekuivalen medan, konsep dasar antena mikrostrip array, teknik penyesuaian dengan stub dan parameter antena. Bab 3 membahas mengenai hasil simulasi dan pengukuran antena mikrostrip slot tunggal dan dua slot. Bab 4 membahas tentang hasil simulasi parameter antena mikrostrip empat slot array menggunakan jaringan saluran catu paralel dengan satu cabang pembagi. Bab 5 membahas tentang hasil simulasi parameter antena mikrostrip slot array menggunakan jaringan saluran catu paralel dengan dua cabang pembagi untuk kasus delapan slot. Bab 6 membahas mengenai hasil simulasi dari parameter antena mikrostrip slot array model planar menggunakan jaringan saluran catu paralel. Bab 7 berisi kesimpulan dari semua pembahasan sebelumnya.

1.8. Hubungan Antar Bab

Hubungan antara bab dalam buku ini merupakan pengembangan dari konsep perancangan antena mikrostrip slot tunggal sampai implementasi dalam konsep array untuk tujuan memperlebar bandwidth yang terdiri dari empat Bab. Pembahasan dimulai dari Bab 3 mengenai perancangan dan karakteristik pancaran antena slot mikrostrip tunggal bentuk segiempat dan dikembangkan menjadi antena slot mikrostrip array linier dengan dua elemen. Pembahasan pada Bab 3 meliputi karakterisasi perubahan ukuran antena terhadap lebar bandwidth, gain antena, impedansi masukan, pola radiasi pada medan E dan H . Pada Bab 4 merupakan pengembangan antena slot mikrostrip array linier dengan empat slot segiempat menggunakan konfigurasi jaringan saluran catu paralel dengan satu cabang pembagi. Pembahasan pada Bab 4 meliputi variasi perubahan ukuran antena terhadap pelebaran bandwidth, impedansi masukan, dan pola radiasi medan E dan H . Pada Bab 5 dibahas mengenai perancangan antena slot mikrostrip array linier dengan alternatif konfigurasi jaringan pencatu yang berbeda yaitu jaringan saluran catu paralel dengan dua cabang pembagi untuk kasus delapan slot. Pembahasan pada Bab 5 meliputi variasi perubahan ukuran antena terhadap pelebaran bandwidth, impedansi masukan, dan pola radiasi medan E dan H . Terakhir pada Bab 6 membahas mengenai perancangan antena slot mikrostrip array dengan susunan yang berbeda yaitu susun planar menggunakan jaringan

saluran catu paralel untuk kasus delapan slot segiempat. Pembahasan pada Bab 6 meliputi variasi perubahan ukuran antena terhadap pelebaran bandwidth, impedansi masukan, dan pola radiasi medan E dan H .

BAB 2

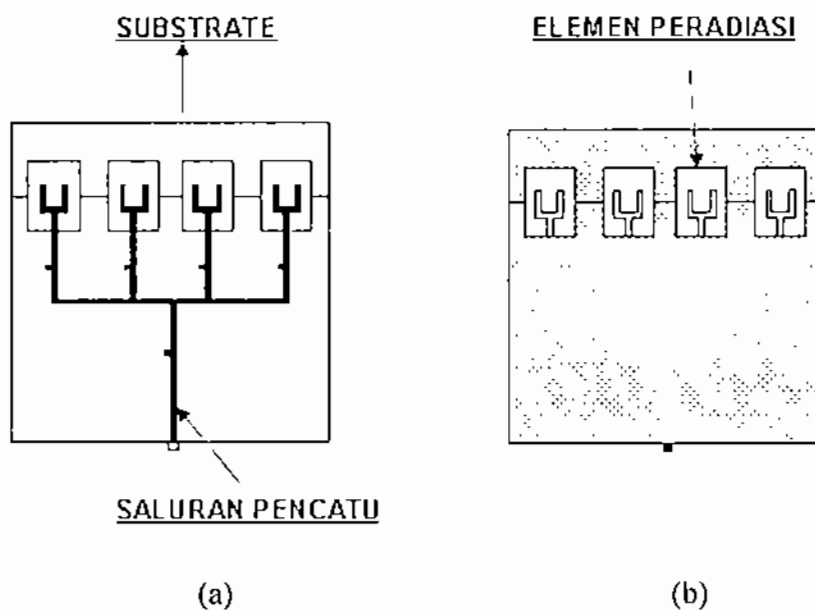
ANTENA SLOT MIKROSTRIP DAN JARINGAN SALURAN PENCATU MIKROSTRIP

Pada bagian ini dijelaskan mengenai tinjauan pustaka atau teori dasar mengenai antena mikrostrip. Dalam bab ini diuraikan mengenai konsep dasar antena mikrostrip slot sertasd parameter - parameter antena microstrip, yang mana pada perancangan ini menggunakan antena mikrostrip celah (slot) berbentuk segi empat dengan saluran pencatu mikrostrip berbentuk multi batang penyetelan.

2.1. Antena Mikrostrip

Antena mikrostrip bentuk yang sederhana, ringan, dapat dibuat sesuai kebutuhan dan antena dibuat dengan cara mencetak elemen peradiasinya pada suatu lempengan substrat seperti yang diperlihatkan oleh Gambar 2.1 dibawah ini

:



Gambar 2.1. Antena Slot Segi Empat Sama Sisi

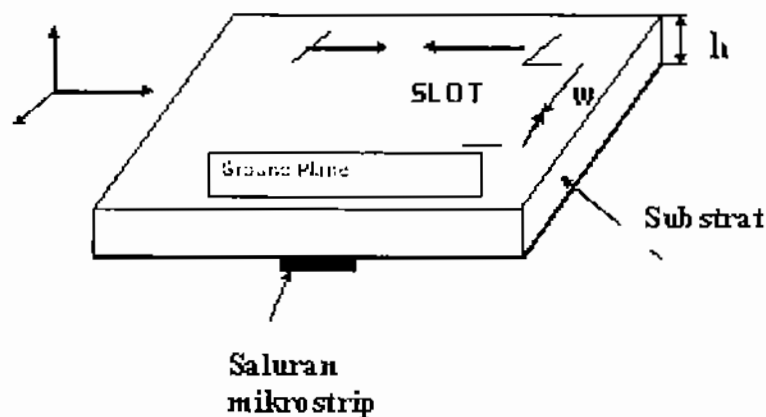
- (a). Lapisan bawah
- (b). Lapisan atas

Antena terdiri dari elemen peradiasi, substrat dan saluran pencatu . Bagian peradiasi ini umumnya terbuat dari tembaga, perak, campuran perak dengan

palladium atau emas. Bentuk geometri elemen peradiasi umumnya terdiri dari dua yaitu patch dan slot. Bentuk dari slot peradiasi pada dasarnya dapat bermacam-macam, diantaranya adalah bentuk segi empat (rectangular), segitiga (triangular) dan cincin (annular ring), serta bentuk fractal yang beberapa tahun ini menjadi objek penelitian [2]. Pada laporan penelitian ini penulis melakukan perancangan pada bentuk slot segi empat dengan satu elemen, dua elemen, empat elemen dan delapan elemen.

2.2. Antena Slot Mikrostrip (MSA)

Bentuk celah (slot) pada antena mikrostrip sebenarnya sama seperti bentuk segi empat dengan panjang dan lebar. Celah (slot) merupakan bagian alternatif dari fungsi elemen peradiasi. Untuk bentuk geometri dasar antena mikrostrip terdiri dari elemen konduktor peradiasi (slot) yang dicetak pada substrat. Elemen peradiasi dapat dieksitasi oleh saluran transmisi koaksial, saluran mikrostrip, atau kopling elektromagnetik. Pada antena mikrostrip celah (slot) meliputi suatu celah (slot) yang memotong pada bidang tanah dengan saluran mikrostrip, sehingga celah (slot) akan tegak lurus dengan konduktor pada saluran mikrostrip. Bentuk antena mikrostrip celah (slot) tunggal dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2. Geometri Antena Celah (Slot) Tunggal [2].

Konsep awal mikrostrip slot antena yaitu perancangan slot antena dengan menggunakan saluran mikrostrip. Bentuk slot antena mempunyai banyak model dalam perancangannya dan mempunyai kelebihan yaitu menghasilkan pola

radiasi yang memancar pada satu arah (*unidirectional*) dan dua arah (*bidirectional*) dengan lebar-pita yang lebar. Selain itu, bahwa slot antenna dalam hal pabrikan lebih mudah pembuatannya dibanding dengan bentuk *patch*.

Mikrostrip slot antenna meliputi suatu celah (slot) yang berada didalam bidang *groundplane* dan tegak lurus terhadap saluran mikrostrip, medan radiasi dihasilkan oleh saluran pencatu terhadap celah (slot) yang berada pada bidang *groundplane* dan bisa di lihat pada Gambar 2.3. Mengacu pada Gambar 2.3, frekuensi kerja MSA ditentukan oleh panjang slot yang diformulasikan pada persamaan (1) [3].

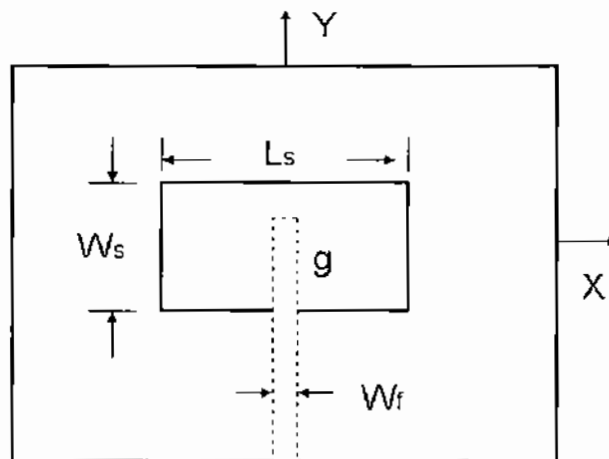
$$L_r = \frac{\lambda_s}{2} - \Delta L_s \quad (2.1)$$

$$\frac{\lambda_s}{\lambda_0} = 1.194 - 0.24 \ln \epsilon_r - \frac{0.621 \epsilon_r^{0.835} (W/\lambda_0)^{0.48}}{1.344 + W/h} - 0.0617 \left[1.91 - \frac{\epsilon_r + 2}{\epsilon_r} \right] \ln(h/\lambda_0) \quad (2.2)$$

Dimana λ_s merupakan panjang gelombang pada slot dan $\lambda_0 = c/f_0$ merupakan panjang gelombang di ruang bebas dengan frekuensi kerja yang diinginkan. ΔL_s diberikan pada persamaan (2.3) merupakan panjang ekuivalen yang dihubungkan dengan nilai induktansi pada ujung slot. Dimana h merupakan tebal substrat dan W adalah lebar slot yang ditentukan menggunakan persamaan (2.4) [44]. Untuk menentukan nilai permitivitas relatif efektif dengan menggunakan persamaan (2.26).

$$\frac{\Delta L_s}{h} = 0.412 \frac{(\epsilon_{r_{eff}} + 0.3) \left(\frac{W}{h} + 0.264 \right)}{(\epsilon_{r_{eff}} - 0.258) \left(\frac{W}{h} + 0.8 \right)} \quad (2.3)$$

$$W = \frac{c}{2f_r} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} \quad (2.4)$$



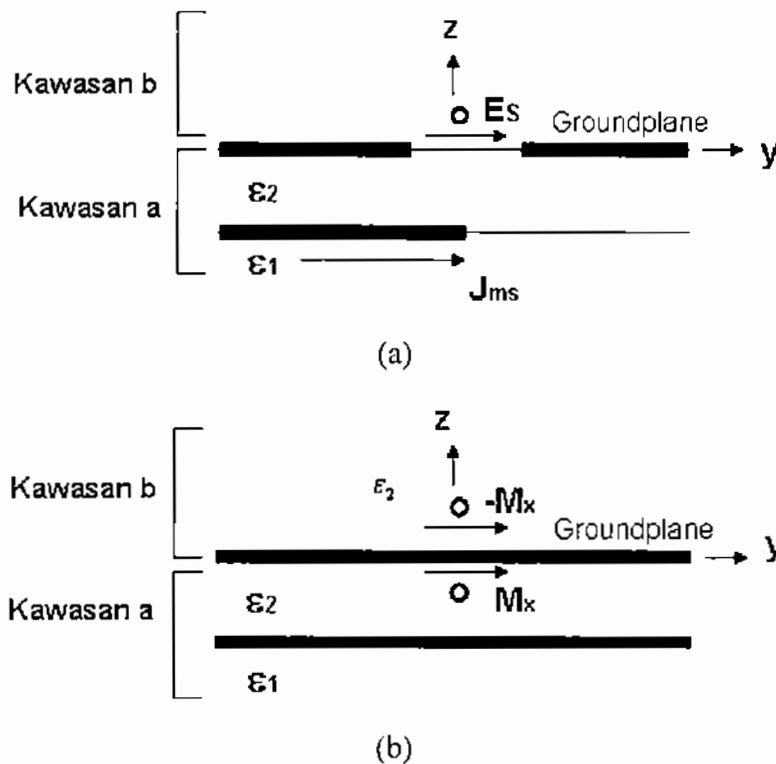
Gambar 2.3. Geometri Antena Celah Lebar Dicatu Dengan Saluran Mikrostrip Terbuka

Mengacu pada Gambar 2.3. bidang tanah dan *dielectric substrate* melebar tanpa batas dalam arah y dan x . Dimana arus permukaan pada saluran mikrostrip adalah arah y . Medan listrik yang melintasi *aperture* mempunyai komponen y dan x . Dengan menggunakan prinsip ekuivalen dapat ditempatkan kembali oleh ekuivalen arus permukaan magnetik M_x dibawah bidang tanah dan $-M_x$ diatas bidang tanah [Gambar 2.4 (b)]. Hal ini diberikan oleh persamaan (2.5) [3].

$$M_x = \hat{z} \times E_s \quad (2.5)$$

Terhubung arus magnetik M_s terhadap medan listrik E_s yang tidak diketahui dalam celah. Sehingga dapat dipisahkan kedalam dua kawasan yaitu kawasan "a" dan "b" seperti terlihat pada Gambar 2.4 (b) :

1. Kawasan "a" adalah dalam daerah $z < 0$ dengan medan yang dapat dibangkitkan oleh arus magnetik M_x dan arus listrik J_{ms} . Dimana J_{ms} adalah arus listrik pada permukaan yang tidak diketahui dalam mikrostrip.
2. Kawasan "b" adalah dalam daerah $z > 0$. Sumber dalam daerah ini adalah $-M_x$ yang meradiasi dalam bidang konduktor elektrik sempurna.



Gambar 2.4. Daerah Lintasan Antena Slot Dengan Pencatu Saluran Mikrostrip

(a) Masalah sebenarnya

(b) Masalah ekuivalen

Total medan magnet dan listrik dalam kawasan "a" dan "b" dapat ditulis sebagai berikut [3] :

$$E_{\text{tot}}^a = E^a(J_{ms}) + E^a(M_x) \quad (2.6)$$

$$H_{\text{tot}}^a = H^a(J_{ms}) + H^a(M_x) \quad (2.7)$$

$$E_{\text{tot}}^b = E^b(-M_x) \quad (2.8)$$

$$H_{\text{tot}}^b = H^b(-M_x) \quad (2.9)$$

Dasar teori dari slot antena mikrostrip adalah berdasarkan prinsip ekuivalen medan yang ditemukan oleh Huygen's Principle [5]. Prinsip ekuivalen medan adalah dimana suatu sumber aktual dapat di buat menjadi ekuivalen dengan suatu daerah lain karena menghasilkan medan yang sama dengan daerah tersebut. Dimana kontinuitas medan listrik yang melintasi *aperture* telah memenuhi dengan menggunakan M_s dan $-M_s$ pada sisi *aperture* yang berbeda. Kondisi-kondisi tersebut menghasilkan persamaan untuk M_s dan J_{ms} . [3]:

$$H_{tan}^a(J_{ms}) + H_{tan}^a(M_s) = H_{tan}^b(-M_s) \quad \text{dalam celah} \quad (2.10)$$

$$E_y^a(J_{ms}) + E_y^a(M_s) + E_y^{mc} = 0$$

$$\text{pada saluran microstrip} \quad (2.11)$$

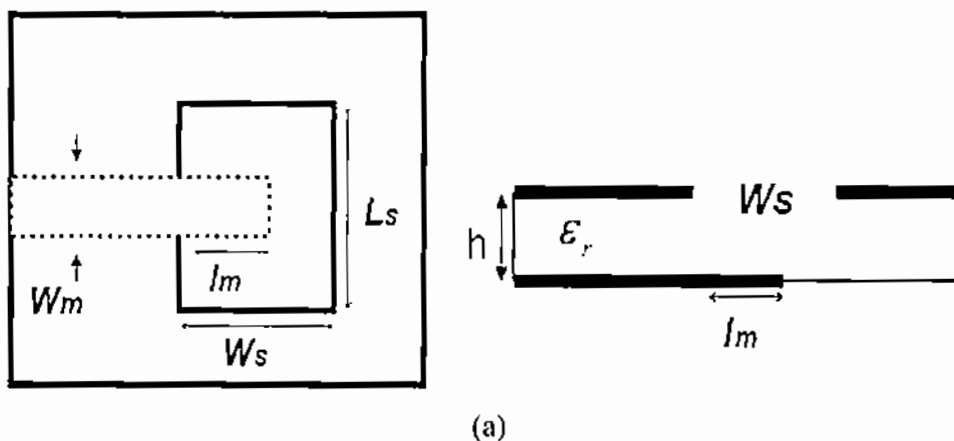
Pada persamaan (2.10) sebagai medan listrik pada pembangkit jarak tegangan yang berpengaruh pada struktur daerah "a". Prinsip tersebut dalam aplikasi pada antena mikrostrip digunakan dalam teknik pencatuan elektromagnetik kopel (*coupled electromagnetic*).

Teknik pencatuan secara elektromagnetik pada umumnya menggunakan dua jenis elemen peradiasi yaitu pada patch dan slot. Pada patch digunakan dua substrat, dimana lapisan pertama terdapat *patch* antena segi empat dengan bagian bidang pertanahannya dihilangkan dan lapisan kedua digunakan sebagai pencatu saluran mikrostrip dengan bagian bawah sebagai bidang tanah. Kedua substrat dapat berbeda ketebalan dan konstanta dielektrik relatif. Saluran catu berada dibawah *patch* dan membentuk rangkaian terbuka. Jarak s , dari pinggir *patch* ke pinggir saluran dicatu sebagai tumpang-tindih, dimana ujung dari rangkaian terbuka memberikan mekanisme kopling yang utama terhadap antena. Teknik ini disebut sebagai *proximity coupling* untuk *microstrip patch antenna* (MPA). Pada *slot (wide slot)* dapat menggunakan satu lapisan substrat, dimana konduktor bagian atas digunakan sebagai elemen peradiasi dan sekaligus untuk bidang pertanahan (*ground-plane*). Sedangkan konduktor bagian bawah digunakan untuk saluran mikrostrip sebagai pencatu. Teknik dengan menggunakan *slot* lebar (*wide slot*) diistilahkan sebagai *microstrip slot antenna* (MSA) seperti terlihat pada Gambar 2.4b. Sehingga teknik pencatuan secara elektromagnetik dengan menggunakan *slot* lebih efisien dalam penggunaan substrat untuk antena. Secara umum, kedua teknik tersebut memiliki mekanisme peradiasian yang sama dimana saluran mikrostrip memberikan imbas gelombang elektromagnetik menuju elemen peradiasi (*patch* dan *slot*) melalui sebuah substrat. Efek kopling diberikan antara saluran mikrostrip dan elemen peradiasi sebagai transformer ideal. Antena mikrostrip slot mengandung transformer ideal yang mewakili kopling antara slot dan saluran mikrostrip dan menentukan tegangan kopel secara seri ke saluran mikrostrip [3].

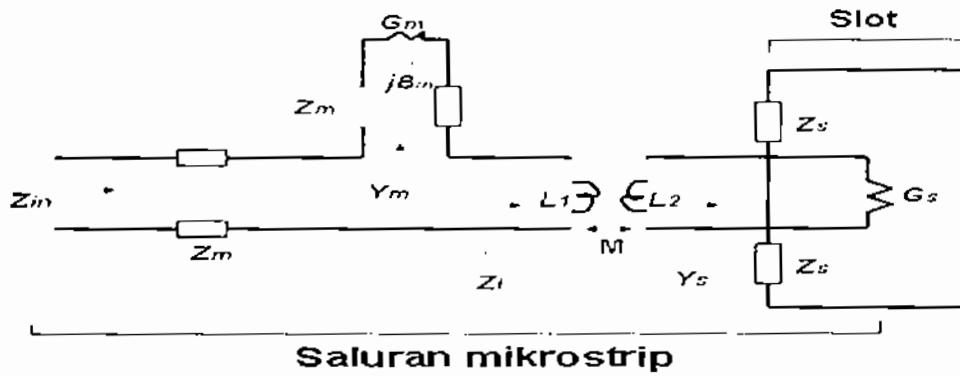
2.3. Mekanisme Peningkatan Bandwidth pada MSA

Mekanisme kopling dapat diinduksikan secara kapasitif dan induktif. Dalam kasus MSA kopling diinduksikan secara induktif yang diberikan dari saluran catu ke slot [3]. Posisi saluran transmisi berada dibawah lempengan antenna dan berhimpitan (posisi *overlap*), mulai dari pinggir lempengan sampai sejauh l_m menuju ujung terbuka (*open end circuit*) dari saluran seperti terlihat pada Gambar 2.5. Medan pinggir yang terbentuk dari sirkit ujung terbuka saluran ini menghasilkan suatu mekanisme kopling utama kepada antenna (slot). Lempengan antenna ini disebut mengalami efek pengkopelan secara elektromagnetik. Semakin besar efek kopling yang terjadi, akan menurunkan faktor kualitas rangkaian. Semakin menurunnya faktor kualitas rangkaian, semakin meningkatnya bandwidth antenna.

Efek kopling dikontrol oleh dua faktor utama, yaitu jarak penyisipan saluran dibawah elemen peradiasi dan lebar elemen peradiasi yang sebatas pada lebar W_m . Dimana kopling simetris terhadap pusat elemen peradiasi dan penurunan lebar elemen peradiasi akan menaikkan kopling. Dengan membuat bercabang dua pada ujung saluran catu akan menambah efek kopling dua kali lebih kuat pada elemen peradiasi. Hal ini dijelaskan karena pada kedua cabang tersebut menghasilkan efek kopling dua kali lebih kuat dan pada akhirnya akan meningkatkan *bandwidth* [7].



Gambar 2.5. (a) Struktur Antena Slot yang Dicatu Saluran Mikrostrip. (b) Rangkaian Ekuivalen Antena Slot [5].



(b)

Gambar 2.5 (lanjutan). (a) Struktur Antena Slot yang Dicatu Saluran Mikrostrip, (b) Rangkaian Ekuivalen Antena Slot [5].

Untuk memahami mekanisme pelebaran bandwidth pada antena slot mikrostrip yang dicatu secara kopel elektromagnetik dapat dijabarkan dengan pemodelan rangkaianannya. Oleh Akhavan dan Syahkal dimodelkan rangkaian ekuivalen antena slot sempit dengan pencatuan saluran mikrostrip tunggal [5]. Dari acuan tersebut dilakukan modifikasi pemodelan rangkaian ekuivalen antena slot lebar yang dicatu dengan saluran mikrostrip seperti terlihat pada Gambar 2.5. Rangkaian antena slot diasumsikan kopel secara magnetik terhadap rangkaian ekuivalen saluran catu. Dimana kopel magnetik sebagai transformator antara rangkaian saluran mikrostrip dan rangkaian antena. Pada Gambar 2.5a, l_m merupakan panjang saluran mikrostrip dimana arus yang mengalir memberikan kontribusi terhadap kerapatan daya magnet menuju slot. Panjang slot L_s dan lebar slot W_s merupakan fungsi dari frekuensi kerja dari antena slot. Sebagai fungsi impedansi karakteristik saluran catu mikrostrip diwakili dengan lebar W_m . Rangkaian ekuivalen untuk antena slot dan saluran pencatunya diperlihatkan dalam Gambar 2.5b. Antena slot terdiri dari rangkaian-tertutup yang paralel dengan konduktansi G_s , mewakili daya yang diradiasikan dari slot. Sehingga $Y_s = G_s + jB_s$ merupakan admitansi pada masukan rangkaian ekuivalen antena slot. Pada sisi saluran mikrostrip terdapat G_m yang merupakan radiasi dari ujung saluran terbuka pada saluran mikrostrip. Sehingga $Y_m = G_m + jB_m$ merupakan admitansi pada masukan ujung terbuka stub mikrostrip.

Pada sisi transformer terdapat mutual induktansi antara L_1 sebagai lilitan primer dan L_2 sebagai lilitan sekunder. Induktansi L_1 terhubung dengan panjang saluran mikrostrip l_m dan L_2 terhubung dengan lebar slot yang terbatas hanya pada lebar W_m . Sehingga nilai induktansi bersama L_1 dan L_2 dapat diperoleh menggunakan induktansi per satuan unit panjang dari saluran mikrostrip dan slot. Induktansi bersama M dapat ditentukan dengan formulasi seperti pada persamaan (2.12) [5].

$$M = Z \sqrt{\frac{\epsilon_{eff}}{c}} \quad (2.12)$$

Dimana Z merupakan impedansi karakteristik dari saluran mikrostrip dan ϵ_{eff} adalah konstanta dielektrik efektif dari substrat. Nilai c adalah kecepatan cahaya. Sehingga Z_s adalah nilai impedansi dan ϵ_{eff} , konstanta dielektrik efektif pada slot. Sedangkan Z_m adalah nilai impedansi dan ϵ_{eff_m} adalah konstanta dielektrik efektif pada saluran mikrostrip. Sehingga nilai induktansi bersama dapat ditentukan dengan mengubah panjang dan lebar saluran mikrostrip.

Dengan kata lain transformator tersebut merupakan suatu rangkaian tala (*tuned circuit*) yang mengubah dari level impedansi rendah ke impedansi yang lebih tinggi. Sehingga rangkaian tala tersebut berfungsi sebagai jaringan impedansi penyesuaian antara resistansi sumber dan beban. Rangkaian tala pada kasus antenna slot mikrostrip merupakan rangkaian paralel RLC yang beresonansi bila sudut fasa ϕ sama dengan nol. Hal ini berarti reaktansi induktif X_L sama dengan reaktansi kapasitif X_C . Sehingga frekuensi resonansi dapat diperoleh seperti pada persamaan (2.15).

$$\omega_r L = \frac{1}{\omega_r C} \quad (2.13)$$

$$\omega_r = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (2.14)$$

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (2.15)$$

Dari persamaan (2.13) sampai (2.15) menjelaskan bahwa pada saat resonansi impedansi rangkaian adalah resistif murni. Sedangkan induktansi L dan

kapasitansi C dapat disetel untuk membawa rangkaian tersebut ke dalam keadaan resonansi dengan frekuensi yang diinginkan. Untuk rangkaian tala paralel nilai impedansi diberikan pada persamaan (2.16) [43] .

$$\begin{aligned} Z_p(\omega) &= (1/R + j\omega C + 1/j\omega L)^{-1} \\ &= j\omega LR / (R + j\omega L - \omega^2 LCR) \\ &= j\omega L / [(1 - \omega^2 LC) + j\omega L / R] \end{aligned} \quad (2.16)$$

Pada saat beresonansi dengan nilai frekuensi seperti pada persamaan (14), impedansi kompleks pada persamaan (2.17) menjadi,

$$\begin{aligned} Z_p(\omega_0) &= j\omega_0 L / [(0) + j\omega_0 L / R] \\ &= R \end{aligned} \quad (2.17)$$

Penggunaan yang paling luas dari rangkaian tala ialah sebagai suatu filter yang selektif untuk suatu lebar frekuensi tertentu. Pengaruh dari rangkaian tala paralel pada suatu sinyal frekuensi tergantung pada berapa dekat sinyal tersebut dari frekuensi resonansinya. Selain itu juga tergantung pada suatu karakteristik rangkaian yang disebut selektivitas. Dimana selektivitas itu merupakan fungsi dari faktor Q atau faktor kualitas dari rangkaian yang dirumuskan dalam persamaan (2.18).

$$Q = \frac{R}{\omega_0 L} \quad (2.18)$$

Impedansi rangkaian tala paralel pada persamaan (2.16), jika dengan harga Q persamaan tersebut menjadi,

$$Z_p(\omega) = R / [1 + jQ(\omega / \omega_0 - \omega_0 / \omega)] \quad (2.19)$$

Dimana pada saat $\omega = \omega_0$, impedansi rangkaian paralel $|Z_p(\omega)|$ mencapai maksimum pada $Z_p(\omega) = R$ dan sebaliknya jika terjadi selisih dari ω_0 maka $|Z_p(\omega)|$ akan menuju nilai minimum. Pada bagian nyata dan imajiner dari impedansi rangkaian paralel $[Z_p(\omega) = R_p(\omega) + jX_p(\omega)]$, ketika $R_p(\omega)$ mencapai R yang dinormalkan pada saat resonansi, $X_p(\omega)$ menjadi nol. Terdapat dua nilai frekuensi ω_1 dan ω_2 , sehingga nilai impedansi $Z_p(\omega_1) = R/(1 - j)$ dan $Z_p(\omega_2) = R/(1 + j)$. $R_p(\omega)$ menjadi $R/2$ untuk kedua nilai impedansi, sehingga $X_p(\omega_1) = R/2$ dan $X_p(\omega_2) = -R/2$. Kedua frekuensi tersebut dengan nilai

faktor kualitas Q dapat dirumuskan pada persamaan (2.20), dimana rentang dari kedua frekuensi tersebut diformulasikan pada persamaan (2.21).

$$\omega_{2,1} = \pm \omega_0 (2Q) + (1 + 4Q^2)^{1/2} \omega_0 / (2Q) \quad (2.20)$$

$$\omega_2 - \omega_1 = \omega_0 / Q \quad (2.21)$$

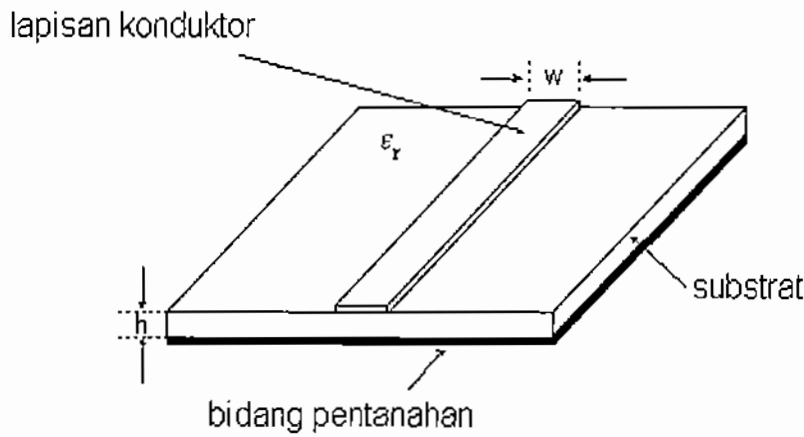
Untuk rangkaian-rangkaian gelombang mikro selektivitas diukur menurut lebar-bidang (*bandwidth*) frekuensi terhadap nilai -3 dB. Namun dalam kasus impedansi penyesuaian diberikan dengan nilai VSWR = 2 atau ekuivalen dengan nilai return loss sebesar -9.54 dB. Sehingga pada kasus antena bandwidth didefinisikan sebagai nilai frekuensi rendah f_1 dan frekuensi tinggi f_2 terhadap nilai -9,54 dB. Dimana nilai f_1 dan f_2 telah dijabarkan dalam [41]. Sehingga bandwidth dapat dijabarkan menggunakan formulasi seperti pada persamaan (2.22).

$$BW = f_2 - f_1 = \frac{f_r}{Q} \quad (2.22)$$

Dari persamaan (2.22) menunjukkan betapa pentingnya faktor Q dalam menentukan selektivitas, dimana faktor Q yang rendah akan menghasilkan suatu bandwidth yang lebar demikian juga sebaliknya. Sehingga dengan membuat dua kali lipat jumlah saluran catu mikrostrip yang disisipkan dibawah slot antena, akan meningkatkan efek kopling induktif dua kalinya. Meningkatnya efek kopling akan menurunkan faktor kualitas Q rangkaian tala. Semakin rendah faktor kualitas Q dari rangkaian akan membuat bandwidth semakin lebar.

2.4. Impedansi Karakteristik Saluran Mikrostrip

Dalam kasus MSA ini, teknik pencatuan yang digunakan yaitu saluran mikrostrip secara elektromagnetik kopel. Untuk menentukan nilai impedansi karakteristik saluran yaitu dengan menentukan lebar w . Dimana lebar tersebut berdasarkan nilai permitivitas relatif ϵ_r dan tebal substrat h seperti ditunjukkan pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6. Struktur Saluran Mikrostrip

Parameter utama yang penting untuk ditentukan pada suatu saluran mikrostrip adalah impedansi karakteristiknya Z_0 . Impedansi karakteristik Z_0 dari saluran microstrip dapat diperoleh dengan menggunakan pendekatan sebagai berikut [3]. Untuk saluran sempit dengan $\frac{w}{h} \leq 2$ diberikan pada persamaan (2.23).

$$Z_0 = \frac{119.9}{\sqrt{2(\epsilon_r + 1)}} \left\{ H' - \frac{\epsilon_r - 1}{2(\epsilon_r + 1)} \left(0.4516 + \frac{0.2416}{\epsilon_r} \right) \right\} \quad (2.23)$$

dimana

$$H' = \ln \left[\frac{4h}{w} + \left\{ \left(\frac{4h}{w} \right)^2 + 2 \right\}^{\frac{1}{2}} \right] \quad (2.24)$$

Sedangkan untuk saluran yang lebar, dengan $\frac{w}{h} \geq 2$ diberikan pada persamaan (2.25).

$$Z_0 = \frac{3767}{\sqrt{\epsilon_r}} \left\{ \frac{w}{h} + 0.8825 + 0.1645 \left(\frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r^2} \right) + \frac{\epsilon_r + 1}{\pi \epsilon_r} \left[1.4516 + \ln \left(\frac{w}{h} + 0.94 \right) \right] \right\}^{-1} \quad (2.25)$$

Sementara itu untuk menghitung panjang gelombang dalam saluran λ_m maka perlu diketahui nilai parameter konstanta dielektrik efektif $\epsilon_{r \text{ eff}}$, sebagai berikut. Untuk saluran yang sempit $\frac{w}{h} \leq 1$ diberikan pada persamaan (2.26).

$$\epsilon_{r\text{eff}} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} \left\{ 1 - \frac{(\epsilon_r - 1)}{2H'(\epsilon_r + 1)} \left(0.4516 + \frac{0.2416}{\epsilon_r} \right) \right\}^2 \quad (2.26)$$

dengan H' yang telah diberikan pada Persamaan (2.24). Kemudian untuk saluran yang lebar $\frac{W}{h} \geq 1$ diberikan pada persamaan (2.27).

$$\epsilon_{r\text{eff}} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \times \left(1 + \frac{10}{u} \right)^{-ab} \quad (2.27)$$

Dimana :

$$u = W/h$$

$$a = 1 + \frac{1}{49} \ln \left\{ \frac{u^4 + (u/52)^2}{u^4 + 0.432} \right\} + \frac{1}{18.7} \ln \left\{ 1 + \left(\frac{u}{18.1} \right)^3 \right\}$$

$$b = 0.564 \left(\frac{\epsilon_r - 0.9}{\epsilon_r + 0.3} \right)^{0.053}$$

Setelah mengetahui nilai konstanta dielektrik efektif, maka panjang gelombang dalam saluran microstrip λ_m dapat diperoleh pada persamaan (2.28).

$$\lambda_m = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_{r\text{eff}}}} \quad (2.28)$$

Sehingga lebar efektif saluran w_{eff} untuk menentukan impedansi karakteristik yang diinginkan dapat ditentukan oleh persamaan (2.29).

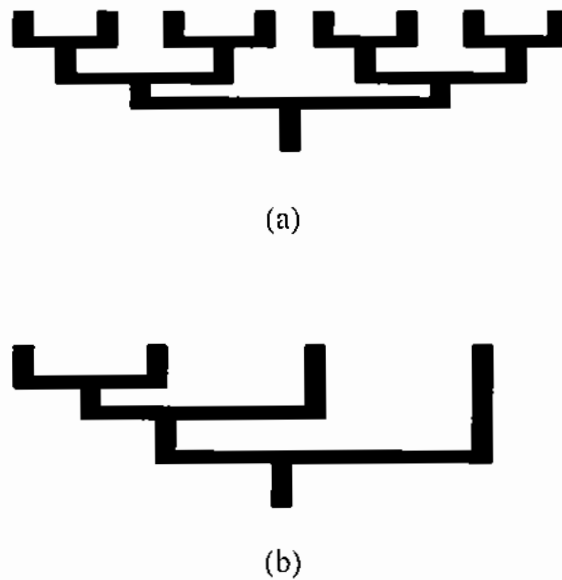
$$w_{\text{eff}} = \frac{120\pi h}{Z_0 \sqrt{\epsilon_{r\text{eff}}}} \quad (2.29)$$

2.5. Konsep Dasar Antena Mikrostrip Array

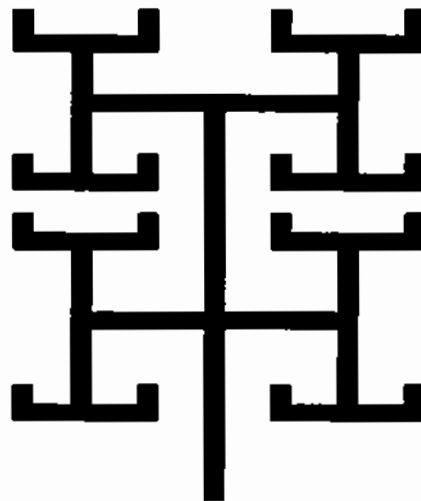
2.5.1. Sistem Jaringan Pencatuan Paralel

Dasar konfigurasi sistem pencatuan antena array paralel merupakan pembagian dua saluran bercabang yang dirangkai dalam suatu rangkaian menjadi sebuah jaringan impedansi. Dimana pada setiap saluran mempunyai impedansi yang sama (*matching impedans*) [3]. ada dua jenis konfigurasi sistem jaringan saluran catu, yaitu sistem jaringan saluran catu paralel dan sistem jaringan catu seri.

Metode yang lazim digunakan untuk saluran catu pada antenna mikrostrip array dapat di kategorikan menjadi dua hal yaitu konfigurasi saluran catu *corporate* seperti Gambar 2.7 dan konfigurasi saluran catu paralel seperti Gambar 2.8. Rangkaian paralel atau biasa disebut *corporate feed* menggunakan satu input dan beberapa saluran sebagai outputnya. Setiap cabang saluran masing-masing mempunyai elemen radiasi. Pada kasus antenna mikrostrip array, rangkaian paralel terbagi menjadi dua, rangkaian paralel satu-dimensional dan rangkaian paralel dua-dimensional. Rangkaian paralel satu-dimensioanl menggunakan dua konfigurasi, seperti terlihat pada Gambar 2.7 dan untuk dua-dimensional dapat di lihat pada Gambar 2.8.



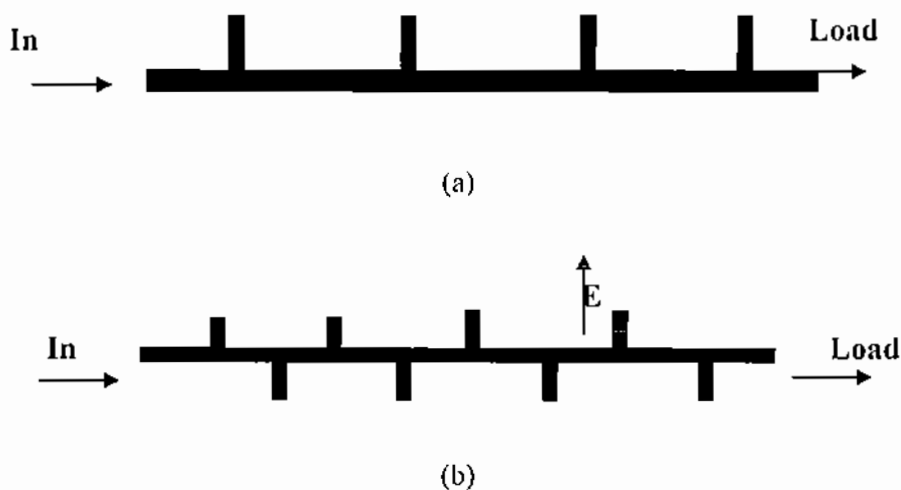
Gambar 2.7. Dasar Jaringan Saluran Catu *Corporate* : (a) Konfigurasi Simetris (b) Konfigurasi Asymetris [3].



Gambar 2.8. Jaringan Saluran Catu Pararel Dua-Dimensional [3].

2.5.2. Sistem Jaringan Pencatuan Seri

Sistem jaringan pencatuan seri seperti terlihat pada Gambar 2.9 terdiri dari beberapa elemen yang disusun secara berurut. Pada jenis ini, gelombang disalurkan dari input menuju beban yang dihubungkan pada ujung saluran melewati elemen peradiasi. Kelemahan dari jenis ini adalah memiliki bandwidth yang sempit dan daya pancar yang rendah [46].



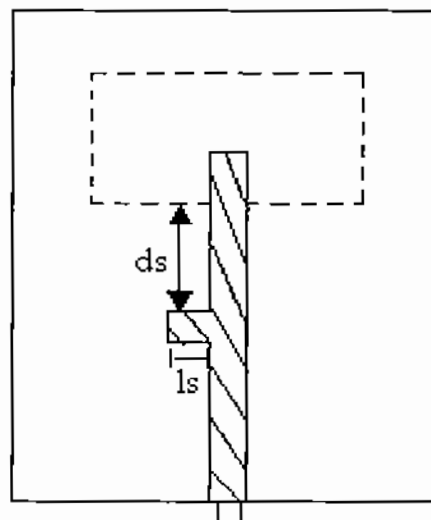
Gambar 2.9. Jaringan Saluran Catu Seri:

(a) Konfigurasi Untranpos (b) Konfigurasi Tranpos [3]

2.6. Teknik Penyesuaian Impedansi Dengan Stub

Dalam konfigurasi array, impedansi karakteristik saluran catu utama harus sesuai dengan impedansi di setiap elemen antenna agar daya yang dikirim dari sumber ke beban maksimal. Sehingga di setiap cabang saluran array tersebut harus diberikan potongan saluran penyesuaian. Teknik penyesuaian tersebut dapat menggunakan teknik batang penyesuaian (*stub matching*) dan tranformator $\lambda/4$. Pada bagian ini hanya membahas teknik penyesuaian dengan batang penyesuaian.

Cakupan frekuensi kerja suatu antenna tidak hanya bergantung pada respon frekuensi dari elemen peradiasi, tetapi juga merupakan kombinasi dari saluran pencatunya. Dalam prakteknya impedansi karakteristik saluran transmisi dalam nilai nyata dimana elemen antenanya dalam nilai kompleks. Begitu pula variasi tiap fungsi frekuensi tidak sama. Sehingga efisiensi jaringan penyesuaian harus dirancang sedemikian rupa untuk mendapatkan jarak frekuensi yang diinginkan [42].



Gambar 2.10. Saluran Catu Dengan *Stub* Seri.

Banyak jaringan penyesuaian yang dapat digunakan untuk menghubungkan saluran transmisi terhadap elemen antenna dan dapat dirancang untuk memberikan karakteristik frekuensi yang dapat diterima. Salah satunya adalah teknik penyesuaian dengan menggunakan *stub*. Dimana *stub* pendek, l_s , dihubung secara seri dengan saluran transmisi berjarak d_s dari pinggir *slot*, seperti terlihat pada Gambar 2.10 Saluran mikrostrip dihubung secara *shunt* dengan *stub*

pendek. Dengan mengasumsikan karakteristik impedansi riil, jarak d_s di kontrol untuk membuat bagian impedansi riil antena sama terhadap impedansi karakteristik. Panjang saluran l_s diubah-ubah sampai reaktansi (suseptansi) $stub$ sama dalam magnitudo tetapi berlawanan dalam fasa pada suseptansi saluran masukan pada titik hubungan elemen saluran transmisi. Penggunaan $stub$ ini dapat meningkatkan *bandwidth* [35].

Prinsip penyesuaian impedansi dengan $stub$ yaitu dengan memberikan nilai kompensasi pada reaktansi atau suseptansi dari bagian imajiner antena. Jika suatu antena memiliki impedansi beban $Z_L = R + jX$, maka harus ditambahkan dengan nilai reaktansi pada saluran transmisi $Z_C = R - jX$ untuk mencapai kondisi sesuai $Z_L = Z_C$. Nilai jarak $stub$ d_s dan panjang $stub$ pendek l_s telah diformulasikan dalam [42] seperti terlihat dalam persamaan (2.30) dan (2.31). Dari kedua persamaan tersebut λ merupakan panjang gelombang dan S merupakan gelombang berdiri (SWR) pada saluran.

$$d_s = \frac{\lambda}{4\pi} \cos^{-1} \frac{S-1}{S+1} \quad (2.30)$$

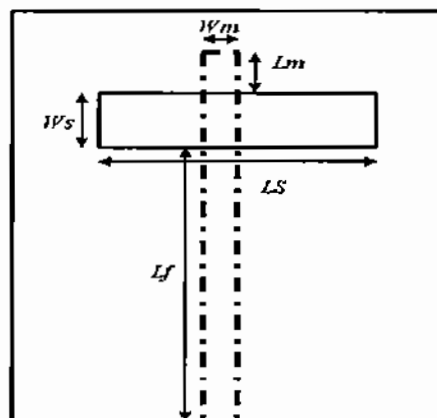
$$l_s = \frac{\lambda}{2\pi} \tan^{-1} \frac{\sqrt{S}}{S-1} \quad (2.31)$$

BAB 3

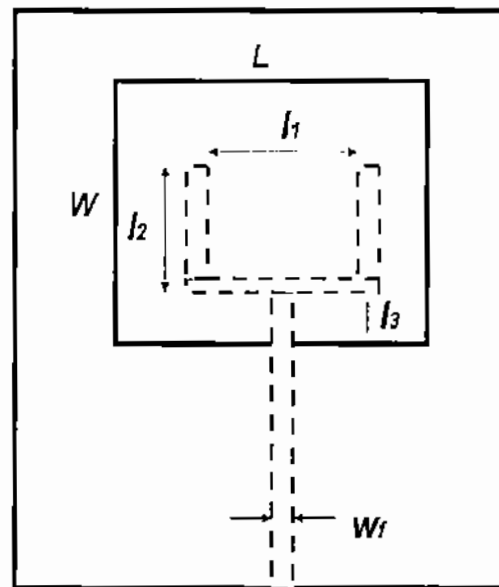
ANTENA MIKROSTRIP SLOT SATU DAN DUA ELEMEN DENGAN BENTUK RADIATOR SEGIEMPAT

3.1. Pendahuluan

Antena slot mikrostrip menggunakan slot berbentuk persegi panjang ini merupakan modifikasi dari desain-desain antena sebelumnya untuk memperlebar bandwidth. Desain antena slot mikrostrip pertama dirancang menggunakan slot yang dicatu oleh saluran mikrostrip [5] seperti terlihat pada Gambar 3.1. Dimana panjang saluran mikrostrip melintasi dari ukuran slot sepanjang L_m sebagai tuning stub. Perancangan tersebut menghasilkan lebar bandwidth sebesar 900 MHz pada jarak frekuensi dari 4,8 GHz sampai 5,7 GHz. Perancangan lain pada antenna slot mikrostrip menggunakan pencatu saluran mikrostrip berbentuk seperti garpu yang berfungsi sebagai tuning stub [7]. Tuning stub tersebut diletakan tepat dibawah slot seperti terlihat pada Gambar 3,2. Antena tersebut menghasilkan bandwidth yang lebih lebar sebesar 1,4 GHz pada jarak frekuensi dari 1,6 GHz sampai 3 GHz. Berdasarkan kedua antena acuan tersebut dilakukan modifikasi agar menghasilkan bandwidth yang lebih lebar dengan cakupan frekuensi antara 1 sampai 6 GHz. Modifikasi yang dilakukan dengan menambahkan stub pendek yang dihubungkan secara *shunt* pada pencatu saluran mikrostrip seperti terlihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3.1. Antena Slot Mikrostrip Dalam Acuan. Geometri antena ($L_s = 44.3$ mm, $W_s = 2,9$ mm, $W_m = 4,8$ mm, $L_m = 12,8$ mm dan $L_f = 48.5$ mm) dan Substrat ($\epsilon_r = 2.2$ dan $h = 1,6$ mm) [5].



Gambar 3.2. Antena Slot Mikrostrip Dalam Acuan [7]. Geometri Antenna ($L = W = 53.7$ mm, $w_f = 0,152$, $l_1 = 15$ mm, $l_2 = 2$ mm, $l_3 = 15,9$ mm) dan Substrat ($\epsilon_r = 4,4$ dan $h = 0.8$ mm).

Perancangan antena slot mikrostrip ini dilakukan melalui tahap simulasi menggunakan perangkat lunak *microwave office 5.0*. pengukuran parameter-parameter antena dan analisa hasil pengukuran. Pengukuran antena yang dirancang pada penelitian ini dilakukan di Labolatorium Telekomunikasi, Departemen Teknik Elektro, Universitas Indonesia, Depok. Parameter-parameter antena yang diukur meliputi: frekuensi resonansi, *return loss*, pola radiasi, *gain*, lebar-pita (*bandwidth*) dan pola radiasi (*beamwidth*). Antena rancangan ini merupakan antena mikrostrip dengan slot tunggal segiempat yang dicatu menggunakan saluran mikrostrip dengan *multi tuning stub*. Setelah diperoleh kesesuaian antara hasil simulasi dengan pengukuran, maka dilakukan pengembangan dari antena tersebut menggunakan dua slot segiempat. Sehingga antena kedua membentuk suatu antenna array, dimana konfigurasi jaringan impedansinya menggunakan teknik yang sama yaitu *multi tuning stub*.

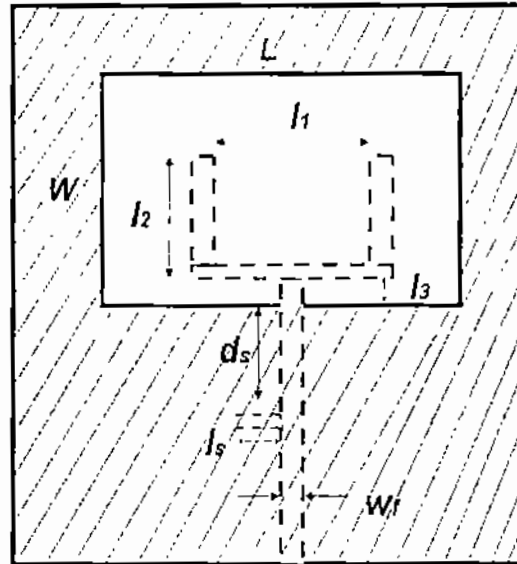
Antena mikrostrip rancangan diukur sebagai penerima, sedangkan antenna pemancarnya menggunakan antenna yang sama seperti antenna rancangan. Hasil pengukuran dan karakterisasi antena tersebut selanjutnya dijadikan dasar analisis. Alat ukur yang digunakan untuk melakukan pengukuran tersebut yaitu; *network*

Analyzer, untuk pengukuran *VSWR*, frekuensi resonansi, Impedansi masukan, refleksi / *return loss*, *bandwidth*, *gain*, dan pola radiasi. Kedua untuk pengukuran pola radiasi digunakan alat *Spectrum Analyzer* dan *Sweep Oscillator*. Selain itu digunakan *power meter* untuk mengukur *gain* antena.

Secara umum langkah perancangan antena ini dimulai dengan menentukan lebar dan panjang resonansi dari slot. Langkah berikutnya menentukan lebar saluran catu mikrostrip sebagai fungsi nilai impedansi karakteristik. Kemudian menempatkan posisi saluran catu mikrostrip terhadap panjang slot dimana saluran ditempatkan pada pusat dari panjang slot atau simetris. Menentukan lebar dan panjang dari saluran mikrostrip berbentuk seperti garpu yang disisipkan dibawah slot dalam piranti lunak. Berikutnya menentukan jarak dan panjang tuning stub untuk mendapatkan penyesuaian antara impedansi karakteristik dengan impedansi slot. Setelah dibuat geometri antena dalam piranti lunak, dilakukan simulasi untuk mendapatkan parameter antena; *bandwidth*, pola radiasi dan impedansi masukan. Setelah diperoleh *bandwidth* yang paling lebar dilakukan pabrikan antena dengan ukuran geometri berdasarkan hasil simulasi. Terakhir dilakukan pengukuran dalam laboratorium untuk memperoleh parameter *bandwidth*, pola radiasi, impedansi masukan dan *gain* antena. Secara jelas prosedur perancangan tersebut dijelaskan dalam sub-bab 3.2.

3.2. Rancangan MSA Dicu Saluran Mikrostrip Multi Tuning Stub

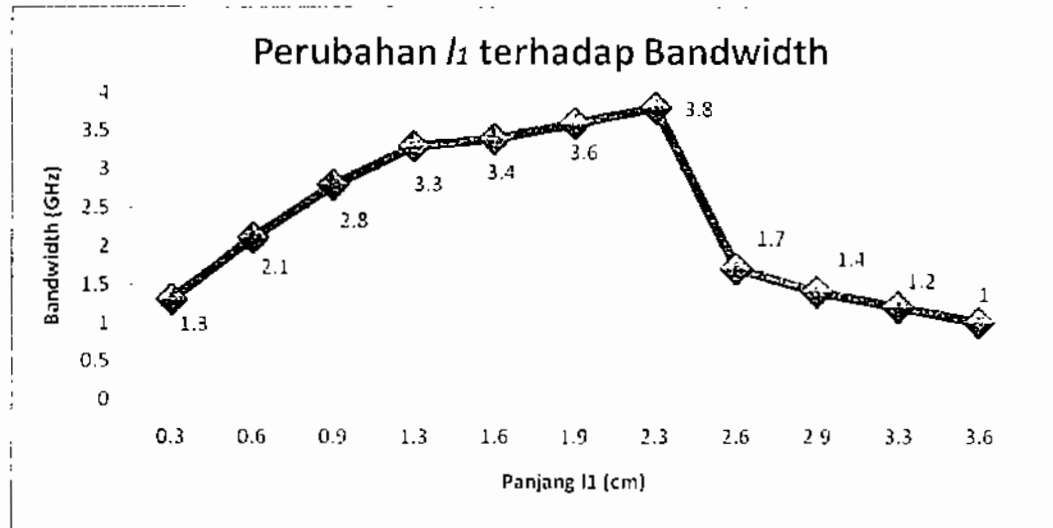
Pada bagian ini hasil simulasi *return loss vs frequency* telah dilakukan beberapa kemungkinan untuk mencapai *bandwidth* yang paling lebar pada antena slot mikrostrip (MSA). Geometri antena slot yang dicu menggunakan saluran mikrostrip dengan rangkaian penyesuaian tuning stub seperti terlihat pada Gambar 3.3. Slot dan saluran catu dibuat pada satu lapis substrat dengan tebal 1.52 mm, permitivitas dielektrik $\epsilon_r = 3,2$ dan rugi tangensial sebesar 0.0025. Saluran mikrostrip multi tuning stub terdiri dari tuning stub berbentuk seperti garpu yang disisipkan dibawah slot dan panjang tuning stub l_s yang dihubungkan secara shunt dengan saluran pencatu utama pada jarak d_s dari pinggir slot. Tuning stub bentuk garpu terdiri dari panjang stub l_3 , dua cabang stub dengan panjang yang sama l_2 , dan jarak antara pusat saluran kedua cabang l_1 .



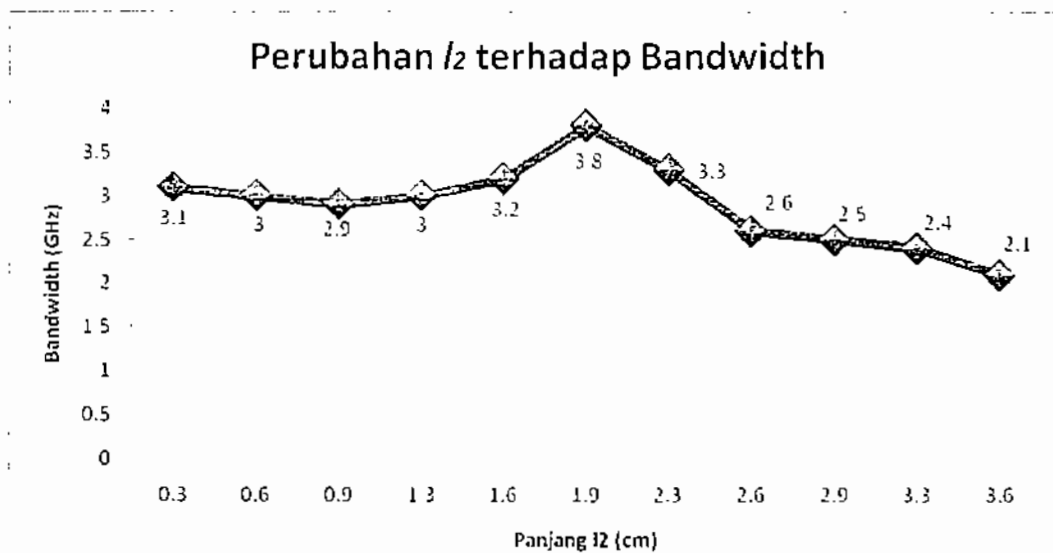
Gambar 3.3. Ukuran Antena Perancangan Dari Hasil Pengukuran ($l_1 = 2.3$ cm, $l_2 = 1.9$ cm, $l_3 = 0.3$ cm, $d_s = 2.3$ cm, $l_s = 0.3$ cm, $w_f = 0.4$ cm, $W = 4.3$ cm, $L = 6$ cm). Lebar dan Panjang Substrate : 100 mm x 100 mm

Langkah pertama dalam merancang antenna ini yaitu menentukan lebar slot W menggunakan persamaan (4) diperoleh 41.4 mm dengan mempertimbangkan konstanta permeabilitas substrat 3,2 dan frekuensi resonansi 2,5 GHz. Lebar W digunakan untuk menghitung panjang ekuivalen ΔL_s menggunakan persamaan (3) dengan mempertimbangkan tebal substrat 1,52 mm dan nilai permeabilitas relatif efektif menggunakan persamaan (27) diperoleh sebesar 3.0097. Setelah itu ditentukan panjang resonansi slot antenna menggunakan formulasi pada persamaan (2) diperoleh sebesar 56.7 mm. Langkah kedua yaitu menentukan lebar saluran catu mikrostrip w_f untuk nilai impedansi karakteristik sebesar 50 Ohm menggunakan formulasi pada persamaan (29) dengan mempertimbangkan nilai permeabilitas relatif efektif pada persamaan (27) diperoleh sebesar 3,33 mm. Langkah ketiga menentukan nilai jarak stub d_s dan panjang stub pendek l_s menggunakan formulasi pada persamaan (30) dan (31) dengan menggunakan nilai SWR = 2. Kemudian antenna slot mikrostrip untuk ukuran W , L , w_f , d_s dan l_s digambarkan dalam piranti lunak *Microwave Office* dengan desain seperti terlihat pada Gambar 3.1. Dimana saluran catu mikrostrip disisipkan dibawah slot pada posisi sentral. Langkah keempat yaitu menentukan ukuran saluran mikrostrip

bentuk seperti garpu dengan nilai panjang l_1 , l_2 dan l_3 dilakukan perubahan ukuran dalam simulasi sampai diperoleh bandwidth yang paling lebar. Secara lengkap semua nilai perubahan geometri antenna terhadap bandwidth dapat dilihat pada Gambar 3.4 sampai 3.6.

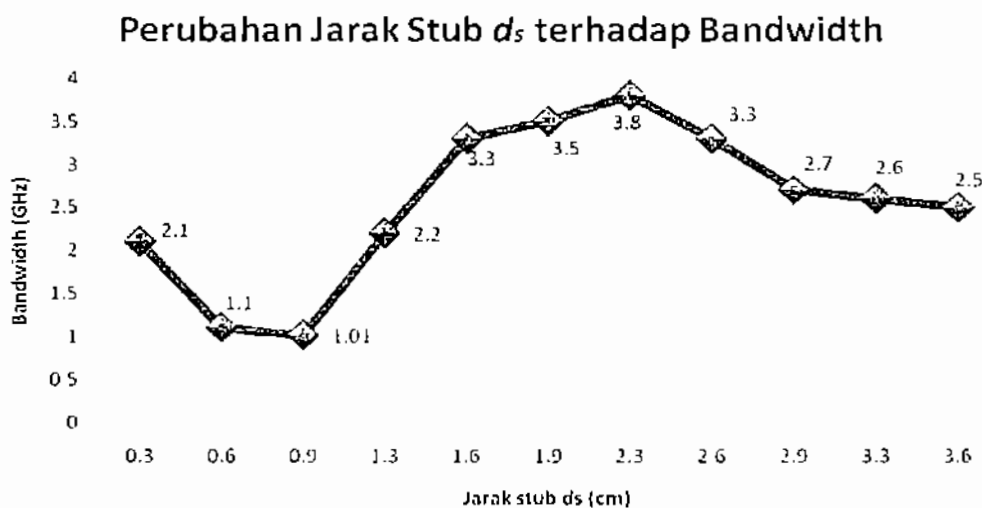


Gambar 3.4. Variasi Perubahan Jarak Antara Pusat Saluran Kedua Cabang ($l_1 = 2,3 \text{ cm} = 0,72 \lambda$) Terhadap Bandwidth Pada Nilai $L = 6 \text{ cm}$ dan $W = 4,3 \text{ cm}$.
Asumsi Ukuran $l_2 = 2 \text{ cm}$ dan $l_3 = 3,3 \text{ cm}$



Gambar 3.5. Variasi Perubahan Dua Cabang Stub Dengan Panjang Yang Sama ($l_2 = 1,9 \text{ cm} = 0,62 \lambda$) Terhadap Bandwidth Pada Nilai $L = 6 \text{ cm}$ dan $W = 4,3 \text{ cm}$.
Asumsi Ukuran $l_1 = 2,3 \text{ cm}$ dan $l_3 = 3,3 \text{ cm}$

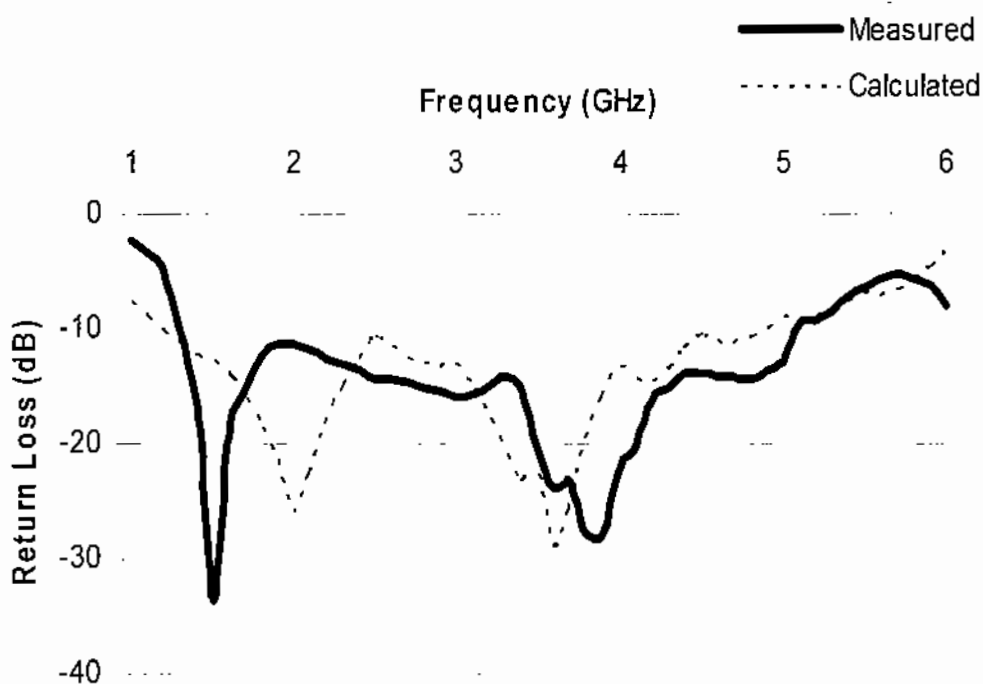
Pada saluran mikrostrip dengan multi tuning stub memberikan kontribusi yang sangat signifikan terhadap lebar bandwidth dan return loss. Untuk saluran mikrostrip dengan bentuk garpu yang berada dibawah slot memberikan efek kopling ganda yang menghasilkan factor kualitas Q rendah sehingga lebar bandwidth akan meningkat. Dari hasil simulasi pada Gambar 3.4 memperlihatkan bahwa dua cabang l_1 yang ukurannya kurang atau lebih dari 2.3 cm akan menurunkan bandwidth sampai 2 GHz. Untuk panjang cabang l_2 optimal pada 1,9 cm, jika panjangnya lebih pendek atau sebaliknya akan menurunkan bandwidth sekitar 0.5 sampai 1 GHz seperti terlihat pada Gambar 3.5. Pada akhirnya, untuk mengkompensasi bagian imajiner dari impedansi karakteristik saluran mikrostrip digunakan batang penyesuaian yang terhubung secara shunt. Jarak batang penyesuaian pada posisi $d_s=2,3$ cm yang memberikan impedansi penyesuaian maksimum ketika panjang batang l_s dibuat sependek mungkin. Dalam Gambar 3,6, jika posisi batang penyesuaian dibuat lebih rendah atau lebih tinggi bandwidth akan menyempit.



Gambar 3.6. Variasi Perubahan Jarak Batang Penyesuaian ($d_s = 2,3$ cm) Terhadap Bandwidth Pada Nilai $L= 6$ cm dan $W= 4,3$ cm. Asumsi Ukuran $l_1= 2.3$ cm, $l_2=2$ cm dan $l_3= 3.3$ cm

Dari Gambar 3.4, 3.5, dan 3.6 menunjukkan bahwa pelebaran bandwidth sangat ditentukan oleh variabel l_1 , l_2 dan d_s yang memberikan kontribusi cukup besar. Setelah diperoleh bandwidth yang paling lebar maka dilakukan pabriikasi

antena untuk dilakukan pengukuran. Dengan menggunakan Network Analyzer telah diperoleh hasil pengukuran *return loss* yang sesuai dengan hasil simulasi. Perbandingan hasil pengukuran dan simulasi karakteristik return loss terhadap bandwidth dari antenna tersebut seperti terlihat pada Gambar 3.7. Pencapaian $VSWR \leq 2$ diperoleh dari frekuensi 1,3 sampai 5,1 GHz. Lebar bandwidth tersebut diperoleh dengan mengendalikan panjang dari l_1 , l_2 dan jarak d_s . Bandwidth optimal antenna diperoleh dengan mengendalikan saluran mikrostrip yang disisipkan dibawah slot sebesar S ($l_2 + l_3$). Panjang S memberikan efek kopling yang menyebabkan faktor kualitas Q ketika mendekati $L/2$. Impedansi akan menurun jika pajang S kurang atau lebih dari $L/2$. Untuk menurunkan VSWR pada saluran digunakan batang penyesuaian untuk disesuaikan dengan impedansi lot pada frekuensi yang sangat lebar. Impedansi bandwidth yang sangat lebar ketika batang penyesuaian berada pada jarak $d_s = 2,3$ cm. Bandwidth tersebut akan menyempit ketika jarak d_s lebih jauh atau lebih dekat dari ujung slot.



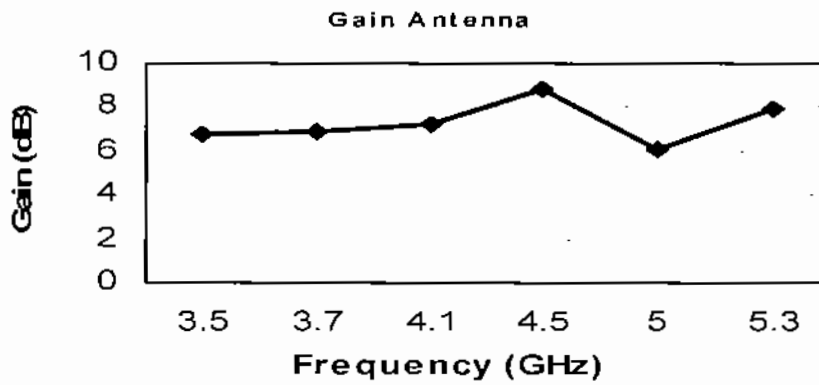
Gambar 3.7. Hasil Pengukuran dan Simulasi Nilai *Return Loss* Terhadap Frekuensi Untuk Antena Mikrostrip Slot Segiempat Tunggal

Dari grafik *return loss* pada Gambar 3.7 menunjukkan perbandingan lebar bandwidth antara hasil pengukuran dan simulasi. Terdapat dua frekuensi resonansi pada grafik *return loss* dari hasil simulasi dan pengukuran. Dari kedua grafik tersebut terjadi pergeseran frekuensi resonansi, baik di frekuensi rendah maupun frekuensi tinggi. Frekuensi resonansi rendah berada pada frekuensi 2,1 GHz dan frekuensi tinggi pada 3,7 GHz untuk hasil simulasi. Hasil pengukuran menunjukkan frekuensi resonansi rendah berada di 1,6 GHz dan frekuensi tinggi di 3,9 GHz. Sehingga terjadi penyimpangan frekuensi resonansi antara hasil pengukuran dan simulasi sebesar 0,5 GHz (23%) pada frekuensi rendah dan 0,2 GHz (5.4 %) pada frekuensi tinggi. Dari data-data hasil pengukuran bab sebelumnya menunjukkan bahwa antenna mikrostrip rancangan mengalami deviasi atau pergeseran frekuensi sebesar 1.36 % dari frekuensi rancangan 5,1 GHz.

Faktor pergeseran frekuensi resonansi disebabkan oleh perbedaan ukuran slot dalam simulasi dengan ukuran slot hasil pabrikasi. Kesalahan fabrikasi dimungkinkan terjadi berupa ketidaktepatan pencetakan ukuran dimensi slot antenna dalam ukuran milli meter. Mengingat teknologi pabrikasi menggunakan teknik konvensional yaitu *Photo Etching* dimana terjadi perbedaan ukuran slot pada saat membuat *lay out* dan pelarutan. Dalam perancangan ini menggunakan jenis substrat *copper clad* dari *GIL Technologies* yang mana cukup rentan terjadi kesalahan pada saat proses pabrikasi.

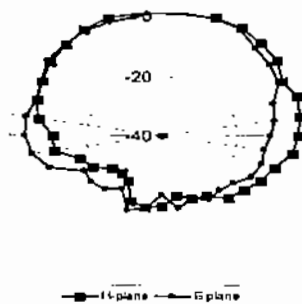
Pola radiasi antenna ini diukur menggunakan *Spectrum Analyzer* dan *Network Analyzer*. Pola radiasi diukur pada frekuensi 1,3 GHz, 2,3 GHz, 3,2 GHz and 4,5 GHz. Gambar 3.9 menunjukkan bidang-H dan bidang-E pada setiap step frekuensi dimana kedua bidang memiliki pola radiasi yang hampir sama. Pola radiasi tersebut mempunyai pola *broadside* untuk semua step frekuensi.

Gain antenna pada Gambar 3.1 diukur menggunakan model antenna yang sama pada jarak 1 meter. Gain antenna diukur di setiap step frekuensi dari 3,5 GHz sampai 5,3 GHz. Gain antenna tersebut tertinggi 8,9 dB pada 4,5 GHz dan terendah sebesar 6,87 dB pada 3,7 GHz seperti terlihat pada Gambar 3.8.



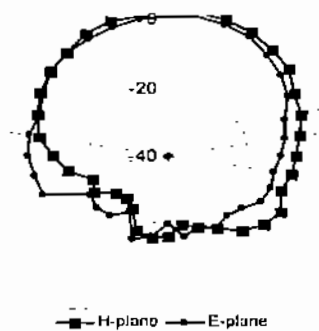
Gambar 3.8. Gain Antena Slot Tunggal

Ultrawideband Slot Antenna at 1.3 GHz



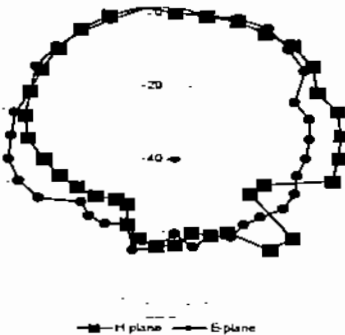
a.

Ultrawideband Slot antenna at 2.3 GHz



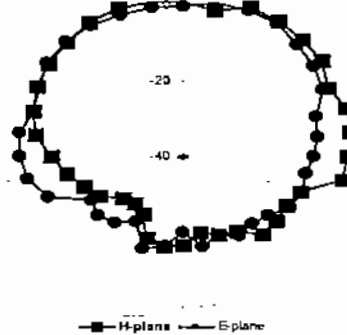
b.

Ultrawideband Slot Antenna at 3.2 GHz



c.

Ultrawideband Slot Antenna at 4.5 GHz

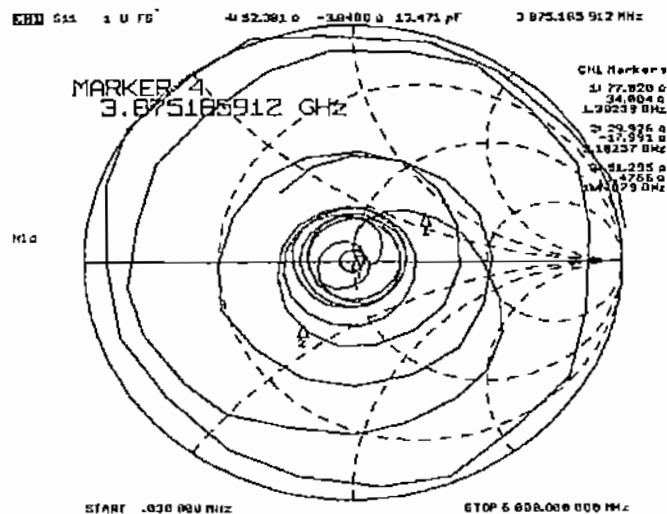


d.

Gambar 3.9 (lanjutan). Hasil Pengukuran Pola Radiasi Untuk Antena Mikrostrip Slot Tunggal.

- a. Untuk frekuensi 1,3 GHz
- b. Untuk frekuensi 2,3 GHz
- c. Untuk frekuensi 3,2 GHz
- d. Untuk frekuensi 4,5 GHz

Impedansi masukan yang diinginkan dalam perancangan antenna ini adalah sebesar 50Ω . Dari hasil simulasi pada jarak frekuensi dari 1,3 GHz sampai 5,1 GHz diperoleh nilai impedansi masukan yang mendekati yaitu -5 dan +5 dari nilai 50Ω . Frekuensi yang mendekati nilai impedansi tersebut adalah 1,47 GHz dan 3,87 GHz. Secara lengkap nilai impedansi tersebut seperti terlihat pada Gambar 3.10 dan Tabel 3.1.



Gambar 3.10. Impedansi Masukan Antena Perancangan Pada Gambar 3.1.

Tabel 3.1. Nilai Imaginer dan Ril Dari Impedansi Masukan Pada Gambar 3.3.

Frekuensi (GHz)	ZIN (Real)	ZIN (Imajiner)
1,3	77,8	34,00
1,47	51,29	1,47
3,87	52,38	-13,47
5,18	29,92	-17,99

3.3. Rancangan Antena Mikrostrip slot Array Dua Elemen

Gambar 3.11 merupakan geometri antenna mikrostrip dua slot dengan bentuk segiempat. Antena tersebut menghasilkan lebar bandwidth sebesar 5,85 GHz dari jarak frekuensi 0,90 GHz sampai 6,75 GHz. Antena ini menggunakan substrat dengan konstanta dielektrik 3,2 dan ketebalan 1,52 mm dan total ukuran sebesar 16 x 16 cm.

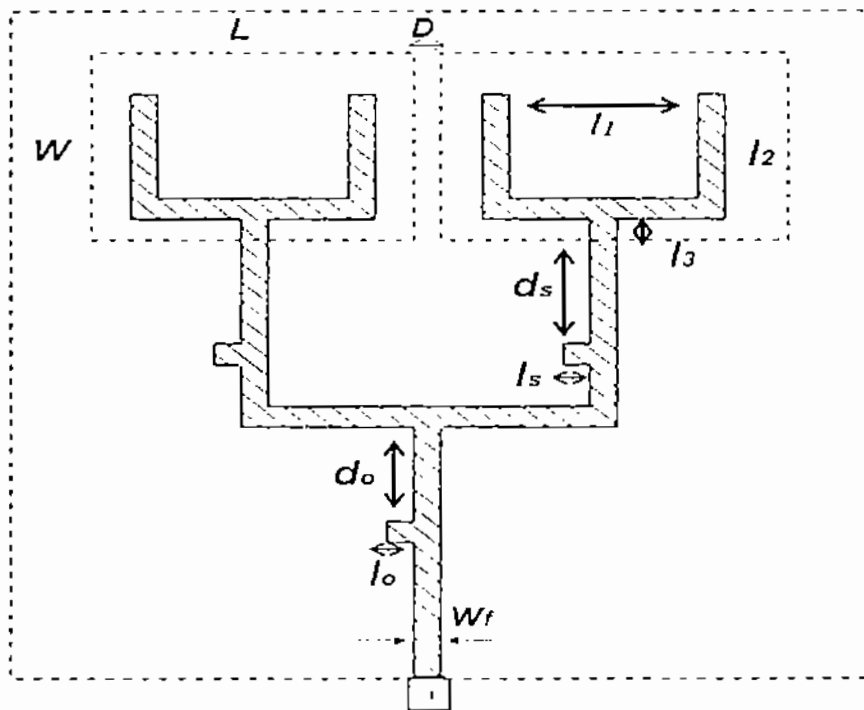
Langkah awal dalam menentukan jarak antar elemen dihitung menggunakan pendekatan dengan formulasi sebagai berikut [3] :

$$d = \left(\frac{N-1}{N} \right) \frac{\lambda}{4} \quad (3.2)$$

Atau

$$d \cong \frac{\lambda}{4} \quad (3.3)$$

Dimana N merupakan jumlah elemen dalam array dan λ merupakan panjang gelombang pada slot. Namun dalam simulasi, nilai d mengalami perubahan pada saat optimalisasi antenna untuk mendapatkan bandwidth yang paling lebar.

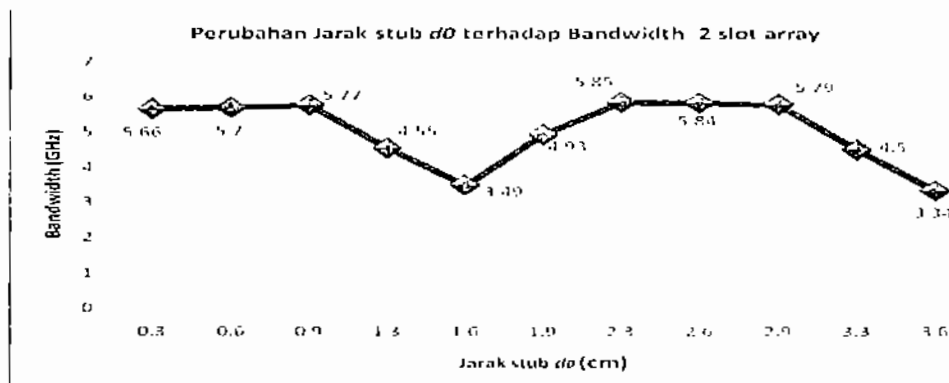


Gambar 3.11. Geometri Antena Mikrostrip Array Dua Slot Segiempat Dari Hasil Simulasi ($l_1=2.3$ cm, $l_2=1.9$ cm, $l_3=0.3$ cm, $d_s=2.3$ cm, $l_s=0.3$ cm, $w_f=0.4$ cm, $W=4.3$ cm, $L=6$ cm, $d_o=2.25$ cm, $l_o=0.3$ cm, $D=0.3$ cm). Substrat : 16×16 cm ($\epsilon = 3.2$, $t = 1.52$ mm).

3.3.1. Pengaruh Perubahan Tuning Stub Terhadap Bandwidth

Untuk mengetahui sejauh mana pengaruh saluran mikrostrip tuning stub dalam pengendalian kondisi penyesuaian antara saluran transmisi dan radiator

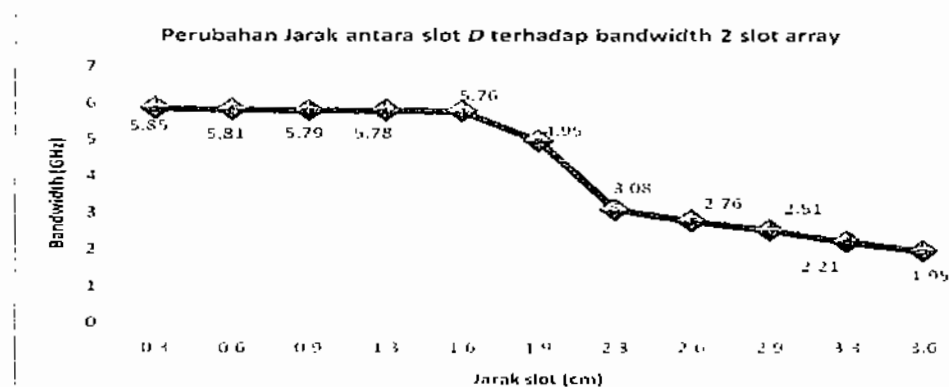
(slot), maka dilakukan perubahan pada jarak tuning stub (d_s) pada saluran utama dan jarak antara slot (D).



Gambar 3.12. Variasi Perubahan d_0 Secara Serempak Terhadap Bandwidth.

Pada perubahan jarak stub d_0 juga terjadi perubahan lebar bandwidth dimana $d_0 = 2,3$ cm akan mendapatkan lebar bandwidth yang optimal sebesar 5,85 GHz. Jika $d_0 < 2,3$ cm terjadi pengecilan lebar bandwidth terhadap lebar bandwidth yang optimal dimana untuk $d_0 = 1,6$ cm terjadi pengecilan lebar bandwidth sebesar 2,36 GHz dan untuk $d_0 = 1,3$ cm terjadi pengecilan lebar bandwidth sebesar 1,3 GHz.

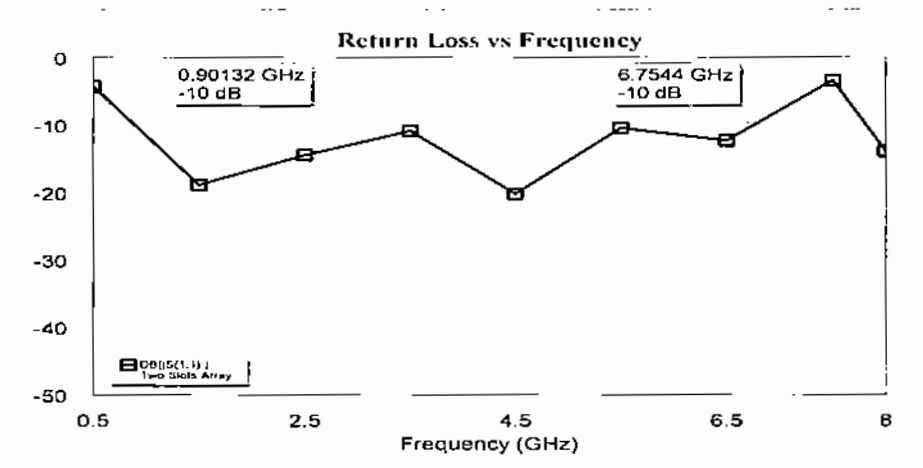
Jika $d_s > 2,3$ cm terjadi pengecilan lebar bandwidth terhadap lebar bandwidth yang optimal dimana untuk $d_0 = 2,6$ cm terjadi pengecilan lebar bandwidth sebesar 0,01 GHz dan untuk $d_0 = 3,3$ cm terjadi pengecilan lebar bandwidth sebesar 1,35 GHz. Secara lengkap perubahan jarak stub d_0 tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.12.



Gambar 3.13. Variasi Perubahan Panjang Antara Cabang Saluran Pencatu Dengan Pinggir Slot D Terhadap Bandwidth.

Pada perubahan jarak antara slot juga mempengaruhi terhadap peningkatan bandwidth. Pada jarak antar slot $D = 0,3$ cm akan mendapatkan lebar bandwidth yang optimal sebesar 5.85 GHz. Jika $D > 0.3$ cm terjadi penyempitan lebar bandwidth terhadap lebar bandwidth yang optimal dimana untuk $D = 1.6$ cm terjadi penyempitan lebar bandwidth sebesar 0.09 GHz. Selanjutnya untuk $D = 1.9$ cm terjadi pengecilan lebar bandwidth sebesar 0.9 GHz dan pada $D = 2.6$ cm terjadi pengecilan lebar bandwidth sebesar 3,09 GHz. Secara lengkap perubahan tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.13.

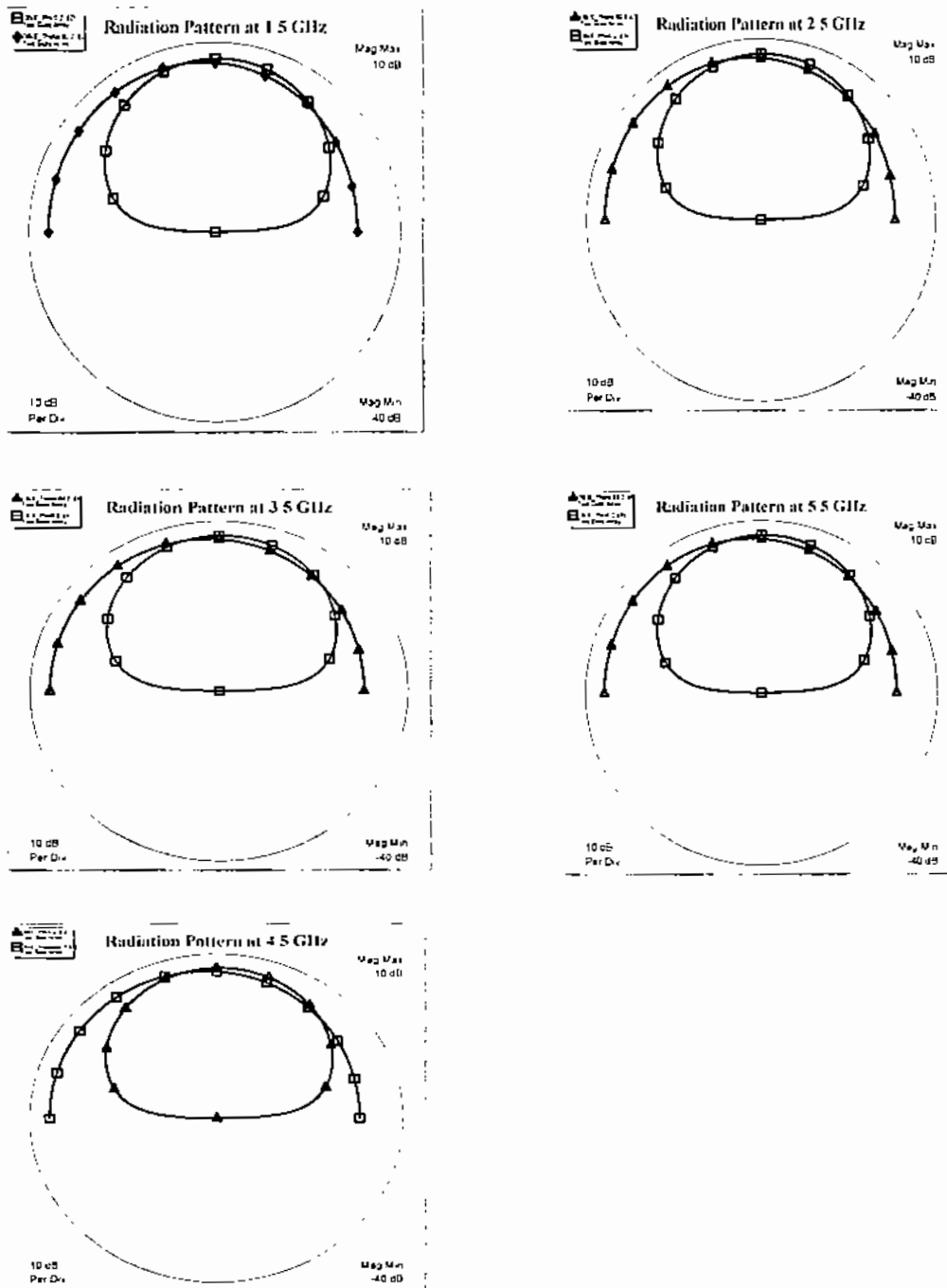
Dari semua perubahan pada setiap geometri antenna dua slot array diperoleh lebar bandwidth yang paling lebar sebesar 5.85 GHz pada jarak frekuensi dari 0.9 GHz sampai 6.75 GHz seperti terlihat pada Gambar 3.14.



Gambar 3.14. Hasil Simulasi Antenna Mikrostrip Array Dual Slot Segiempat

3.3.2. Pola Radiasi

Hasil simulasi pola radiasi dari antenna ini pada frekuensi operasi 1,5 GHz, 2,5 GHz, 3,5 GHz, 4,5 GHz, 5,5 GHz diperlihatkan pada Gambar 3.15. Pola radiasi bersifat broadside pada setiap step frekuensi. Bidang horizontal (bidang-H) ditunjukkan pada grafik dengan simbol \sim . Sedangkan pada bidang vertikal (bidang-E) ditunjukkan pada grafik dengan simbol \boxplus .

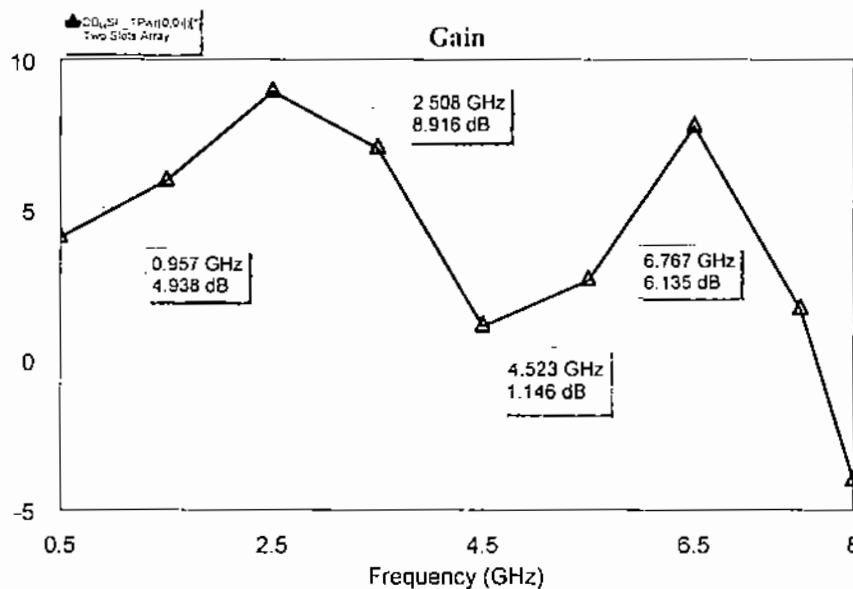


Gambar 3.15. Pola Radiasi Antena Perancangan Pada Gambar 3.10 Untuk Setiap Tahap Frekuensi (a) 1,5 GHz (b) 2,5 GHz (c) 3,5 GHz (d) 4,5 GHz (e) 5,5 GHz

3.3.3. Gain Antena

Dari Gambar 3.16 terlihat bahwa gain antena ini bervariasi pada rentang frekuensi dari 0.9 GHz sampai 6.7 GHz. Sementara pada rentang frekuensi tersebut nilai return loss berada di atas -14 dB sampai -20 dB. Terdapat nilai gain yang

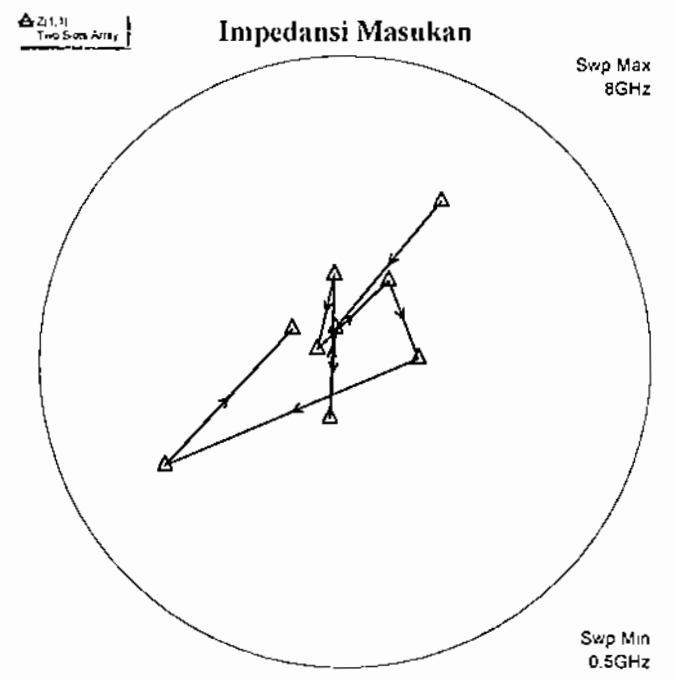
paling besar pada frekuensi 2.5 GHz yaitu sebesar 8.9 dB dan yang terendah sebesar 1.1 dB pada frekuensi 4,5 GHz. Hal menunjukkan bahwa gain antenna merupakan fungsi luas slot dan frekuensi. Karena luas slot adalah tetap sedangkan nilai frekuensi bervariasi.



Gambar 3.16. Hasil Simulasi Gain (dB) Terhadap Frekuensi (GHz) Antena Mikrostrip Empat Slot Array.

3.3.4. Impedansi Masukan

Impedansi masukan yang diinginkan dalam perancangan antenna ini adalah sebesar 50Ω . Dari hasil simulasi pada jarak frekuensi antara 0,4 GHz sampai 6,6 GHz diperoleh nilai impedansi masukan yang mendekati yaitu -5 dan +5 dari nilai 50Ω . Frekuensi yang mendekati nilai impedansi 50Ω terdapat pada rentang 0,5 GHz sampai 5,5 GHz. Secara lengkap nilai impedansi tersebut seperti terlihat pada Gambar 3.17 dan Tabel 3.2.



Gambar 3.17. Impedansi Masukan Antena Perancangan Pada Gambar 3.11.

Tabel 3.2. Nilai Imajiner dan Ril Dari Impedansi Masukan Dari Gambar 3.11.

ZIN(1) (GHz)	ZIN(1) (Ohm)	ZIN(1) (Ohm)
Frequency	(Rcal)	(Imag)
0.5	47.104	70.76
1.5	51.048	10.331
2.5	47.582	-16.222
3.5	46.924	24.818
4.5	46.712	3.5294
5.5	56.594	33.013
6.5	81.983	1.7956
7.5	10.205	-12.807
8	34.64	7.7159

3.4. Kesimpulan

Hasil perancangan antenna mikrostrip slot tunggal (Gambar 3.3) dan mikrostrip slot array dua elemen (Gambar 3.11) untuk menghasilkan karakteristik pancaran jalur lebar. Pada antenna slot mikrostrip tunggal menggunakan saluran pencatu mikrostrip berbentuk seperti garpu yang ditambah dengan tuning stub dapat menghasilkan lebar bandwidth sebesar 3,8 GHz. Antena ini menghasilkan bandwidth yang lebih lebar dari perancangan acuan [7] yang menggunakan saluran pencatu mikrostrip berbentuk seperti garpu tanpa menggunakan tuning stub yang dihubungkan secara shunt (lihat Gambar 3.2) yaitu sebesar 1,4 GHz. Pada geometri antenna mikrostrip tunggal ini faktor yang sangat besar pengaruhnya terhadap pelebaran bandwidth yaitu ukuran dua cabang stub dengan panjang yang sama l_2 , jarak antara pusat saluran kedua cabang l_1 dan jarak stub dari pinggir slot d_s .

Jika teknik pencatuan *multi tuning stub* dikembangkan dalam konfigurasi dua elemen slot menghasilkan pelebaran bandwidth sebesar 5.8 GHz. Sehingga perancangan ini menghasilkan bandwidth lebih lebar sebesar 2 GHz dibandingkan menggunakan slot tunggal. Faktor yang sangat mempengaruhi dalam pelebaran bandwidth pada antenna mikrostrip slot array dua elemen yaitu jarak tuning stub pada saluran utama (d_0) dan jarak antara slot (D). Sehingga dari kedua perancangan tersebut bahwa dengan menambahkan jumlah rangkaian tuning (multiple-tuned circuits) dapat memperlebar impedansi bandwidth antenna slot.

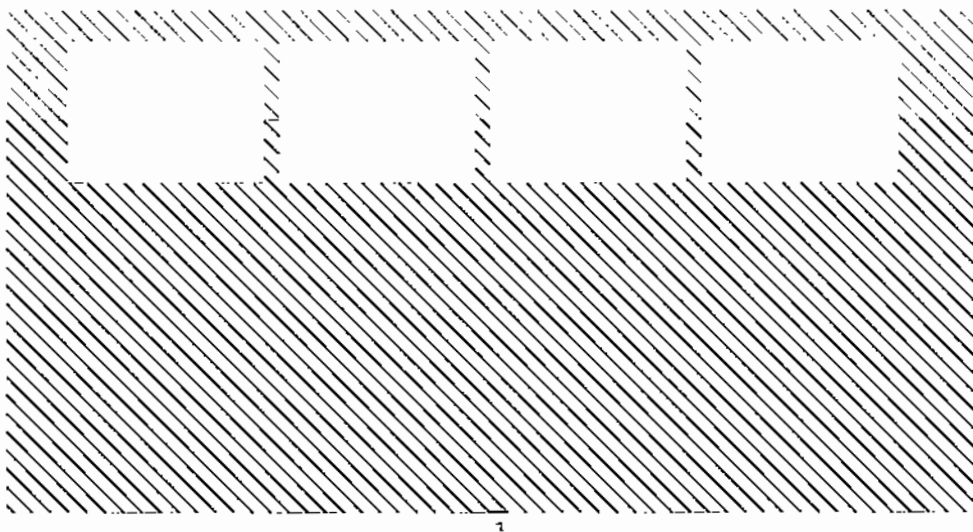
BAB 4

ANTENA MIKROSTRIP SLOT ARRAY MENGGUNAKAN JARINGAN SALURAN CATU PARALEL DENGAN SATU CABANG PEMBAGI

4.1. Pendahuluan

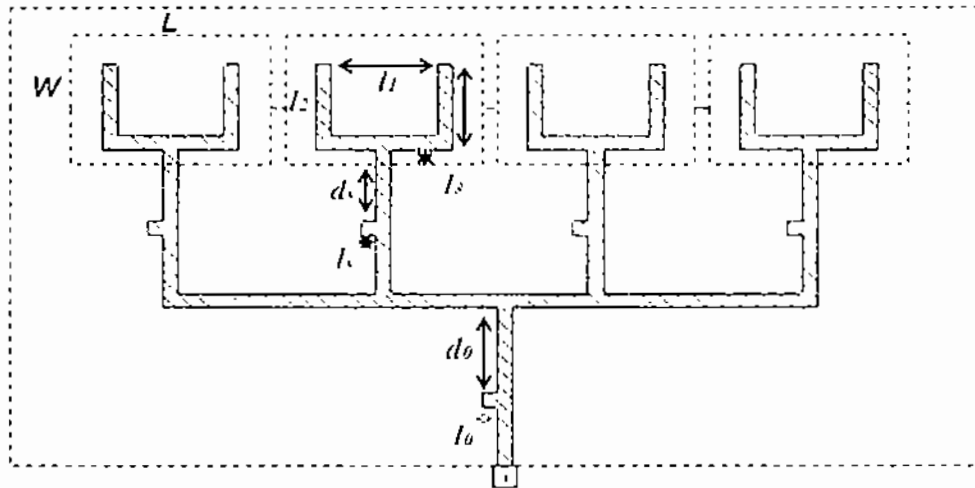
Pada bab sebelumnya telah dirancang antenna mikrostrip dengan satu dan dua slot yang menghasilkan karakteristik wideband. Antena dengan dua slot menghasilkan lebar bandwidth yang lebih lebar hampir dua kali lipatnya. Bab ini menjelaskan perancangan antenna mikrostrip slot array dengan empat dan delapan elemen berbentuk segiempat yang dicatu menggunakan saluran mikrostrip secara paralel dengan satu cabang pembagi. Konfigurasi saluran catu tersebut sama seperti yang digunakan untuk mencatu antenna mikrostrip dengan dua slot. Pada perancangan ini digunakan teknik penyesuaian jaringan impedansi yang sama seperti pada bab 3 yaitu teknik *multi tuning stub*.

4.2. Rancangan Antena Mikrostrip Empat Slot Array



(a)

Gambar 4.1. Geometri Antena Mikrostrip Empat Slot Array ($l_1 = 2.3$ cm, $l_2 = 2$ cm, $l_3 = 3.3$ cm, $d_s = 2.3$ cm, $l_s = 3.3$ cm, $w_f = 0.4$ cm, $W = 4.3$ cm, $L = 6$ cm, $D = 1.8$ cm, $d_o = 3$ cm, $l_o = 0.5$ cm.). Substrat : 32 x 16 cm ($\epsilon = 3.2$, $t = 1.52$ mm). Antena Pada (a) Sisi Atas dan (b) Sisi Bawah



(b)

Gambar 4.1 (lanjutan). Geometri Antena Mikrostrip Empat Slot Array ($l_1=2,3$ cm, $l_2=1,9$ cm, $l_3=0,3$ cm, $d_s=2,3$ cm, $l_s=0,3$ cm, $w_f=0,4$ cm, $W=4,3$ cm, $L=6$ cm, $D=1,8$ cm, $d_0=3$ cm, $l_0=0,5$ cm,). Substrat : 32 x 16 cm ($\epsilon=3,2$, $t=1,52$ mm). Antena Pada (a) Sisi Atas dan (b) Sisi Bawah

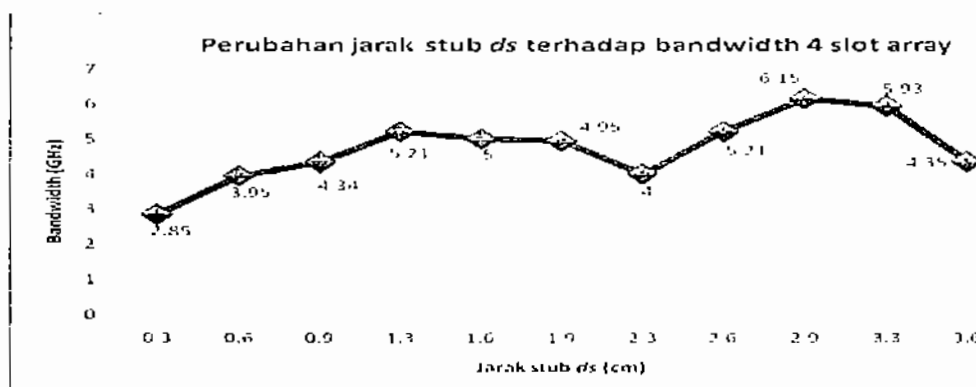
Pada Gambar 4.1 merupakan antenna mikrostrip slot array menggunakan empat elemen dimana masing-masing elemen dicatu oleh saluran mikrostrip berbentuk seperti garpu. Model sistem pencatuan dalam antenna ini menggunakan konfigurasi saluran catu paralel dengan satu cabang pembagi. Untuk menyesuaikan impedansi antara saluran masuk dan empat elemen slot digunakan tuning stub pada setiap cabang saluran. Dengan kata lain sistem jaringan impedansi pada antenna ini menggunakan teknik multi tuning stub. Stub pendek tersebut berfungsi sebagai penyesuai impedansi di setiap cabang pembagi pada sistem pencatuan. Geometri antenna ini terdiri dari lebar slot (W), panjang slot (L). Tuning stub bentuk garpu pada setiap slot terdiri dari panjang stub (l_3), dua cabang stub dengan panjang yang sama (l_2), dan jarak antara pusat saluran kedua cabang (l_1) seperti diperlihatkan pada keterangan Gambar 4.1. Untuk setiap cabang pembagi pada sistem pencatuan masing-masing diberikan stub pendek dengan panjang tuning stub pendek l_s dan jarak tuning stub pendek d_s . Dimana nilai semua geometri antenna ini mempunyai ukuran yang sama seperti pada kasus satu dan dua slot kecuali jarak stub d_0 pada saluran masukan.

Antena mikrostrip empat slot segiempat ini mempunyai dimensi sebesar 32 x 16 cm yang dirancang menggunakan substrat yang sama seperti pada perancangan sebelumnya yaitu ketebalan sebesar 1,52 mm dan konstanta dielektrik substrat sebesar 3,2.

4.2.1. Perubahan Bandwidth Terhadap Geometri Antena

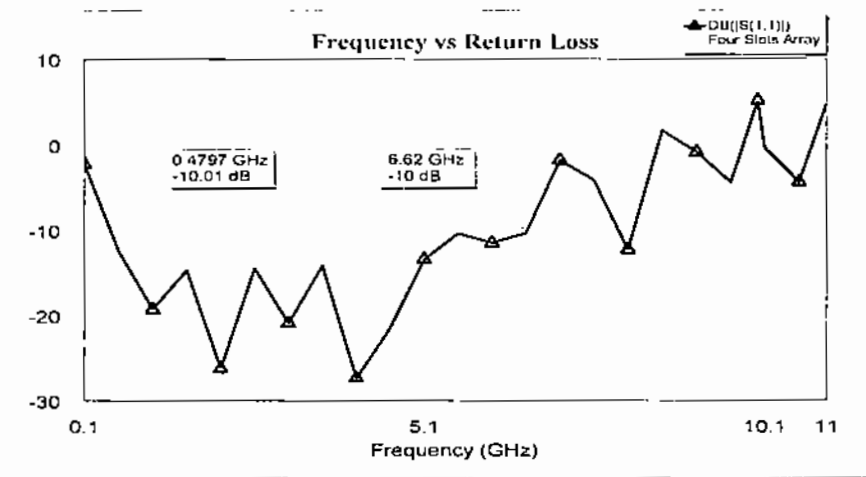
Dari hasil simulasi *return loss vs frequency* yang telah dilakukan beberapa kemungkinan untuk mencapai bandwidth yang paling lebar pada jarak stub yang terhubung pada saluran utama. Sedangkan jarak stub pada saluran cabang pembagi yang menuju ke empat slot mempunyai posisi sama seperti pada kasus satu dan dua slot. Dalam hal ini dilakukan variasi pada jarak stub (do) dengan posisi tertentu pada saluran masukan. Setelah melakukan simulasi pada rancangan antena mikrostrip diketahui bahwa jarak stub memberikan perubahan lebar pita bandwidth dengan terjadinya beberapa penurunan lebar pita bandwidth. Ada lima kemungkinan perubahan variasi do pada masing – masing saluran catu.

Dari hasil simulasi secara seragam pada posisi jarak $do = 2,9$ cm memiliki bandwidth paling lebar sebesar 6,15 GHz. Jika $do < 2,9$ cm terjadi penurunan lebar bandwidth sampai 1,15 GHz pada posisi $do = 1,5$ cm dan seterusnya seiring dengan pendeknya jarak stub. Begitu pula sebaliknya jika $do > 2,9$ cm akan terjadi pengecilan bandwidth sebesar 1,8 GHz pada posisi $do = 3,6$ cm. Secara lengkap perubahan posisi jarak stub terhadap bandwidth dapat dilihat pada Gambar 4.2

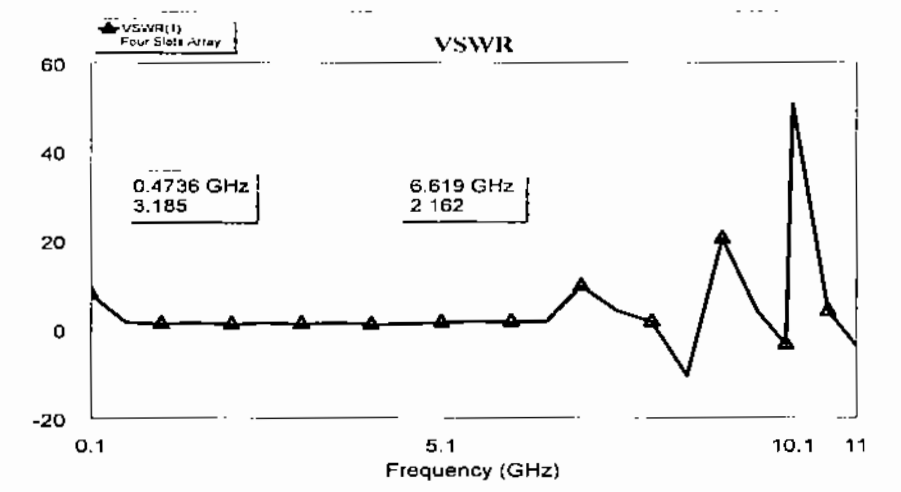


Gambar 4.2. Grafik Perubahan Jarak Stub Secara Serempak Terhadap Bandwidth Pada Antena Mikrostrip Empat Slot Array.

Setelah dilakukan karakterisasi dari semua geometri antenna maka diperoleh bandwidth yang paling lebar yaitu selisih antara frekuensi akhir dengan frekuensi awal dalam satuan GHz, dimana return loss sebesar -10. Pada hasil simulasi perancangan antenna di dapatkan bandwidth yang paling lebar sebesar 6.15 GHz dengan rentang frekuensi antara 0,47 GHz sampai dengan 6.62 GHz seperti terlihat pada Gambar 4.3. Sedangkan untuk nilai *return loss* diatas -15 dB atau equivalen dengan $VSWR = 1,5$ yaitu terdapat pada rentang frekuensi dari 0,78 GHz sampai 4.99 GHz atau dengan lebar bandwidth sebesar 4,21 GHz.



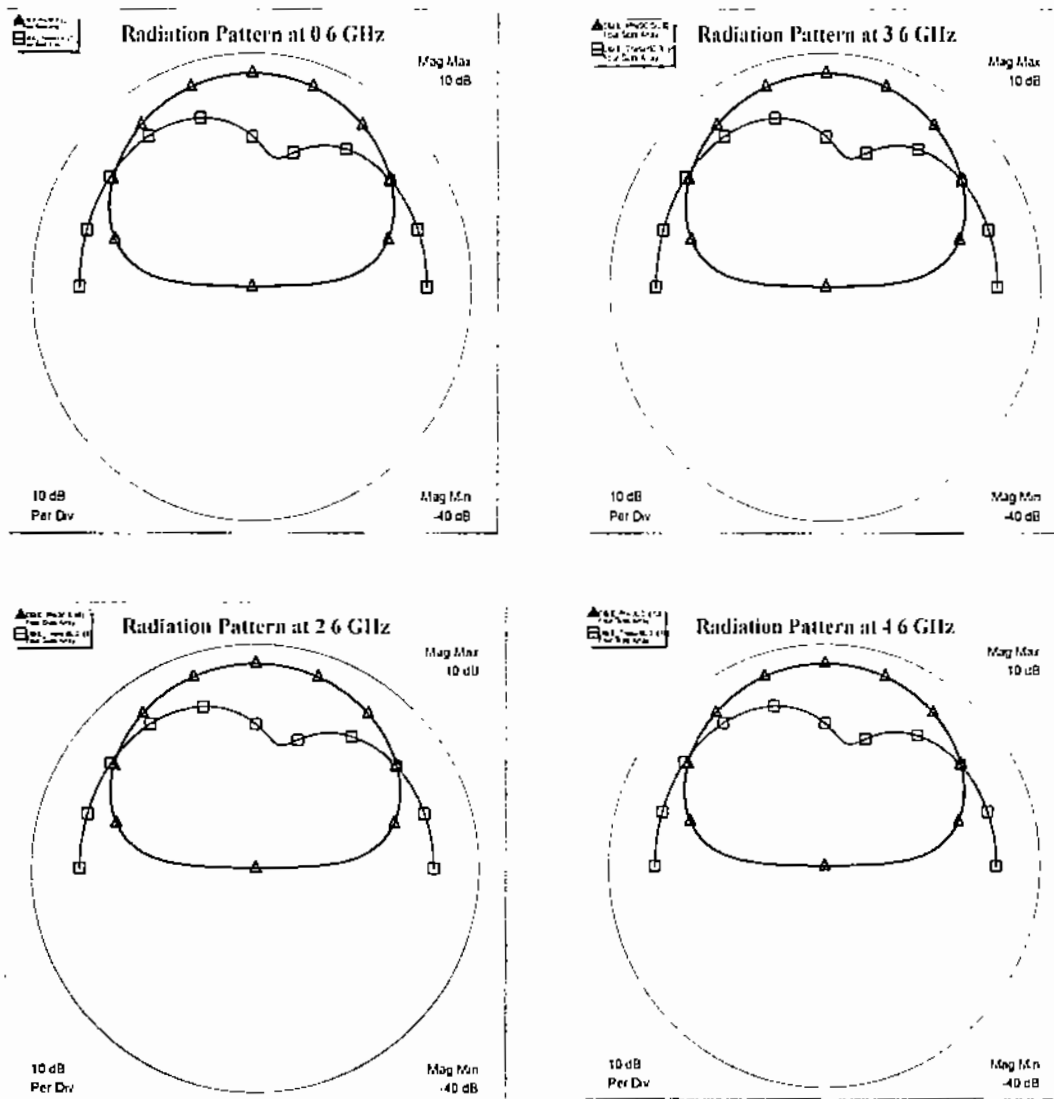
Gambar 4.3. Hasil Simulasi *Return Loss* (dB) Terhadap Frekuensi (GHz) Antenna Mikrostrip Empat Slot Array.



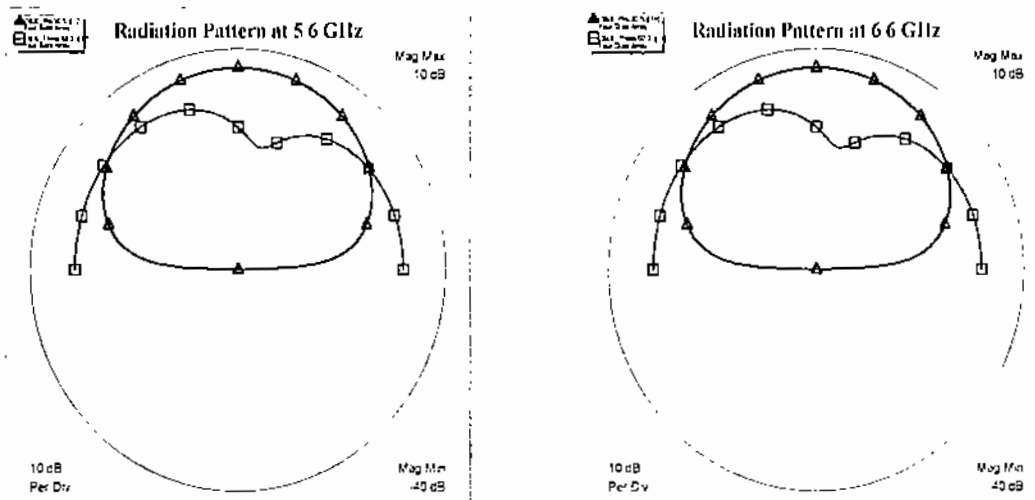
Gambar 4.4. Hasil Simulasi Nilai VSWR Terhadap Frekuensi (GHz) Antenna Mikrostrip Empat Slot Array.

4.2.2. Pola Radiasi

Sampel simulasi pola radiasi antenna ini diambil pada step frekuensi 0,6 GHz, 1,6 GHz, 2,6 GHz, 3,6 GHz, 4,6 GHz, 5,6 GHz dan 6,6 GHz. Dari semua frekuensi pola radiasi pada medan H dan medan E bersifat *broadside*. Hasil simulasi dari perancangan tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.5. Bidang horizontal (bidang-H) ditunjukkan pada grafik dengan simbol \square . Sedangkan pada bidang vertikal (bidang-E) ditunjukkan pada grafik dengan simbol \triangle .



Gambar 4.5. Pola Radiasi Antenna Perancangan Pada Gambar 4.1 Untuk Setiap Tahap Frekuensi



Gambar 4.5 (lanjutan). Pola Radiasi Antena Perancangan Pada Gambar 4.1 Untuk Setiap Tahap Frekuensi

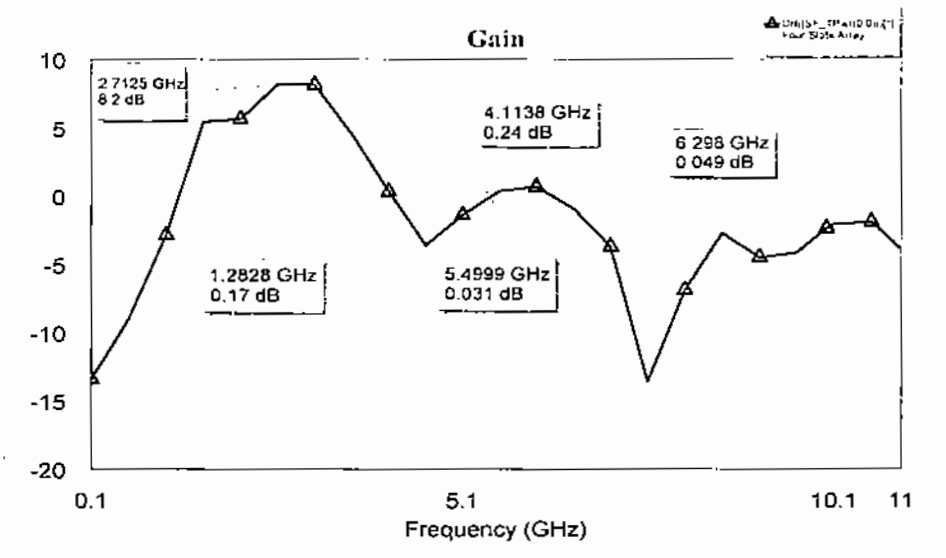
4.2.3. Gain Antena

Dari Gambar 4.6 terlihat bahwa gain antena ini bervariasi pada rentang frekuensi dari 1,2 GHz sampai 4,1 GHz. Sementara pada rentang frekuensi tersebut nilai return loss berada di atas -14 dB sampai -26 dB. Pada rentang frekuensi tersebut nilai VSWR juga bervariasi dari 1.09 sampai 1.4. Terdapat nilai gain yang paling besar dan sama pada rentang frekuensi 2,6 GHz sampai 3,1 GHz yaitu sebesar 8,2 dB. Sementara pada rentang frekuensi tersebut nilai *return loss* berada di atas nilai -14 dB sampai -20 dB dengan nilai VSWR dibawah 1.4.

Pada kasus perancangan antenna slot array empat elemen terjadi penurunan gain antenna dibawah 0 dB pada jarak frekuensi dari 4,1 GHz sampai 5,4 GHz. Hal ini disebabkan bahwa variasi gain antenna merupakan fungsi frekuensi dan luas efektif antenna. Luas efektif ditentukan oleh faktor luas fisik antenna dan efisiensi antenna. Efisiensi antenna terdiri dari tiga jenis efisiensi yaitu refleksi (mismatch), rugi-rugi konduktansi dan dielektrik. Rugi konduktansi dan dielektrik menghasilkan nilai resistansi (R), induktansi (L) dan kapasitansi (C) tertentu. Nilai R , L dan C dapat menentukan nilai faktor kualitas rangkaian Q . Nilai efisiensi antenna yang disebabkan rugi fasa pada permukaan radiasi (phase error loss) akan mempengaruhi nilai gain dan pola radiasi pada domain frekuensi dan waktu

tertentu. Fenomena ini yang dikenal dengan istilah *damped harmonic* atau berkurangnya energy gelombang elektromagnetik dalam suatu rangkaian karena adanya rugi-rugi pada substrat maupun rugi-rugi radiasi [4]. Berkurangnya energy permukaan radiasi pada medan magnet sama dengan nol yang akan menyebabkan permukaan membagi aliran energy. Hal ini menyebabkan pada permukaan radiasi menunjukkan batas antara jatuhnya energy reaktif dan keluarnya energy radiasi. Semakin meningkatnya kondisi *damped*, penyimpangan frekuensi alami dari frekuensi resonansi menjadi lebih kecil dan semakin kecil interval *damped* akan melewati batas nol menuju nilai amplitudo negatif.

Berkurangnya nilai energy pada jarak frekuensi tersebut (4,1 GHz – 5,4 GHz) seiring dengan meningkatnya faktor kualitas Q dalam fungsi frekuensi. Nilai batas berkurangnya energy tersebut ketika $1/(LC)=(R/(2L))^2$ [4]. Nilai batas tersebut akan menyebabkan osilasi gelombang semakin kritis. Pada kasus antenna empat slot, puncak penurunan gain mencapai nilai -3.3 dB. Karakteristik antenna yang memiliki nilai gain negatif dikenal dengan istilah *electrically small antenna*. Antena dengan nilai medan listrik lemah masih dapat digunakan dalam sistem selama dalam batas toleransi -3 dB. Nilai gain tersebut, dalam aplikasi tertentu seperti sistem komunikasi ultrawideband dapat ditolerir.



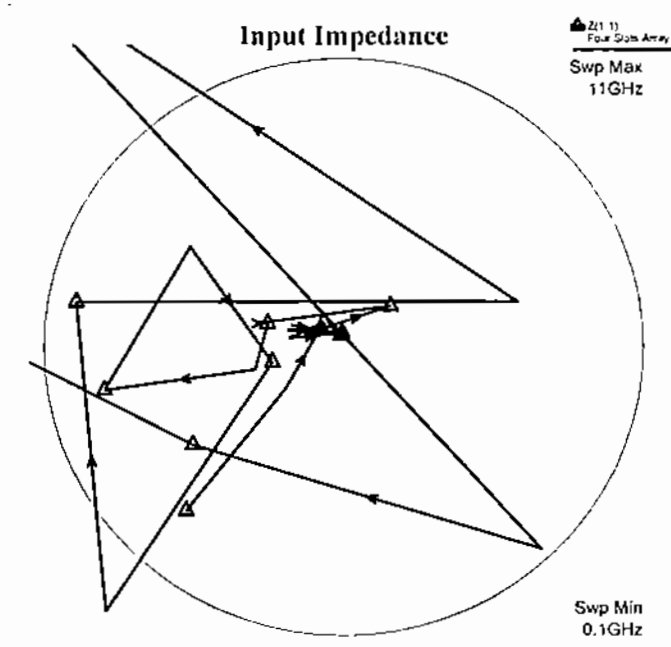
Gambar 4.6. Gain Antena Perancangan Pada Gambar 4.1

4.2.4. Impedansi Masukan

Impedansi masukan yang diinginkan dalam perancangan antenna ini adalah sebesar 50Ω . Dari hasil simulasi pada jarak frekuensi antara 0.4 GHz sampai 6.6 GHz diperoleh nilai impedansi masukan yang mendekati yaitu -5 dan $+5$ dari nilai 50Ω . Frekuensi yang mendekati nilai impedansi 50Ω terdapat pada rentang 0,6 GHz sampai 4,6 GHz. Secara lengkap nilai impedansi tersebut seperti terlihat pada Gambar 4.7 dan Tabel 4.1.

Tabel 4.1. Nilai Imajiner dan Ril Dari Impedansi Masukan Dari Gambar 4.1.

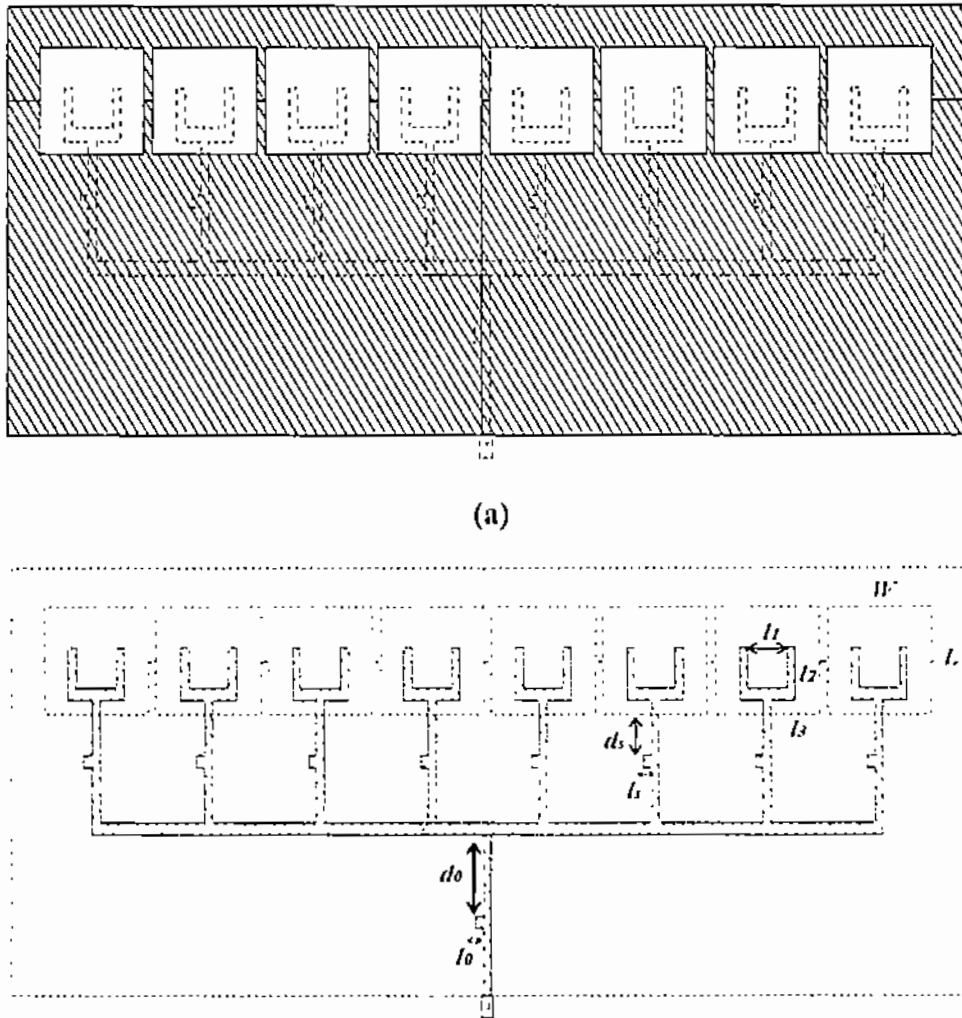
$Z(f, I)$ (GHz)	$Z(f, I)$ (Real)	$Z(f, I)$ (Imag)
0,6	48,74	-9,763
1,1	50,01	7,5156
1,6	49,02	2,3525
2,1	50,01	4,8273
2,6	48,95	5,5056
3,1	49,32	5,1104
3,6	44,16	4,3424
4,1	50,01	4,1326
4,6	49,51	6,7292
5,1	55,53	19,606
5,6	37,153	4,9481
6,1	39,43	5,1775
6,6	36,987	-4,5246



Gambar 4.7. Impedansi Masukan Antena Perancangan Pada Gambar 4.1.

4.3. Rancangan Antena Mikrostrip Delapan Slot Array

Untuk mengetahui sampai sejauh mana pengaruh jumlah slot dengan peningkatan terhadap lebar bandwidth, maka pada perancangan antenna ini digunakan delapan slot. Pada Gambar 4.8 merupakan antenna mikrostrip slot array menggunakan delapan elemen dimana masing-masing elemen dicatu oleh saluran mikrostrip berbentuk seperti garpu. Model sistem pencatuan dalam antenna ini menggunakan konfigurasi saluran catu parallel. Untuk menyesuaikan impedansi antara saluran masuk dan empat elemen slot digunakan tuning stub pada setiap cabang saluran. Dengan kata lain sistem jaringan impedansi pada antenna ini menggunakan teknik multi tuning stub. Stub pendek tersebut berfungsi sebagai penyesuai impedansi di setiap cabang pembagi pada sistem pencatuan. Geometri antenna ini terdiri dari lebar slot (W), panjang slot (L). Tuning stub bentuk garpu pada delapan slot yang terdiri dari panjang stub (l_3) dari pinggir slot, dua cabang stub dengan panjang yang sama (l_2), dan jarak antara pusat saluran kedua cabang (l_1). Untuk setiap cabang pembagi pada sistem pencatuan masing-masing diberikan stub pendek dengan panjang stub l_s dan jarak d_s .

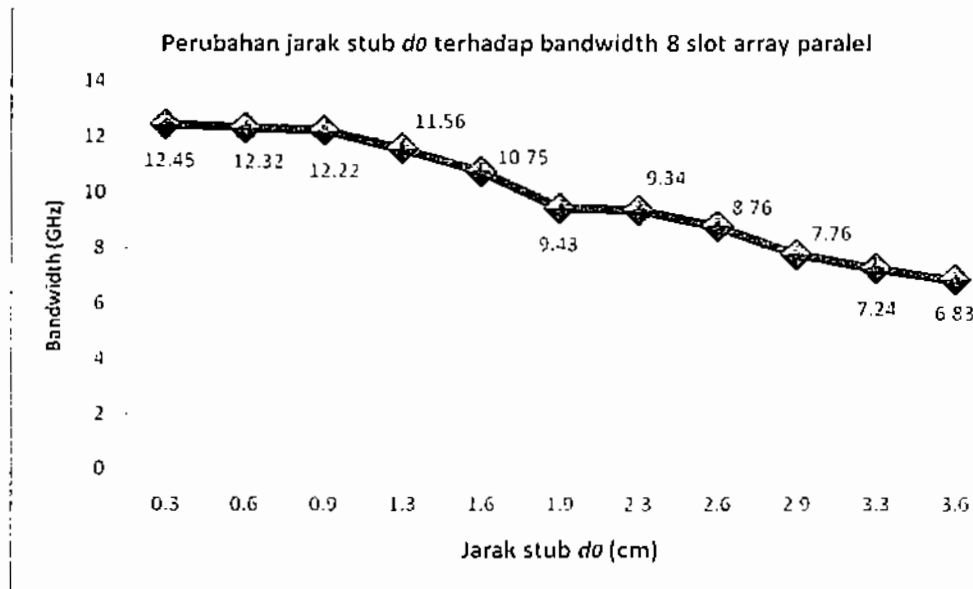


Gambar 4.8. Geometri Antena Mikrostrip Delapan Slot Array $l_1 = 2,3$ cm, $l_2 = 1,9$ cm, $l_3 = 0,3$ cm, $d_s = 2,3$ cm, $l_s = 0,3$ cm, $w_f = 0,4$ cm, $W = 4,3$ cm, $L = 6$ cm, $D = 1,8$ cm, $d_o = 0,3$ cm, $l_o = 0,5$ cm). Substrat : 16×60 cm ($\epsilon = 3,2$, $t = 1,52$ mm) . Pada Antena (a) Sisi Atas dan (b) Sisi Bawah.

4.3.1. Perubahan Bandwidth Terhadap Perubahan Geometri Antena

Pada bagian ini hasil simulasi *return loss vs frequency* diperoleh setelah melakukan perubahan jarak stub d_o yang terhubung pada saluran utama. Sedangkan pada ukuran slot (W dan L), saluran catu berbentuk garpu (l_1 , l_2 dan l_3) dan stub (l_s dan d_s) dibuat dengan ukuran yang sama seperti pada kasus antena dua slot array pada ukuran ketika diperoleh hasil bandwidth yang optimal. Perubahan lebar pita frekuensi sangat dipengaruhi oleh panjang stub dan jarak stub yang terhubung pada saluran utama. Dimana jarak stub d_s merupakan faktor

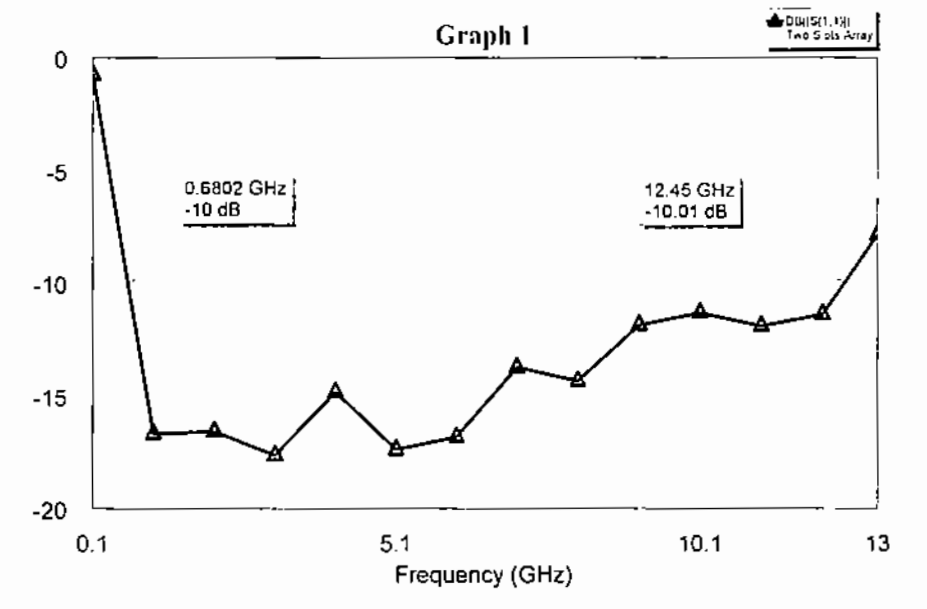
yang menentukan nilai nyata atau resistansi dan panjang l_s pada imajiner atau reaktansi dari suatu impedansi saluran pencatu. Karena panjang stub l_s hanya mempengaruhi nilai reaktansi, sementara impedansi saluran merupakan nilai nyata maka dalam penelitian ini hanya dilakukan uji pada jarak stub d_0 .



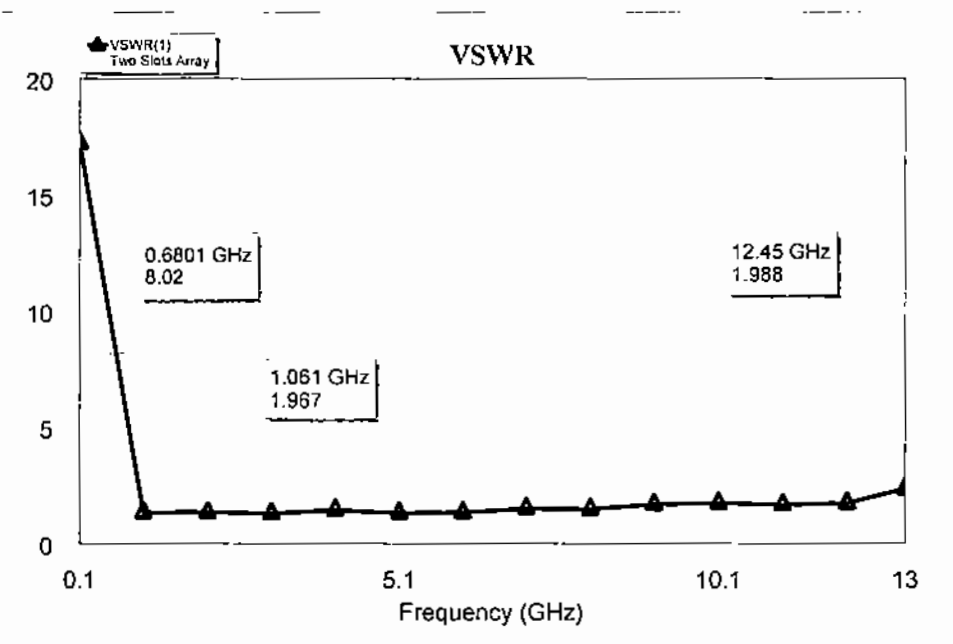
Gambar 4.9. Grafik Perubahan Lebar Garpu Secara Serempak Terhadap Bandwidth Pada Antena Mikrostrip Delapan Slot Array.

Pada perubahan jarak stub d_0 dilakukan pada sebelas posisi dari jarak 0,3 cm sampai 3,6 cm. Simulasi ini dilakukan pada rentang frekuensi dari 0,1 GHz sampai 13 GHz. Dimana posisi jarak stub terbaik untuk mendapatkan bandwidth terlebar pada nilai 0,3 cm. Jarak stub diatas 0,3 cm menghasilkan lebar bandwidth yang lebih sempit sampai 6,83 GHz pada posisi $d_0 = 3,6$ cm . Secara lengkap perubahan lebar garpu terhadap bandwidth dapat dilihat pada Gambar 4.9.

Hasil simulasi bandwidth yang paling lebar diperoleh pada jarak frekuensi dari 0,68 GHz sampai 12,45 GHz atau sebesar 11,77 GHz untuk nilai *return loss* diatas -10 dB. Sedangkan untuk nilai *retun loss* diatas -15 dB atau equivalen dengan $VSWR = 1,5$ yaitu terdapat pada rentang frekuensi dari 1,06 GHz sampai 6,68 GHz atau dengan lebar bandwidth sebesar 5,62 GHz. Lebar bandwidth antenna delapan slot array ini diperlihatkan pada Gambar 4.10.



Gambar 4.10. Hasil Optimal Simulasi *Return Loss* (dB) Terhadap Frekuensi (GHz) Antena Mikrostrip Delapan Slot Array.

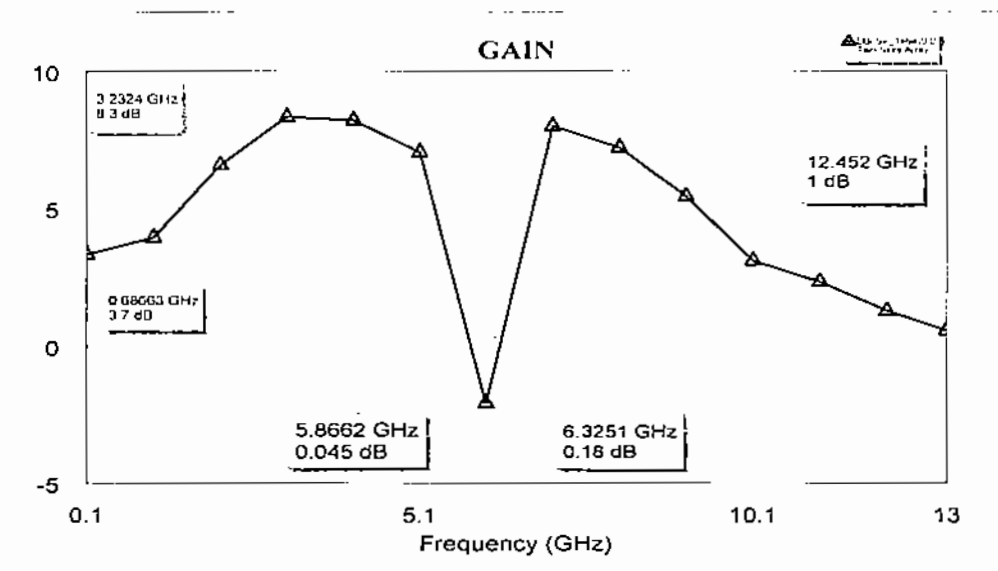


Gambar 4.11. Hasil Simulasi Nilai VSWR Terhadap Frekuensi (GHz) Antena Mikrostrip Delapan Slot Array.

4.3.2. Gain Antena

Dari Gambar 4.12 ditunjukkan bahwa gain antenna ini bervariasi pada rentang frekuensi dari 0,68 GHz sampai 12,45 GHz. Sementara nilai *return loss* pada rentang frekuensi dari 1,06 GHz sampai 6,68 GHz berada di atas -15 dB sampai -17,6 dB. Pada rentang frekuensi tersebut nilai VSWR juga bervariasi dari 1,4 sampai 1,9. Nilai Terdapat nilai gain yang paling besar dan sama pada rentang frekuensi 3,07 GHz sampai 3,8 GHz yaitu sebesar 8,3 dB. Sementara pada rentang frekuensi tersebut nilai *return loss* berada di atas nilai -15 dB sampai -17 dB dengan nilai VSWR dibawah 1,4. Dalam kasus antena ini terdapat nilai pelemahan (*attenuation*) pada rentang frekuensi dari 5.8 GHz sampai 6,3 GHz dengan nilai terendah sampai -2.1 dB.

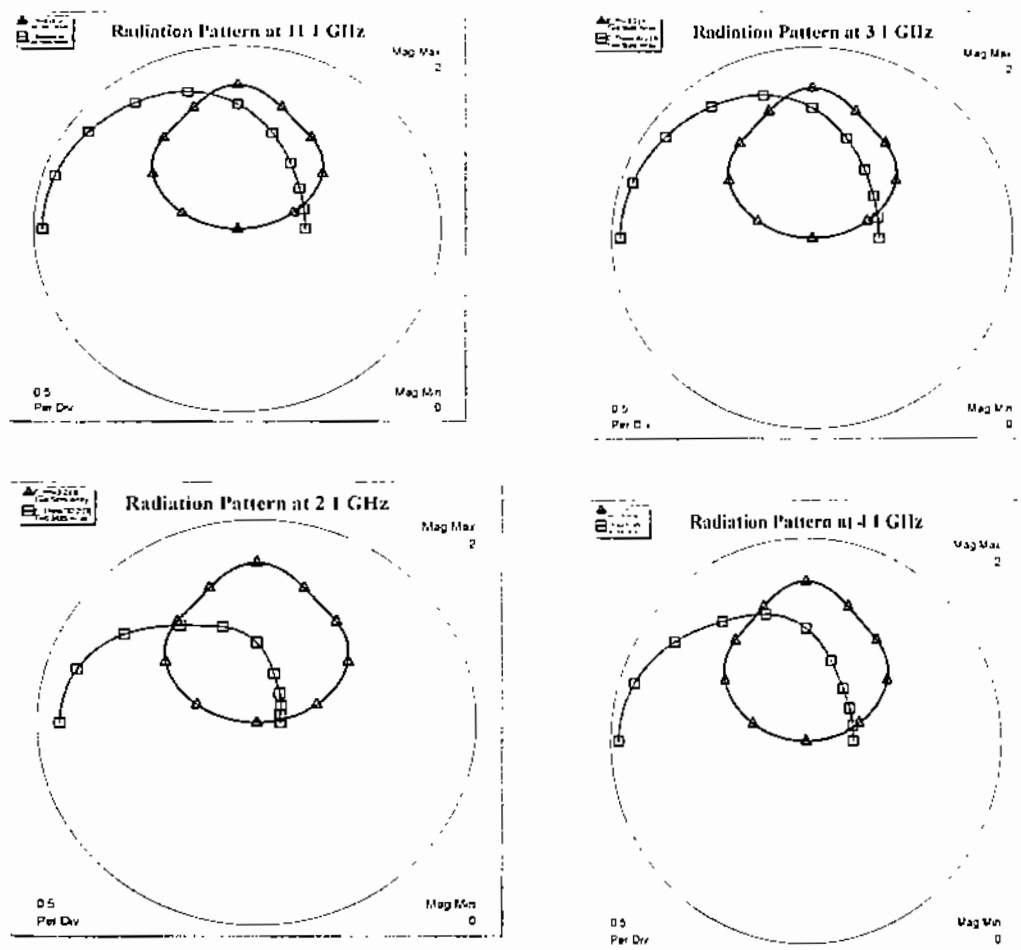
Pada kasus perancangan antena slot array delapan elemen terjadi penurunan gain antenna dibawah 0 dB pada jarak frekuensi dari 5,9 GHz sampai 6,2 GHz. Pada kasus antena ini juga mengalami fenomena *damped harmonic*. Oleh karena itu penguatan oleh antena menjadi sangat rendah pada jarak frekuensi tersebut. Nilai negatif maksimum dari gain yang diperoleh dalam antena delapan slot mencapai -2,5 dB. Nilai tersebut masih dalam batas toleransi untuk dapat digunakan untuk aplikasi tertentu seperti sistem komunikasi ultrawideband.



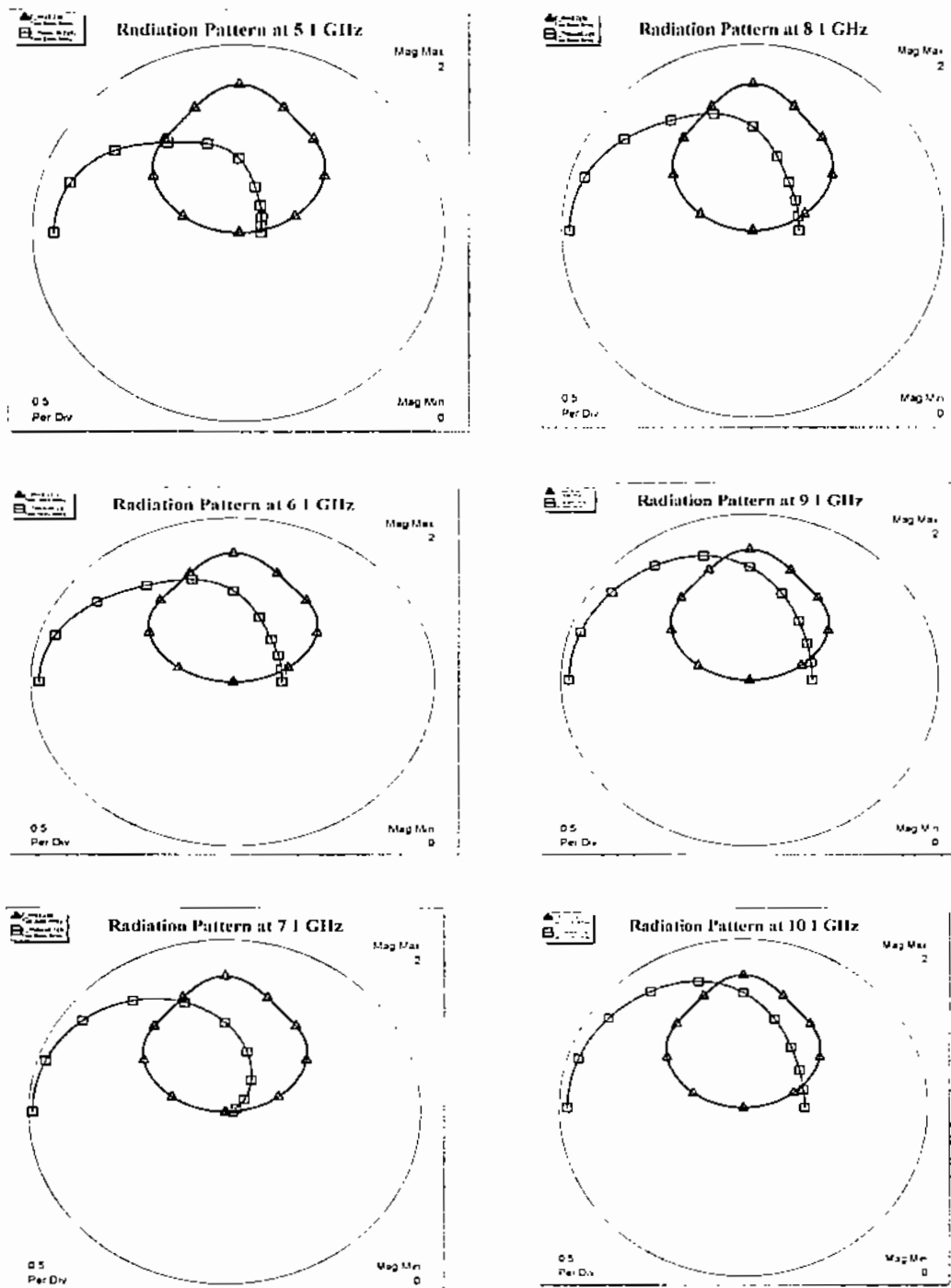
Gambar 4.12. Grafik Gain (dB) Terhadap Frekuensi (GHz)
Antena Mikrostrip Delapan Slot Array.

4.3.3. Pola Radiasi

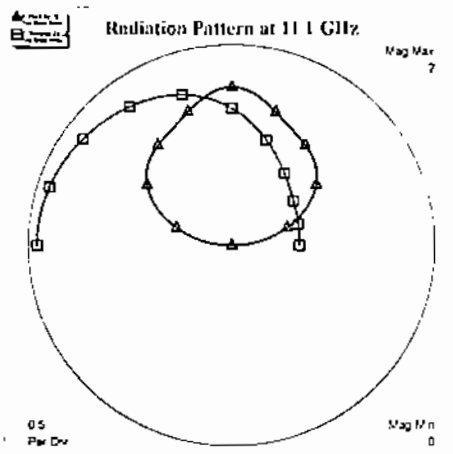
Hasil simulasi pola radiasi untuk bandwidth dilakukan pada 11 step frekuensi operasi yaitu 1,1 GHz, 2,1 GHz, 3,1 GHz, 4,1 GHz, 5,1 GHz, 6,1 GHz, 7,1 GHz, 8,1 GHz, 9,1 GHz dan 10,1 GHz seperti diperlihatkan pada Gambar 4.13. Dari semua frekuensi pola radiasi pada medan H dan medan E bersifat *broadside*. Bidang horizontal (bidang-H) ditunjukkan pada grafik dengan simbol \triangle . Sedangkan pada bidang vertikal (bidang-E) ditunjukkan pada grafik dengan simbol \square .



Gambar 4.13. Pola radiasi antenna mikrostrip 8 slot array (Gambar 4.8) untuk setiap tahap frekuensi pada lebar-pita 27 – 37,3 GHz. Pada frekuensi (a) 28,3 GHz (b) 30,3 GHz (c) 32,3 GHz (d) 34,3 GHz (e) 36,3 GHz (f) 37,3 GHz.



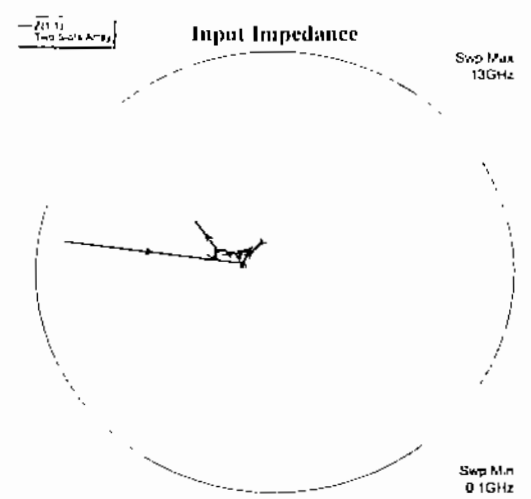
Gambar 4.13 (lanjutan). Pola Radiasi Antena Mikrostrip 8 Slot Array (Gambar 4.8) Untuk Setiap Tahap Frekuensi Pada Lebar-Pita 27 – 37,3 GHz. Pada frekuensi (a) 28,3 GHz (b) 30,3 GHz (c) 32,3 GHz (d) 34,3 GHz (e) 36,3 GHz (f) 37,3 GHz.



Gambar 4.13 (lanjutan). Pola Radiasi Antena Mikrostrip 8 Slot Array (Gambar 4.8) untuk setiap tahap frekuensi pada lebar-pita 27 – 37,3 GHz. Pada frekuensi (a) 28,3 GHz (b) 30,3 GHz (c) 32,3 GHz (d) 34,3 GHz (e) 36,3 GHz (f) 37,3 GHz.

4.3.4. Impedansi Masukan

Impedansi masukan yang diinginkan dalam perancangan antenna ini adalah sebesar 50Ω . Dari hasil simulasi pada jarak frekuensi antara 0,68 GHz sampai 12,45 GHz diperoleh nilai impedansi masukan yang mendekati yaitu -5 dan $+5$ dari nilai 50Ω . Frekuensi yang mendekati nilai impedansi 50Ω terdapat pada rentang 1,1 GHz sampai 10,1 GHz. Secara lengkap nilai impedansi tersebut seperti terlihat pada Gambar 4.15 dan Tabel 4.1.



Gambar 4.14. Impedansi Masukan Antenna Perancangan Pada Gambar 4.8 Untuk Lebar-Pita 0,68 – 12,45 GHz.

Tabel 4.2. Nilai Imajiner dan Ril Dari Impedansi Masukan Pada Gambar 4.8.

$Z(f,1)$ (GHz)	$Z(\text{Ohm})$ (Real)	$Z(\text{Ohm})$ (Imag)
1,1	47,536	3,0031
2,1	53,966	12,679
3,1	51,341	8,3239
4,1	48,003	6,9645
5,1	48,158	0,8405
6,1	49,274	7,2037
7,1	49,704	5,7398
8,1	49,71	5,5991
9,1	47,552	6,8034
10,1	48,889	3,7805
11,1	40,026	3,5388
12,1	39,554	6,9745

4.4. Kesimpulan

Telah dirancang antenna slot mikrostrip array empat slot (Gambar 4.1) dan delapan slot (Gambar 4.8) menggunakan jaringan pencatu saluran mikrostrip multi tuning stub dengan satu cabang pembagi untuk menghasilkan karakteristik pancaran jalur lebar. Pada antenna slot array ini dapat menghasilkan bandwidth yang jauh lebih lebar dibandingkan dengan menggunakan dua elemen slot (Gambar 3.14). Dengan menambahkan dua slot pada model teknik pencatuan array ini diperoleh bandwidth lebih lebar sebesar 0.3 GHz. Jika jumlah slot ditambah menjadi delapan elemen, maka lebar bandwidth mengalami peningkatan sebesar 5,92 GHz. Sementara jika dibandingkan dengan empat slot, lebar bandwidth mengalami peningkatan sebesar 5,62 GHz.

Gain antenna pada kasus delapan slot memiliki gain rata-rata lebih tinggi dibandingkan dengan antenna empat slot. Pada rentang frekuensi, gain tertinggi juga diperoleh oleh antenna delapan slot yaitu 8.3 dB sepanjang rentang frekuensi dari 3 GHz sampai 3,86 GHz. Namun rata-rata nilai return loss antenna empat slot

memiliki karakteristik yang lebih baik, dimana pada rentang frekuensi tertentu memiliki nilai diatas -20 dB. Sementara antena delapan slot pada semua rentang frekuensinya mempunyai nilai return loss dibawah -20 dB. Hal ini berarti dengan banyaknya slot juga akan bertambahnya saluran pencatu dan sekaligus akan meningkat rugi-rugi saluran pada cabang pembagi.

BAB 5

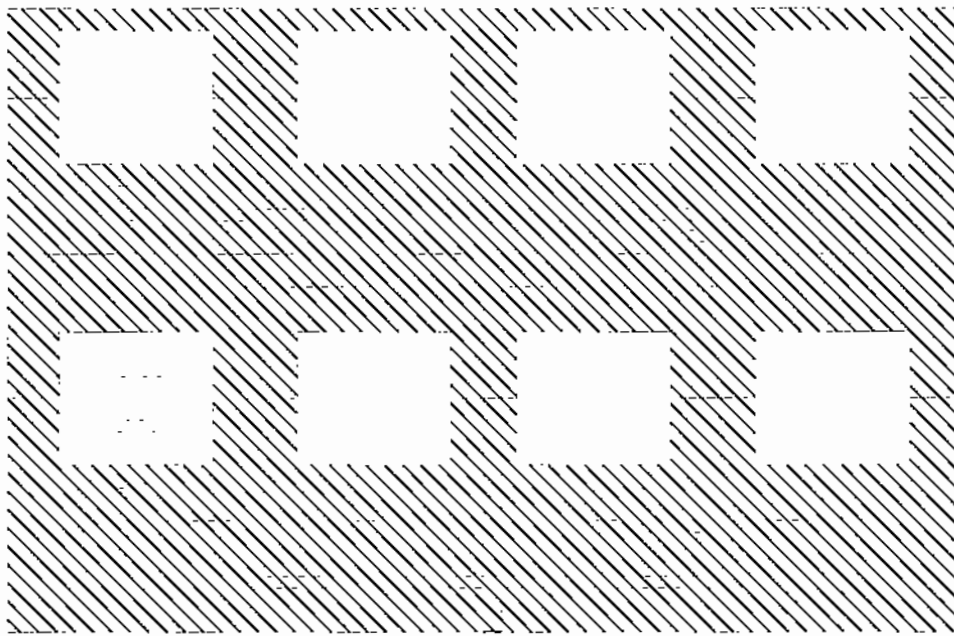
ANTENA MIKROSTRIP SLOT ARRAY MENGGUNAKAN JARINGAN SALURAN CATU PARALEL DENGAN DUA CABANG PEMBAGI

5.1. Pendahuluan

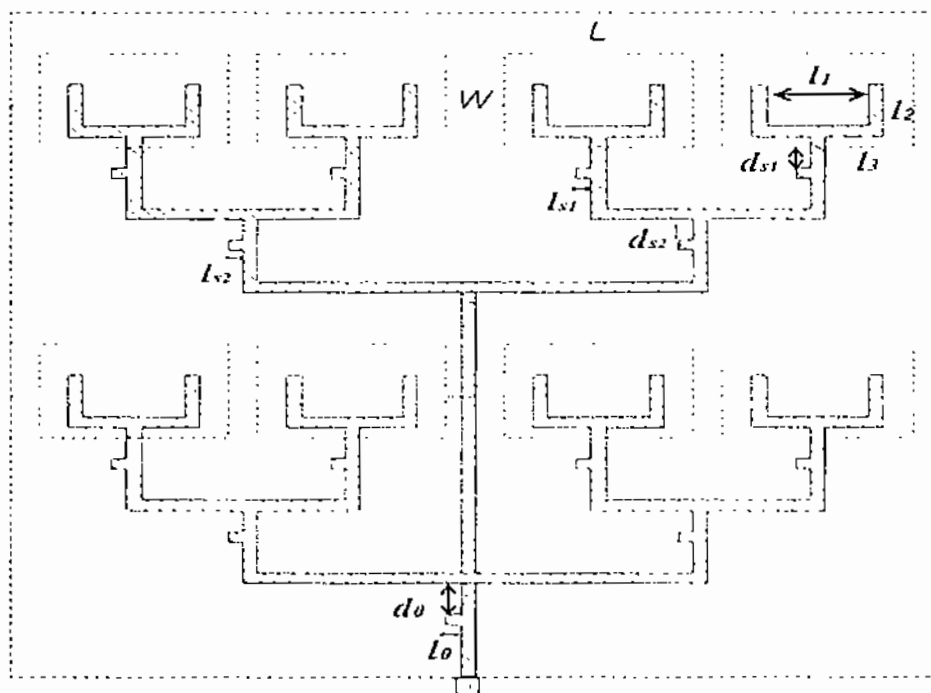
Pada bab sebelumnya telah dirancang antena mikrostrip dengan empat dan delapan slot yang menghasilkan karakteristik wideband. Antena dengan empat slot menghasilkan bandwidth yang lebih lebar dibandingkan dengan delapan elemen. Pada bab ini menjelaskan perancangan antena mikrostrip slot array dengan empat dan delapan elemen berbentuk segiempat yang dicatu menggunakan saluran mikrostrip secara paralel dengan dua cabang pembagi. Penggunaan konfigurasi saluran catu tersebut dimaksudkan untuk mengetahui sejauhmana efektifitas jaringan impedansi dengan menggunakan teknik *multi tuning stub*.

5.2. Rancangan Antena Mikrostrip Delapan Slot Array

Pada Gambar 5.1 merupakan antenna mikrostrip slot array menggunakan delapan elemen dimana masing-masing elemen dicatu oleh saluran mikrostrip berbentuk seperti garpu. Model sistem pencatuan dalam antena ini menggunakan konfigurasi saluran catu paralel. Untuk menyesuaikan impedansi antara saluran masuk dan empat elemen slot digunakan tuning stub pada setiap cabang saluran. Dengan kata lain sistem jaringan impedansi pada antenna ini menggunakan teknik multi tuning stub. Stub pendek tersebut berfungsi sebagai penyesuai impedansi di setiap cabang pembagi pada sistem pencatuan. Geometri antenna ini terdiri dari delapan lebar slot (W) dan panjang slot (L). Tuning stub bentuk garpu pada setiap slot terdiri dari panjang stub (l_3), dua cabang stub dengan panjang yang sama (l_2), dan jarak antara pusat saluran kedua cabang (l_1). Untuk setiap cabang pembagi pada sistem pencatuan masing-masing diberikan stub pendek dengan panjang stub dan jarak ds .



(a)



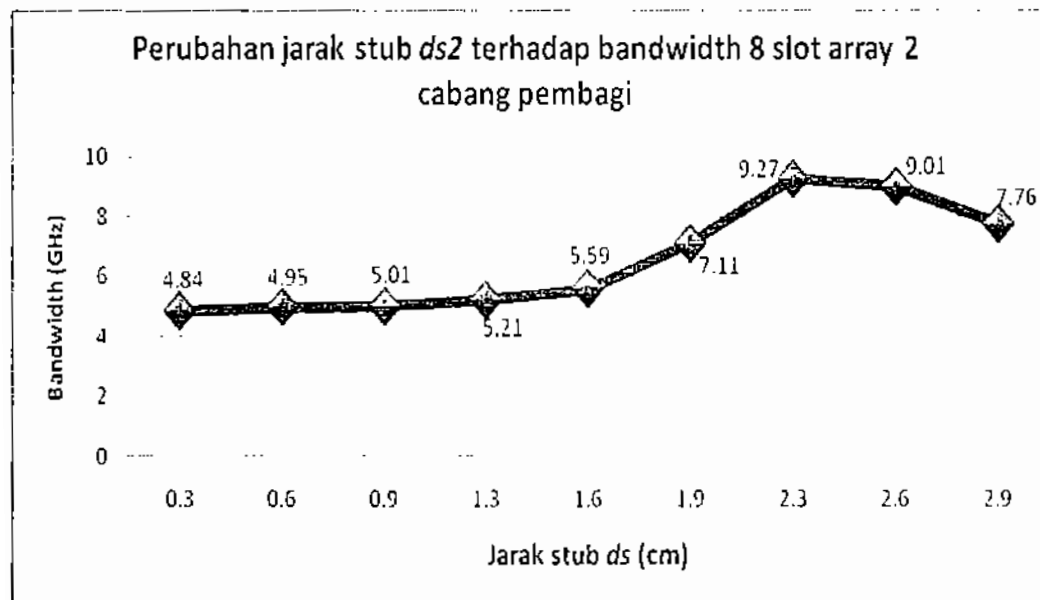
(b)

Gambar 5.1. Geometri Antena Mikrostrip Delapan Slot Array ($l_1=2,3$ cm, $l_2=1,9$ cm, $l_3=0,3$ cm, $d_{s1}=2,3$ cm, $l_{s1}=0,3$ cm, $d_{s2}=2,3$ cm, $l_{s2}=0,3$ cm, $w_f=0,4$ cm, $W=4,3$ cm, $L=6$ cm, $D=1,8$ cm, $d_o=1,6$ cm, $l_o=0,3$ cm). Pada Antena (a) Tampak Atas dan (b) Tampak Bawah. Substrat : 32 x 32 cm ($\epsilon=3,2$, $t=1,52$ mm)

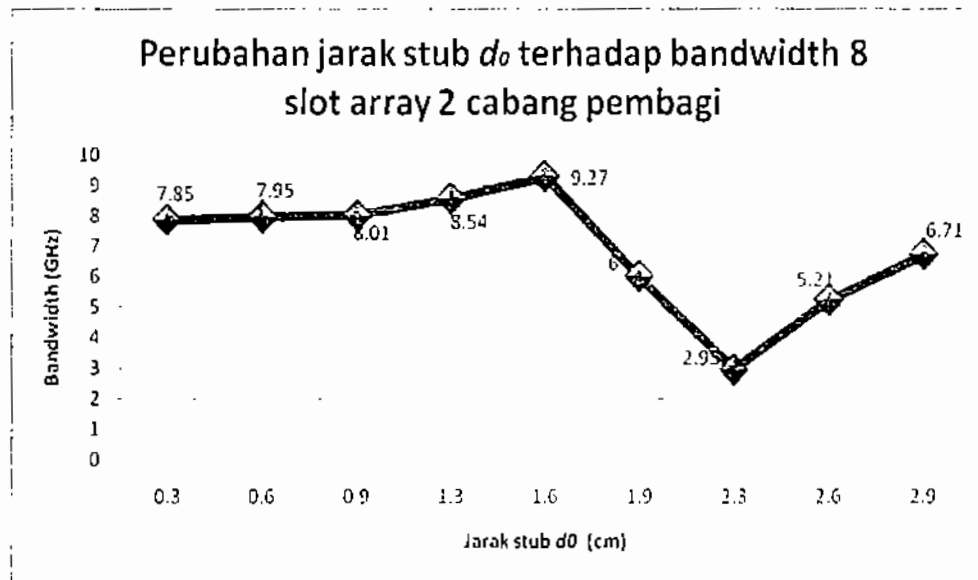
5.2.1. Perubahan Bandwidth Terhadap Geometri Antena

Pada bagian ini hasil simulasi *return loss vs frequency* telah dilakukan beberapa kemungkinan untuk mencapai hasil yang optimal. Untuk mendapatkan lebar pita yang optimal dilakukan dengan merubah – ubah geometri panjang dan lebar slot persegi panjang serta saluran catu berbentuk garpu. Untuk mendapatkan lebar bandwidth yang diinginkan dilakukan perubahan pada jarak stub ds_2 dan d_0 . Dimana ukuran $l_1, l_2, l_3, ds_1, ls_1, ls_2, lo, L$ dan W dibuat sama seperti pada kasus perancangan antena dua slot array. Perubahan lebar pita frekuensi sangat dipengaruhi oleh jarak stub terhadap sumber pencatu dan cabang pencatu.

Untuk perubahan jarak stub ds_2 dan d_0 dilakukan masing-masing sembilan posisi menuju slot. Pada jarak stub ds_2 diperoleh jarak optimal pada posisi 2,3 cm, dimana perubahan lebar bandwidth secara signifikan terjadi pada posisi jarak stub kurang dari 1,6 cm yaitu sebesar 5,59 GHz seperti terlihat pada Gambar 5.2. Pada jarak stub d_0 posisi stub dicapai pada jarak 1,6 cm. Lebar bandwidth menjadi menyempit cukup banyak jika d_0 lebih besar yaitu sebesar 2,95 GHz pada posisi 2,3 cm. Secara lengkap perubahan jarak stub d_0 tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.3.

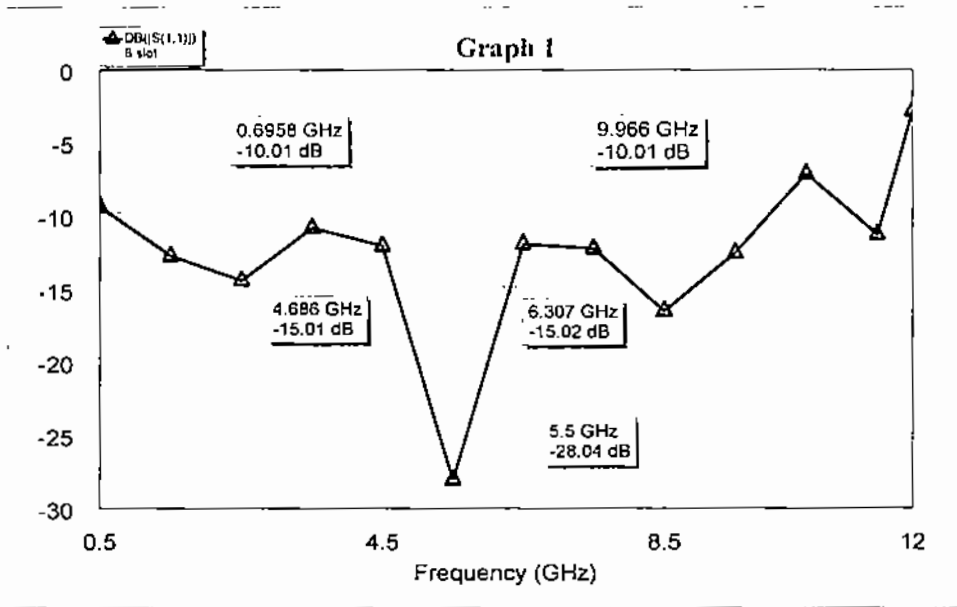


Gambar 5.2. Grafik Perubahan Jarak Stub Secara Serempak Terhadap Bandwidth Pada Antena Mikrostrip Delapan Slot Array.

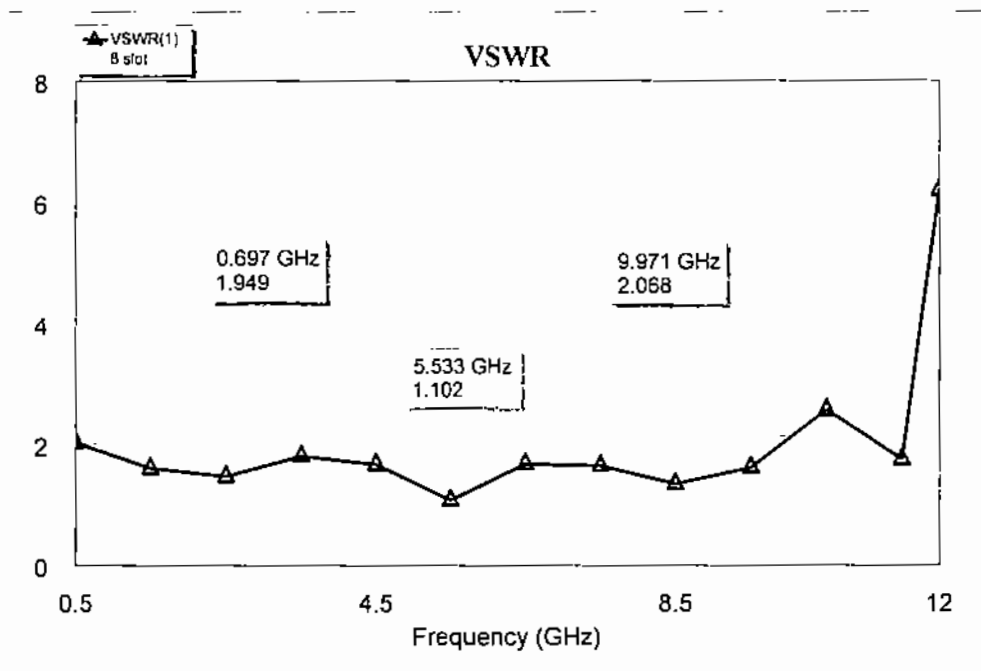


Gambar 5.3. Grafik Perubahan Jarak Stub Secara Serempak Terhadap Bandwidth Pada Antena Mikrostrip Delapan Slot Array.

Hasil simulasi bandwidth yang paling lebar diperlihatkan pada Gambar 5.4. Diperoleh rentang frekuensi dari 0,69 Ghz sampai 9,96 GHz atau dengan bandwidth sebesar 9,27 GHz. Sehingga antenna delapan slot array menggunakan jaringan saluran catu dua cabang pembagi menghasilkan lebar bandwidth yang lebih sempit jika dibandingkan dengan antenna delapan slot dengan jaringan saluran catu menggunakan satu cabang pembagi. Hal ini disebabkan karena besarnya rugi-rugi saluran yang terjadi akibat kondisi ketidaksesuaian pada jaringan saluran pencatu sehingga nilai VSWR semakin tinggi pada rentang frekuensi tersebut. Nilai VSWR terbaik sebesar 1,1 pada frekuensi 5,5 GHz. Pada VSWR 1,5 : 1 atau sama dengan nilai *return loss* diperoleh nilai dari frekuensi 4,6 GHz sampai 6,3 GHz. Nilai terendah sebesar dari *return loss* sebesar -18 dB pada frekuensi 5,5 GHz. Lebar bandwidth terhadap nilai *return loss* dan VSWR dapat dilihat pada Gambar 5.4 dan Gambar 5.5.



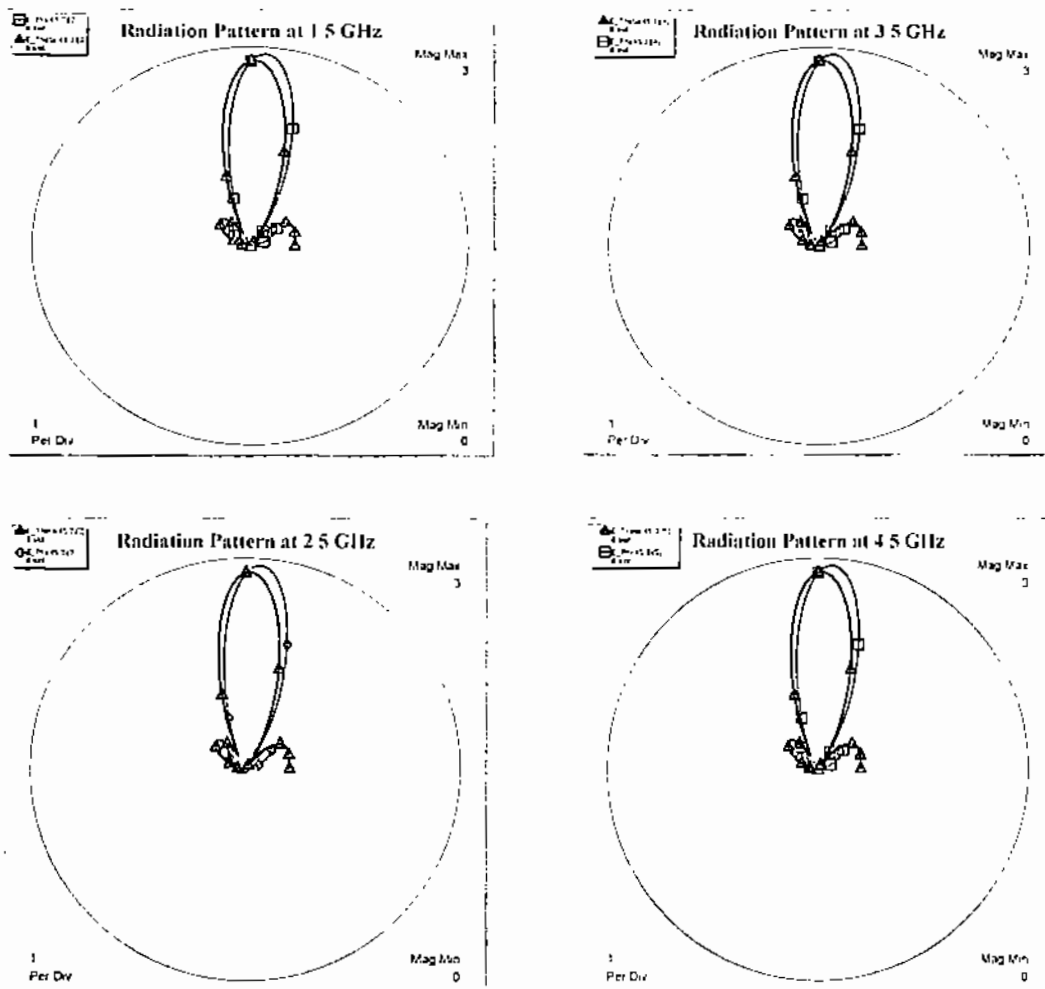
Gambar 5.4. Hasil Optimal Simulasi *Return Loss* (dB) Terhadap Frekuensi (GHz) Antena Mikrostrip Delapan Slot Array.



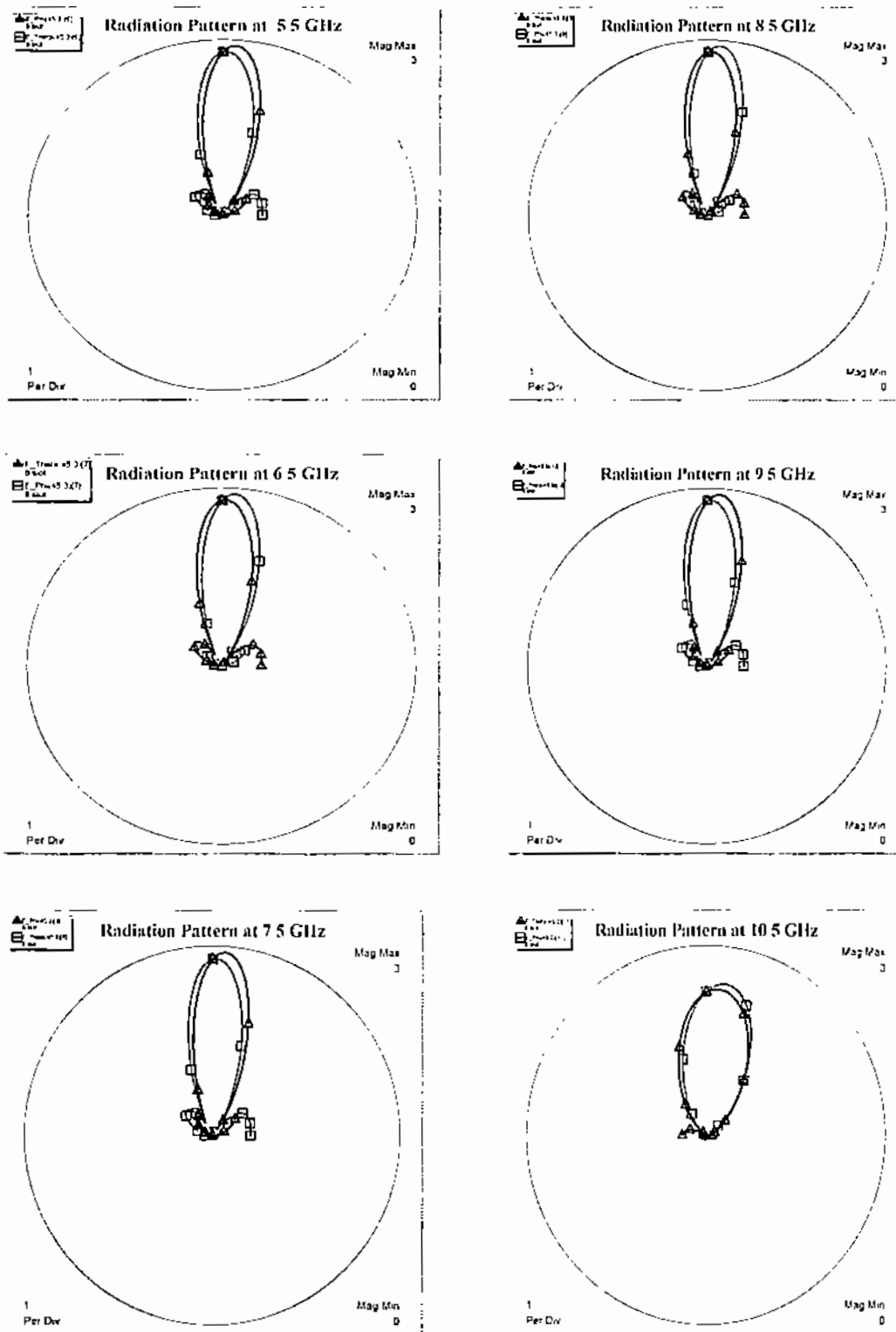
Gambar 5.5. Hasil Optimal Simulasi VSWR Terhadap Frekuensi (GHz) Antena Mikrostrip Delapan Slot Array.

5.2.2. Pola Radiasi

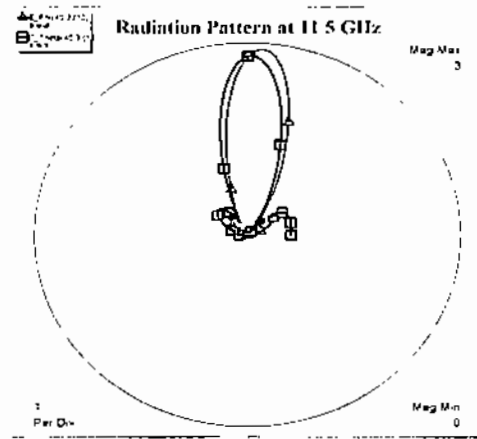
Hasil simulasi pola radiasi untuk rentang frekuensi dari 0,69 GHz sampai 9,96 GHz diambil sampel per 1 GHz pada step frekuensi dari 1,5 GHz sampai 11,5 GHz seperti terlihat pada Gambar 5.6. Pola radiasi pada antenna ini stabil pada semua step frekuensi dan memiliki beamwidth yang sempit. Dimana lebar beamwidth terhadap nilai 3-dB hampir sama disetiap step frekuensi. Bidang horizontal (bidang-H) ditunjukkan pada grafik dengan simbol \triangle . Sedangkan pada bidang vertikal (bidang-E) ditunjukkan pada grafik dengan simbol \square .



Gambar 5.6. Pola Radiasi Antenna Pada Gambar 5.15 Untuk Setiap Tahap Frekuensi Dari 1,5 – 10,5 GHz. Pada Frekuensi (a) 1,5 GHz (b) 2,5 GHz (c) 3,5 GHz (d) 4,5 GHz (e) 5,5 GHz (f) 6,5 GHz (g) 7,5 GHz (h) 8,5 GHz (i) 9,5 GHz (j) 10,5 GHz.



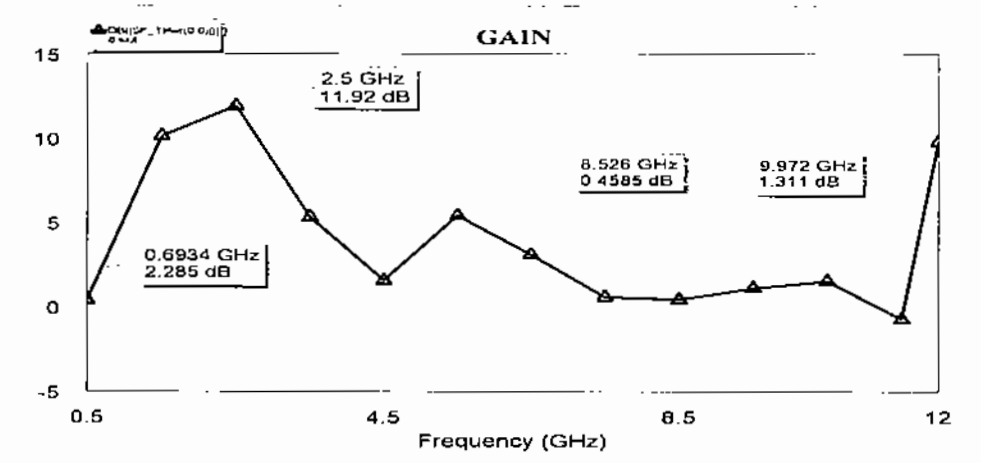
Gambar 5.6 (lanjutan). Pola Radiasi Antena Pada Gambar 5.15 Untuk Setiap Tahap Frekuensi Dari 1,5 – 10,5 GHz. Pada Frekuensi (a) 1,5 GHz (b) 2,5 Ghz (c) 3,5 Ghz (d) 4,5 GHz (e) 5,5 GHz (f) 6.5 GHz (g) 7,5 GHz (h) 8,5 GHz (i) 9,5 GHz (j) 10,5 GHz.



Gambar 5.6 (lanjutan). Pola Radiasi Antena Pada Gambar 5.15 Untuk Setiap Tahap Frekuensi Dari 1,5 – 10,5 GHz. Pada Frekuensi (a) 1,5 GHz (b) 2,5 Ghz (c) 3,5 Ghz (d) 4,5 GHz (e) 5,5 GHz (f) 6,5 GHz (g) 7,5 GHz (h) 8,5 GHz (i) 9,5 GHz (j) 10,5 GHz.

5.2.3. Gain Antena

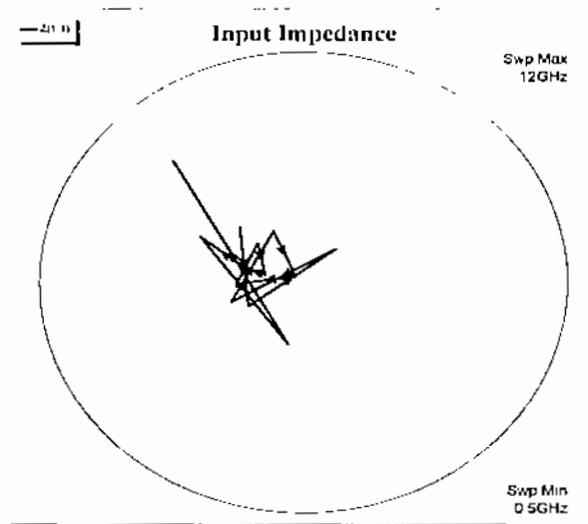
Dari Gambar 5.7 terlihat bahwa gain antena ini bervariasi pada rentang frekuensi dari 0,69 Ghz sampai 9,96 Ghz. Terdapat nilai gain yang paling besar pada frekuensi 2,5 GHz yaitu sebesar 11,9 dB dan terendah sebesar 0,45 dB pada frekuensi 8,5 GHz. Pada kasus antenna ini tidak terdapat nilai penurunan gain dibawah 0 dB.



Gambar 5.7. Gain (dB) Terhadap Frekuensi (GHz)
Antena Mikrostrip Delapan Slot Array.

5.3.4. Impedansi Masukan

Impedansi masukan yang diinginkan dalam perancangan antenna ini adalah sebesar 50Ω . Dari hasil simulasi pada jarak frekuensi antara 0.69 GHz sampai 9,96 GHz diperoleh nilai impedansi masukan yang mendekati yaitu -5 dan +5 dari nilai 50Ω . Frekuensi yang mendekati nilai impedansi tersebut pada rentang frekuensi dari 3,5 GHz sampai 6,5 GHz. Secara lengkap nilai impedansi tersebut seperti terlihat pada Gambar 5.8 dan Tabel 5.1.



Gambar 5.8. Impedansi Masukan Antena Perancangan Pada Gambar 5.15 Untuk Lebar-Pita 0,69 – 9,96 GHz.

Tabel 5.1. Nilai Imaginer dan Ril dari Impedansi Masukan Pada Gambar 5.1.

$Z(1,1)$ (GHz)	$Z(1,1)$	$Z(1,1)$
Frequency	(Real)	(Imag)
1,5	42,182	-6,888
2,5	60,825	18,491
3,5	48,059	-5,0974
4,5	46,291	17,269
5,5	49,143	2,5854
6,5	49,755	-0,23235
7,5	43,435	12,295
8,5	47,239	2,717
9,5	41,267	4,3971

5.3. Kesimpulan

Telah dirancang antenna mikrosrip slot array delapan elemen (Gambar 5.1) untuk menghasilkan karakteristik pancaran jalur lebar. Antena tersebut menggunakan jaringan saluran catu paralel dengan dua cabang pembagi, dimana perancangan antenna slot array pada bab IV menggunakan satu cabang pembagi. Antena menggunakan teknik pencatuan *multi tuning stub* dalam konfigurasi saluran catu paralel dengan dua cabang pembagi untuk mencatu delapan slot menghasilkan pelebaran bandwidth sebesar 9.27 GHz. Model pencatuan pada teknik ini menghasilkan bandwidth yang lebih kecil sebesar 2.5 GHz jika dibandingkan antenna delapan slot array menggunakan saluran catu paralel dengan satu cabang pembagi. Faktor yang sangat mempengaruhi dalam pelebaran bandwidth pada antenna ini yaitu jarak stub (ds_2) pada saluran cabang dan jarak stub (ds_0) pada saluran utama. Bandwith paling lebar diperoleh pada posisi jarak stub ds_2 dan ds_0 sebesar 1.5 cm. Jika menggunakan acuan dengan nilai SWR=1.5 memiliki rentang frekuensi dari 4.6 GHz sampai 6.3 GHz atau dengan bandwidth sebesar 1,7 GHz. Perolehan gain diperoleh pada rentang frekuensi dari 0.69 GHz sampai 9,96 GHz. Gain dengan nilai terendah diperoleh sebesar 0.45 dB pada frekuensi 8.5 dB dan tertinggi sebesar 11.9 dB pada frekuensi 2.5 GHz. Sementara nilai impedansi masukan yang mendekati 50 Ohm terjadi pada rentang frekuensi dari 3,5 GHz sampai 6,5 GHz.

Dari perancangan antenna model ini memiliki bandwidth yang lebih kecil dari antenna mikrostrip slot array delapan elemen menggunakan jaringan saluran catu paralel dengan satu cabang pembagi. Hal ini disebabkan oleh panjang dan pembagi saluran pencatu mikrostrip antara sumber masukan dan slot. Sehingga banyak menghasilkan rugi-rugi kembali (*return loss*) pada saluran dan kondisi penyesuaian yang cukup komplek.

BAB 6

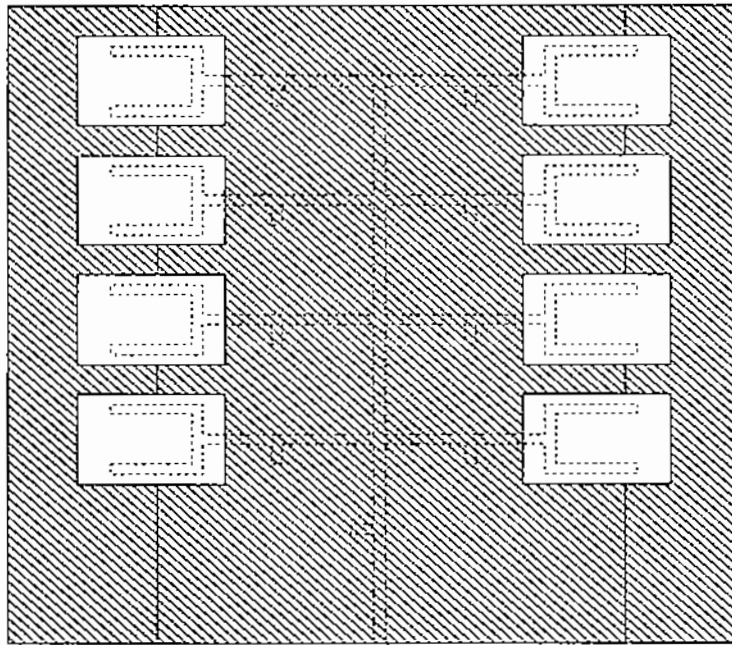
ANTENA MIKROSTRIP SLOT ARRAY MENGGUNAKAN JARINGAN SALURAN CATU PLANAR

6.1. Pendahuluan

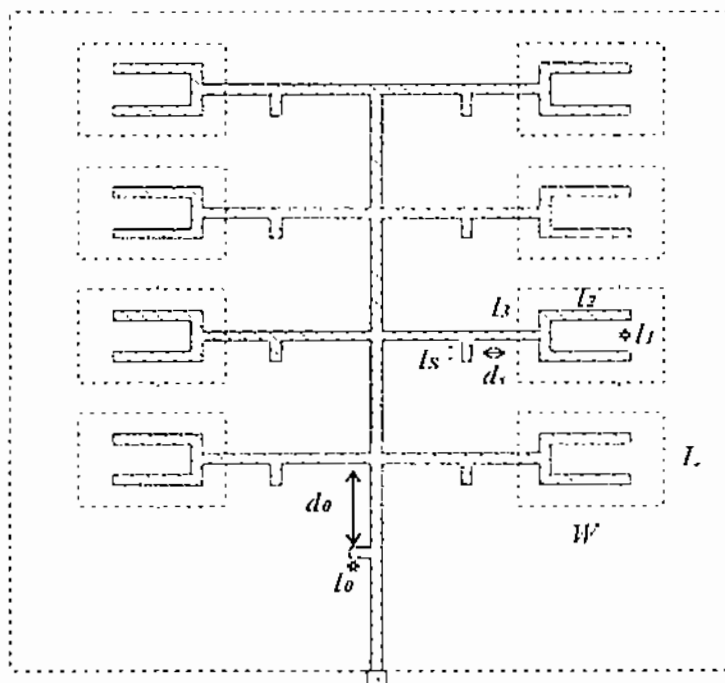
Untuk mengetahui peningkatan bandwidth pada antenna mikrostrip slot array digunakan beberapa model konfigurasi sistem pencatuan paralel seperti yang telah dijelaskan pada bab 3 dan 4. Sebagai alternatif lain dari penerapan teknik multi tuning stub pada antenna mikrostrip array, perlu dirancang menggunakan model konfigurasi lain. Pada bab ini dijelaskan perancangan antenna mikrostrip slot array dengan delapan elemen berbentuk segiempat yang dicatu menggunakan saluran mikrostrip secara planar. Penggunaan konfigurasi saluran catu tersebut dimaksudkan untuk mengetahui sejauhmana efektifitas jaringan impedansi dengan menggunakan teknik *multi tuning stub*, khususnya dalam kasus delapan slot.

6.2. Rancangan Antena Mikrostrip Delapan Slot Array Planar

Pada Gambar 6.1 merupakan antenna mikrostrip slot array menggunakan delapan elemen dimana masing-masing elemen dicatu oleh saluran mikrostrip berbentuk seperti garpu. Model sistem pencatuan dalam antenna ini menggunakan konfigurasi saluran catu planar. Untuk menyesuaikan impedansi antara saluran masuk dan empat elemen slot digunakan tuning stub pada setiap cabang saluran. Dengan kata lain sistem jaringan impedansi pada antenna ini menggunakan teknik multi tuning stub. Stub pendek tersebut berfungsi sebagai penyesuai impedansi di setiap cabang pembagi pada sistem pencatuan. Geometri antenna ini terdiri dari lebar slot (W), panjang slot (L). Tuning stub bentuk garpu pada setiap slot terdiri dari panjang stub (l_3), dua cabang stub dengan panjang yang sama (l_2), dan jarak antara pusat saluran kedua cabang (l_1). Untuk setiap cabang pembagi menuju ke delapan slot diberikan masing-masing stub pendek dengan panjang stub l_s dan jarak d_s . Stub kedua ditempatkan pada saluran masuk utama dengan panjang stub dan jarak d_0 .



(a)



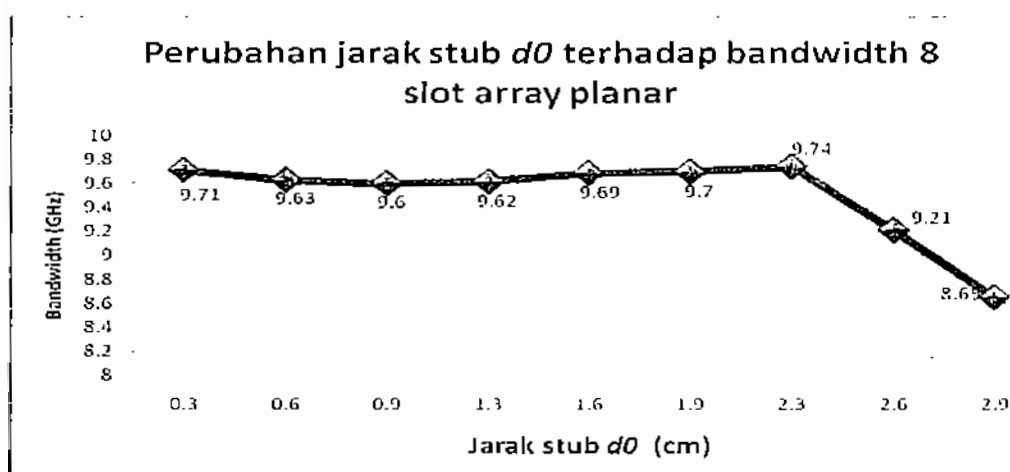
(b)

Gambar 6.1. Geometri Antena Mikrostrip Array Delapan Slot Segiempat Dari Hasil Simulasi ($l_1=2.3$ cm, $l_2=1.9$ cm, $l_3=0.3$ cm, $d_s=2.3$ cm, $l_5=0.3$ cm, $w_f=0.4$ cm, $W=4.3$ cm, $L=6$ cm, $D=0.3$ cm, $d_o=3$ cm, $l_o=0.3$ cm). Pada Antena (a) Tampak Atas dan (b) Tampak Bawah. Substrat : 32×32 cm ($\epsilon=3.2$, $t=1.52$ mm)

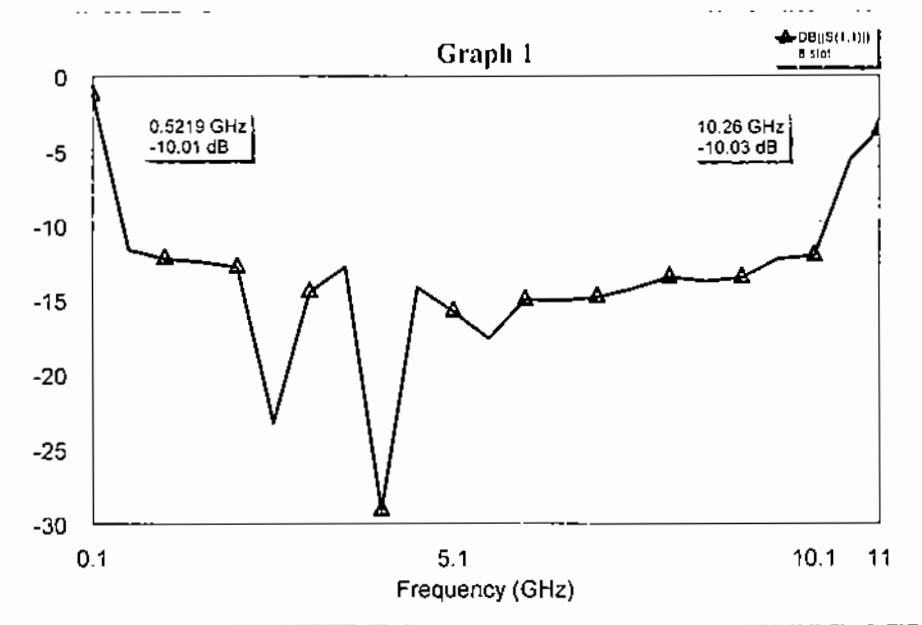
6.2.1. Perubahan Bandwidth Terhadap Geometri Antena

Dilakukan perubahan terhadap geometri antena mikrostrip slot segiempat delapan radiator untuk mencapai bandwidth yang paling lebar. Untuk mendapatkan lebar pita yang maksimal dilakukan dengan cara merubah-ubah geometri panjang radiator serta geometri saluran catu berbentuk garpu meliputi lebar garpu, panjang garpu dan jarak garpu dengan alas radiator, seperti yang telah dibahas pada perancangan sebelumnya. Pada kasus perancangan ini semua bentuk geometri antena memiliki ukuran yang sama. Sehingga optimalisasi terhadap lebar frekuensi dikendalikan oleh posisi jarak d_n . Perubahan-perubahan tersebut mempengaruhi frekuensi kerja dan lebar *bandwidth*. Pada perubahan posisi *stub* secara bertahap dengan step 0,3 cm pada setiap posisi. Pada variasi ini dilakukan lima kemungkinan pergeseran posisi *stub* pada masing-masing saluran catu.

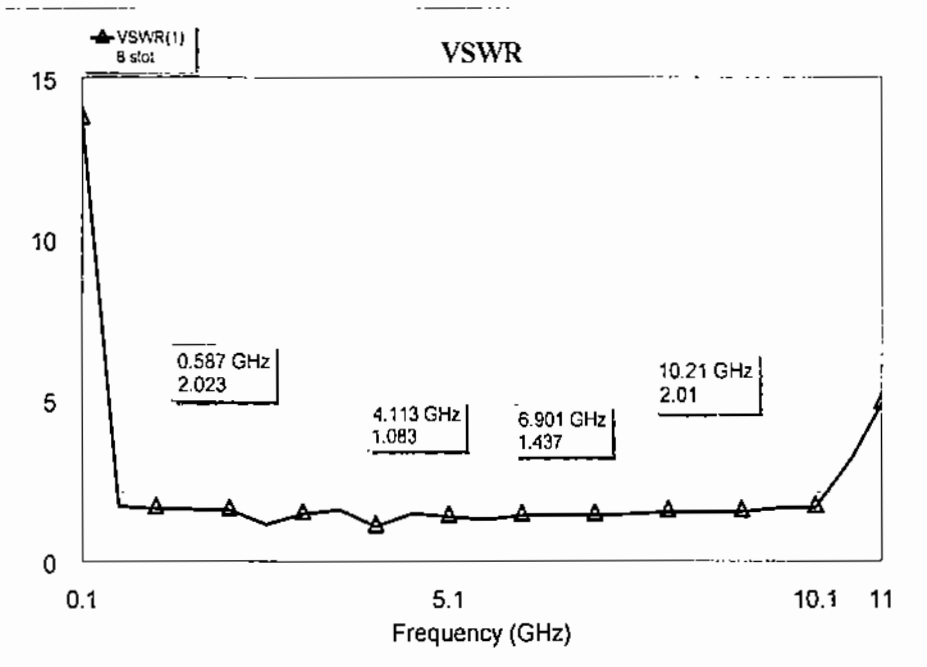
Bandwidth yang paling lebar dicapai pada posisi *stub* 2,3 cm yaitu sebesar 9,74 GHz pada rentang frekuensi dari 0,52 GHz sampai 10,26 GHz. Pada posisi *stub* sepanjang antara 1,6 cm sampai 2,3 cm, lebar bandwidth relatif stabil. Jika posisi *stub* d_n lebih jauh, lebar bandwidth menyempit menjadi 8,65 GHz pada posisi 2,9 cm seperti yang terlihat pada Gambar 6.2. Dari Gambar 6.2 terlihat bahwa perubahan pergeseran *stub* utama memberikan variasi lebar-pita frekuensi yang sangat signifikan terhadap antena ini. Hasil simulasi lebar bandwidth terhadap nilai *return loss* selengkapnya dapat dilihat pada Gambar 6.3.



Gambar 6.2. Grafik Perubahan Jarak Stub (d_0) Terhadap Bandwidth Pada Antena Mikrostrip Delapan Slot Array Planar.



Gambar 6.3. Hasil Simulasi Bandwidth Antena Mikrostrip Delapan Slot Array Planar.

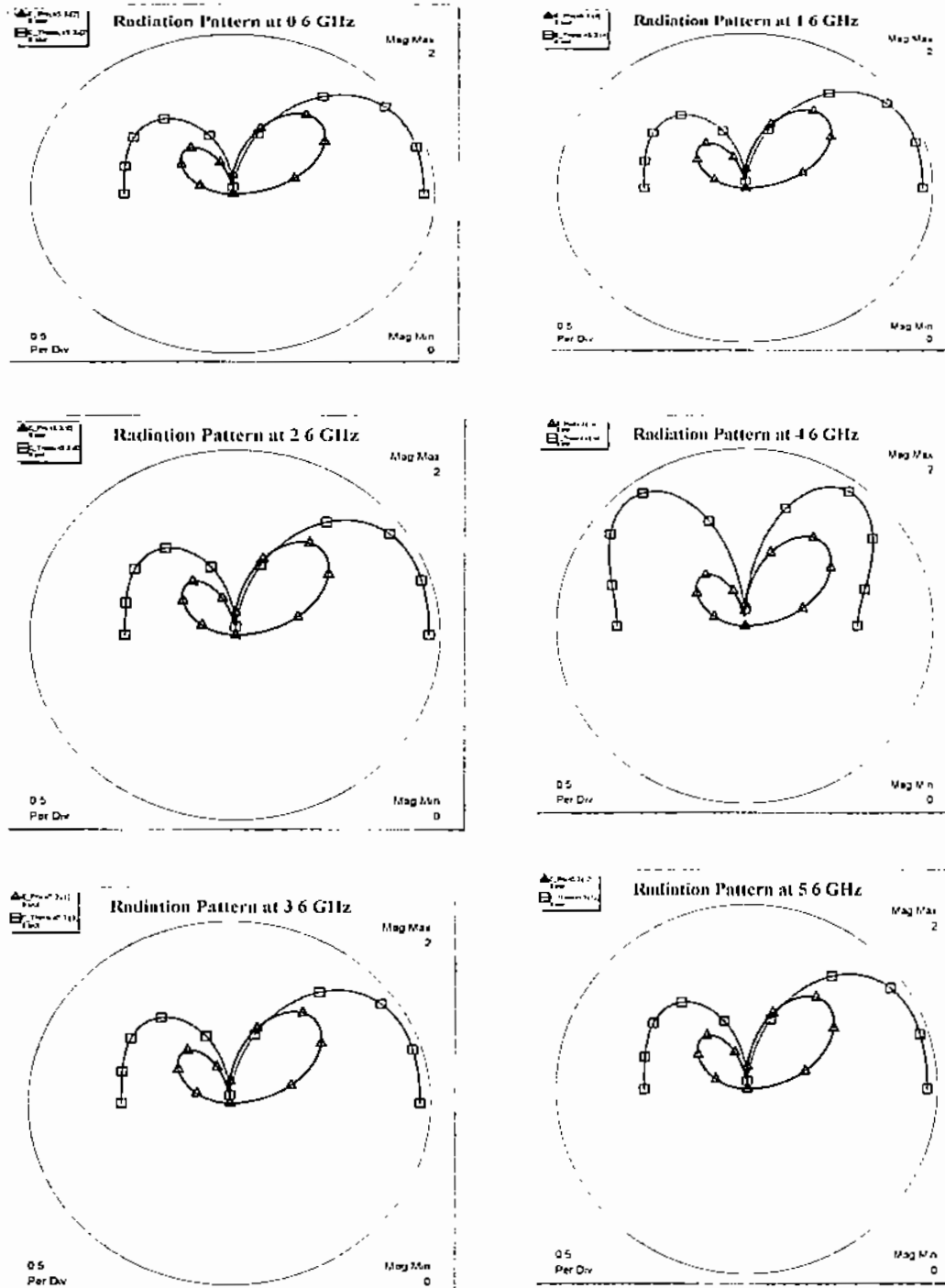


Gambar 6.4. Hasil Optimal Simulasi VSWR Terhadap Frekuensi (GHz) Antena Mikrostrip Delapan Slot Array Planar.

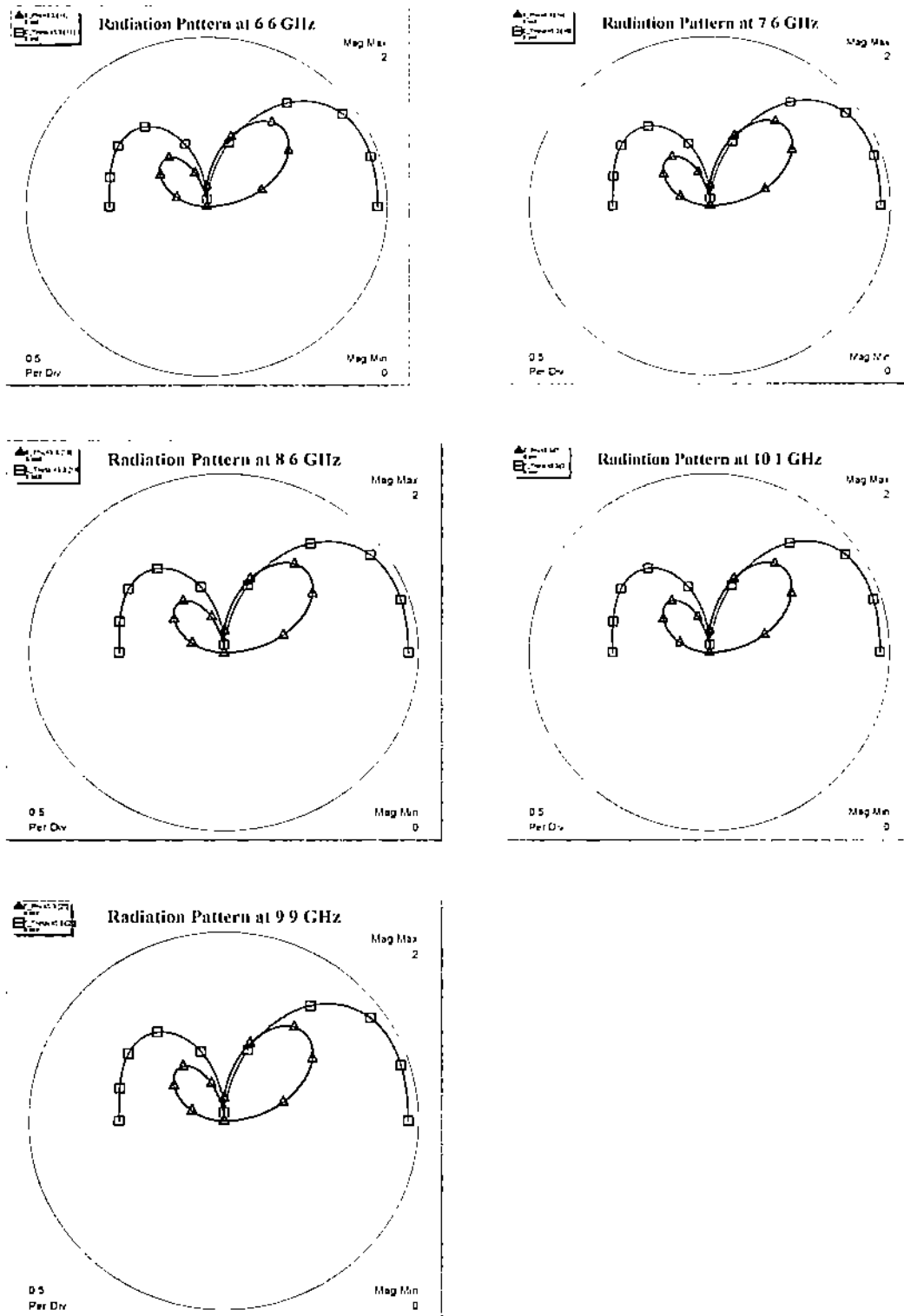
Gambar 6.4 menunjukkan hasil simulasi bandwidth antenna yang paling lebar dari perancangan antenna mikrostrip pada Gambar 6.1. Lebar *bandwidth* optimal tersebut diperoleh jika mengacu terhadap nilai SWR dengan batas toleransi 2. Gambar 6.4 menunjukkan selisih antara frekuensi akhir dengan frekuensi awal dalam satuan GHz terhadap SWR=2, diperoleh rentang frekuensi 0,58 GHz sampai 10,2 GHz. Hal tersebut mengkonfirmasi terhadap hasil yang diperoleh pada Gambar 6.3. Secara umum nilai rugi kembali yang diatas -15 dB diperoleh pada rentang frekuensi 2,2 GHz sampai 6,1 GHz. Sementara pada rentang tersebut perolehan bandwidth terhadap SWR rata-rata dibawah 1,5. Sedangkan nilai rugi-rugi kembali terendah dicapai pada frekuensi 4,1 GHz dimana nilai SWR sebesar 1,08.

6.2.2. Pola Radiasi

Hasil simulasi pola radiasi dari antenna ini dimulai dari frekuensi 0.6 GHz, sampai 10.1 GHz dengan step frekuensi 1 GHz seperti diperlihatkan pada Gambar 6.5. Dimana beamwidth terhadap nilai 3-dB sama disetiap step frekuensi. Pada bidang-H pola radiasi bersifat *narrow beam*, sedangkan pada bidang-E bersifat meruncing. Kedua bidang radiasi tersebut memiliki dua keterarahan (*bidirectional*). Bidang horizontal (bidang-H) ditunjukkan pada grafik dengan simbol \ominus . Sedangkan pada bidang vertikal (bidang-E) ditunjukkan pada grafik dengan simbol \boxplus . Dalam kasus antenna ini memiliki karakteristik pola radiasi yang terbagi dalam dua arah. Hal ini disebabkan karena posisi slot ditempatkan dengan panjang slot yang saling berlawanan arah. Dari Gambar 6.5 terlihat bahwa dari delapan slot terbagi menjadi dua yaitu empat slot pada bagian kiri dan empat slot bagian kanan. Sehingga beam pada bagian kiri dihasilkan oleh empat slot bagian kiri dan beam bagian kanan dihasilkan oleh empat slot bagian kanan.



Gambar 6.5. Pola Radiasi Antena Pada Gambar 6.1 Untuk Setiap Tahap Frekuensi Pada Lebar-Pita 27 – 37,3 GHz. Pada Frekuensi (a) 0,6 GHz (b) 1,6 Ghz (c) 2,6 Ghz (d) 3,6 GHz (e) 4,6 GHz (f) 5,6 GHz (g) 6,6 Ghz (h) 7,6 Ghz (i) 8,9 GHz (j) 9,9 GHz (k) 10,1 Ghz

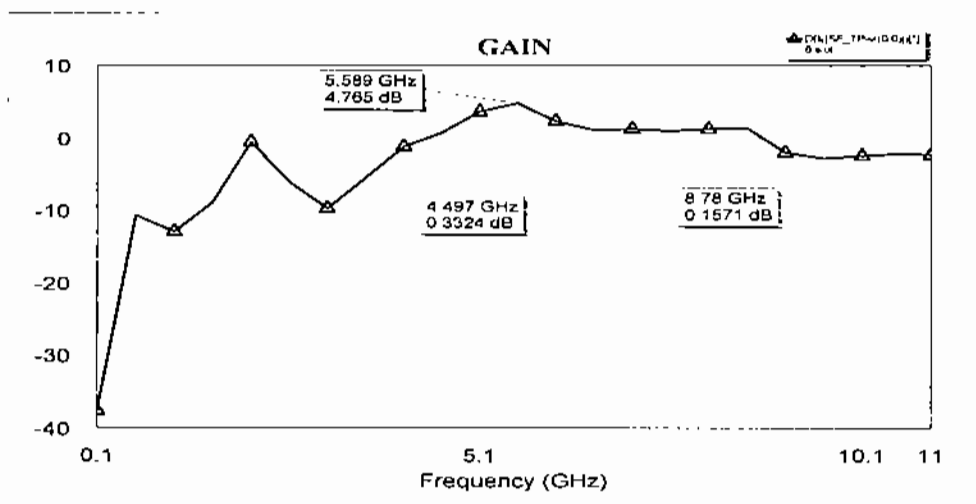


Gambar 6.5 (lanjutan). Pola Radiasi Antena Pada Gambar 6.1 Untuk Setiap Tahap Frekuensi Pada Lebar-Pita 27 – 37,3 GHz. Pada Frekuensi (a) 0,6 GHz (b) 1,6 Ghz (c) 2,6 Ghz (d) 3,6 GHz (e) 4,6 GHz (f) 5,6 GHz (g) 6,6 Ghz (h) 7,6 Ghz (i) 8,9 GHz (j) 9,9 GHz (k) 10,1 Ghz

6.2.3. Gain Antena

Dari Gambar 6.6 terlihat bahwa gain antena ini bervariasi pada rentang frekuensi dari 4.4 GHz sampai 8.7 GHz. Terdapat nilai gain yang paling tinggi pada frekuensi 5.5 GHz yaitu sebesar 4,7 dB dan terendah sebesar 0.15 dB pada frekuensi 8,7 GHz. Pada kasus antenna ini tidak terdapat nilai pelemahan.

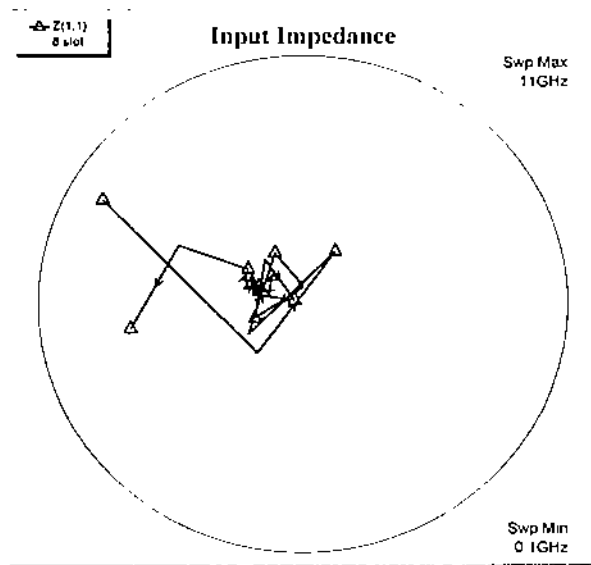
Pada kasus perancangan antenna slot array delapan elemen pada model ini juga terjadi penurunan gain antenna dibawah 0 dB pada jarak frekuensi dari 0,5 GHz sampai 4,4 GHz dan pada jarak 8,8 GHz sampai 10,2 GHz sehingga penguatannya membentuk *bandpass*. Pada kasus antenna ini juga mengalami fenomena *damped harmonic*.



Gambar 6.6. Gain (*dB*) Terhadap Frekuensi (*GHz*) Antena Mikrostrip Delapan Slot Array.

6.2.4. Impedansi Masukan

Impedansi masukan yang diinginkan dalam perancangan antenna ini adalah sebesar 50Ω . Dari hasil simulasi pada jarak frekuensi antara 6,3 GHz sampai 40,3 GHz diperoleh nilai impedansi masukan yang mendekati yaitu -5 dan +5 dari nilai 50Ω seperti terlihat pada Gambar 6.18. Frekuensi yang mendekati nilai impedansi 50Ω terdapat pada rentang 2,1 GHz sampai 7,1 GHz. Secara lengkap nilai impedansi tersebut seperti terlihat pada Gambar 6.7 dan Tabel 6.1.



Gambar 6.7. Impedansi Masukan Antena Perancangan Pada Gambar 6.1.

Tabel 6.1. Nilai Imaginer dan Ril Dari Impedansi Masukan Pada Gambar 6.1.

$Z(1,1)$ (GHz)	$Z(Reul)$	$Z(Imag)$
0.6	42,989	-14,036
1,1	57,904	25,9
1,6	42,169	-8,2319
2,1	47,562	16,158
2,6	49,865	6,8908
3,1	44,585	-4,0697
3,6	45,435	13,445
4,1	46,935	1,4612
4,6	43,867	2,7311
5,1	48,529	8,7962
5,6	48,841	3,627
6,1	45,544	4,7959
6,6	46,044	6,1446
7,1	45,47	5,3354
7,6	44,472	5,1119
8,1	43,214	5,3178
8,6	43,637	5,0095
9,1	43,469	6,656
9,6	41,221	6,3024
10,1	41,756	9,436

6.3. Kesimpulan

Telah dirancang antenna mikrosrip slot array delapan elemen (Gambar 6.1) untuk menghasilkan karakteristik pancaran jalur lebar. Perancangan tersebut menggunakan jaringan saluran catu paralel planar dengan konfigurasi 2 x 4. Antena ini menghasilkan pelebaran bandwidth sebesar 9,74 GHz. Model pencatuan pada teknik ini menghasilkan bandwidth yang lebih lebar sebesar 0,47 GHz jika dibandingkan antena delapan slot array menggunakan saluran catu paralel dengan dua cabang pembagi. Jika antena ini dibandingkan dengan model jaringan pencatuan paralel dengan satu cabang pembagi, maka mengalami penyempitan lebar bandwidth sebesar 2,03 GHz. Hal ini disebabkan oleh panjang dan pembagi saluran pencatu mikrostrip antara sumber masukan dan slot. Sehingga banyak menghasilkan rugi-rugi kembali (*return loss*) pada saluran dan kondisi penyesuaian yang cukup kompleks.

Bandwith paling lebar diperoleh pada posisi jarak stub ds_0 sebesar 3 cm. Jika menggunakan acuan dengan nilai SWR=1.5 memiliki rentang frekuensi dari 2,2 GHz sampai 6.1 GHz atau dengan bandwidth sebesar 3.9 GHz. Gain antena diperoleh pada rentang frekuensi dari 4.4 GHz sampai 8.7 GHz. Gain dengan nilai terendah diperoleh sebesar 0,15 dB pada frekuensi 8.7 dB dan tertinggi sebesar 11.9 dB pada frekuensi 8.7 GHz. Sementara nilai impedansi masukan yang mendekati 50 Ohm terjadi pada rentang frekuensi dari 2.1 GHz sampai 7.1 GHz.

BAB 7

KESIMPULAN

Dalam penelitian ini diketahui bahwa teknik impedansi penyesuaian menggunakan multi tuning stub pada antena mikrostrip slot array dapat memperlebar bandwidth. Pelebaran bandwidth terjadi seiring dengan bertambahnya jumlah slot. Pada slot tunggal dicapai lebar bandwidth sebesar 3,8 GHz, jika menggunakan empat slot diperoleh bandwidth sebesar 6.15 GHz. Pada kasus delapan slot, bandwidth antena slot mikrostrip menjadi 11,7 GHz.

Pada kasus antena mikrostrip delapan slot array, model jaringan pencatuan juga mempengaruhi dalam memperlebar bandwidth. Model jaringan pencatuan paralel satu cabang pembagi menghasilkan bandwidth yang lebih lebar yaitu berkisar 2 GHz. Hal ini menunjukkan bahwa kompleksitas jaringan pencatu akan mengurangi intensitas gelombang yang menuju pada ujung saluran berbentuk garpu, sehingga efek kopling yang diberikan ke slot menjadi rendah.

Parameter gain yang dihasilkan dari antena mikrostrip dua slot array, empat slot array dan delapan slot array dengan menggunakan pencatuan paralel satu cabang pembagi memiliki nilai gain tertinggi yang relatif sama yaitu berkisar pada nilai 8 dB. Sehingga dengan menggunakan model jaringan yang sama, maka tidak besar dalam perubahan nilai gain. Sementara pada kasus antena mikrostrip delapan slot array menggunakan model jaringan pencatuan dengan dua cabang pembagi dan model planar mengalami perubahan nilai gain yang cukup berarti. Pada antena mikrostrip delapan slot menggunakan jaringan pencatu dengan dua cabang pembagi menghasilkan gain tertinggi sebesar 11,9 dB dan antena mikrostrip delapan slot array dengan model planar memiliki nilai gain tertinggi sebesar 4,7 dB. Hal ini menunjukkan bahwa model jaringan pencatu sangat menentukan dalam perubahan nilai gain pada kasus antena mikrostrip slot array. Dimana model jaringan pencatu dengan dua cabang pembagi menghasilkan efisiensi radiasi yang lebih baik sehingga menghasilkan keterarahan antena yang lebih tinggi. Pada kasus perancangan antenna slot array empat dan delapan elemen linier serta delapan slot planar mengalami penurunan gain antenna dibawah 0 dB. Hal ini disebabkan bahwa gain antenna sebagai fungsi frekuensi, dimana pada

jarak frekuensi tersebut terjadi ketidaksesuaian (*mismatch*) pada impedansi masukan.

Dari semua perancangan antenna mikrostrip slot array tersebut membuktikan bahwa dengan bertambahnya jumlah slot dapat memperlebar bandwidth. Pelebaran bandwidth pada antenna mikrostrip slot disebabkan oleh tiga faktor. Faktor pertama yaitu penguatan efek kopling yang diberikan oleh saluran pencatu mikrostrip berbentuk seperti garpu yang disisipkan dibawah slot. Peningkatan efek kopling akan memberikan penurunan nilai faktor kualitas rangkaian Q antenna. Semakin rendah faktor kualitas Q dari antenna maka mengakibatkan bandwidth antenna menjadi lebih lebar. Faktor kedua dalam pelebaran bandwidth diberikan oleh tuning stub yang dihubungkan secara shunt pada setiap saluran pencatu mikrostrip yang menuju slot. Tuning stub ini berfungsi untuk mengendalikan kondisi penyesuaian antara impedansi masukan pada saluran pencatu utama dengan impedansi di setiap slot. Dimana setiap slot dicatu oleh satu saluran catu mikrostrip yang ditambah saluran tuning stub yang terhubung secara *shunt*.

Sehingga semakin banyak jumlah slot akan semakin banyak cakupan frekuensi yang dihasilkan dengan kondisi penyesuaian pada jarak frekuensi yang sangat lebar. Faktor ketiga yaitu konfigurasi jaringan saluran catu juga sangat menentukan dalam pelebaran bandwidth. Semakin pendek saluran dari sumber pencatuan menuju slot akan semakin sedikit jumlah cabang pembagi saluran tersebut. Sehingga semakin efektif jaringan kondisi penyesuaian dalam antenna tersebut. Konfigurasi jaringan pencatu juga dapat mempengaruhi posisi letak antara slot pada jarak tertentu. Posisi letak antara slot yang tidak tepat akan menghasilkan efek saling meniadakan antara slot satu sama lain sehingga akan menurunkan kualitas efek kopling yang diberikan ke antenna. Secara umum kondisi penyesuaian pada jarak frekuensi yang sangat lebar dikendalikan oleh jarak tuning stub pada saluran utama (ds) dan panjang tuning stub (ls).

DAFTAR REFERENSI

- [1] International Telecommunication Union-R, Appendix 3, *Rev.WRC-03* (4rd ed.). 2004.
- [2] Ministry of Economic Development Manatu Ohanga, "Spectrum allocations for ultrawide band devices," Wellington, New Zealand : *Radio Spectrum Policy and Planning Resources and Networks Branch Ministry of Economic Development*. 2005.
- [3] Garg, R., Bhartia, P., Bahl, I., and Ittipiboon, A., "Microstrip antenna design handbook," *Noorwod : Artech House*. 2001
- [4] Schantz., H."The art and science of ultrawideband antennas." *Noorwod : Artech House*. 2005.
- [5] Akhavan, H.G. & Syahkal, D.M.."A simple technique for evaluation of input impedance of microstrip-fed slot antennas," *IEE Conference Publication*, No. 407. April 1995, pp. 265-268.
- [6] Hirokawa, J., Arai, H., & Goto, N., "Cavity-backed wide slot antenna," *IEE Proceedings*, Vo. 136, February 1989, pp. 29-33.
- [7] Sze, J.Y., & Wong, K.L.."Bandwidth enhancement of a printed wide slot antenna fed by a microstripline with a fork-like tuning stub," *Proceeding of ISAP*, Japan, 2000, pp. 1159-1162.
- [8] Du, B., Yung, E.K., Yang, K.Z., & Zhang, W.J.."Wide-band linearly or circularly polarized monopulse tracking corrugated horn." *IEEE Transaction on Antennas and Propagation*, Vol. 50, No. 2., 2000, pp.172-197.
- [9] Choi, S.H., Park, J.K., Kim, S.K. & Park, J.Y.."A new ultra-wideband antenna for UWB applications," *Microwave and Optical Technology Letters*, Vol. 40, No.5., March 2004, pp. 399-401.
- [10] Ma, T.G., & Jeng, S.K.."Planar miniature tapered-slot-fed annular slot antennas for ultrawide-band radios." *IEEE Transaction on Antennas and Propagation*, Vol. 53, No. 3., March 2005, pp. 1194-1202.
- [11] Kramer, B.A., Lee, M., Chen, C.C. & Volakis, J.L.."Design and performance of an ultrawide-band ceramic-loaded slot spiral." *IEEE Transaction on Antennas and Propagation*, Vol. 53, No. 7., July 2005, pp. 2193-2199.

- [12] Behdad, N. & Sarabandi, K., "A wide-band slot antenna design employing a fictitious short circuit concept." *IEEE Transaction on Antennas and Propagation*, Vol. 53, No. 1., January 2005, pp. 475-482.
- [13] Ma, T.G. & Jeng, S.K., "A printed dipole antenna with tapered slot feed for ultrawide-band applications," *IEEE Transaction on Antennas and Propagation*, Vol. 53, No. 11., November 2005. pp. 2833-2836.
- [14] Klemm, M., Kovcs, I.Z., Pedersen, G.F. & Troster, G., "Novel small-size directional antenna for UWB WBAN/WPAN applications." *IEEE Transaction on Antennas and Propagation*, Vol. 53, No. 12., December 2005, pp. 3930-3939.
- [15] Waterhouse, R.B., Novak, D., Nirmalathas, A., & Lim, C., "Broadband printed sectorized coverage antennas for millimeter-wave wireless applications," *IEEE Transaction on Antennas and Propagation*, Vol. 50, No. 1., January 2000, pp. 926-934.
- [16] Clenet, M., & Shafai, L., "Wideband single layer microstrip antenna for array applications," *Electronics letter*, vol 35, no. 16, August 1999, pp. 1292-1293.
- [17] Karlsson, M. & Gong, S., "Wideband patch antenna array for multi-band UWB," *Department of Technology and Natural Sciences-ITN*, Linköping University, Norrköping, Sweden. 2004.
- [18] Eldek, A.A., Elsherbini, A.Z. & Smith, C.E., "Wide-Band modified printed bow-tie antenna with single and dual polarization for C-and X-band applications," *IEEE Transaction on Antennas and Propagation*, Vol. 53, No. 9., September 2005, pp. 3067-3072.
- [19] Lee, G.S., "A uniplanar wideband loop-antenna design using an alternate inverted 2D cantor set sequence," *Microwave and Optical Technology Letters*, Vol. 39, No. 6., December 2003, pp. 437-439.
- [20] Eshrah, I.A., Kishk, A.A., Yakovlev, A.B. & Glisson, A.W., "Excitation of dielectric resonator antennas by a waveguide probe : modeling technique and wide-band design," *IEEE Transaction on Antennas and Propagation*, Vol. 53, No. 3., March 2005, pp.1028-1037.

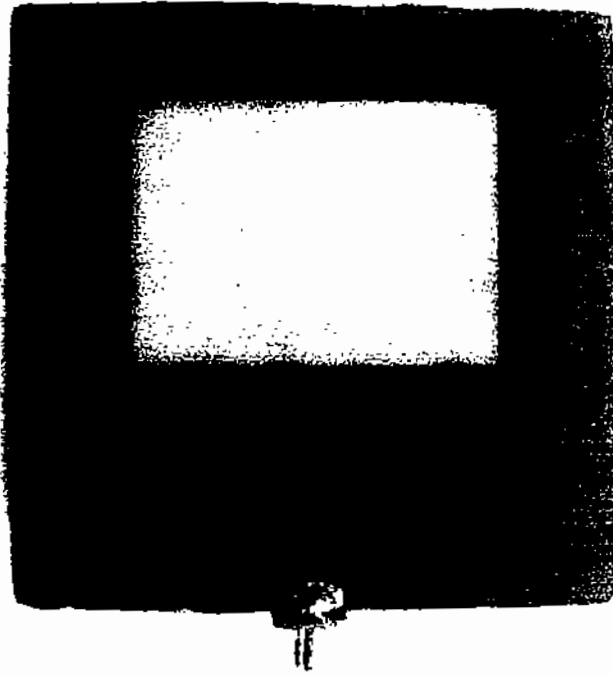
- [21] Li, R.L., Thompson, D., Papapolymerou, J., Laskar, J. & Tentzeris, M.M., "A new excitation technique for wide-band short backfire antennas," *IEEE Transaction on Antennas and Propagation*, Vol. 53, No. 7., July 2005, pp. 2313-2320.
- [22] Beniguel, Y., Berthon, A., Klooster, C.V. & Costes, L., "Design realization and measurements of a high performance wide-band corrugated horn." *IEEE Transaction on Antennas and Propagation*, Vol. 53, No. 11., November 2005, pp. 3540-3546.
- [23] Li, R.L., DeJean, G., Laskar, J. & Tentzeris, M.M., "Investigation of circularly polarized loop antennas with a parasitic element for bandwidth enhancement," *IEEE Transaction on Antennas and Propagation*, Vol. 53, No. 12., December 2005, pp. 3930-3939.
- [24] Song, C.T.P., Hall, P.S., Ghafouri-Shiraz, H., & Wake, D., "Fractal staked monopole with very wide bandwidth." *Electronics letter*, vol 35, June 1999, pp. 945-946.
- [25] Taniguchi, T. & Kobayashi, T., "An omnidirectional and low-VSWR antenna for ultra-wideband wireless systems," *Wireless Systems Laboratory of Denki University Tokyo, Japan*, 2004.
- [26] Schantz, H.G., "Ultra wideband technology gains a boost from new antennas," *Antenna Systems & Technology*, Vol. 4, Issue 1, February 2001.
- [27] Li, X., Hagness, S.C., Choi, M.K., & Weide, D.W., "Numerical and experimental investigation of an ultrawideband ridged pyramidal horn antenna with curved launching plane for pulse radiation", *IEEE on Antennas and Wireless Propagation Letters*, Vol. 2., 2003, pp. 259-262.
- [28] Powell, J. & Chandrakasan, "Differential and single ended elliptical antennas for 3.1 – 10.6 GHz ultra wideband communication," *Massachusetts Institute of Technology, USA*, 2004.
- [29] Behdad, N. & Sarabandi, K., "A compact antenna for ultrawide-band applications," *IEEE Transaction on Antennas and Propagation*, Vol. 53, No. 7, July 2005, pp. 2185-1292.

- [30] Kim, K. & Scott, Jr. R.S., "Design of a resistively loaded vee dipole for ultrawide-band ground-penetrating radar applications.," *IEEE Transaction on Antennas and Propagation*, Vol. 53, No. 8, August 2005, pp. 2525-3093.
- [31] Ying, C. & Zhang, Y.P., "A planar antenna in LTCC for single-package ultrawide-band radio," *IEEE Transaction on Antennas and Propagation*, Vol. 53, No. 7, July 2005, pp. 3089-3093.
- [32] Liang, J.X., Chiau, C.C., Cheng, X. & Parini, C.G. (2005). Study of a printed circular disc monopole antenna for UWB systems. *IEEE Transaction on Antennas and Propagation*, Vol. 53, No. 11.
- [33] Nakano, H., Fukasawa, M. & Yamauchi, J., "Discrete multiloop, modified multiloop, and plate-loop antennas-multifrequency and wide-band VSWR characteristics," *IEEE Transaction on Antennas and Propagation*, Vol. 50, No. 3, March 2002, pp. 371-377.
- [34] Jin, N. & Samii, Y.R., "Parallel particle swarm optimization and finite-difference time-domain (PSO/FDTD) algorithm for multiband and wide-band patch antenna design," *IEEE Transaction on Antennas and Propagation*, Vol. 53, No.11, November 2005, pp. 3459-3468.
- [35] Haneishi, M., Yoshida, S., and Goto, N., "A broadband microstrip array composed of single-fed type circularly polarized microstrip antennas," *Int. Symp. Dig. Antennas Propagat.* May 1982.
- [36] Teshirogi, T., Tanaka, M., and Chujo, W., "Wideband circularly polarized array antennas with sequential rotations and phase shift of elements," *Proc. Int. Symp. On Antennas & Propagat.*, Japan, August 1985.
- [37] Huang, J., "Microstrip array with wide axial ratio bandwidth and single fed LP elements," *IEEE AP-S*, 1982.
- [38] Dubost, G., and Vinatier, C., "Large bandwidth and high gain array of flat folded dipoles acting at 12 GHz," *3rd Int. Conf. on Ant. And Propag. ICAP*, Norwich, April 1982.
- [39] Dubost, G., Gueho, S., and Bizouard, A., "Log-periodic short-circuited dipole array with a squinted beam," *Electron. Lett.*, Vo. 20, 2003, pp. 411-413.

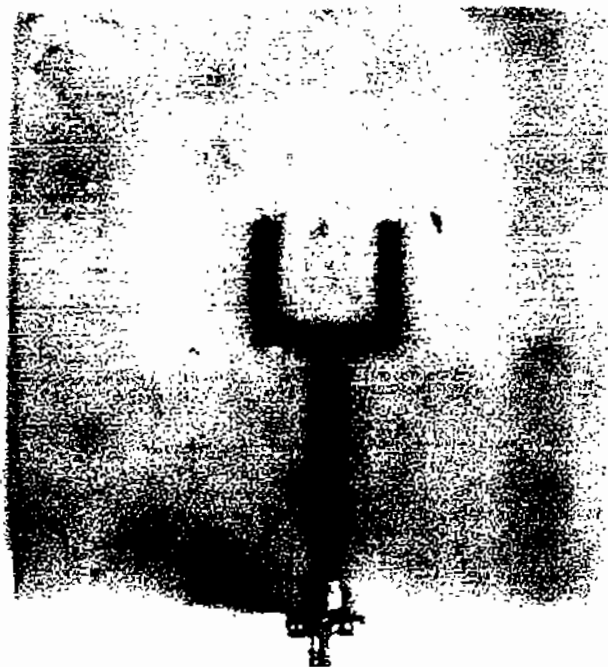
- [40] Dubost, G., Gueho, S. "Theory of large bandwidth microstrip plane array with a deflected beam," *IEEE Int. Symposium on Ant. Prop.* Boston, Mass., USA, June 1984.
- [41] Dubost, G., Samson, J., and Frin, R., "Large-bandwidth flat cylindrical array with circular polarization and omnidirectional radiation," *Electron. Lett.*, Vol. 15, 1979, pp. 102-103.
- [42] Rodgers, A., "Wideband squintless linear arrays," *Marconi Rev*, Vol 3, 1972, pp. 221-243.
- [43] Wood, C., Hall, P. S., and James, J. R., "Design of wideband circularly polarized microstrip antennas and array," *1 st IEE Int. Conference on Antennas and Propagat.* London, 1978.
- [44] Solbach, K., and Litschke, O., "Patch-array antenna fed network providing bandwidth improvement," *Gerhard Mercator Universitat Duisburg Germany*, 2001.
- [45] D.M. Pozar and B. Kaufman, "Increasing the bandwidth of a microstrip antenna by proximity coupling," *Electronics letter*, Vo. 23, August 1987, pp. 368-369.
- [46] Fitri, I., dan Rahardjo, E.T., "Antena mikrostrip dicatu saluran mikrostrip berbentuk garpu secara *proximity coupling* untuk memperlebar bandwidth." *Jurnal Teknologi*, 2004.
- [47] Fitri, I., dan Rahardjo, E.T., "Ultra-wideband microstrip slot antenna fed by a microstripline with a multi tuning stubs," *8th International Conference on Quality in Research, Electrical and Electronics*, University of Indonesia. Depok, August 2005, pp.1-4.
- [48] Fitri, I dan Rahardjo, E.T., "A compact microstrip slot antennas fed by a microstripline with a multi tuning stubs for UWB," *Asia Pacific Microwave Conference Proceeding*, Japan. December 2006, pp.1640-1643.
- [49] Fitri, I dan Rahardjo, E.T., "Antena wideband mikrostrip dua slot menggunakan jaringan impedansi multi batang pcyetelan" *Jurnal Sains dan Teknologi EMAS (Akreditasi)*, Vol. 15, No. 4, November 2005, pp.1-14.

- [50] Fitri, I dan Rahardjo, E.T., "Microstrip slot array antennas fed by a microstripline with multi tuning stubs for multi-wideband," *International symposium on Antennas and Propagation Proceeding, Singapore*, November 2006, pp.217-220.
- [51] Fitri, I., "Optimalization of microstrip slot array for multi-wideband," *Jurnal Teknologi Dirgantara*, Vol. 5 No. 1, Juni 2007, pp. 9-15.
- [52] Fitri, I dan Rahardjo, E.T, Hartanto, D., "Bandwidth enhancement of microstrip slot antennas using array technique," *Jurnal Penelitian dan Pengembangan Telekomunikasi*, Vol. 13 No. 2, Desember 2008.
- [53] Fitri, I., "Antena wideband mikrostrip slot array 8 elemen," *Jurnal Sains dan Teknologi EMAS*, Vol. 17 No. 4, November 2007, pp. 261-276.
- [54] Roddy, D. & Coolen, J., "Komunikasi elektronika." Erlangga. 1999.
- [55] Collin, R., "Foundations for microwave engineering." *McGraw-Hill*. 1992.
- [56] Bilkent University, "Analog Electronic," http://www.ee.bilkent.edu.tr/neee211/lecture_notes/chapter%20-%2004.pdf. 2004.
- [57] Balanis. C.A., "Antenna theory." *John Wiley & Sons*, United State. 1997.
- [58] Cho, Y.J., Kim, K.H., Choi, D.H., Lee, S.S. & Park, S.O., "A miniature UWB planar monopole antenna with 5-GHz band-rejection filter and the time-domain characteristics," *IEEE Transaction on Antennas and Propagation*. Vol. 54. No. 5. 2006.
- [59] Sulaiman, W., "Analisis regresi menggunakan SPSS: contoh kasus dan pemecahannya," *Penerbit Andi*. Yogyakarta, 2004, pp. 26-51.

Lampiran 1. Gambar Cetak Foto Fisik Antena Mikrostrip Slot Tunggal



Gambar L.1. Antena Mikrostrip Slot Tunggal Tampak Atas



Gambar L.2. Antena Mikrostrip Slot Tunggal Tampak Bawah