



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**RANCANG BANGUN ANTENA MIKROSTRIP SUSUN  
MENGUNAKAN JENIS PENCATUAN *APERTURE*  
*COUPLED* DENGAN SLOT BERBENTUK JAM PASIR**

**SKRIPSI**

**TAUFAL HIDAYAT**

**0806315925**

**FAKULTAS TEKNIK**

**DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO**

**DEPOK**

**JUNI 2012**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**RANCANG BANGUN ANTENA MIKROSTRIP SUSUN  
MENGUNAKAN JENIS PENCATUAN *APERTURE*  
*COUPLED* DENGAN SLOT BERBENTUK JAM PASIR**

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik**

**TAUFAL HIDAYAT**

**0806315925**

**FAKULTAS TEKNIK**

**DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO**

**DEPOK**

**JUNI 2012**

**HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS**

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,**

**dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk**

**telah saya nyatakan dengan benar.**

**Nama : TAUFAL HIDAYAT**

**NPM : 080615925**

**Tanda Tangan :** 

**Tanggal : 4 Juni 2012**

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini ditujukan oleh :

Nama : Taufal Hidayat

NPM : 0806315925

Program Studi : Teknik Elektro

Judul Skripsi: Rancang Bangun Antena Mikrostrip Susun Menggunakan Jenis Pencatuan *Aperturecoupled* Dengan Slot Berbentuk Jam Pasir

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

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. Fitri Yuli Zulkifli, S.T, MSc

Penguji : Prof. Dr. Ir. Eko Tjipto Rahardjo M.Sc

Penguji : Basari S.T., M.Eng., Ph.D

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 4 Juli 2012



## UCAPAN TERIMA KASIH

Segala puji dan syukur saya panjatkan kepada Allah SWT yang telah melimpahkan berkat, rahmat, dan karunia-Nya, sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Saya mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu baik secara langsung maupun tidak langsung selama proses dan penulisan skripsi ini, karena tanpa bantuan banyak pihak, skripsi ini tidak dapat terselesaikan tepat waktu. Terima kasih saya tujukan kepada:

1. Allah SWT yang telah memberikan kekuatan kepada saya untuk menyelesaikan skripsi dan laporan skripsi ini;
2. Ayah dan Ibu saya yang selalu memberikan ridho, doa, dan dukungan kepada saya
3. Ibu Dr. Fitri Yuli Zulkifli, S.T, M.Sc selaku pembimbing utama yang membantu memberikan arahan dan nasihat sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini;
4. Bapak Prof. Dr. Ir. Eko Tjipto Rahardjo M.Sc selaku pembimbing AMRG yang juga banyak membantu saya dalam mengerjakan skripsi ini;
5. Bapak Basari S.T., M.Eng., Ph.D selaku pembimbing AMRG yang juga banyak membantu saya dalam mengerjakan skripsi ini;
6. Aditya Inzani ST,selaku instruktur software yang telah banyak membantu dalam proses design antenna.
7. Teman – teman AMRG (*Antenna and Microwave Research Group* ) yang telah banyak membantu, bekerjasama, bertukar pikiran, dan memotivasi dalam menyelesaikan skripsi ini;
8. Para peneliti sebelum ini yang telah memberikan ide dan pengetahuan baru bagi saya;
9. Teman–teman Laboratorium Telekomunikasi, keluarga besar Elektro Angkatan 2008, dan seluruh teman–teman Departemen Teknik Elektro UI yang selalu memberi motivasi dan semangat;

Saya menyadari bahwa laporan skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan. Dengan segala kerendahan hati, saya mengharapkan kritik dan saran untuk memperbaiki laporan ini pada khususnya dan kemampuan saya pada umumnya. Semoga laporan skripsi ini dapat berguna dan memberikan manfaat bagi kita semua.

Depok, 4 Juni 2012

Penulis

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

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan dibawah ini

Nama : Taufal Hidayat  
NPM : 0806315925  
Program Studi : Teknik Elektro  
Departemen : Teknik Elektro  
Fakultas : Teknik  
Jenis Karya : Skripsi

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 :

**RANCANG BANGUN ANTENA MIKROSTRIP SUSUN  
MENGUNAKAN JENIS PENCATUAN APERTURE  
COUPLED DENGAN SLOT BERBENTUK JAM PASIR**


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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada Tanggal : 4 Juni 2012

Yang menyatakan,

  
(Taufal Hidayat)

## ABSTRAK

Nama : Taufal Hidayat  
Program Studi : Teknik Elektro  
Judul : Rancang Bangun Antena Mikrostrip Susun Menggunakan Jenis Pencatuan *Aperture coupled* Dengan Slot Berbentuk Jam Pasir

Kebutuhan akan antenna yang bersifat murah, ringan dan *low profile* namun dapat menghasilkan performansi berupa *Gain* yang besar dan *Half Power Beamwidth* (HPBW) yang kecil semakin tinggi. Untuk mencapai spesifikasi tersebut salah satu metode yang dapat dilakukan adalah dengan merancang antenna mikrostrip *array* menggunakan teknik pencatuan berupa *aperture coupled* dengan slot berbentuk jam pasir. Dengan jenis antenna ini berhasil diperoleh antenna *array* yang berkerja pada frekuensi 2.85 GHz- 2.9 GHz dengan *gain array* 8 element sebesar 13 dB serta dengan HPBW sebesar  $11^{\circ}$ . Dengan meningkatkan jumlah *array*, maka *Gain* yang diperoleh dapat lebih tinggi serta dengan HPBW yang lebih kecil.

Kata kunci : *microstrip array*, *aperture coupled feed*, slot jam pasir, *gain*, HPBW.

## ABSTRACT

Name : Taufal Hidayat  
Program Study : Teknik Elektro  
Title : *Aperture coupled* Feed Microstrip Array Antenna Design With Hour Glass Slot

Requirement for low cost, light and low profile antenna but with high *gain* and very small half power beam width (HPBW) is increasing nowadays. One method to achieve these specification is using microstrip array design using *aperture coupled* feeding technique with hour glass slot. With this method, an array antenna with eight element has been designed. This antenna works at band frequency 2.85 GHz -2.9 GHz with *gain* about 13 dB and HPBW about  $11^{\circ}$ . By increasing the number of array element, the *gain* can be higher with smaller HPBW.

Keyword: *microstrip array, aperture coupled feed, hour glass slot, gain, HPBW*

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINILITAS .....	ii
LEMBAR PENGESAHAN .....	iii
KATA PENGANTAR .....	iv
ABSTRAKSI .....	vi
DAFTAR ISI .....	viii
DAFTAR GAMBAR .....	ix
DAFTAR TABEL .....	xii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Tujuan .....	2
1.3 Pembatasan Masalah .....	3
1.4 Metodologi Penulisan .....	3
1.5 Sistematika Penulisan .....	4
<b>BAB II PEMBAHASAN</b> .....	
2.1 Definisi Dan Jenis Antenna Mikrostrip .....	5
2.2 Model saluran transmisi pada Antena mikrostrip .....	7
2.3 <i>Bandwidth</i> dan Efisiensi pada antena mikrostrip .....	8
2.4 Design Patch Rectangular .....	9
2.5 Gelombang Permukaan .....	10
2.6 <i>Aperture coupled</i> Mikrostrip Antenna .....	12
2.7 Jenis-Jenis Slot Pada <i>Aperture coupled</i> Antenn .....	17
2.8 Antena <i>Aperture Coupled Microstrip Array</i> .....	17

<b>BAB III PERANCANGAN ANTENA DAN SIMULASI</b> .....	21
3.1 Peralatan Yang Digunakan .....	21
3.2 Flowchart Pembuatan LWA Microstrip Array .....	22
3.3 Menentukan Karakteristik Antena .....	23
3.4 Desain Perancangan Antenna Satu Element. ....	24
3.4.1 Perancangan Antena Mikrostrip Conventional Dengan Pencatuan Microstrip Line .....	24
3.4.2. Perancangan Antena Mikrostrip Dengan Jenis Pencatuan <i>Aperture coupled</i> Dengan Slot Berbentuk Rectangular.....	30
3.4.3. Perancangan Antena Mikrostrip Dengan Jenis Pencatuan <i>Aperture coupled</i> Dengan Slot Berbentuk Jam Pasir.....	36
3.5 Desain Perancangan Power Divider.....	41
3.6 Perancangan Antena Array.....	43
3.6.1 Simulasi Dengan Menggunakan Antenna Satu Element.....	43
3.6.2 Perancangan Antena Array Menggunakan Power Divider.....	44
3.6.2.1 Perancangan Array 2 Elemen.....	44
3.6.2.2 Perancangan Array 4 Elemen.....	48
3.6.2.3 Perancangan Array 8 Elemen.....	51
<b>BAB IV Hasil Pengukuran</b> .....	55
4.1 Kondisi Pengukuran.....	55
4.1.1 Perhitungan Jarak Medan Jauh.....	55
4.1.2 Perhitungan Ketinggian Antena.....	56
4.2 Peralatan.....	56
4.2.1 Perangkat Keras.....	56
4.2.2 Perangkat Lunak.....	57

4.3 Hasil Pengukuran.....	58
4.3.1 Pengukuran Antena Satu Element.....	56
4.3.1.1 Foto Hasil Fabrikasi Antena .....	58
4.3.1.2 Pengukuran Port Tunggal.....	59
4.3.1.3 Pengukuran Port ganda.....	59
4.3.2 Pengukuran Antena Array 8 Element.....	63
4.3.2.1 Pengukuran Port Tunggal.....	63
4.3.2.2 Pengukuran Port ganda.....	66
4.3.2.2.1 Pengukuran Pola Radiasi.....	66
4.3.2.2.2 Pengukuran Gain.....	68
4.4 Analisis.....	69
<b>BAB V Kesimpulan .....</b>	<b>70</b>
Daftar Referensi.....	71
Lampiran A.....	75
Lampiran B.....	82

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 pola dasar antena mikrostrip hal.....	5
Gambar 2.2 jenis-jenis bentuk antena mikrostrip hal.....	7
Gambar 2.3 model saluran antena mikrostrip.....	8
Gambar 2.4 Gelombang permukaan pada antena mikrostrip.....	10
Gambar 2.5 Struktur umum aperture couple mikrostrip antenna.....	13
Gambar 2.6 Parameter umum aperture couple mikrostrip antenna.....	13
Gambar 2.7 Jenis-jenis slot pada antena <i>Aperture coupled</i> .....	17
Gambar 2.8 Jenis Feeding network : Paralel End Feed.....	19
Gambar 2.9 Jenis Feeding network : Paralel Center Feed.....	19
Gambar 2.10 Jenis Feeding network : Series End Feed.....	19
Gambar 2.11 Jenis Feeding network pada LWA : Series center Feed.....	20
Gambar 3.1 flowchart perancangan antena mikrostrip dengan pencatuan <i>aperture coupled</i> .....	22
Gambar 3.2 Design Antena Mikrostrip Konvensional.....	24
Gambar 3.3 Parameterisasi Lebar patch.....	26
Gambar 3.4 Parameterisasi lebar patch.....	26
Gambar 3.4 Parameterisasi Lebar Stub.....	27
Gambar 3.5 hasil design antena mikrostrip conventional.....	28
Gambar 3.6 Hasil simulasi S11 Antena.....	28
Gambar 3.7 Design Antena <i>Aperture coupled</i> Microstrip dengan slot berbentuk rectangular.....	30
Gambar 3.8 Parameterisasi Panjang Slor Aperture Pada Antenna <i>Aperture coupled</i> Microstrip.....	32
Gambar 3.9 Parameterisasi nilai Aperture Pada Antenna <i>Aperture coupled</i> Microstrip.....	32
Gambar 3.10 Parameterisasi lebar stub Aperture Pada Antenna <i>Aperture coupled</i> Microstrip.....	33
Gambar 3.11 Hasil Simulasi S11 Antena <i>Aperture coupled</i> Microstrip.....	34
Gambar 3.12 Design Antena <i>Aperture coupled</i> Microstrip.....	37



Gambar 3.13 Parameterisasi Nilai Perbandingan Lebarslot Tengah Dan Slot Samping(K)PadaAntennaApertureCoupledMicrostrip.....	37
Gambar 3.14 Hasil Simulasi S11 Dari Antenna <i>Aperture Coupled Microstrip</i> Dengan Slot Berbentuk Jam Pasir.....	39
Gambar 3.15 Desain Power Divider 4 kaki.....	42
Gambar 3.16 Hasil Simulasi Power divider 4 kaki.....	43
Gambar 3.17 Parameterisasi Jarak Antar Elemen Pada Antena Array.....	45
Gambar 3.18 Tampak Depan Design Antena Array 2 element.....	45
Gambar 3.19 Tampak Belakang Design Antena Array 2 element.....	46
Gambar 3.20 Hasil Simulasi Antena Array 2 elemen.....	46
Gambar 3.21 Tampak Depan Antena Array 4 Elemen.....	48
Gambar 3.22 Tampak Belakang Antena Array 4 Elemen.....	48
Gambar 3.23 Hasil Simulasi Antena Array 4 Elemen.....	49
Gambar 3.24 Tampak Depan Design Antena Array 8 Element .....	51
Gambar 3.25 Tampak Belakang Design Antena Array 8 Element.....	51
Gambar 3.26 Hasil Simulasi S11 Antena Array 8 Element.....	52
Gambar 4.1 Hasil Fabrikasi Antena Satu Element.....	58
Gambar 4.2 Hasil Pengukuran Return Loss Antena Satu Element.....	59
Gambar 4.3 Hasil Pengukuran VSWR Antenna Satu Element.....	60
Gambar 4.4 Hasil Pengukuran Impedansi Antena.....	61
Gambar 4.5 Hasil Pengukuran Gain Antena Satu Element.....	61
Gambar 4.6 Hasil Fabrikasi Antena Array 8 Element.....	63
Gambar 4.7 Hasil Pengukuran Return Loss Antenna Array 8 element.....	64
Gambar 4.8 Hasil Pengukuran VSWR Antenna Array 8 element.....	65
Gambar 4.9 Hasil Pengukuran Impedansi Antena.....	66
Gambar 4.10 Hasil Pengukuran Pola Radiasi Antena Array 8 element	
Bidang E.....	67

Gambar 4.11 Hasil Pengukuran Pola Radiasi Antena Array 8 element	
Bidang H.....	67
Gambar 4.12 Grafik Gain Antena.....	67
Gambar 4.13 Perbandingan Hasil Simulasi Dan Pengukuran Return Loss Antena	
Satu Elemen .....	69
Gambar 4.14 Perbandingan Hasil Simulasi Dan Pengukuran Return Loss Antenna	
Susun 8 Elemen .....	69
Gambar 4.15 Perbandingan Hasil Simulasi Dan Pengukuran Pola Radiasi Medan	
E Co Polarisasi Antenna Susun 8 Elemen.....	70
Gambar 4.16 Perbandingan Hasil Simulasi Dan Pengukuran Pola Radiasi Medan	
H Co Polarisasi Antenna Susun 8 Elemen.....	71

## DAFTAR TABEL

Table 2.1 Karakteristik Substrat Yang Diperlukan Pada Antenna Mikrostrip ...	11
Tabel 2.2 Aplikasi Antena <i>Aperture Coupled</i> Mikrostrip.....	18
Table 3.1 Hasil Pola Radiasi Antena Mikrostrip Konvensional.....	29
Table 3.2 Hasil Simulasi Karakteristik Pola Radiasi Antena Mikrostrip Konvensional.....	30
Tabel 3.3 Gambar Hasil Pola Radiasi Antena <i>Aperture coupled</i> Mikrostrip...	35
Tabel 3.4 Hasil Pola Radiasi Antena <i>Aperture coupled</i> Mikrostrip.....	36
Table 3.5 Gambar Hasil Simulasi Pola Radiasi Antena <i>Aperture coupled</i> Mikrostrip Dengan Slot Berbentuk Jam Pasir.....	40
Tabel 3.6 Hasil Simulasi Pola Radiasi Antena <i>Aperture coupled</i> Mikrostrip Dengan Slot Berbentuk Jam Pasir.....	41
Tabel 3.7 Perbandingan Paramater Antena Array 2n Dengan Perhitungan.....	44
Tabel 3.8 Gambar Hasil Simulasi Pola Radiasi Array 2 Elemen.....	47
Tabel 3.9 Hasil Simulasi Pola Radiasi Antena Array 2 Element.....	48
Tabel 3.10 Gambar Hasil Pola Radiasi Antena Array 4 Elemen.....	50
Tabel 3.11 Hasil Simulasi Pola Radiasi Antena <i>Array</i> 4 elemen.....	50
Tabel 3.12 Gambar Hasil Simulasi Pola Radiasi Antena Array 8 Elemen.....	53
Tabel 3.13 Hasil Simulasi Pola Radiasi Antena Array 8 Elemen.....	53
Tabel 4.1 Hasil Pengukuran Gain Antenna Single Element.....	62
Tabel 4.2 Hasil Pengukuran Gain Antenna Array Element.....	68

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Kebutuhan akan antena yang bersifat *low profile*, ukuran yang relatif kecil dan ringan namun mampu memiliki performansi yang baik pada saat ini makin meningkat, hal ini terjadi karena peralatan-peralatan elektronik terutama untuk komunikasi saat ini memiliki ukuran yang makin lama makin mengecil ukurannya, sehingga antena sebagai pintu gerbang komunikasi pada peralatan elektronik tersebut juga harus memiliki dimensi yang kecil. Performansi yang diperlukan yang mesti dicapai yaitu berupa *gain* yang tinggi, *bandwidth* yang lebar dan lainnya. Salah satu solusi untuk mengatasi masalah di atas yaitu dengan menggunakan model antena mikrostrip. Jenis antena memiliki karakteristik berupa ukuran yang lebih kecil, ringan, *low profile*, serta mudah untuk difabrikasi. Selain itu jenis antena mikrostrip juga relatif lebih mudah jika ingin diintegrasikan dengan rangkaian-rangkaian microwave lainnya.

Namun, antena mikrostrip mempunyai beberapa kekurangan dibandingkan dengan jenis antena lainnya seperti antena *waveguide* atau antena parabolic, kekurangan pertama yaitu masalah *bandwidth*, antena mikrostrip konvensional biasanya hanya dapat menghasilkan bandwidth 3-5% [1]. Selain itu, antena mikrostrip juga tidak dapat mencapai nilai *gain* yang tinggi, antena mikrostrip konvensional biasanya hanya mampu mencapai *gain* sebesar 30dBi.

Untuk mengatasi kekurangan dari antena mikrostrip terutama masalah lebar *bandwidth* yang kecil, beberapa variasi geometri parameter dari antena sudah didesain, diantaranya menggunakan resonator tambahan[2], menggunakan celah udara pada substrat [3], dan menggunakan jenis pencatutan *aperture coupled* [4]. Untuk rancangan pada penulisan skripsi ini menggunakan metode pencatutan berupa *aperture coupled* untuk mencapai *bandwidth* yang lebar.

Beberapa kelebihan dari jenis antena mikrostrip ini yaitu dapat mencapai *bandwidth* yang lebar yaitu 5-50 % [1], radiasi dari pencatu yang tidak mengganggu radiasi utama dari *patch*, dan lebih mudah untuk diintegrasikan dengan rangkaian microwave lainnya. Beberapa penelitian telah dilakukan tentang jenis pencatuan *aperture coupled*, penelitian pertama dilakukan oleh Pozar pada tahun 1985 menggunakan slot berbentuk circular [4], untuk meningkatkan coupling slot berbentuk rectangular telah diajukan oleh Sullivan dan Schaubert [5]. Jenis slot yang lain juga telah banyak diteliti, diantaranya menggunakan *bow-tie* slot dan *H* slot [6]-[9]

Masalah kedua pada jenis antena mikrostrip yaitu *gain* yang relatif rendah. Antena mikrostrip konvensional satu elemen hanya dapat menghasilkan *gain* absolut sebesar 3-6 dBi, sedangkan antena untuk aplikasi radar biasanya membutuhkan *gain* yang tinggi mencapai 40 dBi. Untuk itu antena mikrostrip ini perlu dijadikan antena susun guna mendapatkan *gain* yang lebih besar dan juga besar *beamwidth* yang lebih kecil.

## 1.2 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah melakukan rancang bangun antena mikrostrip susun 8 elemen yang berkerja pada frekuensi 2.85-2.90 GHz dengan menggunakan pembagi daya paralel dengan jenis pencatuan *aperture coupled* dengan slot berbentuk jam pasir. Spesifikasi utama dari antena yang ingin dicapai yaitu antena *array* dengan *beamwidth* lebih kecil dari  $15^{\circ}$  dengan *gain* besar dari 10 dBi.

## 1.3 Batasan Masalah

Penelitian ini dibatasi pada perancangan antena mikrostrip array 8 elemen untuk mencapai spesifikasi frekuensi kerja 2.85-2.90 GHz pada VSWR <1.5, serta dengan *beamwidth* < $15^{\circ}$  dan *gain* besar dari 10 dBi

## 1.4 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan pada penulisan skripsi ini adalah:

### a. Studi Kepustakaan

Metode ini dilakukan berdasarkan penelitian pada bahan-bahan literatur seperti jurnal-jurnal penelitian, buku, artikel yang telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya.

### b. Simulasi Perangkat Lunak

Menggunakan perangkat lunak khusus untuk mensimulasikan rancangan antenna dan melihat parameter-parameter antenna berdasarkan hasil simulasi.

## 1.5 Sistematika Penulisan

Penulisan makalah ini mengikuti sistematika sebagai berikut ini :

### BAB 1 :PENDAHULUAN

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

### BAB 2 : ANTENA MIKROSTRIP *ARRAY*

Bagian ini akan berisi tentang bahasan teori dasar mengenai parameter antenna, teori antenna mikrostrip, dan teori tentang *aperture coupled feed*.

### BAB 3 PERANCANGAN ANTENA DAN SIMULASI

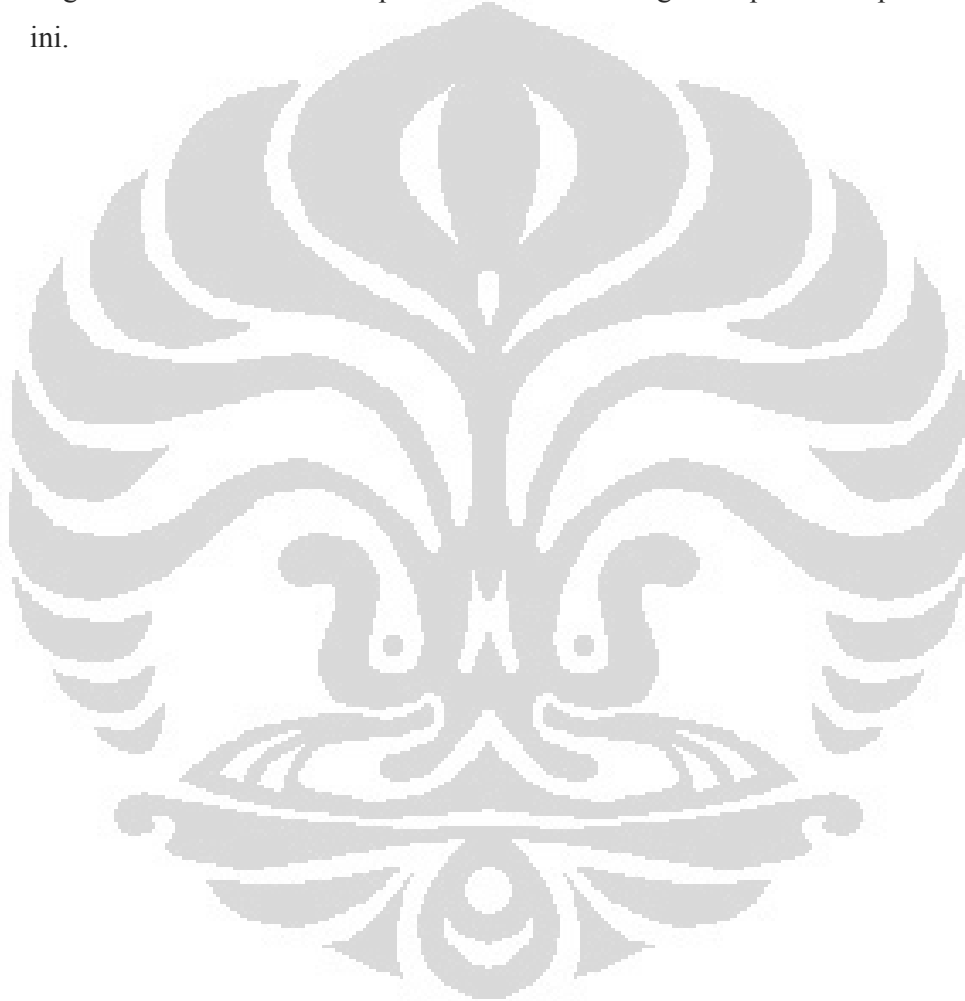
Bagian ini memberikan penjelasan mengenai perlengkapan yang dibutuhkan dalam perancangan. Desain mikrostrip antenna satu element dengan pencatutan menggunakan prinsip *aperture coupling*, lalu desain antenna *sub array* dengan *feeding network* menggunakan *parallel coupled feed network*

#### BAB 4 PENGUKURAN

Bagian ini menjelaskan hasil pengukuran dari antena yang sudah didesain. Dan perbandingan ddengan hasil simulasi.

#### BAB 5 KESIMPULAN

Bagian bab ini berisi kesimpulan dari seluruh rangkaian penulisan pembahasan ini.



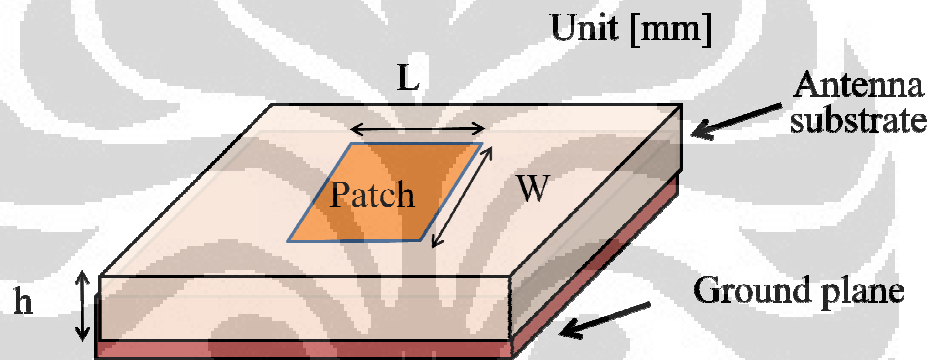
**UNIVERSITAS INDONESIA**

## BAB II

### ANTENA MIKROSTRIP ARRAY

#### 2.1 Definisi dan Jenis Antena Mikrostrip

Antena mikrostrip dapat didefinisikan sebagai salah satu jenis antena yang mempunyai bentuk seperti bilah atau potongan yang mempunyai ukuran yang sangat tipis/kecil [9]. Struktur dari antena mikrostrip secara umum dapat digambarkan seperti Gambar 2.1 dibawah ini



Gambar 2.1 Pola Dasar Antena Mikrostrip

Dalam bentuk dasar, seperti yang digambarkan pada Gambar 2.1 antena mikrostrip terdiri atas tiga lapisan, yaitu *patch* pada bagian paling atas yang berfungsi sebagai radiator, substrat dielektrik pada bagian *patch* dan *ground plane* pada bagian dasar antena. *Patch* dan *ground plane* umumnya di buat dari material konduktor, misalnya tembaga. Bentuk *patch* antena mikrostrip yang biasa dibuat yaitu berupa persegi, persegi panjang, lingkaran, segitiga atau elips.

Antena mikrostrip mempunyai karakteristik sebagai berikut :

1. Kemampuan mengadopsi teknologi *printed-circuit* modern. Pembuatan antena mikrostrip dapat dikatakan cukup mudah, yaitu dengan cara



*photolithographic*. Cara ini mirip dengan mencetak PCB untuk aplikasi pada frekuensi tinggi.

2. Kompatibel dengan desain modular. Antena mikrostrip mudah untuk diintegrasikan dengan piranti dan *solid state* lainnya seperti *amplifier*, *oscillator*, *modulator*, *attenuator*, dan sebagainya. Elemen tersebut dapat ditambahkan pada substrat dielektrik tanpa memerlukan proses yang sulit.
3. Memiliki fitur-fitur menarik. Antena memiliki ukuran yang lebih kecil, lebih ringan dan *low profile* dibanding jenis antena lainnya

Antena mikrostrip mempunyai nilai radiasi yang paling kuat terutama pada daerah pinggiran diantara tepi *patch*. Untuk performa yang baik biasanya substrat dibuat tebal dengan konstanta dielektrik yang lebih rendah. Hal ini akan menghasilkan efisiensi dan radiasi yang lebih baik serta *bandwidth* yang lebih lebar, namun akan menambah ukuran antena itu sendiri.

Antena mikrostrip mempunyai keuntungan dibanding antena lainnya, yaitu sebagai berikut [11] :

1. Mempunyai bobot yang ringan dan volume yang kecil.
2. Konfigurasi yang *low profile* sehingga bentuknya dapat disesuaikan dengan perangkat utamanya.
3. Biaya fabrikasi yang murah sehingga dapat dibuat dalam jumlah yang besar.
4. Mendukung polarisasi linear dan sirkular.
5. Dapat dengan mudah diintegrasikan dengan *microwave integrated circuits* (MICs)
6. Kemampuan dalam *dual frequency* dan *triple frequency*.
7. Tidak memerlukan catuan tambahan.

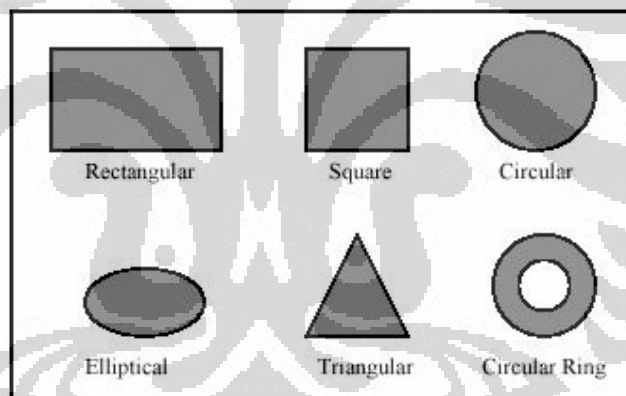
Namun antena mikrostrip juga mempunyai beberapa kekurangan yaitu [11]:

1. *Bandwidth* yang sempit
2. Efisiensi yang rendah

3. Penguatan yang rendah
4. Memiliki rugi-rugi hambatan (*ohmic loss*) pada pencatuan antenna array
5. Memiliki daya (power) yang rendah
6. Timbulnya gelombang permukaan (*surface wave*)

Berdasarkan bentuk *Patch* nya antenna mikrostrip seperti ditampilkan pada Gambar 2.2 terbagi menjadi [12] :

1. Antena mikrostrip *patch* persegi panjang (*rectangular*)
2. Antena mikrostrip *patch* persegi (*square*)
3. Antena mikrostrip *patch* lingkaran (*circular*)
4. Antena mikrostrip *patch* elips (*elliptical*)
5. Antena mikrostrip *patch* segitiga (*triangular*)
6. Antena mikrostrip *patch* *circular ring*



Gambar 2.2 Jenis-Jenis Bentuk Antena Mikrostrip

## 2.2 Model Saluran Transmisi Pada Antena Mikrostrip

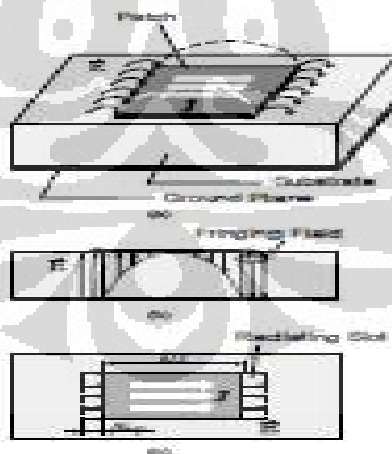
Antena mikrostrip dapat dianalisis dengan beberapa model di antara model saluran transmisi, model *cavity* dan mode gelombang penuh. Dari ketiga model tersebut, mode saluran transmisi merupakan metode yang paling sering digunakan untuk menganalisis antena mikrostrip karena model ini paling sederhana dan memberikan pengertian fisik yang baik. Model saluran transmisi

merepresentasikan antenna mikrostrip sebagai slot yang lebarnya  $W$  dan tingginya  $h$ , dipisahkan oleh saluran transmisi yang panjang  $L$  seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.3. Sebagian besar garis medan listrik berada dalam substrat dan sebagian di udara. Sehingga saluran transmisi ini tidak dapat mendukung mode transmisi TEM murni, karena kecepatan fasa di udara di substrat berbeda. Mode propagasi yang dominan akan berupa mode *quasi* TEM.

Konstanta dielektrik efektif ( $\epsilon_{eff}$ ) harus digunakan untuk menghitung perambatan gelombang pada saluran. Nilai  $\epsilon_{eff}$  sedikit lebih kecil daripada  $\epsilon_r$ , karena medan di sekitar batas luar *patch* tidak semuanya di dalam substrat dielektrik tetapi ada yang di udara. Nilai  $\epsilon_{eff}$  dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(1 + 12 \frac{h}{W}\right)^{-\frac{1}{2}} \quad (2.1)$$

Untuk beroperasi pada mode  $TM_{10}$ , panjang *patch* harus sedikit lebih pendek dari setengah panjang gelombang dalam medium dielektrik. Mode  $TM_{10}$  menunjukkan bahwa ada satu variasi medan pada panjangnya dan tidak ada variasi pada lebar *patch*.



Gambar 2.3 model saluran pada antenna mikrostrip [1]

### 2.3 *Bandwidth* Dan Efisiensi Pada Antena Mikrostrip

*Bandwidth* dari antena dipengaruhi oleh faktor kualitas dari antena, *bandwidth* dari antena akan mengingkat dengan mengecilnya faktor kualitas dari antena. Faktor kualitas dari antena berbanding terbalik dengan volume dan ukuran dari antena, volume antena pada antena mikrostrip terutama dipengaruhi oleh tebal dari substrat yang digunakan. Sehingga dapat disimpulkan bahwa *bandwidth* akan meningkat dengan makin tebalnya substrat dielektrik yang digunakan. Selain ketebalan, kator lain yang mempengaruhi *bandwidth* dari antena yaitu nilai permisivitas dari antena, makin kecil nilai permisivitas yang digunakan maka makin besar *bandwidth* yang dihasilkan.

Berlawanan dengan *bandwidth*, efisiensi dari *patch* antena menurun dengan meningkatnya ketebalan substrat dan meningkat dengan penurunan nilai permisivitas relatif. Dari semua keterangan diatas dapat dikatakan nilai permisivitas yang kecil sangat diperlukan untuk meningkatkan spesifikasi yang ingin dicapai pada antena seperti *bandwidth*, efisiensi dan lainnya.

### 2.4 Desain *Patch Rectangular*

Salah satu bentuk antena microstrip yang sering di buat adalah berbentuk *rectangular*. Pada bentuk antena mikrostrip ini, agar rongga dibawah elemen antena beresonansi, panjangnya harus mendekati setengah panjang gelombang efektifnya. Dengan memperhatikan pengaruh medan limpahan pada sisi yang meradiasi panjang fisik (L) antena dapat ditentukan sebagai persamaan (2.2) :

$$L = \frac{1}{2f_r \sqrt{\mu_o \epsilon_o}} - 2\Delta L \quad (2.2)$$

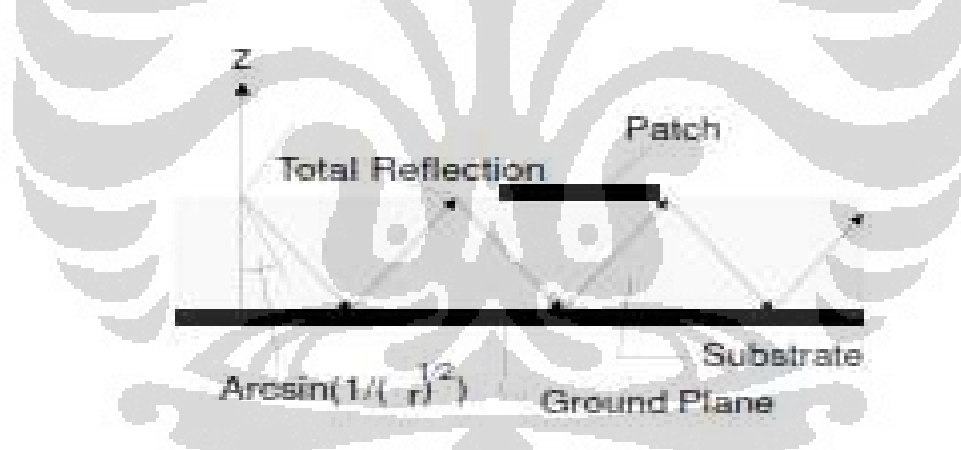
Untuk menentukan lebar elemen optimum dapat dicari dengan persamamaan (2.21) :

$$W = \frac{1}{2f_r \sqrt{\mu_o \epsilon_o}} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} \quad (2.3)$$

Dengan  $\lambda_0$  sebagai panjang gelombang dalam ruang bebas dan  $\epsilon_0$  merupakan konstanta dielektrik. Persamaan diatas dirumuskan berdasarkan pertimbangan pengaruh lebar terhadap lebar pita, eksitasi mode-mode orde tinggi dan efisiensi radiasi antena.

## 2.5 Gelombang Permukaan

Tujuan utama dari design sebuah antena mikrostrip adalah agar gelombang elektro magnetik teradiasi ke lingkungan luar atau biasa juga disebut sebagai radiasi utama, daya dari gelombang yang teradiasi biasanya akan berkurang sebanding dengan jarak  $1/r^2$ . Tapi selain radiasi utama tersebut juga ada radiasi gelombang yang tidak diinginkan terjadi, salah satunya yaitu gelombang permukaan, terjadinya gelombang radiasi utama dan gelombang permukaan dapat dilihat pada Gambar 2.4



Gambar 2.4 Gelombang Permukaan Pada Antena Mikrostrip [1]

Seperti ditunjukkan pada Gambar 2.4 gelombang permukaan merambat dari *patch* menuju substrat lalu akan dipantulkan oleh *ground plane*, daya karena gelombang permukaan ini akan berkurang sebanding dengan  $1/r^2$  dengan meningkatnya jarak. Adanya gelombang permukaan ini akan mengurangi efisiensi ( $\eta$ ) dari antena, nilai efisiensi dari antena dapat dirumuskan pada persamaan (2. 4)

$$\eta = \frac{P_r}{P_{in}} = \frac{P_r}{P_r + P_s + P_{cu} + P_{di}} = \frac{G(\theta, \varphi)}{D(\theta, \varphi)} \quad (2.4)$$

Dimana  $P_r$  adalah daya radiasi,  $P_{in}$  adalah daya input,  $G(\theta, \varphi)$  adalah power *gain* dan  $D(\theta, \varphi)$  adalah directivity *gain*. Input power adalah penjumlahan dari daya dari surface wave  $P_s$ , rugi-rugi *copper*  $P_{cu}$  dan rugi-rugi dielectric  $P_{di}$ .

Untuk mengurangi terjadinya surface wave maka sebaiknya dipakai substrat yang tipis dengan nilai permitivitas yang besar. Sedangkan jika dibandingkan dengan spesifikasi antena sebagai peradiasi, untuk memperoleh *bandwidth* yang lebar diperlukan substrat yang tebal dengan permitivitas yang kecil. Dengan begitu dapat disimpulkan kalau spesifikasi yang dibutuhkan pada antena mikrostrip berdasarkan substrat yang digunakan yaitu :

Tabel 2.1 Karakteristik Substrat Yang Diperlukan Pada Antena Mikrostrip

	Substrat type	
permitivity	tipis	tebal
kecil	-	Antena
besar	line dan circuit	gelombang permukaan

Dari Tabel 2.1 dapat dilihat bahwa ada pertentangan kebutuhan dari antena dibanding dengan kebutuhan dari pencatu dan rangkaian, sehingga untuk antena mikrostrip konvensional optimisasi tidak dapat dilakukan secara bersamaan untuk kedua spesifikasi tersebut karena pencatu dan rangkaian antena terletak pada substrat yang sama. Selain itu saluran pencatu yang terdapat pada substrat yang sama dengan peradiasi utama akan menghasilkan radiasi yang akan cenderung akan mengganggu radiasi utama. Untuk mengatasi permasalahan ini maka dikembangkanlah jenis pencatu lain seperti pencatuan dengan jenis *aperture coupled* dimana antara saluran pencatu dan *patch* terletak pada substrat yang berbeda, sehingga antena dapat dioptimalisasi secara lebih leluasa guna meningkatkan *gain* dan *bandwidth* antena sekaligus dengan mengurangi terjadinya gelombang permukaan dan radiasi pengganggu oleh saluran pencatu.

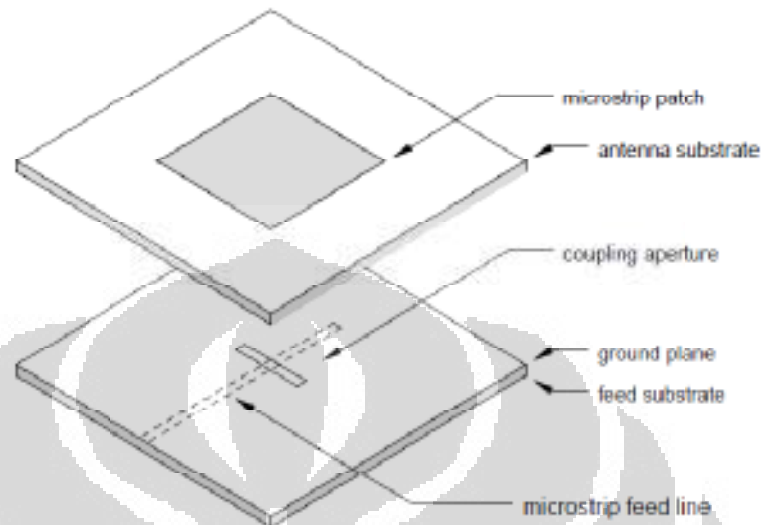
## 2.6 Aperture Coupled Microstrip Antenna

Antena mikrostrip yang digunakan pada penelitian dan penulisan skripsi ini yaitu jenis antena *aperture coupled* mikrostrip antena. Jenis antena mikrostrip ini menggunakan *dual layer* substrat yaitu *patch* substrat dan *feed* substrat. Kata *coupled* ini dimaksudkan karena antena ini dicatu dengan prinsip *coupling* dari pencatu yang ada di *feed substrat* bagian bawah melewati celah/*aperture* yang ada pada *ground plane* di bagian tengah ke *patch substrate* ke bagian atas.

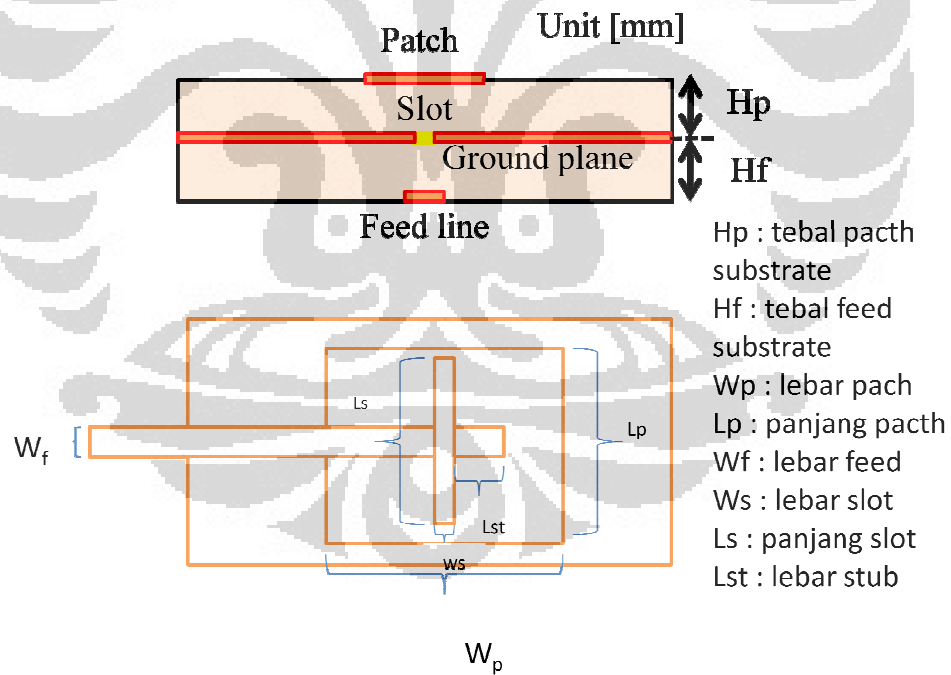
Kelebihan dari antena mikrostrip ini dibanding dengan jenis antena yang lain yaitu [6]:

1. Dapat menghasilkan *bandwidth* dari rentang 5% - 50%
2. Dapat dengan bebas memilih substrat guna optimisasi parameter antena. Hal ini karena antara *feed line* dan *patch* nya terpisah
3. Konstruksi *dual layer* akan melindungi radiasi utama dari *patch* terhadap radiasi dari *feed network*
4. Meningkatkan jarak antena dan *feed line*
5. Mudah diintegrasikan dalam bentuk *active array*
6. Secara teoritis menghasilkan cross polarisasi.
7. Dapat diterapkan pada berbagai variasi ukuran *patch*, ukuran *aperture*, type *feed line*, *radome* dan sebagainya

Desain antenna ini secara umum dapat digambarkan pada Gambar 2.5 [13]



Gambar 2.5 Struktur Umum *Aperture Couple* Mikrostrip Antena [1]



Gambar 2.6 Parameter Umum *Aperture Couple* Mikrostrip Antena



Berdasarkan Gambar 2.5 dan 2.6, pada antena mikrostrip dengan jenis pencatutan *aperture coupled, patch* yang beradiasi di *etching* pada bagian atas substrat antena, dan mikrostrip *feed line* pada bagian bawah di *feed* substrat. Ketebalan dan konstanta dielektrik dari kedua substrat ini dapat ditentukan secara bebas untuk mengoptimalkan efisiensi radiasi dan rangkaian dari antena yang ingin didesain. Hal ini karena radiasi dari *feed line* yang biasanya jadi kendala pada antena mikrostrip biasa, pada antena mikrostrip jenis ini tidak mempengaruhi radiasi dari *patch* utama dari substrat.

Beberapa parameter yang perlu diperhatikan dalam mendesain antena *aperture coupled microstrip* berdasarkan Gambar 2.6 yaitu [13]:

1. Dielectric konstan  $\epsilon_r$  dari substrat antena

Pengaruh  $\epsilon_r$  dari substrat antena yaitu pada *bandwidth* dan efisiensi radiasi dari antena. Substrat dengan *permutivity* yang lebih rendah akan menghasilkan *bandwidth* yang lebih lebar dan juga mengurangi efek eksitasi gelombang permukaan yang akan berpengaruh pada efektifitas radiasi.

2. Ketebalan dari substrat antena ( $H_p$ )

Pengaruh dari ketebalan substrat yaitu pada *coupling level* dan *bandwidth*. Makin tipis substrat yang digunakan maka *bandwidth* yang dihasilkan akan lebih besar namun akan mengecilkan *coupling* yang dihasilkan pada *aperture*

3. Panjang antena mikrostrip ( $L_p$ )

Panjang dari antena mikrostrip berpengaruh pada frekuensi resonan dari antena

4. Lebar antena mikrostrip ( $W_p$ )

Lebar dari *patch* antena berpengaruh pada resistansi resonan dari antena, makin lebar *patch* maka akan menghasilkan resistansi yang lebih kecil

5. Konstanta dielektrik  $\epsilon_r$  dari *feed* substrat

Rentang dari  $\epsilon_r$  feed substraee yang digunakan yaitu dari 2-10 mm

#### 6. Ketebalan *feed* substrat ( $H_f$ )

Tebal *feed* substrat yang tipis akan menghasilkan radiasi radiasi *feed line* yang lebih kecil pula sehingga dapat meminimalisir terjadi radiasi yang tidak diinginkan. Tebal substrate yang biasa digunakan yaitu  $0.01 \lambda - 0.02 \lambda$ .

#### 7. Panjang Slot ( $L_s$ )

Panjang slot akan berefect pada level coupling. Panjang dari slot harus didesain tidak begitu besar untuk memperoleh impedabce machthing

#### 8. Lebar slot ( $W_s$ )

Lebar slot juga berpengaruh pada level coupling. Rasio dari panjang slot dan lebar slot bisanya adalah 1/10

#### 9. Lebar *feed line* ( $W_f$ )

Lebar *feed line* berpengaruh untuk mengatur *karaterisitik impedance* dari *feed line* dan juga pada pengaturan level *coupling* terhadap slot. Pada ukuran yang tepat, lebar *feed line* yang lebih kecil akan memiliki level *coupling* yang lebih besar terhadap slot

#### 10. Posisi relatif *feed line* terhadap slot

Untuk maksimum *coupling*, *feed line* harus diposisikan pada posisi yang tepat ke pusat dari slot. Posisi yang tidak tepat dari *feed line* terhadap slot akan mengurangi level coupling. Posisikan *feed line* melewati tepi dari slot

#### 11. Posisi relatif *patch* terhadap slot

Untuk maksimum coupling, *patch* harus diletakkan di pusat dari slot. Pergeseran relatif *patch* terhadap slot pada arah medan H akan sedikit berpengaruh pada level coupling, sementara pergeseren terhadap arah medan E akan mengurangi level coupling

#### 12. Panjang dari tuning stub ( $L_{st}$ )

Tuning stub digunakan untuk mengatur reaktansi tambahan dari antena. Panjang stub biasanya sekitas  $\lambda_g/4$ . Makin pendek tuning stub akan mengeser locus impedance ke arah kasitif pada smith chart

variasi dan modifikasi yang biasa dilakukan pada antena *aperture coupled microstrip* [22] :

#### 1. Elemen peradiasi

Antena *aperture coupled* mikrostrip awalnya didesain dengan *patch rectangular*. Namun sekarang jenis *patch* yang lain bisa dipakai diantaranya *patch circular*, *stacked patch*, *parasitically coupled patch*, *patch* dengan loading slot, dan sebagainya. Modifikasi ini dilakukan dengan tujuan untuk menghasilkan *bandwidth* yang lebih lebar.

#### 2. Bentuk slot

Bentuk dari *coupling aperture* sangat berpengaruh pada kekuatan *coupling* antara *feed line* dan *patch*. *Slot coupling rectangular* yang tipis telah banyak digunakan pada antena *aperture coupled* mikrostrip, karena menghasilkan *coupling* yang lebih baik dibanding bentuk slot yang lainnya. Namun belakangan mulai dikembangkan bentuk slot yang bisa menghasilkan effect *coupling* yang lebih baik diantaranya “*dogbone*” (slot berbentuk tulang ), *bowtie* (berbentuk dasi), atau *H-shaped aperture*.

#### 3. Tipe dari *feed line*

Mikrostrip *feed line* yang biasa digunakan pada antena *aperture coupled microstrip* dapat digantikan dengan *planar line* yang lain, seperti *stripline*, *coplanar waveguide*, *dielectric waveguide*, dan lainnya. Juga mungkin untuk menambahkan *layer dielectric* diantara *ground plane* dan *patch* substrat.

#### 4. Polarisasi

Dengan menggunakan jenis antena *aperture coupled microstrip*, selain polarisasi linear juga bisa dihasilkan dual polarisasi dan polarisasi melingkar.

#### 5. Lapisan dielectric

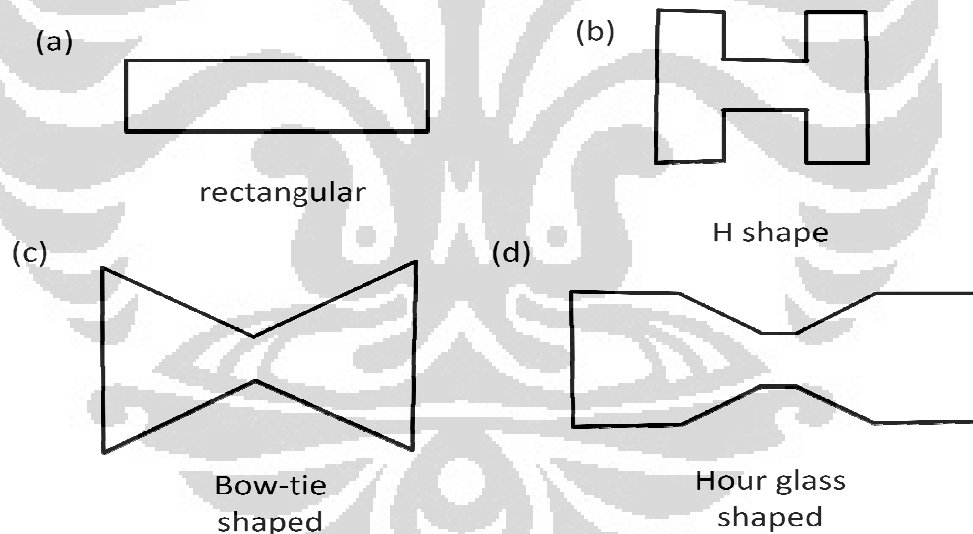
Seperti jenis antena mikrostrip lainnya, pada antena ini dapat dengan mudah ditambahkan lapisan radom dengan jarak tertentu dari

elemen peradiasi.. selain itu juga mungkin membuat substrat dari *patch* dan feed menjasi multilayer.

## 2.7 Jenis-jenis Slot pada *Aperture Coupled Antenna*

*Input impedance* dari *aperture coupled* antenna dapat dikontrol dengan mengatur ukuran, posisi dan bentuk dari slot yang digunakan. Perbedaan bentuk dari slot akan menghasilkan perbedaan level coupling yang dihasilkan dari saluran pencatu ke *patch*. pada *aperture coupled* antenna level coupling maksimum harus dicapai untuk mengurangi *back radiation* dari antenna [14], Level coupling akan mempengaruhi *bandwidth* dari antenna [15].

Beberapa bentuk dari slot yang biasa digunakan untuk meningkatkan level coupling yaitu dogbone, bowtie, “H”, “U” dan “L” [16]-[18]. beberapa jenis slot tersebut diperlihatkan pada Gambar 2/7



Gambar 2.7 Jenis-Jenis Slot Pada Antena *Aperture Coupled*

## 2.8 Antena *Aperture Coupled Microstrip Array*

Seperti jenis antenna mikrostrip yang lainnya, jenis antenna mikrostrip ini juga dapat dibentuk menjadi antenna susun dengan *series* atau *corporate feeding*

*network*. Bentuk antenna ini yang *dual layer* memungkinkan tersedianya ruang yang cukup untuk *feed network* yang dapat digunakan untuk dual frekuensi dan dual polarisasi array. Selain itu kelebihan dari antenna ini pada bentuk array adalah adanya *groundplane* diantara *feed substrate* dan *patch* substrat yang akan melindungi radiasi utama yang dihasilkan *patch* dari radiasi yang dihasilkan oleh *feed network*. Tapi satu hal yang perlu diperhatikan adalah *feeding network* juga akan beradiasi ke arah belakang dari antenna, namun secara praktek, radiasi dari *ground plane* dapat diletakan dibawah *feed layer* sehingga dapat menghilangkan radiasi ini

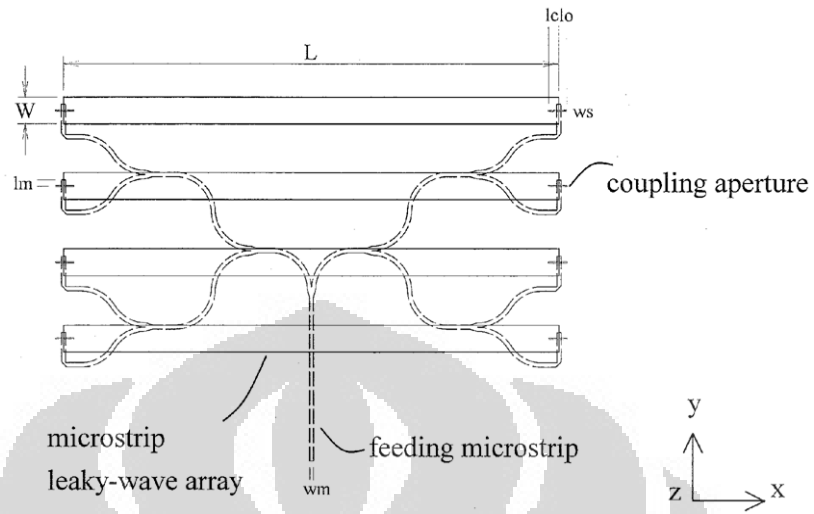
Beberapa aplikasi dari jenis antenna mikrostrip ini yaitu :

Tabel 2.2 Aplikasi Antena *Aperture Coupled* Mikrostrip

Aplikasi	Frekuensi
GPS	1575 MHz - 1227 MHz
Telepon seluler	824-849 MHz dan 869-895 MHz
GSM	890 - 915 MHz dan 935 - 960 MHz
Wireless local Area network	2.40 - 2.48 MHz dan 5.4MHz
Video selular	28 GHz
Direct Broadcast Satellite	11.7 - 12.5 GHz
Collision Avoidance Radar	60 GHz, 77 GHz, dan 94 GHz

Secara umum terdapat empat jenis pencatuan pada mikrostrip *leaky wave* antenna, seperti digambarkan pada Gambar 2.8 – 2.11 yaitu [2] :

## 1. Parallel end feed



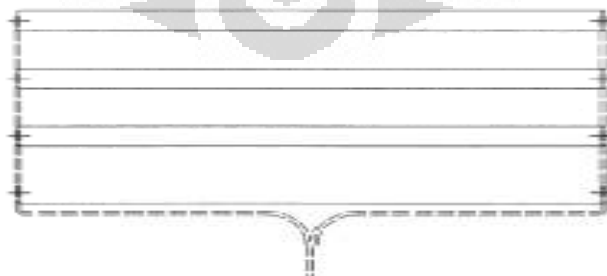
Gambar 2.8 Jenis Feeding network : Paralel End Feed

## 2. Paralel center feed



Gambar 2.9 Jenis Feeding network : Paralel Center Feed

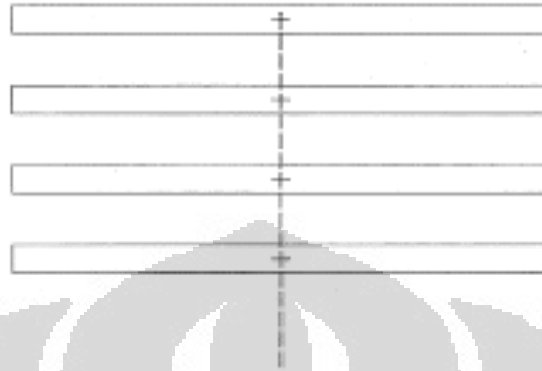
## 3. Series end feed



Gambar 2.10 Jenis Feeding network : Series End Feed

UNIVERSITAS INDONESIA

#### 4. Series center feed



Gambar 2.11 Jenis Feeding Network Pada LWA : Series Center Feed

Jenis feeding yang pertama seperti pada Gambar 2.8 dan ketiga seperti pada Gambar 2.10 dicatu dari masing-masing ujung dari antenna, sedangkan jenis yang kedua seperti pada Gambar 2.9 dan keempat seperti pada Gambar 2.11 dicatu dari tengah antenna. Pencatuan dengan jenis yang kedua dan keempat memiliki beberapa kelebihan dibanding pencatuan dengan jenis pertama dan ketiga. Dengan pencatuan jenis ini pembagian daya dan distribusi antar antenna dapat dengan mudah dilakukan. Disini diperlukan *power divider* yang dimodifikasi dengan transformer seperempat gelombang untuk membagi daya distribusi fasa yang sama besar masing-masing antenna. Pada penelitian menggunakan pencatu berupa *parallel center*, karena dengan menggunakan jenis pencatuan ini, proses pembagian daya dapat dengan mudah dilakukan.

## BAB III

### PERANCANGAN ANTENA DAN SIMULASI

Pada penelitian ini akan dirancang Antena mikrostrip *array* dengan jenis antena mikrostrip yang dicatu dengan cara *aperture coupled*. Antena ini berkerja pada frekuensi 2.85-2.9 GHz. Tujuan utama dari perancangan antena ini adalah untuk mendapatkan spesifikasi antena yang diinginkan yaitu berupa frekuensi kerja, *gain* dan *half power beamwidth*.

Perancangan antena ini mengikuti tahap-tahap tertentu yang dapat dilihat pada diagram alir yang akan ditunjukkan pada Gambar 3.1. Semua proses perancangan ini menggunakan perangkat lunak perancangan antena yaitu CST studio.

#### 3.1 Peralatan Yang Digunakan

Dalam perancangan antena dan simulasi, selain melakukan perhitungan matematis dalam mendapatkan parameter antena yang diinginkan, perlu dilakukan suatu simulasi sebelum melakukan tahap pengukuran. Oleh karena itu, perangkat lunak yang mendukung simulasi antena tersebut adalah :

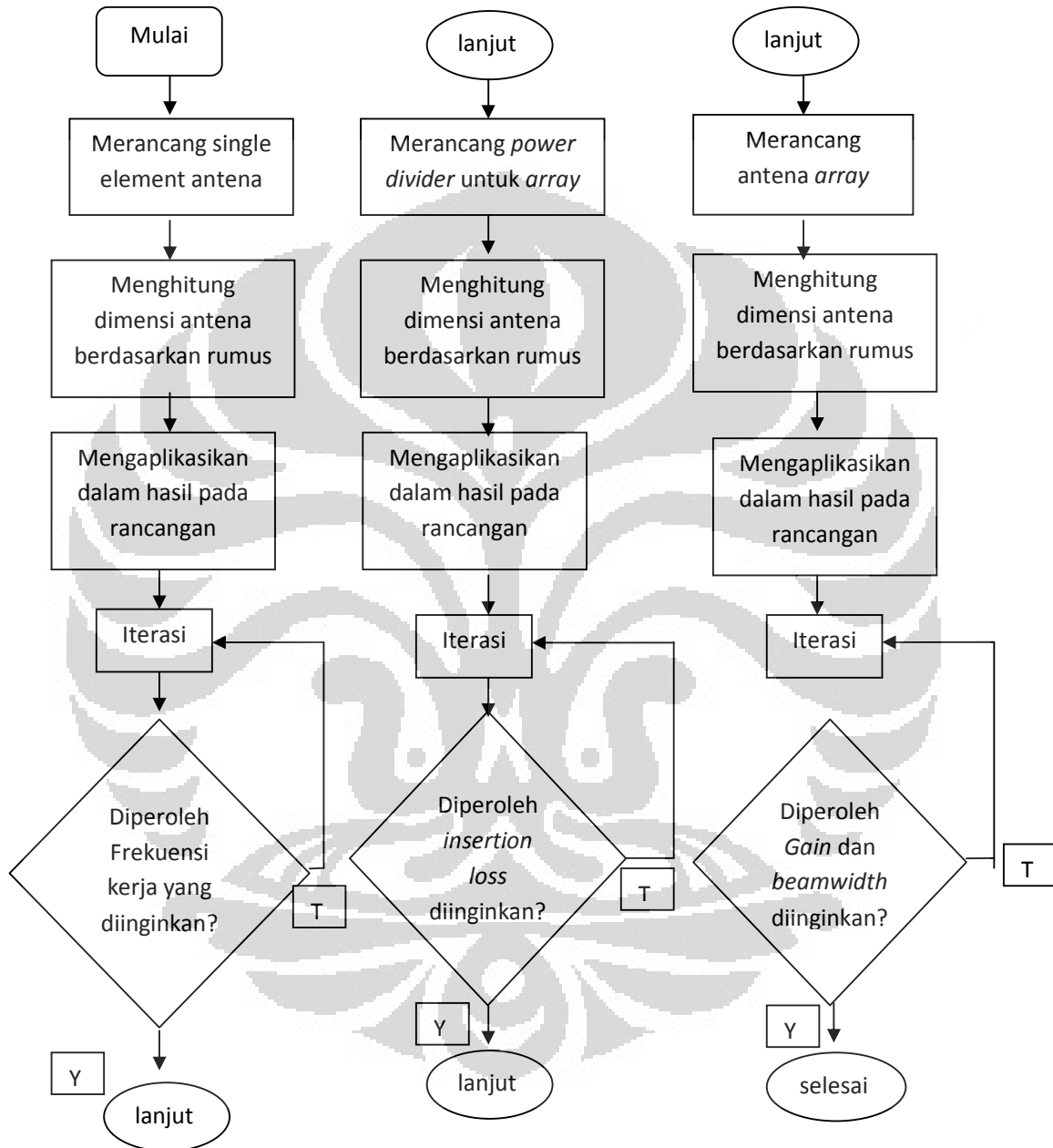
- CST Studio Suite

Perangkat lunak CST ini adalah perangkat lunak yang digunakan untuk merancang dan mensimulasikan antena yang diinginkan. CST dapat melihat karakteristik parameter antena seperti VSWR, *beamwidth*, *bandwidth*, *Return Loss*, *Gain*, *Pola Radiasi*, dsb.



### 3.2 Flowchart Perancangan Antena *Aperture Coupled Microstrip Array*

Tahapan dalam perancangan antenna ini mengikuti diagram alir dibawah ini :



Gambar 3.1 Flowchart Perancangan Antena Mikrostrip Dengan Pencatuan *Aperture Coupled*

Gambar 3.1 menjelaskan langkah dalam mendesain antenna dalam penulisan ini. Langkah pertama yang dilakukan adalah mendesain antenna satu elemen. Antena satu elemen yang didesain merupakan antenna mikrostrip *dual layer* dengan jenis pencatuan *aperture coupled*. Untuk memperoleh antenna yang berkerja pada frekuensi yang diinginkan, sebelumnya harus dihitung dimensi dari antenna dengan menggunakan rumus yang sudah ada. Setelah itu antenna disimulasikan lalu dilihat parameter yang ingin dicapai yaitu frekuensi kerja, *beamwidth* dan *gain*. Jika ketiga parameter tersebut sudah tercapai maka lanjut ke langkah selanjutnya jika belum maka dilakukan iterasi terhadap dimensi yang berkaitan. Setelah antenna satu elemen diperoleh selanjutnya di desain *power divider*, parameter *power divider* yang diinginkan yaitu berupa faktor pembagian daya untuk masing-masing kaki sama besar, hal ini dapat dilihat pada parameter S12. Setelah *power divider* diperoleh langkah terakhir baru membentuk antenna *array*.

### 3.3 Menentukan Karakteristik Antena

Sebelum proses perancangan menggunakan perangkat lunak dilakukan perlu diketahui dulu parameter yang ingin dicapai pada antenna single element. Parameter yang ingin dicapai disini yaitu :

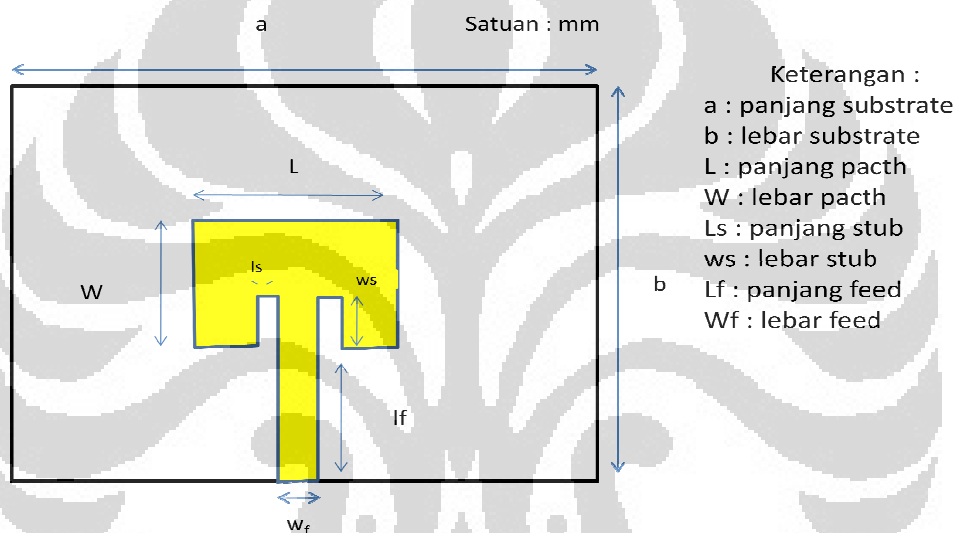
1. Frekuensi kerja : 2.85 GHz -2.9 GHz
2. *Impedance bandwich* : 50 MHz
3. *Gain* : >10 dB
4. *Beamwitdh Horizontal* : < 15<sup>0</sup>
5. VSWR : 1.5

### 3.4 Desain Perancangan Antena Satu Element

#### 3.4.1. Perancangan Antena Mikrostrip Konvensional Dengan Pencatuan Mikrostrip Line

Pada bagian awal ini akan dirancang antena mikrostrip konvensional yang sudah biasa digunakan, *patch* disini menggunakan bentuk rectangular dengan jenis pencatuan berupa mikrostrip line *feed* :

Desain antena mikrostrip konvensional ditunjukkan seperti pada Gambar 3.2:



Gambar 3.2 Desain Antena Mikrostrip Konvensional

nilai dari parameter dapat dihitung sebagai berikut :

- substrate :
  - Bahan : Fr 4
  - Tebal : 1.6 mm
  - Konstanta dielektrik ( $\epsilon_r$ ) : 4.6
- Ground Plane
  - Bahan : PEC
  - Tebal : 0,035 mm
- Feeding
  - Bahan : Cooper

- Tebal : 0,03

Dengan menggunakan parameter diatas dapat dihitung ukuran dimensi dari antena, Dimensi antena dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

- Lebar *patch* (W)

$$W = \frac{c}{2 f_r} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} \quad (3.1)$$

Dengan menggunakan  $c = 3 \times 10^8$  m/s  
 $f_r = 2.875 \times 10^9$  Hz  
 $\epsilon_r = 4.6$

Diperoleh nilai  $w = 31,18$  mm

- Panjang *patch* (L)

$$L = \frac{c}{2 f_r \sqrt{\epsilon_{eff}}} - 2\Delta L \quad (3.2)$$

$$\Delta L = h \times 0.412 \frac{(\epsilon_{eff} + 0.3) \left(\frac{w}{h} + 0.264\right)}{(\epsilon_{eff} - 0.258) \left(\frac{w}{h} + 0.8\right)} \quad (3.3)$$

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[1 + 12 \frac{h}{w}\right]^{-1/2} \quad (3.4)$$

Dengan nilai :  $h = 1.6$

$$\epsilon_{eff} = 2.65$$

$$\Delta L = 0,26$$

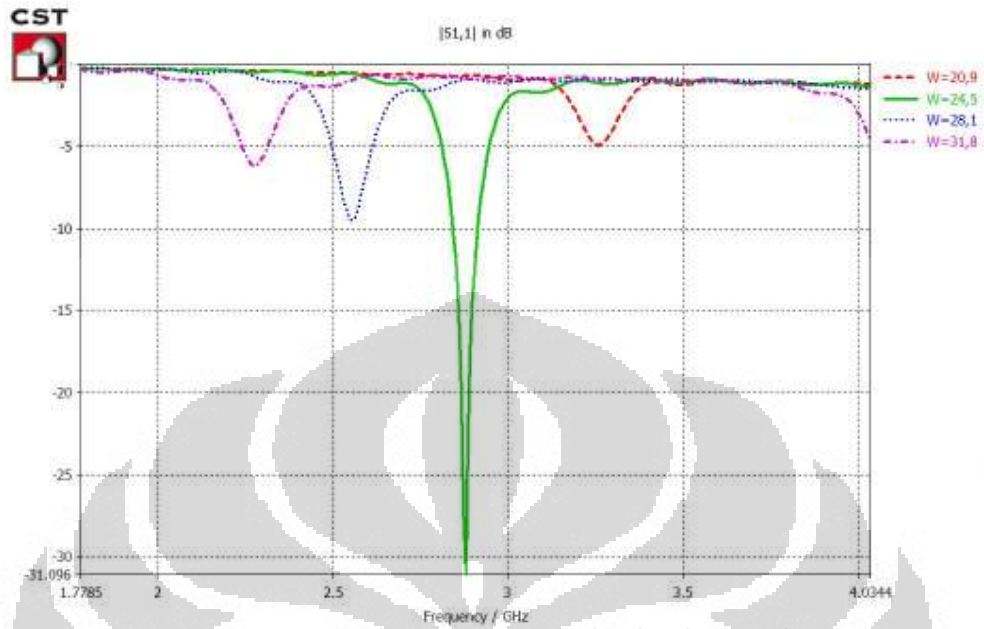
Diperoleh Panjang *patch* (L) = 24 mm

- Lebar *feed*

Lebar *feed* untuk nilai impedansi 50  $\Omega$  yaitu sebesar = 3.13 mm

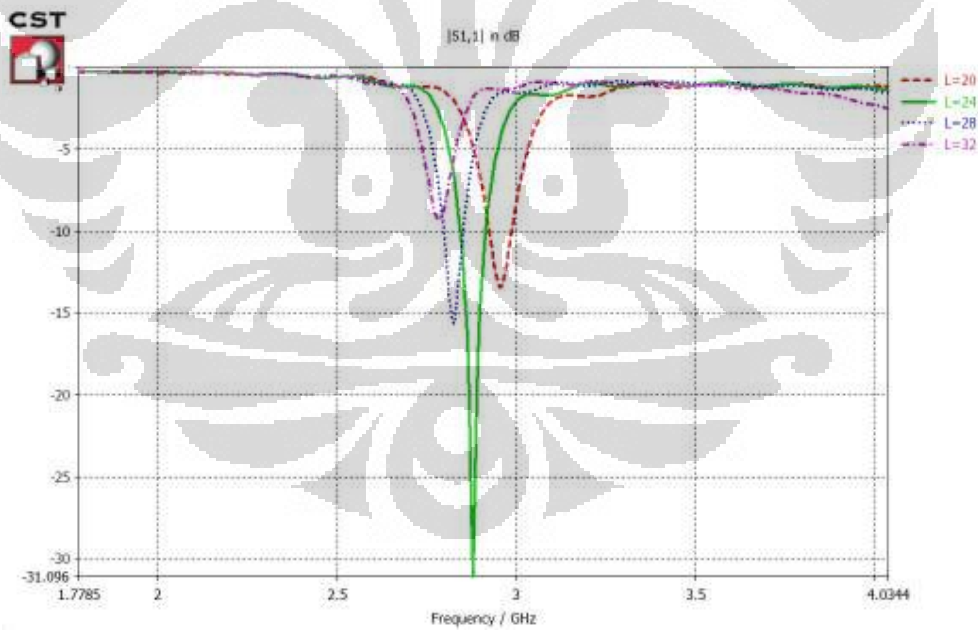
Berdasarkan nilai parameter diatas, selanjutnya dilakukan proses perancangan CST, karena terjadi pergeseran frekuensi berdasarkan frekuensi yang diinginkan maka selanjutnya dilakukan proses iterasi terhadap parameter antena:

- Parameterisasi lebar *patch* ( $W$ )



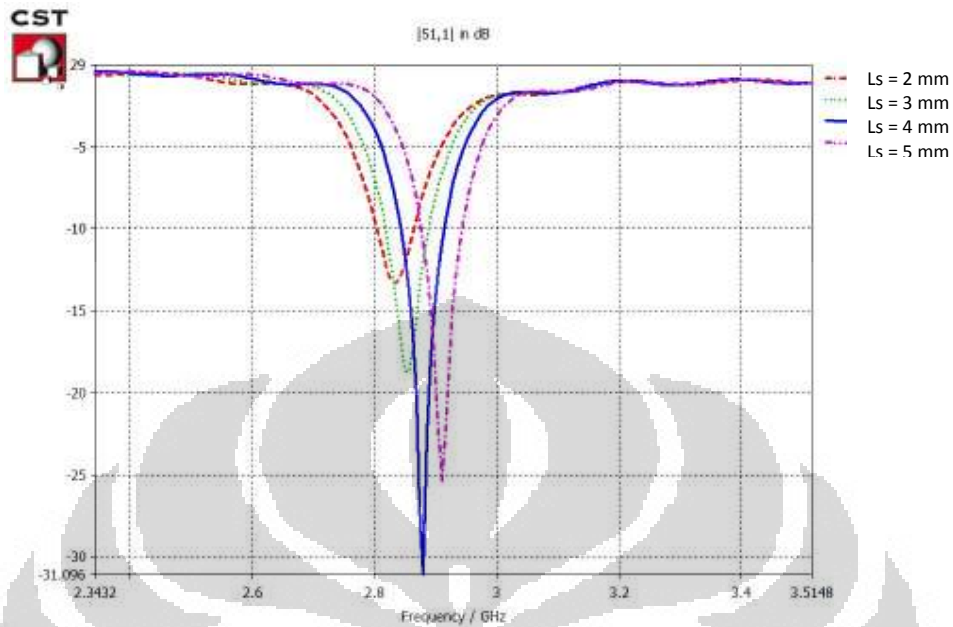
Gambar 3.3 Parameterisasi Lebar Patch

- Parameterisasi panjang *patch* ( $L$ )



Gambar 3.4 Parameterisasi Panjang Patch

- Parameterisasi Lebar stub ( $W_s$ )

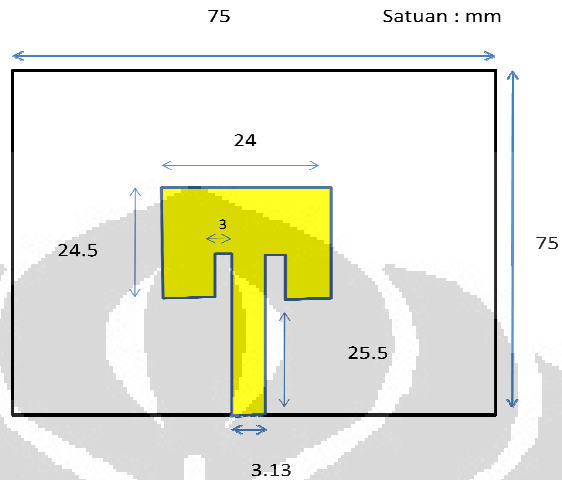


Gambar 3.4 Parameterisasi Lebar Stub

Dari grafik parameterisasi diatas dapat diambil beberapa kesimpulan yaitu :

- Parameter utama yang mempengaruhi frekuensi kerja yaitu lebar *patch* ( $W$ ), ini dapat kita lihat dari Gambar 3.2, sehingga untuk mendapatkan frekuensi kerja yang diinginkan lebar dari *patch* harus diatur, lebar *patch* berbanding terbalik dengan frekuensi kerja. Untuk mendapatkan resonance pada frekuensi pusat 2.875 GHz, maka lebar dari *patch* yang dibutuhkan yaitu 24.5 mm
- Panjang dari *patch* ( $L$ ) juga mempengaruhi frekuensi kerja, tetapi tidak begitu signifikan seperti lebar *patch*, hal ini ditunjukkan pada Gambar 3.4
- Lebar dari stub ( $L_s$ ) akan mempengaruhi nilai return loss dari antenna, dari hasil parameterisasi nilai return loss optimum diperoleh untuk nilai  $L_s$  sebesar 4 mm, hal ini ditunjukkan pada Gambar 3.4

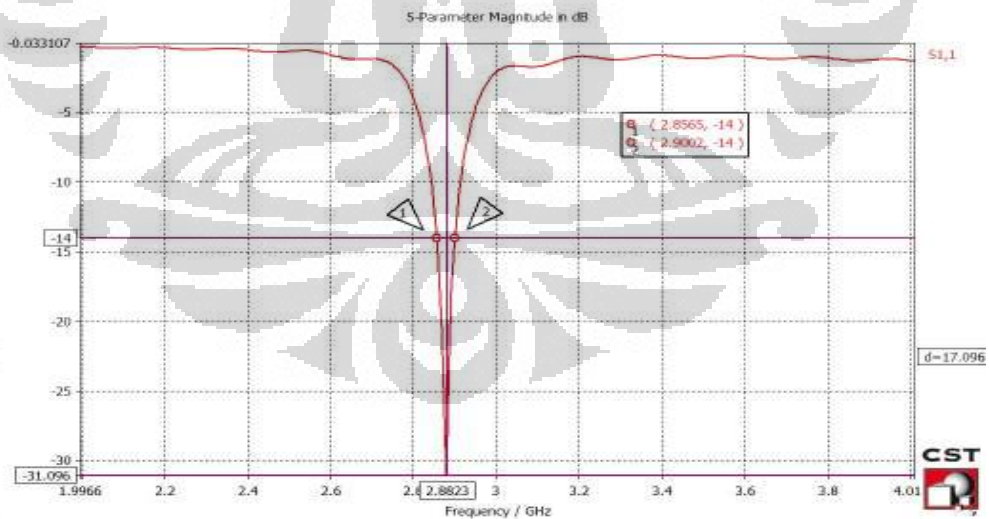
menggunakan parameter diatas serta dengan proses iterasi untuk memperoleh frekuensi yang sesuai diperoleh desain antenna satu elemen seperti ditunjukkan pada Gambar 3.5 :



Gambar 3.5 hasil desain antenna mikrostrip konvensional

Dengan menggunakan CST 2011, hasil simulasi dari desain tersebut ditunjukkan pada Gambar 3.5 :

Return loss :



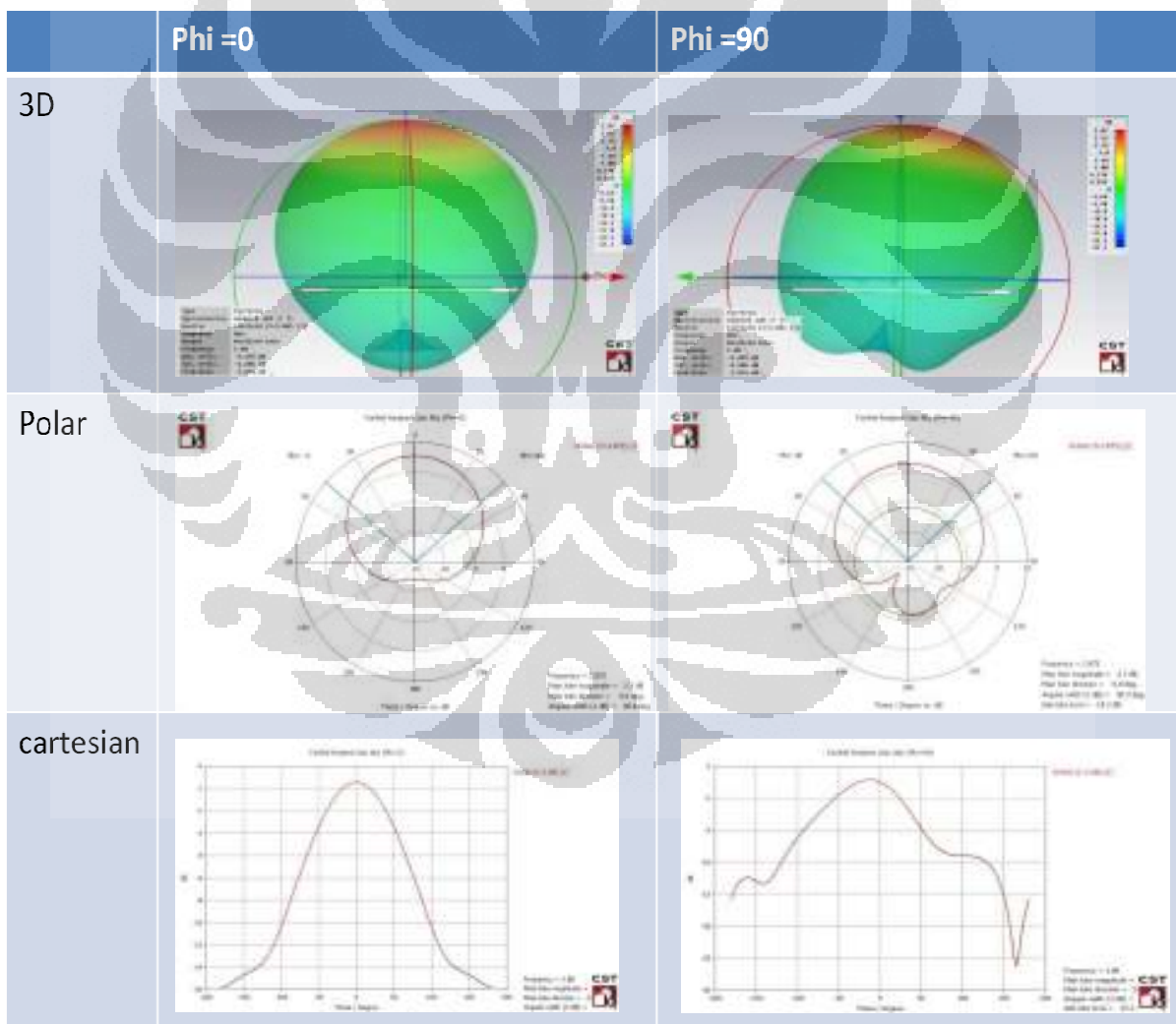
Gambar 3.6 Hasil simulasi S11 Antena

Gambar 3.6 menunjukkan antenna mikrostrip konvensional dengan pencatuan menggunakan mikrotrip line yang telah di desain berkerja pada  
**UNIVERSITAS INDONESIA**

frekuensi 2.8565 -2.900 GHz, ini berarti antenna memiliki *bandwidth* sebesar 45 MHz pada nilai VSWR < 1.5. besar *bandwidth* disini tidak memenuhi spesifikasi yang ingin dicapai yaitu sebesar 50 MHz, sehingga perlu didesain antenna mikrostrip lain yang dapat memperlebar *bandwidth*. Pada penelitian ini di desain antenna mikrostrip dengan jenis pencatuan *aperture coupled* seperti yang akan diterangkan pada bagian selanjut

Hasil pola radiasi yang dihasilkan pada simulasi antenna mikrostrip konvensional ini ditunjukkan pada tabel berikut :

Table 3.1 Hasil Pola Radiasi Antena Mikrostrip Konvensional





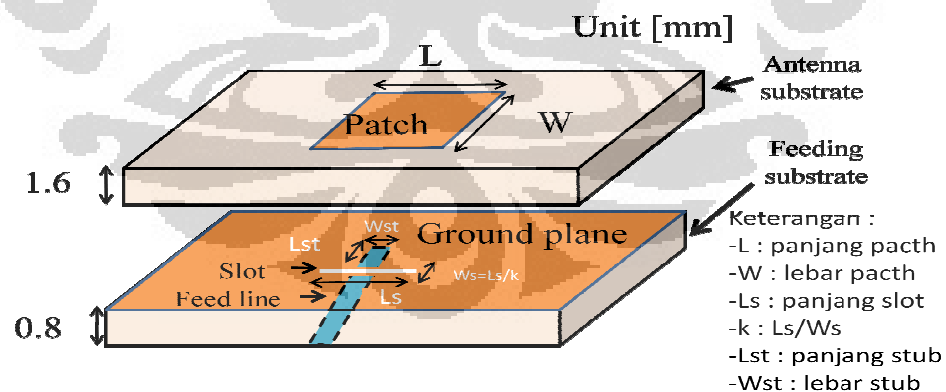
Tabel 3.1 menunjukkan hasil simulasi pola radiasi dari antenna pada tiga jenis kordinat yang berbeda yaitu pada koordiat 3 dimensi, koordinat polar dan koordinat catesian. Dari Gambar dapat dilihat hasil simulasi pola radiasi dari antenna sebagai berikut :

Table 3.2 Hasil Simulasi Karakteristik Pola Radiasi Antena Mikrostrip Konvensional

Directivity	7.178 dBi
Gain	2.55 dBi
HPBW	96.8
FSSL	-14.7 dB

### 3.4.2. Perancangan Antena Mikrostrip Dengan Jenis Pencatuan *Aperture Coupled* Dengan Slot Berbentuk *Rectangular*

Setelah hasil simulasi antenna mikrostrip konvensional dengan pencatuan menggunakan mikrostrip line, selanjutnya di desain antenna mikrostrip *aperture coupled* dengan jenis pencatuan *aperture coupled* . tujuan dari pemilihan jenis pencatu ini adalah untuk mendapatkan *bandwidth* yang lebih lebar dan *gain* yang lebih tinggi dibanding antenna mikrostrip konvensional seperti yang didesain sebelumnya. Desain dari antenna mikrostrip dengan pencatuan *aperture coupled* ditunjukkan pada Gambar 3.7 :



Gambar 3.7 Desain Antena *Aperture Coupled Microstrip* Dengan Slot Berbentuk *Rectangular*

Material yang digunakan pada desain ini yaitu:

- *Patch* substrate :
  - Bahan : Fr 4
  - Tebal : 1.6 mm
  - Konstanta dielektrik ( $\epsilon_r$ ) : 4.6
- *Feed* Substrate
  - Bahan : FR-4
  - Tebal : 0.8 mm
  - Konstanta dielektrik ( $\epsilon_r$ ) : 4.6
- Ground Plane
  - Bahan : PEC
  - Tebal : 0,035 mm
- *Feeding*
  - Bahan : Cooper
  - Tebal : 0,035

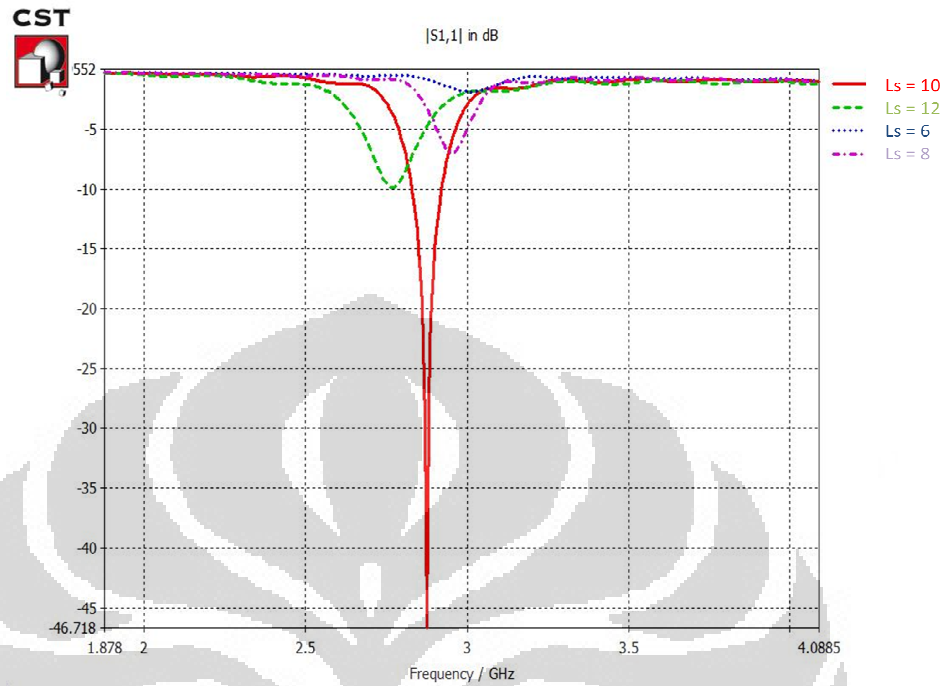
Tebal dari *feed substarte* yang digunakan lebih tipis dibanding dengan tebal dari *patch* substrate agar radiasi dari pencatu dapat diperkecil, hal ini karena radiasi dari pencatu akan menambah rugi-rugi daya pada antenna sehingga *gain* akan berkurang.

Untuk ukuran dimensi dari *patch* yang digunakan pada awalnya digunakan ukuran yang sama dengan dimensi pada antenna mikrostrip konvensional. Setelah simulasi diperoleh terdapat pergeran frekuensi resonance dan *matching impedance* dari antenna. Sehingga perlu dilakukan iterasi pada lebar *patch* antenna, sedangkan untuk proses matching pada bagian *feeding* ditambahkan stub dengan panjang  $\lambda g/4$ . Panjang dari stub disesuaikan untuk mendapatkan kondisi matching yang maksimum.

Untuk memperoleh parameter yang diinginkan maka perlu dilakukan iterasi dari beberapa dimensi dari antenna. Proses parameterisasi dari antenna adalah sebagai berikut :

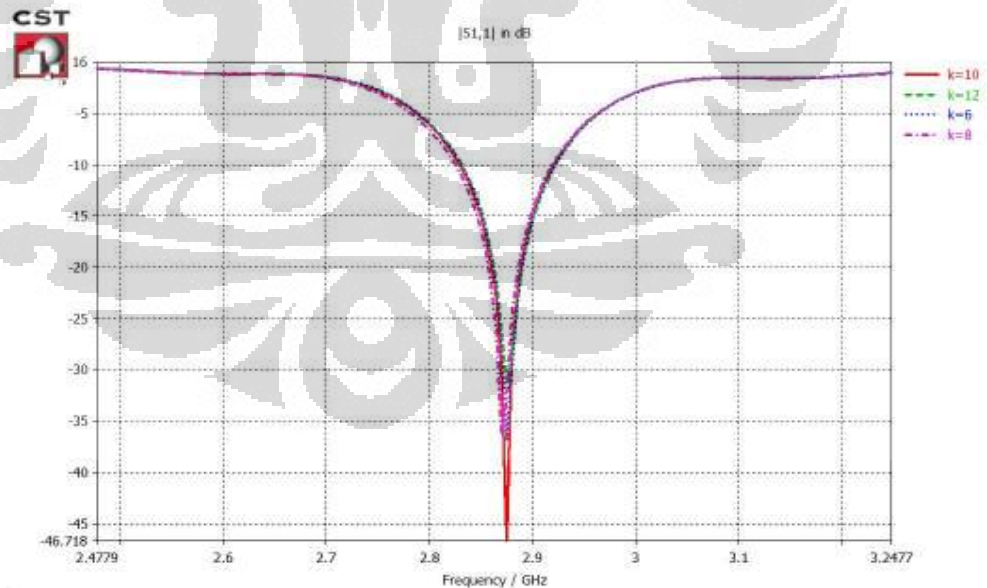
**UNIVERSITAS INDONESIA**

- Parameterisasi panjang slot



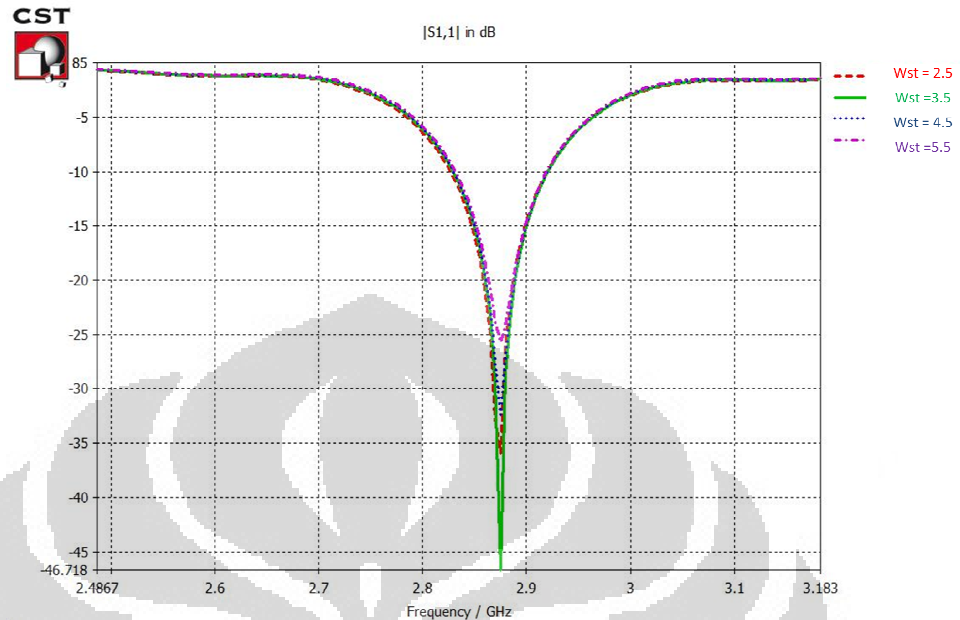
Gambar 3.8 Parameterisasi Panjang Slor Aperture Pada Antenna Aperture Coupled Microstrip

- Parameterisasi perbandingan panjang dan lebar slot (k)



Gambar 3.9 Parameterisasi Nilai K Aperture Pada Antenna Aperture Coupled Microstrip

- Parameterisasi lebar stub

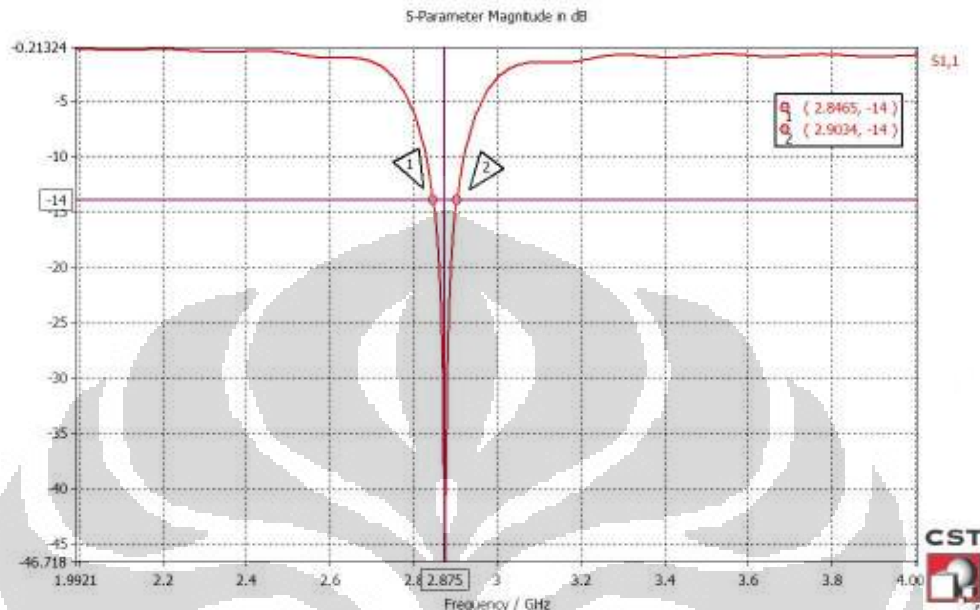


Gambar 3.10 Parameterisasi Lebar Stub *Aperture* Pada Antenna *Aperture Coupled Microstrip*

Dari ketiga hasil parameterisasi diatas dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

- Panjang slot ( $L_s$ ) sangat mempengaruhi kondisi matching dari antenna, hal ini berkaitan dengan coupling dari pencatu ke antenna, selain mempengaruhi kondisi matching, panjang slot juga mempengaruhi frekuensi kerja dari antenna, tapi pergeseran frekuensi yang ditimbulkan oleh perubahan panjang slot tidak begitu signifikan. Untuk kondisi matching yang optimum diperoleh ketika panjang slot 10mm
- Perbandingan panjang dan lebar slot ( $k$ ) hanya mempengaruhi kondisi matching dari antenna tanpa mempengaruhi frekuensi kerja. Kondisi matching optimum diperoleh untuk nilai  $k = 10$ , hal ini sesuai dengan teori yang telah dijelaskan pada bab ke 2

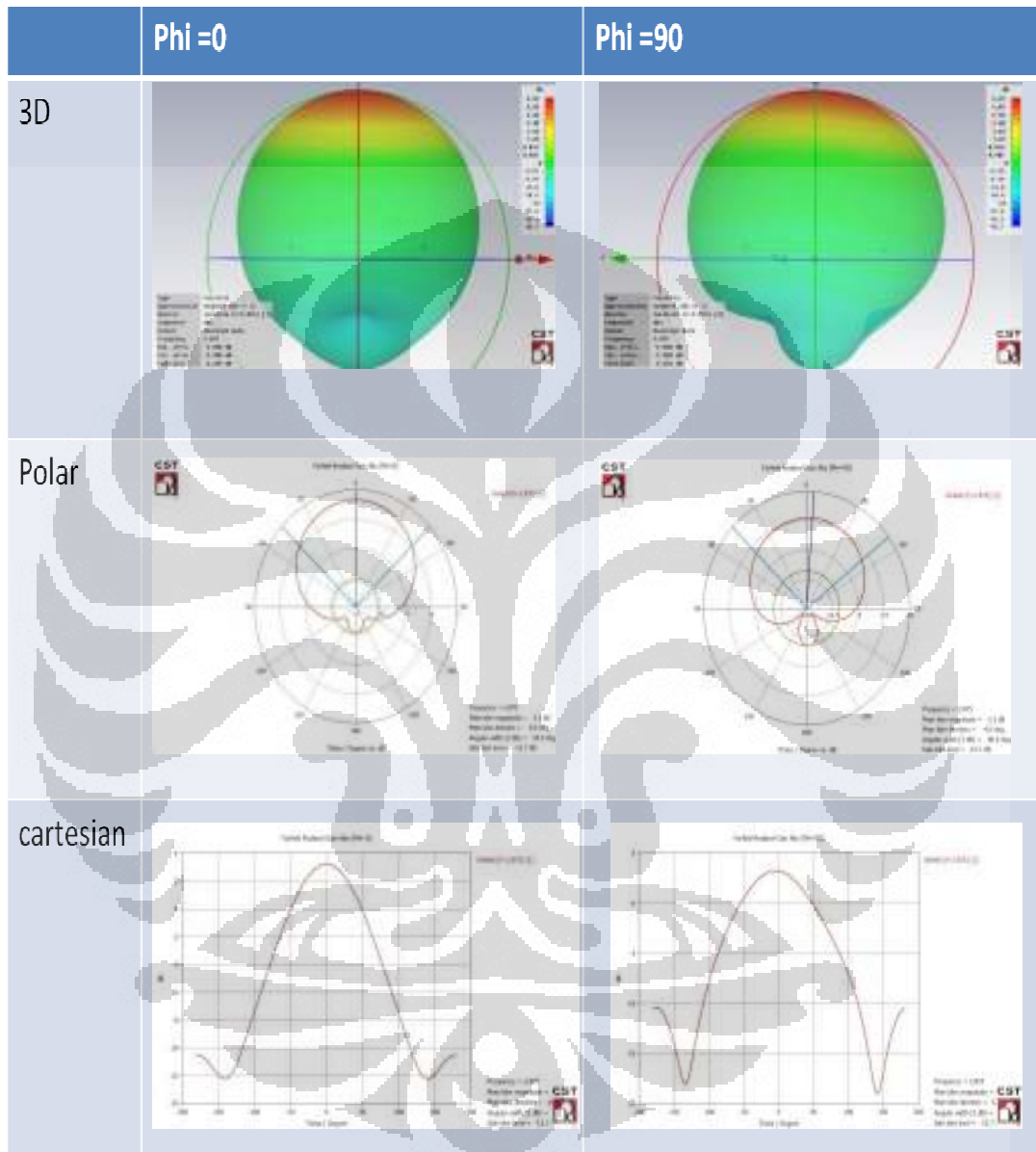
Hasil simulasi parameter s11 dari antenna mikrostrip *aperture couple feed* dengan slot recatangular ini ditunjukkan pada Gambar 3.11 :



Gambar 3.12 Hasil Simulasi S11 Antena *Aperture Coupled Microstrip*

Pada gambar dapat dilihat antenna berkerja pada frekuensi 2.846 – 2.903 GHz, ini berarti antenna memiliki *bandwidth* sebesar 54 MHz dengan VSWR < 1.5. Jika dibandingkan dengan antenna mikrostrip konvensional, antenna ini memiliki *bandwidth* 11 MHz lebih besar dibanding antenna mikrostrip konvensional. Perbesaran dari *bandwidth* yang diperoleh terjadi karena perbaikan quality faktor dari antenna, hal ini terjadi karena bertambahnya volume dari antenna secara keseluruhan

Hasil simulasi pola radiasi dari antenna ditunjukkan pada Tabel 3.3:  
 Tabel 3.3 Gambar Hasil Pola Radiasi Antena *Aperture Coupled* Microstrip dengan slot berbentuk rectangular



Tabel 3.3 menunjukkan hasil simulasi pola radiasi dari Antena pada tiga jenis koordinat yang berbeda yaitu pada koordiat 3 dimensi, koordinat polar dan koordinat catesian. Dari Gambar dapat dilihat hasil simulasi pola radiasi dari antenna sebagai berikut :

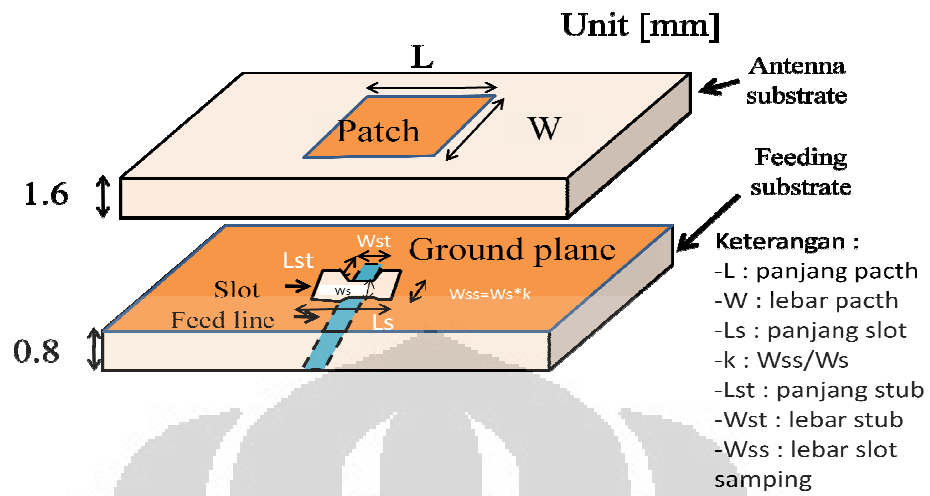
Tabel 3.4 Hasil Pola Radiasi *Antena Aperture Coupled Microstrip*

Directivity	7.835 dBi
Gain	3.254 dBi
HPBW	93.9
FSSL	13.7

Dari hasil simulasi pola radiasi diatas, jika kita bandingkan dengan antenna mikrostrip konvensional seperti yang telah didesain sebelumnya, dengan dimensi dan bahan substrate yang sama, pada frekuensi kerja yang sama antenna *aperture coupled* dapat meningkatkan *gain* sebesar 1 dBi dan mengecilkan HPBW sebesar  $6.1^{\circ}$ . dari sini dapat kita lihat kelebihan dari antenna mikrostrip dengan pencatuan *aperture coupled*. Kenaikan *gain* pada antenna ini disebabkan karena bertambahnya tebal dari substrate yang digunakan.

### 3.4.3. Perancangan Antena Mikrostrip Dengan Jenis Pencatuan *Aperture Coupled* Dengan Slot Berbentuk Jam Pasir

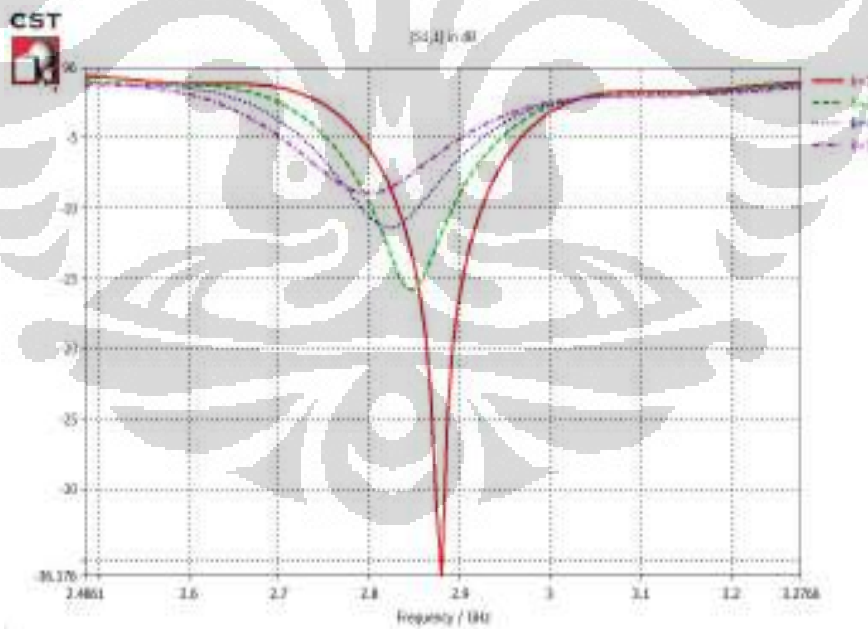
Untuk mendapatkan performansi yang lebih dari antenna yaitu berupa *bandwidth* dan *gain* maka dilakukan inovasi pada bentuk dari slot. Pada desain ini digunakan slot berbentuk jam pasir (*hour glass slot*). Bentuk slot ini menggabungkan kelebihan dari bentuk slot yang sebelumnya sudah banyak didesain yaitu *bow tie slot* dan *dog bone slot*. Desain dari antenna dengan slot berbentuk jam pasir ini ditunjukkan seperti pada Gambar 3.12:



Gambar 3.12 Desain Antena *Aperture Coupled Microstrip*

hasil parameterisasi dari dimensi antenna diperlihatkan pada Gambar 3.13:

- Paramaterisasi k

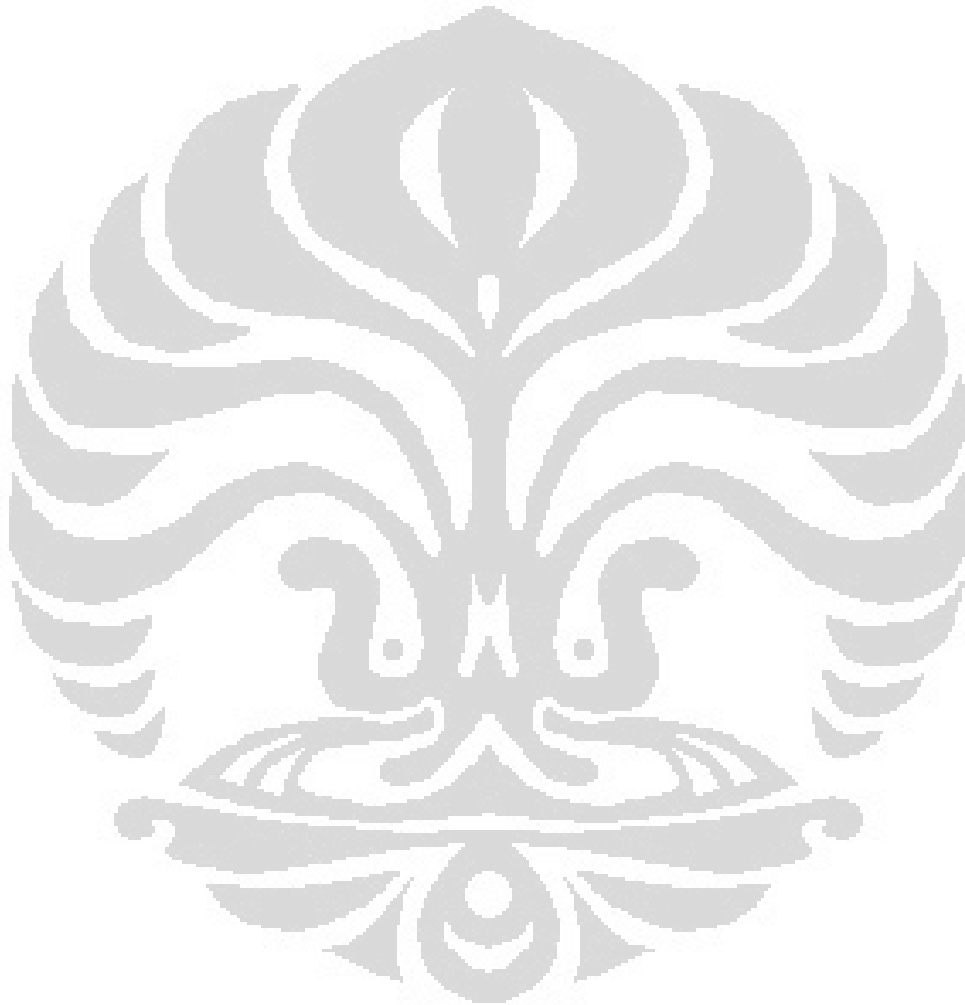


Gambar 3.13 Parameterisasi Nilai Perbandingan Lebarslot Tengah Dan Slot Samping (K) Pada Antenna *Aperture Coupled Microstrip*



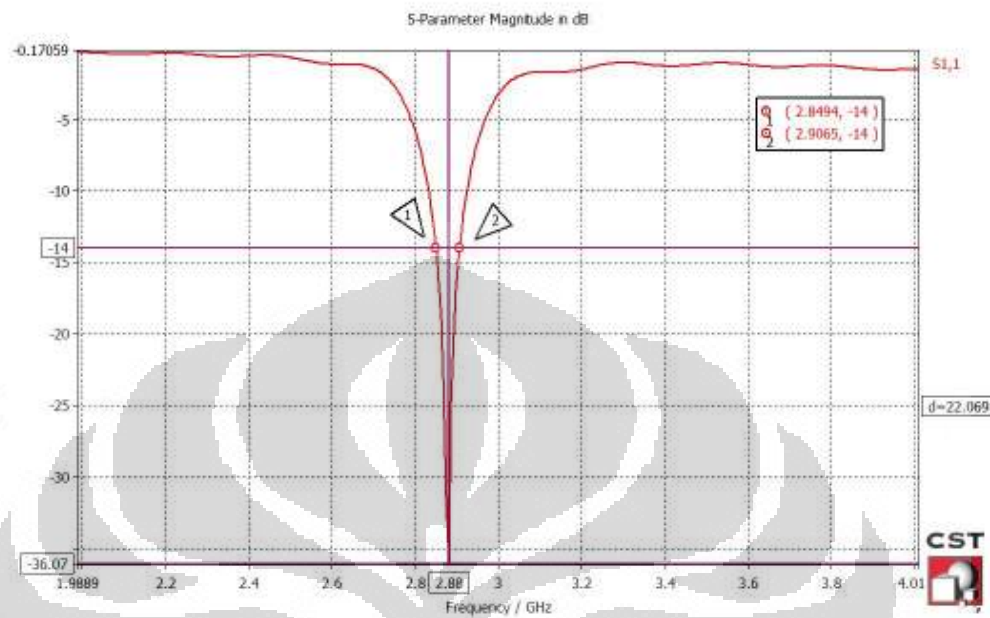
Dari hasil parameterisasi diatas dapat diambil kesimpulan berikut :

- Perubahan dari slot antena dari rectangular ke hour glass slot dengan lebar slot ( $W_s$ ) yang sama tidak menggeser frekuensi kerja dari antena.
- Faktur dominan yang mempengaruhi kondisi matching serta *bandwidth* dari antena yaitu perbandingan lebar slot dalam dan lebar slot luar ( $k=W_{ss}/W_s$ ), kondisi optimum didapat ketika nilai  $k=2$



**UNIVERSITAS INDONESIA**

Hasil simulasi S11 dari antenna ditunjukkan seperti pada Gambar 3.14 :

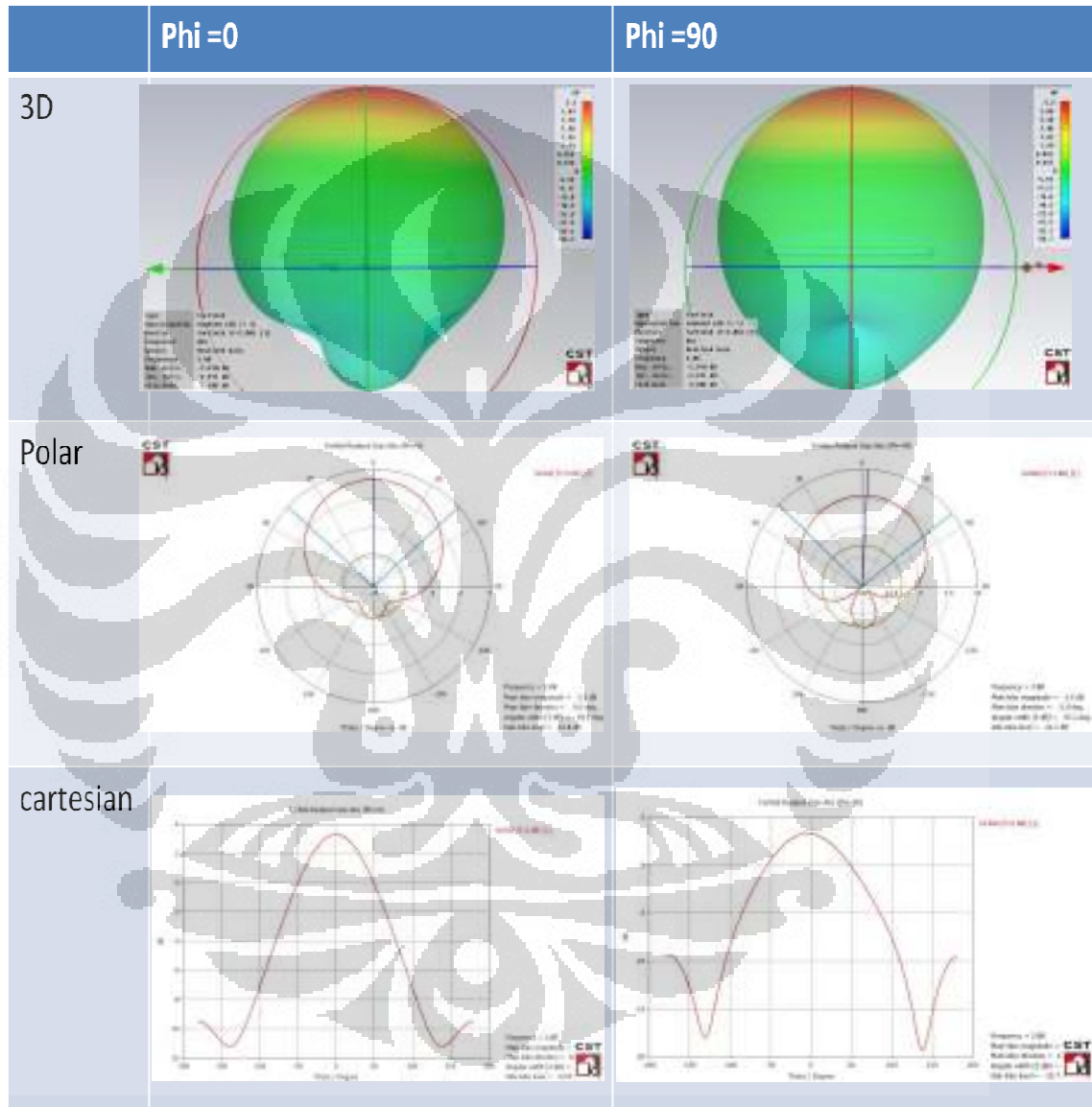


Gambar 3.14 Hasil Simulasi S11 Dari Antenna *Aperture Coupled Microstrip* Dengan Slot Berbentuk Jam Pasir

Dari hasil simulasi S11 dari antenna seperti ditunjukkan pada Gambar 3.14, dapat kita lihat antenna berkerja pada frekuensi 2.849 – 2.907 GHz, ini berarti antenna menghasilkan *bandwidth* sebesar 59 MHz, dari sini jika kita bandingkan dengan antenna *aperture coupled* dengan slot berbentuk rectangular, antenna dengan slot berbentuk hour glass dapat menghasilkan bandwidth lebih besar 5 MHz.

Hasil pola radiasi dari antenna ditunjukkan pada Tabel 3.5:

Tabel 3.5 Gambar Hasil Simulasi Pola Radiasi Antena *Aperture Coupled Microstrip* Dengan Slot Berbentuk Jam Pasir



UNIVERSITAS INDONESIA

Dari simulasi pola radiasi diperoleh hasil sebagai berikut :

Tabel 3.6 Hasil Simulasi Pola Radiasi Antena *Aperture Coupled Microstrip* Dengan Slot Berbentuk Jam Pasir

Directivity	7.835 dBi
Gain	3.303 dBi
HPBW	94.2
FSSL	12.7

Dari Tabel 3.6, jika dibandingkan dengan hasil simulasi pola radiasi antena *aperture coupled* dengan slot berbentuk rectangular, *gain* dari antena dengan slot berbentuk hour glass slot lebih tinggi sebesar 0.05 dBi.

### 3.5 Desain perancangan *power divider*

Langkah selanjutnya setelah memperoleh hasil yang diinginkan pada perancangan antena single element adalah merancang *power divider* yang akan digunakan. Perancangan ini tetap menggunakan perangkat lunak CST. Pada simulasi kali ini akan dirancang *power divider* dengan 4 kaki, disini 1 buah port sumber akan membagi dayanya kepada empat port sumber lainnya.

Spesifikasi yang ingin dicapai pada perancangan *power divider* ini yaitu :

1. *Power divider* berkerja pada frekuensi 2.85 GHz – 2.9 GHz, sama dengan frekuensi antena. Hal ini dapat dilihat dengan nilai return loss pada port 1 (port sumber) dari antena
2. *Power divider* dapat membagi daya sama rata kepada keempat port cabang yang laing, hal ini dapat dilihat pada nilai S12, S13, S14 dan S15 dari hasil simulasi pada *power divider*.

Untuk proses matching dari port utama ke port cabang dari *power divider*, pada perancangan ini digunakan metode transformasi  $\frac{1}{4}$  lambda. Pada metode transformasi ini, setiap cabang mempunyai impedansi 100  $\Omega$ . Hal ini agar *power*

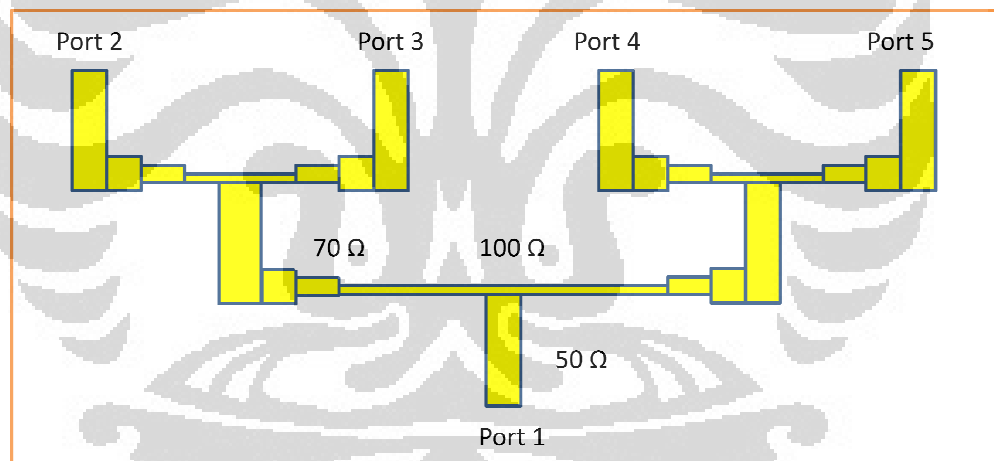
*divider* membagi daya sama besar pada kedua kaki. Untuk proses matching antar kaki dengan impedance  $100 \Omega$  dengan kaki dengan impedansi  $50 \Omega$  dihubungkan dengan jalur  $75 \Omega$ , hal ini sesuai dengan persamaan

$$Z_r = \sqrt{Z_1 \times Z_2} \quad (3.4)$$

Penentuan lebar dari tiap-tiap kaki dengan impedansi masing-masing dicari dengan menggunakan perangkat lunak CST studio suite, sehingga diperoleh dimensi lebar kaki sebagai berikut :

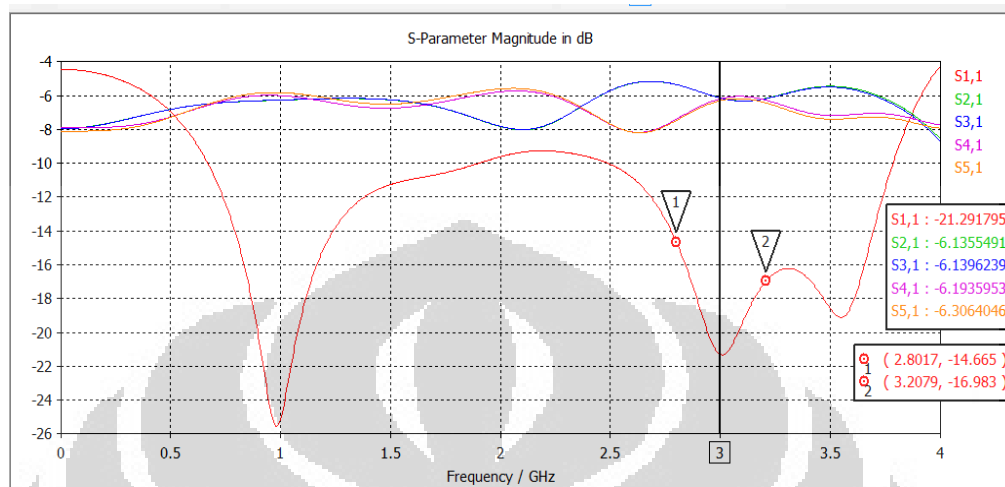
- Lebar kaki  $50 \Omega = 1.5785 \text{ mm}$
- Lebar kaki  $75 \Omega = 0.9215 \text{ mm}$
- Lebar kaki  $100 \Omega = 0.457 \text{ mm}$

Berikut gambar dari *power divider* empat kaki yang telah di desain :



Gambar 3.15 Desain *Power divider* 4 kaki

Setelah proses simulasi dilakukan diperoleh hasil sebagai berikut :



Gambar 3.16 Hasil Simulasi *Power divider* 4 kaki

Dari hasil simulasi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.16 dapat diambil kesimpulan bawah *power divider* telah memenuhi parameter yang diinginkan yaitu :

- *Power divider* berkerja pada frekuensi yang diinginkan yaitu dari 2.8 GHz sampai 3 GHz
- Pada frekuensi yang diinginkan *power divider* membagi daya  $\frac{1}{4}$  ke masing-masing port, hal ini dapat dilihat pada nilai S12, S13, S14, dan S15 yang hamper mendekati 6 dB.

### 3.6 Perancangan Antena Susun

#### 3.6.1 Simulasi dengan menggunakan antena satu element

Simulasi disini menggunakan bantuan perangkat luna CST Studio Suite, dimana pola radiasi *array* dapat dilihat dengan melakukan perhitungan terotis berdasarkan satu single element tanpa benar-benar membuat semua element *array*.

Pada simulasi ini digunakan *array* dengan jumlah element  $2^n$  yaitu 4, 8, 16, 32 dan 64 elemen lalu dibandingkan spesifikasi dari semua jumlah *array* tersebut. Hasil simulasi dapat disimpulkan pada table berikut :

Tabel 3.7 Perbandingan Paramater Antena *Array* 2<sup>n</sup> Dengan Perhitungan

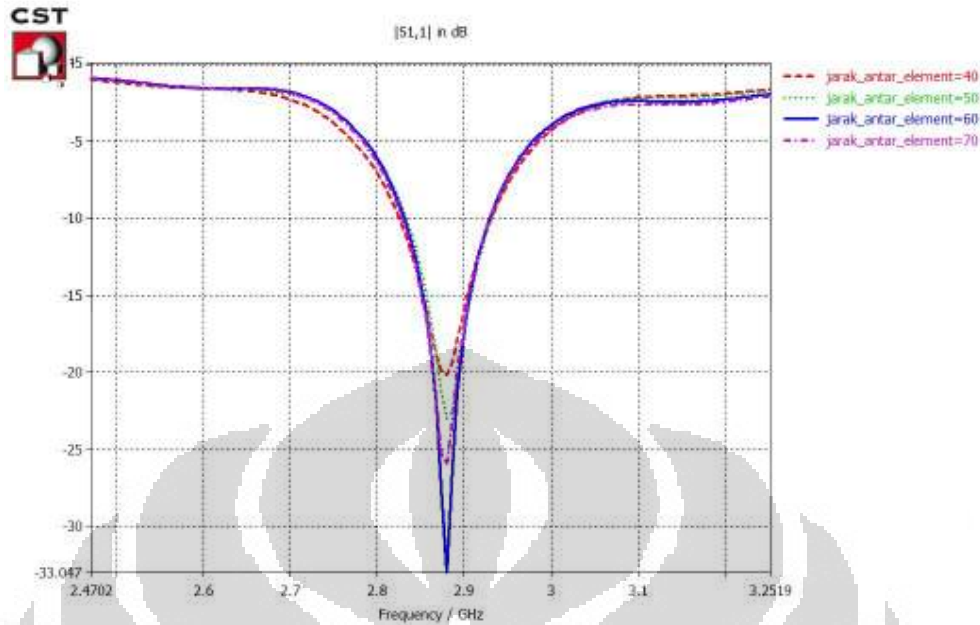
jumlah element	2	4	8	16	32	64
spesifikasi						
<i>gain</i>	6.23	9.09	12.03	15.02	18.04	20.79
HPBW azimuth	44.9 <sup>0</sup>	22.1 <sup>0</sup>	10.9 <sup>0</sup>	5.4 <sup>0</sup>	2.5 <sup>0</sup>	0.9 <sup>0</sup>
HPBW elevasi	97.1 <sup>0</sup>	97.1 <sup>0</sup>	97.1 <sup>0</sup>	97.1 <sup>0</sup>	97.1 <sup>0</sup>	97.1 <sup>0</sup>
side lobe level	-12.8	-12.8	-12.8	-12.8	-12.8	-12.8

Dari Tabel 3.7 menunjukkan seiring dengan meningkatnya jumlah elemen *Gain* yang diperoleh makin meningkat, sedangkan Besar HPBW menurun dengan menurunnya jumlah elemen *array*. Dari Table 3.7 juga menunjukkan bahwa untuk memperoleh *gain* dan HPBW sesuai yang diinginkan pada tujuan penulisan sekripsi ini yaitu *gain* lebih besar dari 10 dB dan HPBW 15<sup>0</sup> harus dibuat *array* dengan jumlah 8 elemen.

### 3.6.2 Perancangan Antena *Array* Menggunakan *Power Divider*

#### 3.6.2.1 perancangan *Array* 2 element

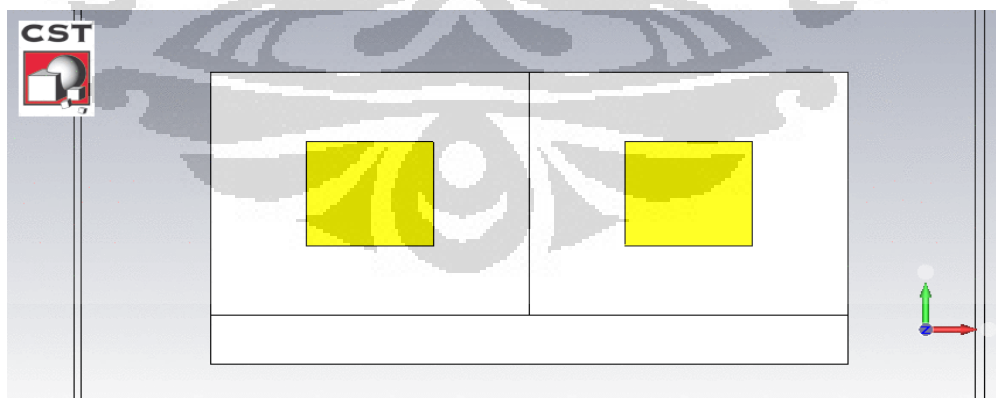
Langkah awal dalam perancangan antena mikrostrip *array* dengan menggunakan *power divider* yaitu merancang antena *array* dua element, dari desain disini kita bisa melihat jarak antar element yang dapat menghasilkan nilai parameter yan optimun. Hasil paramaterisasi dari jarak antar element ditunjukkan pada gambar 3.18 :



Gambar 3.17 Parameterisasi Jarak Antar Elemen Pada Antena *Array*

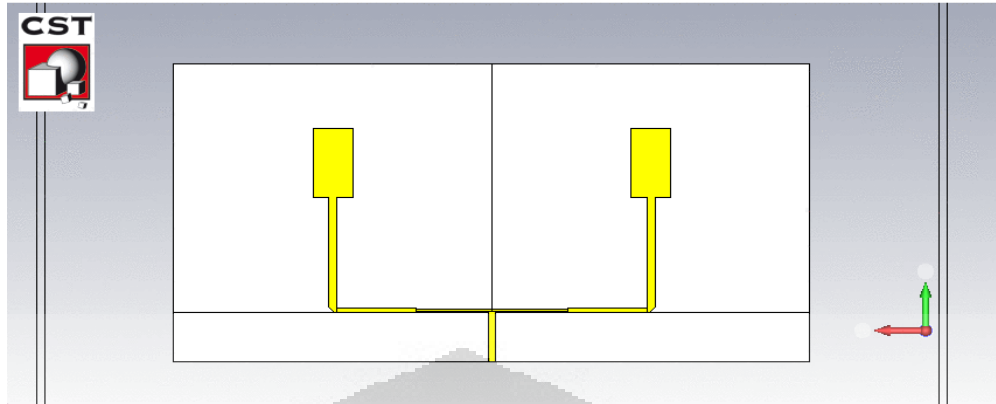
Dari hasil parameterisasi seperti ditunjukkan pada gambar dapat dilihat bahwa jarak antar element akan mempengaruhi kondisi matching dari antena, nilai optimum dari matching diperoleh saat jarak antar element sebesar 60mm.

Desain dari antena dua element ditunjukkan seperti pada Gambar 3.18:



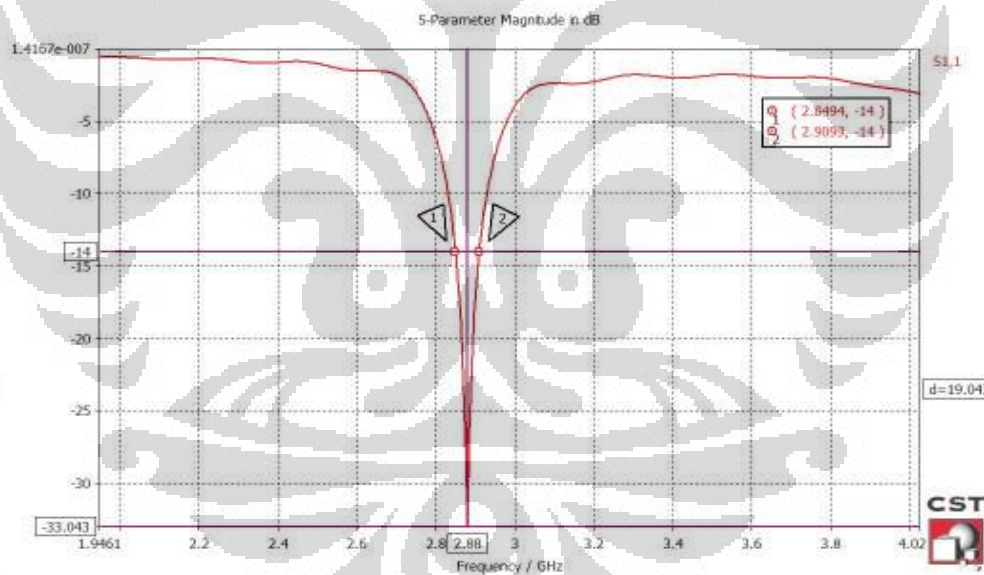
Gambar 3.18 Tampak Depan Desain Antena *Array* 2 element





Gambar 3.19 Tampak Belakang Desain Antena *Array* 2 element

Hasil simulasi parameter s11 dari Antena *array* 2 element ditunjukkan pada Gambar 3.20 :

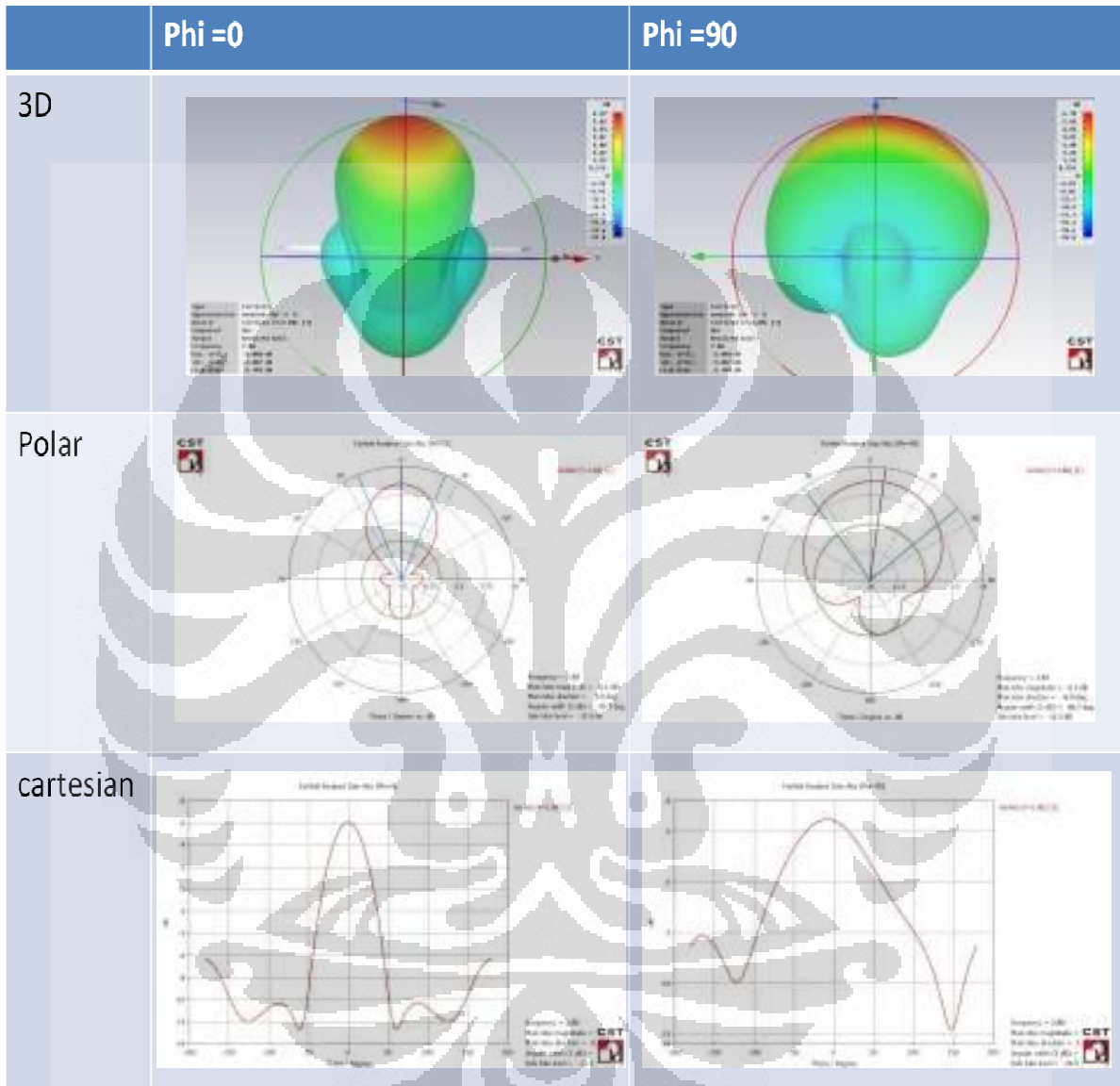


Gambar 3.20 Hasil Simulasi Antena *Array* 2 elemen

Dari gambar diatas dapat dilihat bahwa antena *array* 2 element berkerja pada frekuensi 2.849 – 2.910 GHz. Ini berarti antena menghasilkan *bandwidth* sebesar 61 MHz. parameter ini sudah sesuai dengan parameter yang dituju.

Hasil simulasi pola radiasi dari antenna dapat dilihat pada Tabel 3.8 berikut:

Tabel 3.8 Gambar Hasil Simulasi Pola Radiasi *Array 2* Elemen



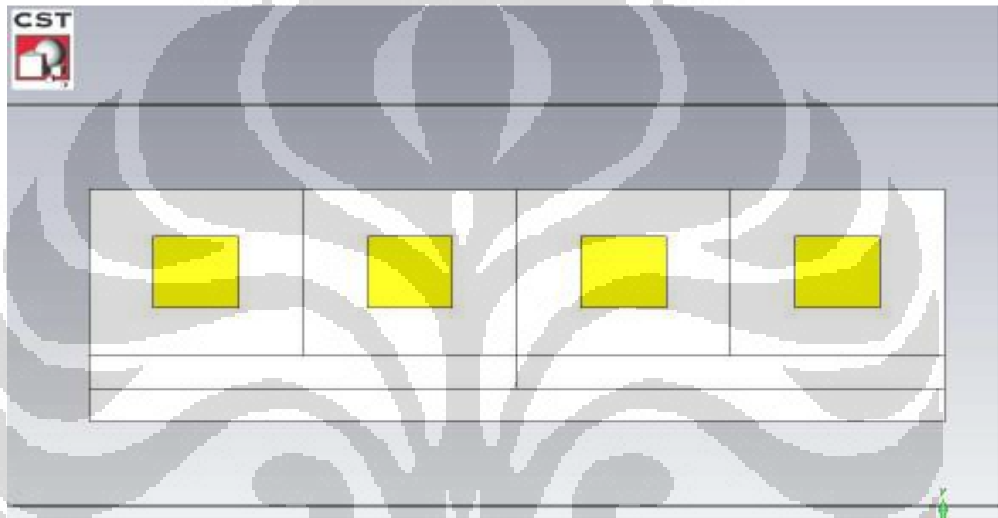
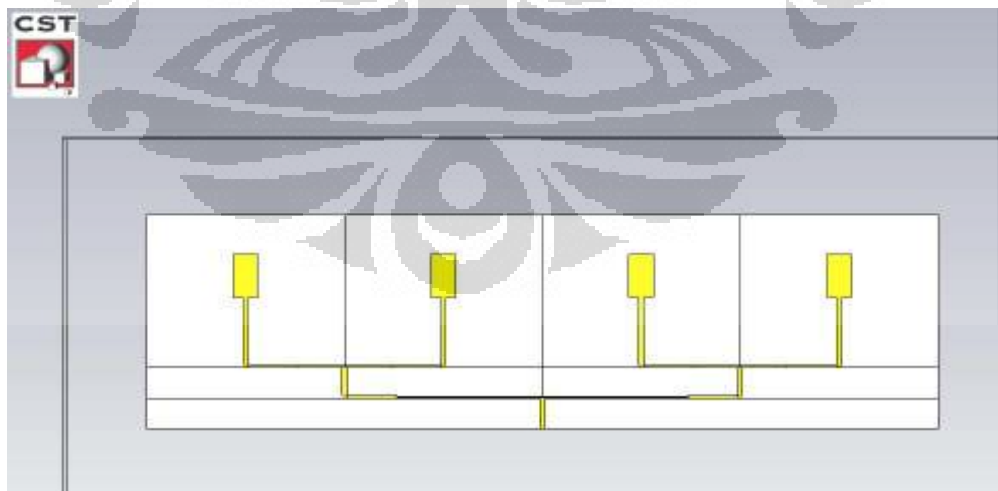
Parameter yang diperoleh dari hasil simulasi pola radiasi dari antenna *array 2* element dapat dilihat pada Tabel 3.9 :

Tabel 3.9 Hasil Simulasi Pola Radiasi Antena *Array* 2 Element

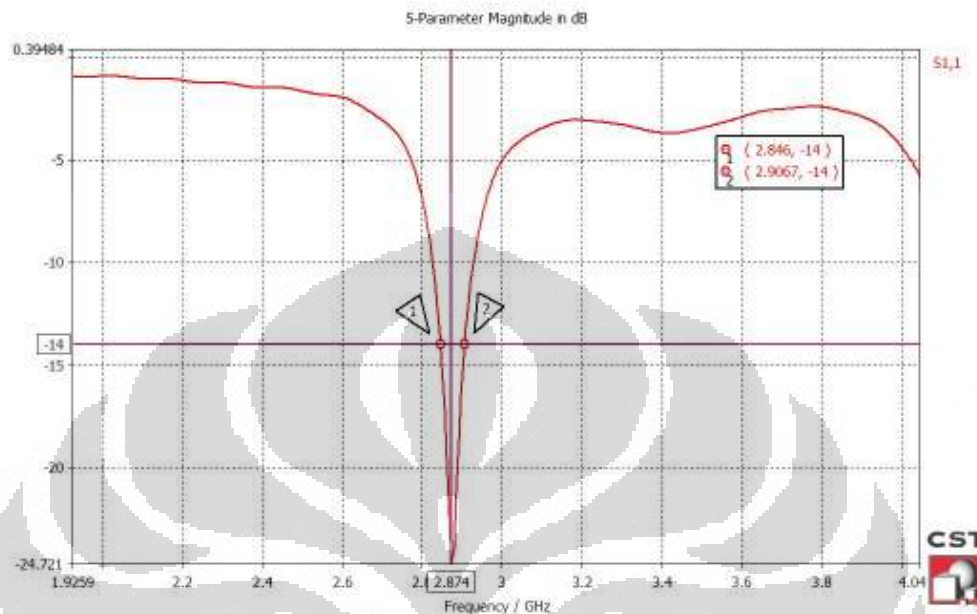
Directivity	9.232 dBi
Gain	6.190 dB
HPBW	45.3
FSSL	-12.4

### 3.6.2.2 perancangan *Array* 4 element

Desain dari antena *array* 4 element ditunjukkan seperti pada Gambar 3.21 - 3.22 :

Gambar 3.21 Tampak Depan Antena *Array* 4 ElemenGambar 3.22 Tampak Belakang Antena *Array* 4 Elemen

Hasil simulasi S11 dari antenna *array* 4 element ditunjukkan seperti pada gambar 3.23 :

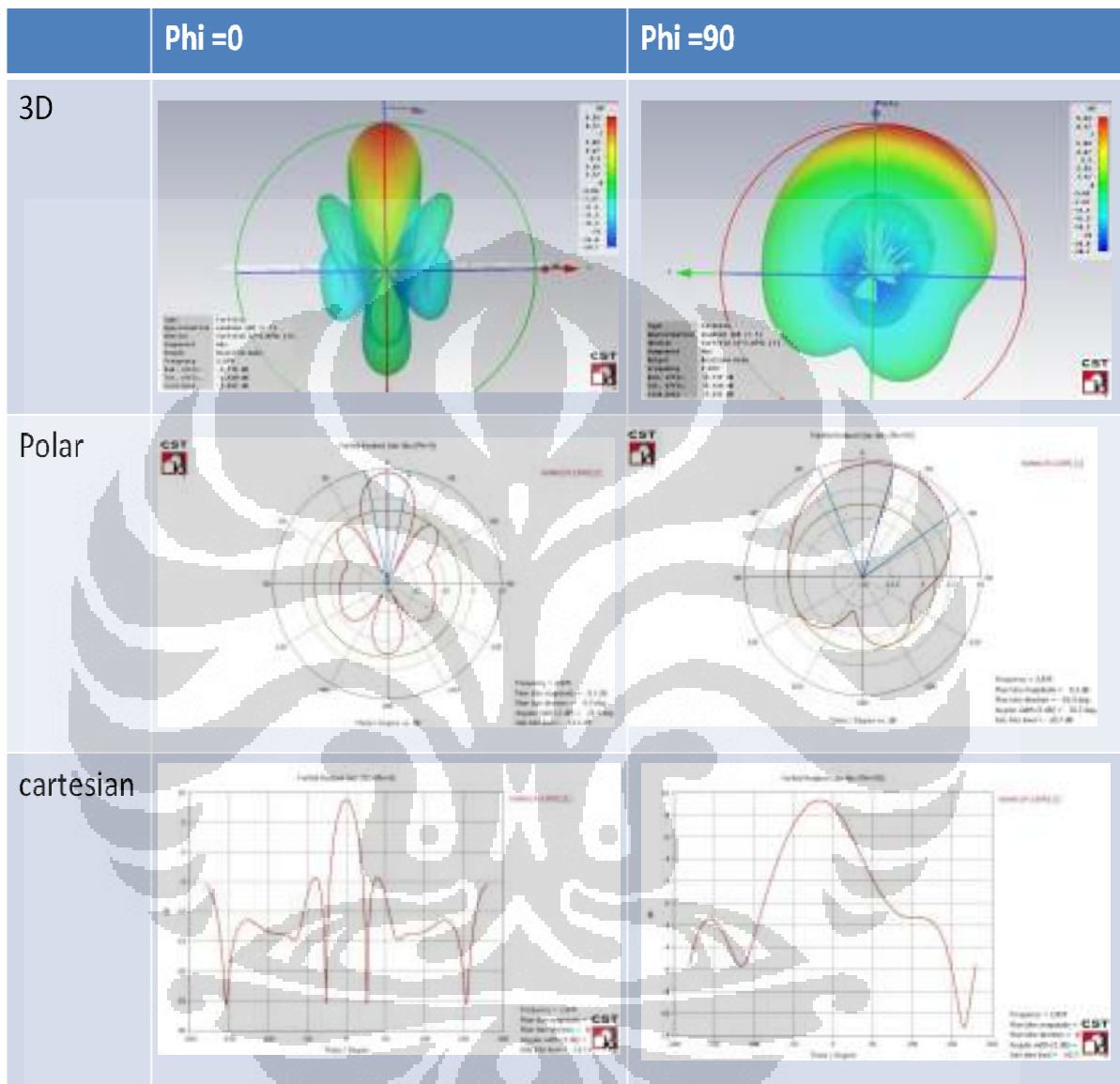


Gambar 3.23 Hasil Simulasi Antena *Array* 4 Elemen

Dari hasil simulasi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.24 dapat kita lihat kalau antenna berkerja pada frekuensi 2.846 – 2.907 GHz dengan *bandwidth* sebesar 61 MHz.

Hasil simulasi pola radiasi dari antenna ditunjukkan seperti pada Tabel 3.10:

Tabel 3.10 Gambar Hasil Pola Radiasi Antena *Array* 4 Elemen



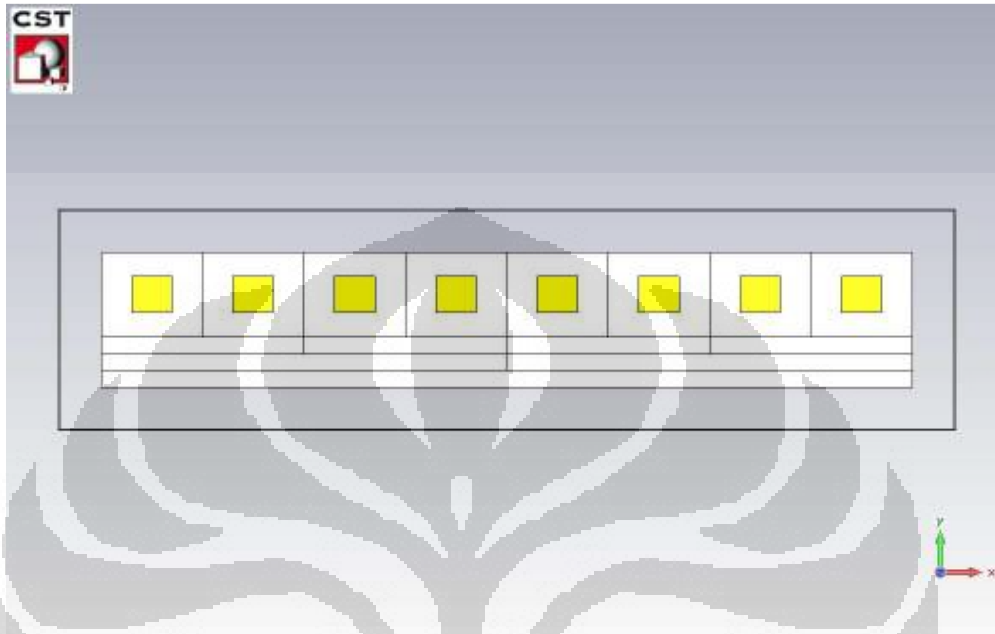
Parameter yang diperoleh dengan dari simulasi pola radiasi ditunjukkan seperti pada Tabel 3.11 :

Tabel 3.11 Hasil Simulasi Pola Radiasi Antena *Array* 4 elemen

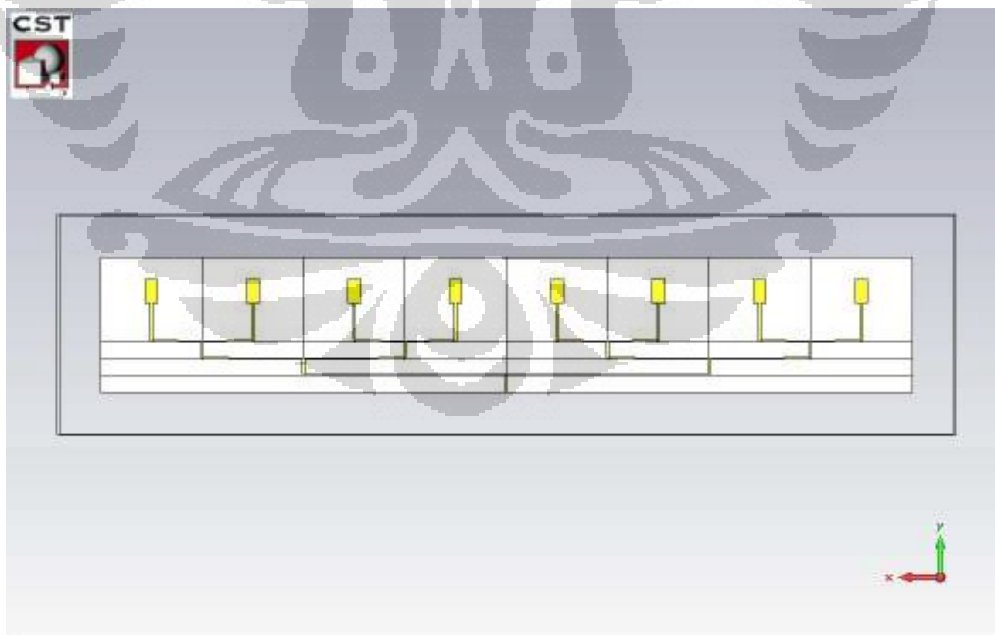
Directivity	14.567 dBi
Gain	9.332 dB
HPBW	22.4
FSSL	-13.1 dB

### 3.6.2.3 perancangan *Array* 8 element

Desain dari antenna *array* 8 element ditunjukkan seperti pada Gambar 3.24 - 3.25 :



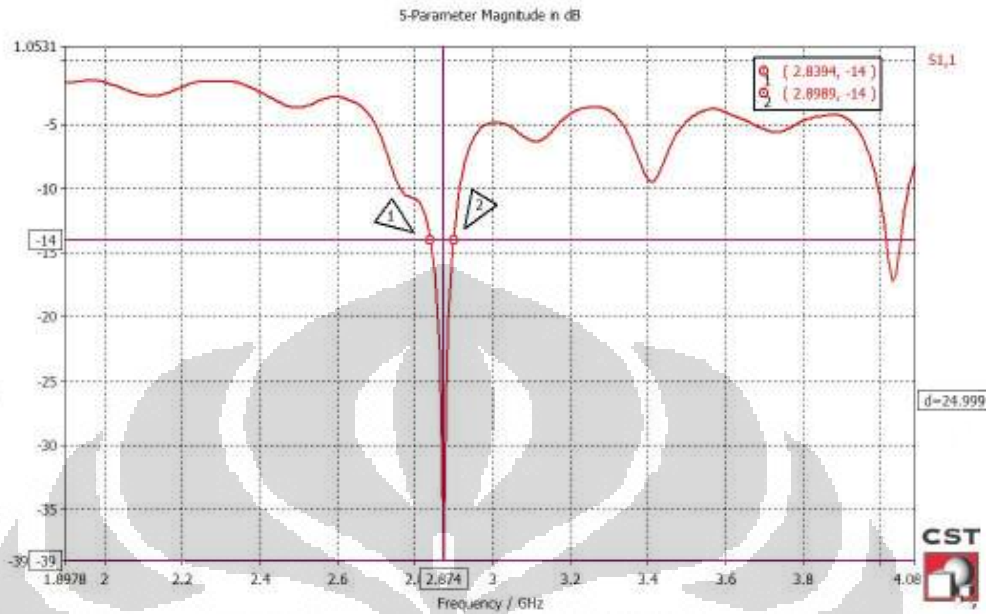
Gambar 3.24 Tampak Depan Desain Antena *Array* 4 Element



Gambar 3.25 Tampak Belakang Desain Antena *Array* 4 Element

**UNIVERSITAS INDONESIA**

Hasil simulasi parameter S11 dari antenna ditunjukkan seperti pada Gambar 3.26:



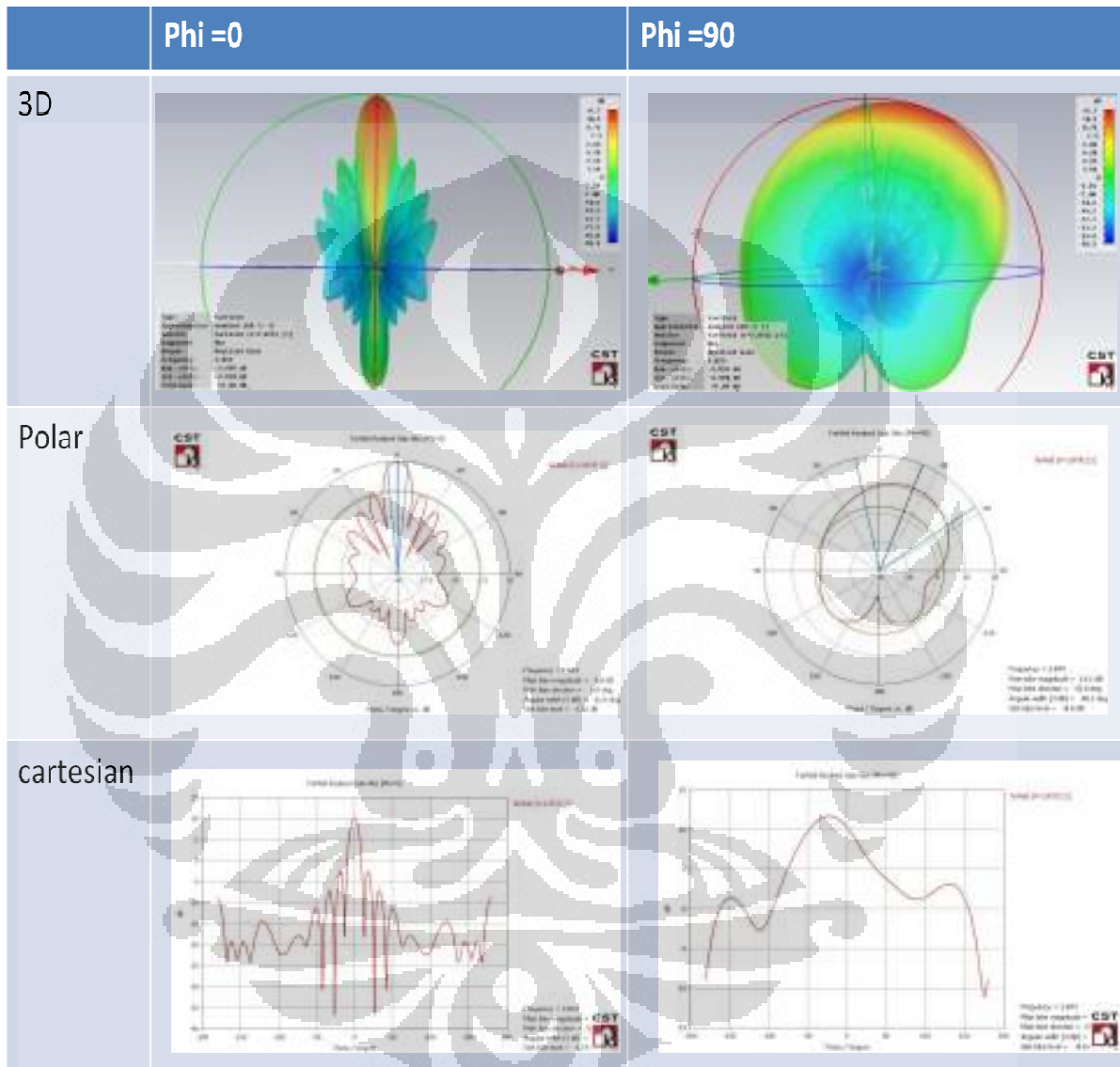
Gambar 3.26 Hasil Simulasi S11 Antena Array 8 Element

Dari Gambar 3.26 dapat kita lihat bahwa antenna bekerja pada frekuensi 2.839 - 2.900 GHz dengan *bandwidth* sebesar 61 MHz pada *VSWR* <1.5



Hasil simulasi pola radiasi dari antenna *array* 8 element ditunjukkan seperti pada tabel 3.12 :

Tabel 3.12 Gambar Hasil Simulasi Pola Radiasi Antena *Array* 8 Elemen



Parameter yang diperoleh dari simulasi pola radiasi ditunjukkan pada tabel 3.13 berikut:

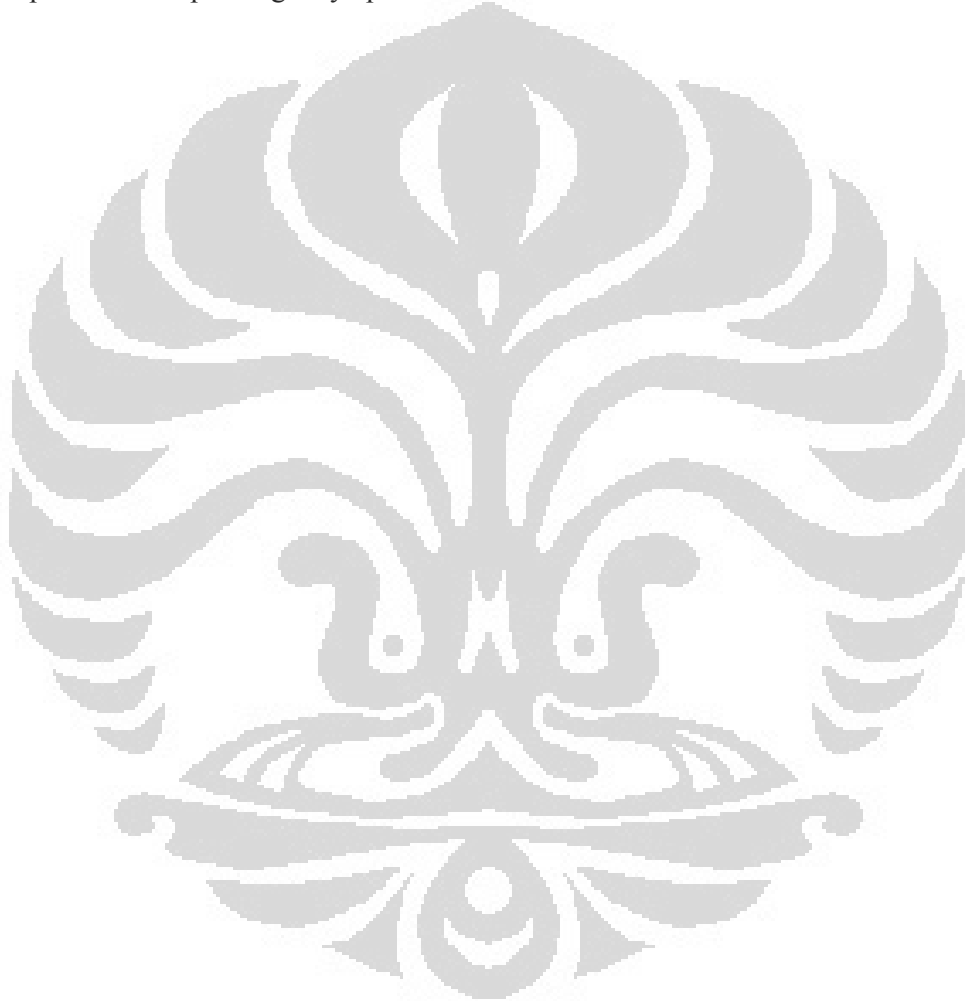
Tabel 3.13 Hasil Simulasi Pola Radiasi Antena *Array* 8 Elemen

Directivity	18.295 dBi
Gain	11.08 dB
HPBW	11 <sup>0</sup>
FSSL	-13.1 dB

**UNIVERSITAS INDONESIA**



Dari Hasil Simulasi Pola radiasi seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.12 dan 3.13, diperoleh bahwa antenna array 8 element yang di desain telah memenuhi spesifikasi yang diinginkan yaitu berupa *gain* sebesar 11.08 dB dan HPBW sebesar  $11^{\circ}$ . Dari Tabel 3.12 sudut  $\phi=0$  hasil pola radiasi menunjukkan bahwa arah peradiasi utama pada arah sudut  $0^{\circ}$  sedangkan pada arah  $\phi=90$ , peradiasi utama pada arah  $20^{\circ}$ , hal ini terjadi karena adanya tambahan substrate untuk kaki pencatu buat pembagi daya pada antenna.



## BAB IV

### PENGUKURAN DAN ANALISIS

#### 4.1 Kondisi Pengukuran

Setelah seluruh proses simulasi diperoleh dan parameter yang diinginkan tercapai maka proses selanjutnya adalah menerapkan hasil simulasi pada fabrikasi lalu melakukan pengukuran untuk mengetahui performa dari antenna yang telah difabrikasi. Pengukuran dilakukan di dalam ruang anti gema (*anchois chamber*) yang ada di Universitas Indonesia. Pengukuran yang dilakukan harus mengikuti kondisi dan persyaratan tertentu agar hasil pengukuran yang diperoleh dapat dipercaya. Kondisi-kondisi yang harus dipenuhi adalah sebagai berikut :

##### 4.1.1 Perhitungan jarak medan-jauh

Pengukuran harus dilakukan pada daerah medan jauh dari antenna, hal ini karena pada daerah ini distribusi medan radiasi yang dihasilkan telah stabil sehingga hasil pengukuran yang didapatkan dapat mendekati hasil sebenarnya. Hal ini berbeda jika pengukuran dilakukan pada daerah medan dekat, dimana distribusi medan masih dipengaruhi sifat reaktif dari antenna.

Jarak minimum dari daerah medan jauh dapat dicari dengan menggunakan persamaan berikut:

$$R_2 = \frac{2D^2}{\lambda} \quad 4.1$$

R : batas minimum medan jauh

D : dimensi terbesar antenna

$\lambda$  : panjang gelombang antenna

Dengan menggunakan frekuensi kerja antenna sebesar 2.875 GHz, diperoleh nilai  $\lambda$  sebesar 10.4 cm, menggunakan persamaan 4.1 diperoleh jarak minimum untuk medan jauh antenna sebesar 2.21 m.

#### 4.1.2 Perhitungan Ketinggian Antena

Kondisi pengukuran antena yang kedua adalah bahwa AUT dan antena penguji harus berada dalam keadaan Line of Sight (LOS), dan daerah Fresnel pertama tidak terganggu oleh penghalang. Besarnya radius daerah Fresnel pertama perlu dihitung untuk menentukan ketinggian antena. Ketinggian antena harus dibuat sedemikian sehingga daerah Fresnel pertama antena tidak menyentuh permukaan lantai ruang anti gema.

Radius daerah Fresnel pertama untuk frekuensi kerja 2.875 GHz adalah sebesar 0,2 m atau 20 cm. Sedangkan untuk frekuensi kerja 2,35 GHz, radius Fresnel pertama adalah 0,18 m atau 18 cm. Agar ketinggian antena sama untuk kedua frekuensi kerja dan syarat daerah Fresnel pertama masih dapat dipenuhi, maka AUT pada pengukuran akan diposisikan pada ketinggian 60 cm.

### 4.2 Peralatan yang Digunakan

Pengukuran antena ini membutuhkan perangkat – perangkat untuk pengukuran dan analisis hasil pengukuran antena. Perangkat – perangkat tersebut terbagi menjadi perangkat keras dan perangkat lunak.

#### 4.2.1 Perangkat Keras (Hardware)

Perangkat keras yang digunakan pada pengukuran adalah sebagai berikut.

a. Connector SMA 50 Ohm

Konektor ini digunakan untuk memberikan port pada antena yang akan menghubungkan microstrip line antena dengan saluran transmisi alat ukur network analyzer.

b. Kabel coaxial RG-55/U Fujikura

Kabel ini digunakan pada pengukuran port ganda untuk menghubungkan port pada network analyzer ke port antena.

c. Calibration Kit Agilent 85052D

Peralatan kalibrasi ini digunakan untuk mengkalibrasi network analyzer dilakukan pengukuran.

d. Network Analyzer Agilent N5230C (300 kHz - 13,5 GHz)

Network analyzer (NA) ini digunakan pada pengukuran port tunggal, dimana parameter yang diukur meliputi parameter return loss, VSWR, dan input impedance. Selain itu, network analyzer ini juga digunakan pada pengukuran parameter isolation between port.

#### 4.2.2 Perangkat Lunak (Software)

Sedangkan perangkat lunak yang digunakan pada proses fabrikasi dan pengukuran adalah sebagai berikut.

a. Microsoft Visio 2007

Rancang bangun antena dari simulator kemudian akan dikonversi ke perangkat lunak ini agar rancangan antena tersebut dapat difabrikasi.

b. Microsoft Excel 2007

Perangkat lunak ini digunakan untuk mengolah data hasil pengukuran sehingga dapat ditampilkan pada skripsi ini.

### 4.3 Hasil Pengukuran

#### 4.3.1 Antena Satu Element

##### 4.3.1.1 Foto Hasil Fabrikasi Antena



(i)



(ii)

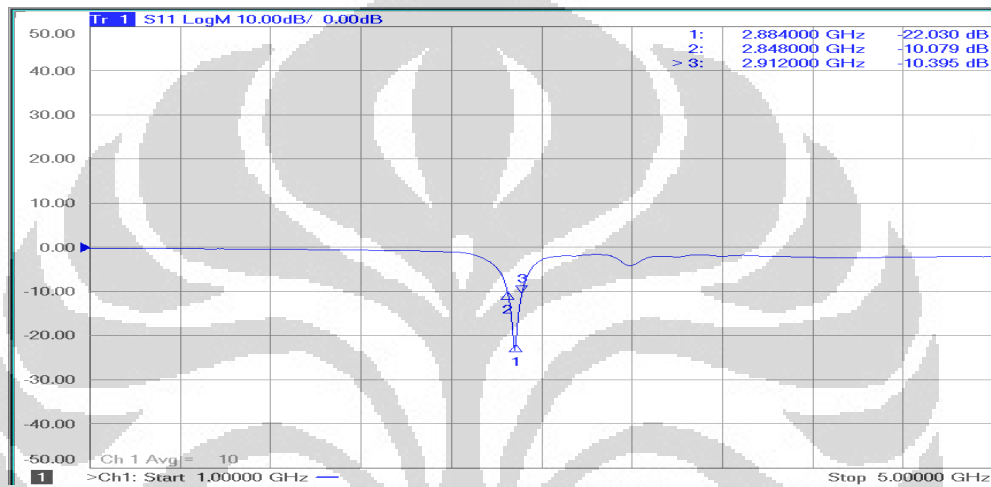
Gambar 4.1 Hasil Fabrikasi Antena Satu Element

(i)tampak depan (ii) tampak belakang

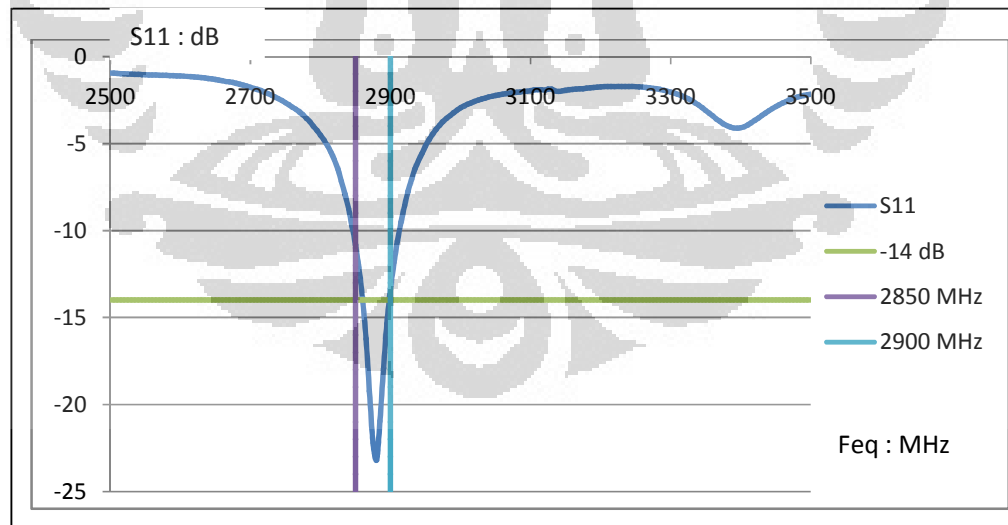
### 4.3.1.2 Pengukuran Antena satu Elemen

#### 4.3.1.2.1 Pengukuran Port Tunggal

Pengukuran port tunggal antena meliputi parameter return loss, VSWR, dan input impedance. Pengukuran ini dilakukan dengan menghubungkan port antena yang diukur pada port yang terdapat di network analyzer. Hasil pengukuran return loss dari antena single element ditunjukkan pada gambar 4.2 (i) – (ii):



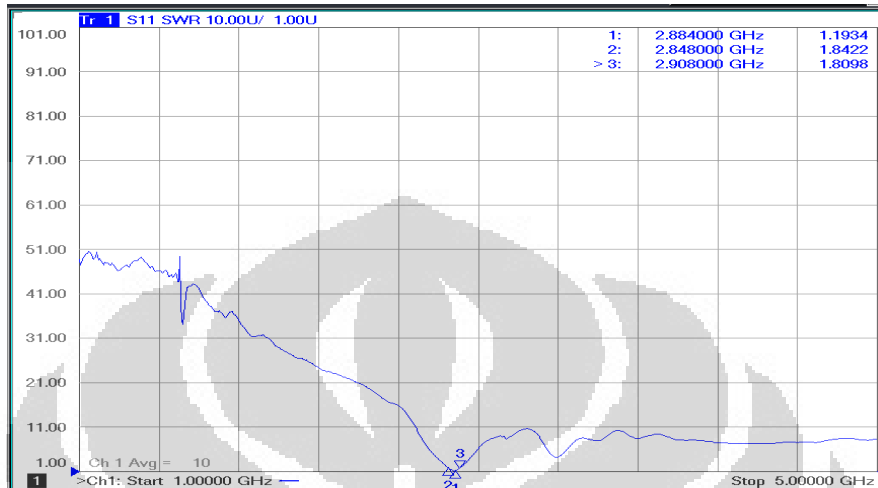
(i)



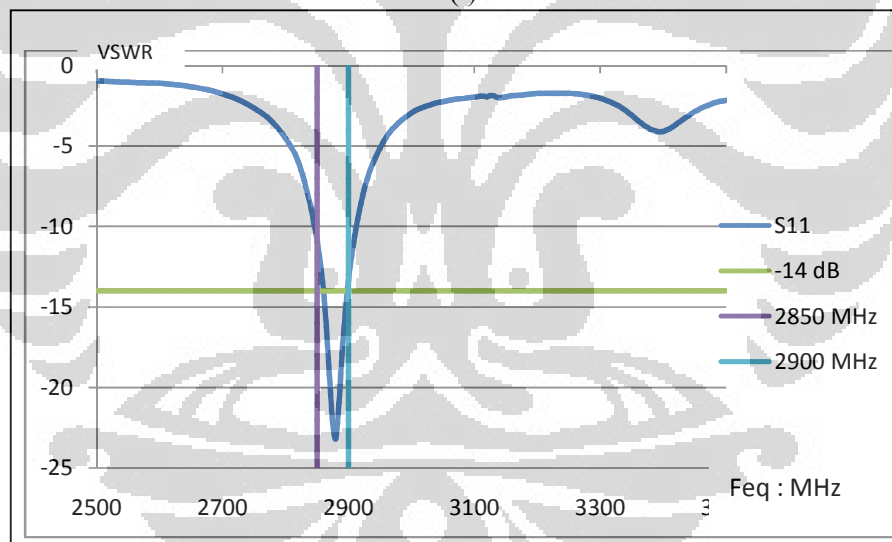
(ii)

Gambar 4.2 Hasil Pengukuran Return Logss Antena Satu Element, (i) dari VNA, (ii) olah data dari Mic. excel

Hasil pengukuran VSWR dari antenna sinle element :



(i)



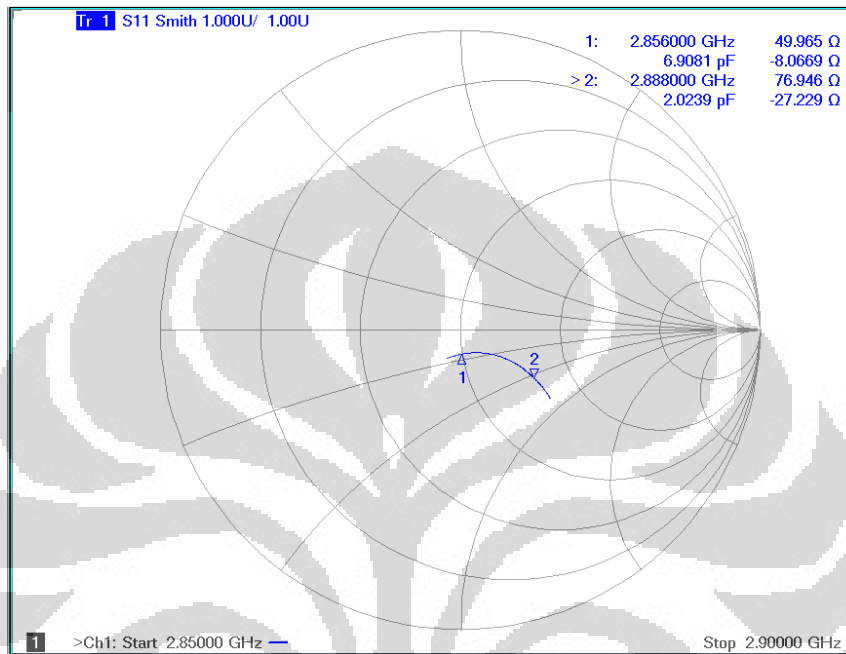
(ii)

Gambar 4.3 Hasil Pengukuran VSWR Antenna Satu Element, (i) data dari VNA, (ii) olah data Mic. Excel

Dari Hasil Pengukuran seperti yang terdapat pada Gambar 4.2 dan 4.4, dapat dilihat bahwa antenna berkerja pada frekuensi 2850 – 2910 MHz dengan VSWR < 2, sedangkan untuk nilai VSWR < 1.5, antenna berkerja pada frekuensi

**UNIVERSITAS INDONESIA**

2.850 – 2.900 MHz . dengan impedansi antenna pada  $(49-i8) \Omega$  data lengkap pengukuran terdapat pada lampiran A.



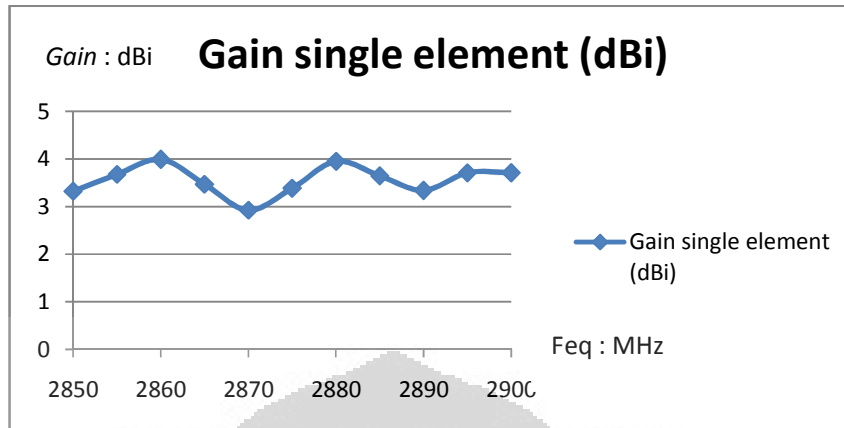
Gambar 4.4 Hasil Pengukuran Impedansi Antena

#### 4.3.1.2.2 Pengukuran Port Ganda

Pengukuran port ganda pada antenna single element yaitu berupa pengukuran besar *gain* dari antenna.

*Gain* dari antenna pada frekuensi 2.85 – 2.90 GHz :





Gambar 4.5 Hasil Pengukuran *Gain* Antena Satu Element

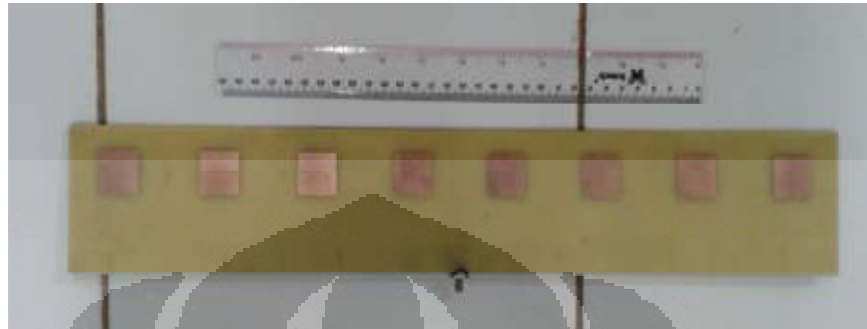
Dari hasil pengukuran *gain* seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.5, diperoleh bahwa pada frekuensi kerja, antenna memiliki *gain* dengan rentang 3-4 dB. Data *gain* pada masing-masing frekuensi ditunjukkan pada table berikut :

Tabel 4.1 Hasil Pengukuran *Gain* Antenna Single Element

Frekuensi (MHz)	<i>Gain</i> (dBi)
2850	3.324621
2855	3.675273
2860	3.989825
2865	3.46995
2870	2.924273
2875	3.387125
2880	3.946887
2885	3.643943
2890	3.338111
2895	3.71057
2900	3.705188

### 4.3.2 Pengukuran Antena Array 8 Element

#### 4.3.2.1 Foto Hasil Fabrikasi Antena



(i)



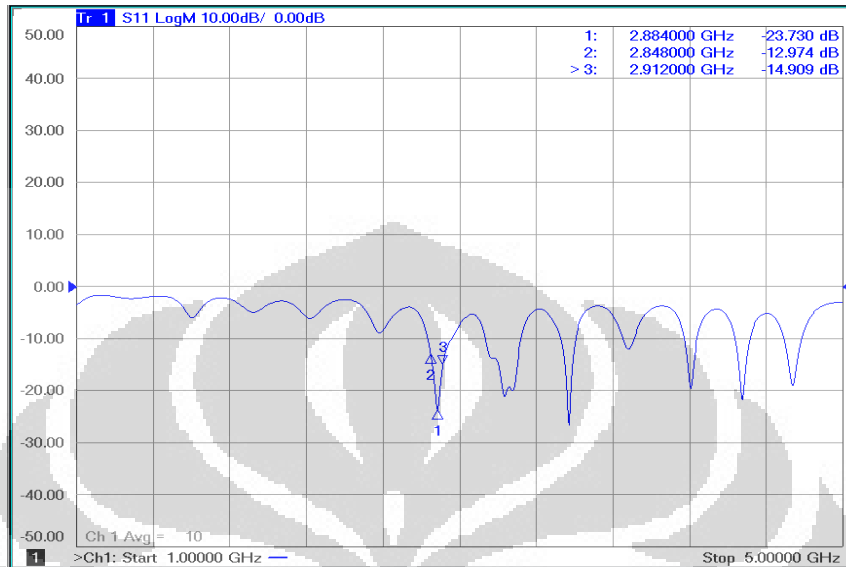
(ii)

Gambar 4.6 Hasil Fabrikasi Antena Array 8 Element (i) tampak depan (ii) tampak belakang

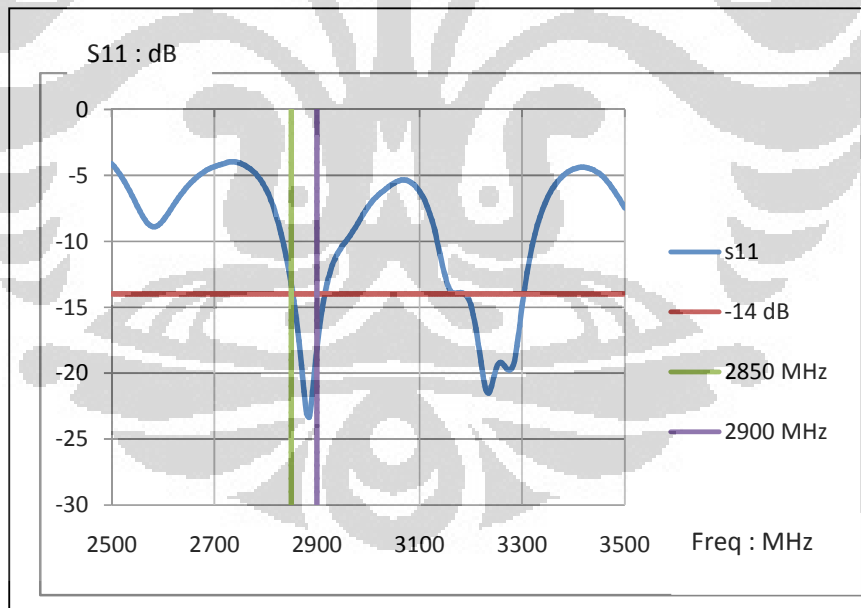
#### 4.3.2.2 Pengukuran port tunggal

Pengukuran port tunggal antena meliputi parameter return loss, VSWR, dan input impedance. Pengukuran ini dilakukan dengan menghubungkan port antena yang diukur pada port yang terdapat di network analyzer.

Hasil pengukuran return loss dari antenna single element ditunjukkan pada Gambar 4.7 :



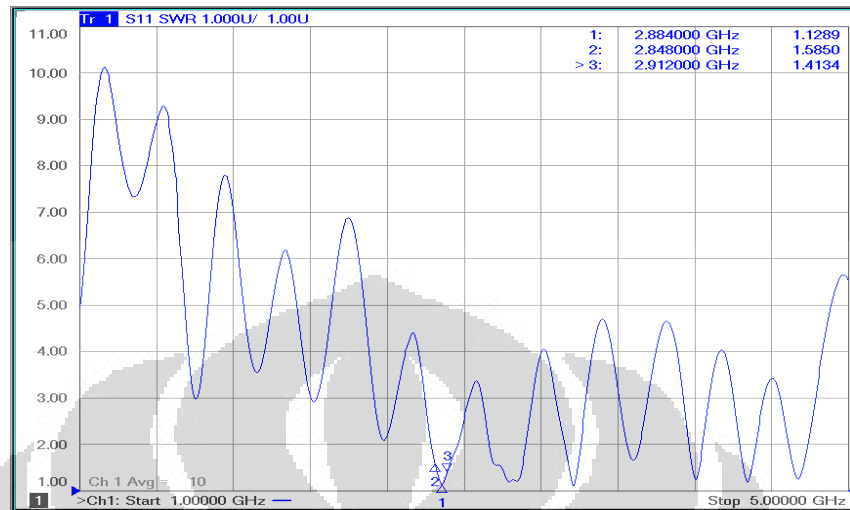
(i)



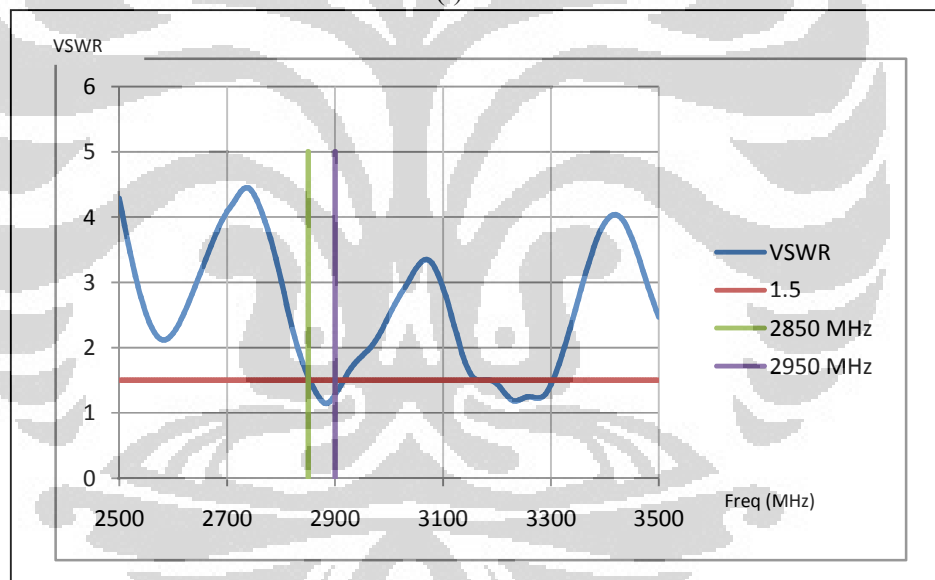
(ii)

Gambar 4.7 Hasil Pengukuran Return Loss Antenna Array 8 element (i) data dari VNA (ii) data dari Ms.Excel

Nilai VSWR dari antenna array 8 element ditunjukkan pada Gambar 4.8 :

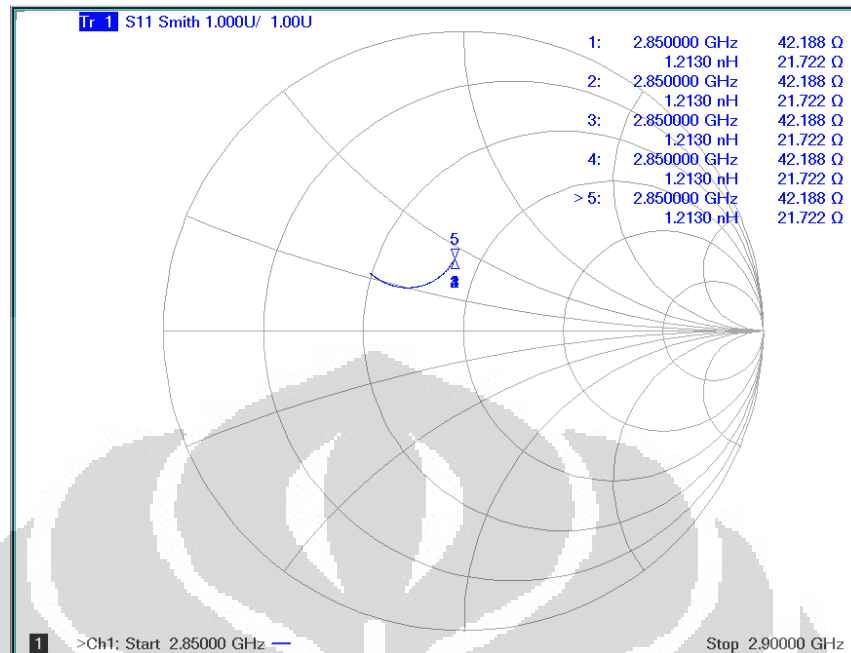


(i)



(ii)

Gambar 4.8 Hasil Pengukuran VSWR Antenna Array 8 element (i) data dari VNA (ii) data dari Ms.Excel



Gambar 4.9 Hasil Pengukuran impedansi Antena

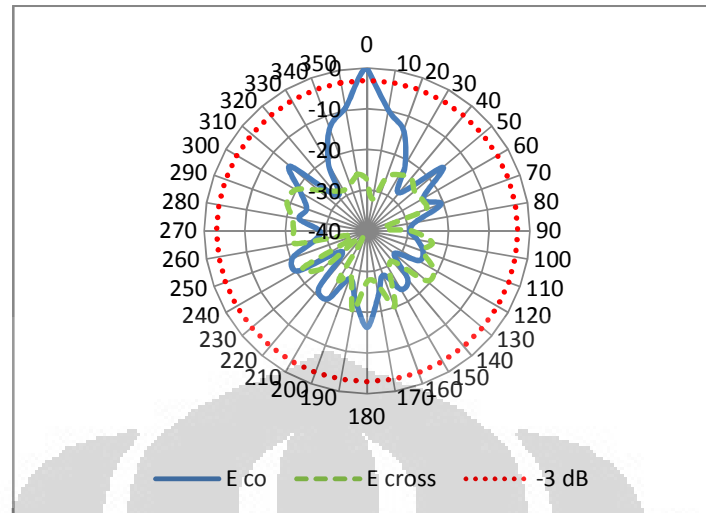
Dari hasil pengukuran antenna array seperti ditunjukkan pada Gambar 4.7 dan 4.9 diperoleh bahwa antenna berkerja pada frekuensi 2850 MHz – 2915 Mhz. dengan VSWR <1.5. impedansi antenna yaitu sebesar  $(42+21 i) \Omega$

#### 4.3.2.3 Pengukuran Port Ganda

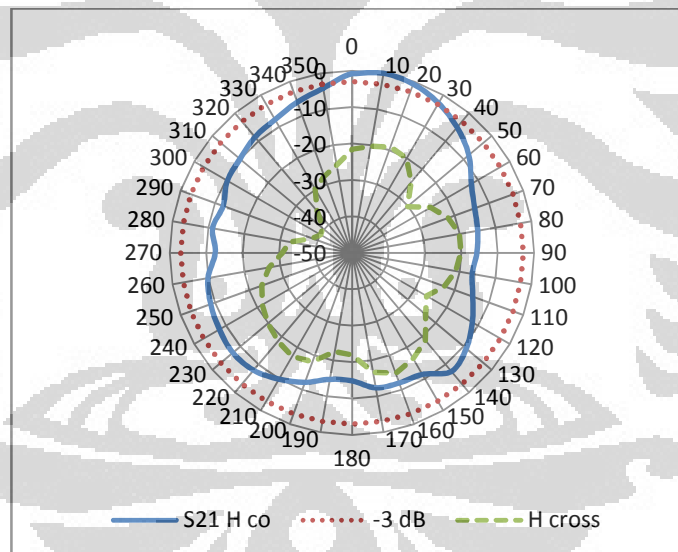
Untuk antenna array 8 element ini pengukuran port ganda dilakukan untuk melihat grafik pola radiasi dan menghitung *gain* dari antenna.

##### 4.3.2.3.1 Hasil pengukuran pola radiasi

Hasil pengukuran pola radiasi pada arah medan E ditunjukkan seperti pada Gambar 4.10 :



Gambar 4.10 Hasil Pengukuran Pola Radiasi Antenna Array 8 element Bidang E hasil pengukuran pola radiasi padah arah medan H ditunjukkan pada gambar 4.11

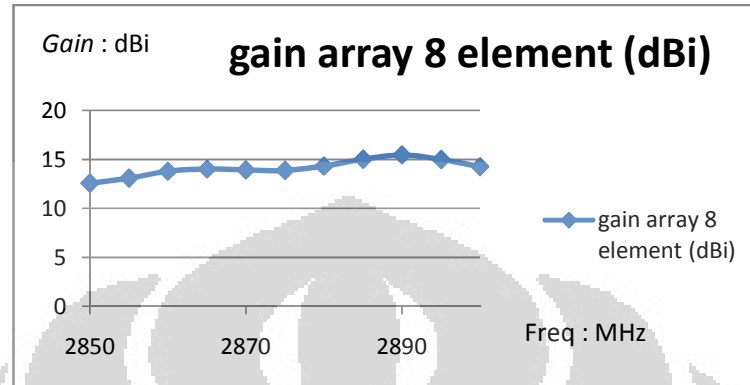


Gambar 4.11 Hasil Pengukuran Pola Radiasi Antenna Array 8 element Bidang H

Dari Hasil pengukuran pola radiasi seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.10 dan 4.11 diperoleh bahwa pada arah medan E copolarisasi antenna mempunyai *beamwidth* sebesar  $10^0$  dengan radiasi utama pada arah sudut  $0^0$ . Sedangkan untuk arah medan H diperoleh *beamwidth* sebesar  $40^0$  dengan radiasi utama pada arah sudut  $10^0$

#### 4.3.2.3.2 Hasil Pengukuran *Gain* Antena

Hasil pengukuran *gain* dari antenna ditunjukkan seperti pada gambar 4.12



Gambar 4.12 Grafik *Gain* Antena

Dari hasil pengukuran diperoleh bahwa pada rentang frekuensi kerja, antenna mempunyai *gain* dengan rentang 12.5 – 15.4 dBi. Data hasil *gain* pada masing-masing frekuensi dapat dilihat pada table berikut :

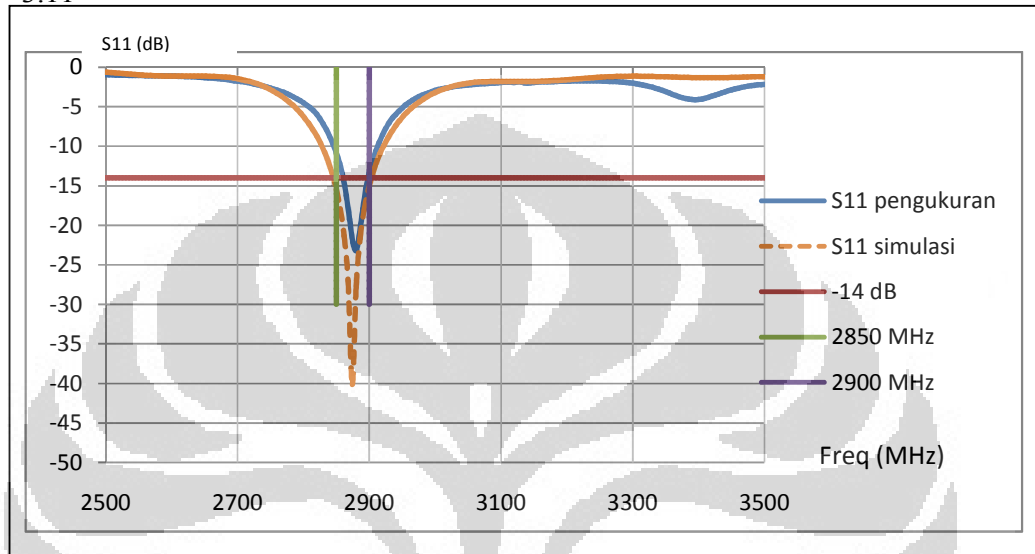
Tabel 4.2 *Gain* Antenna Array 8 Element

Frekuensi (MHz)	<i>Gain</i> (dBi)
2850	12.54175
2855	13.06232
2860	13.792288
2865	14.001528
2870	13.90103
2875	13.859018
2880	14.289431
2885	14.996764
2890	15.441363
2895	14.97063
2900	14.237338

## 4.4 Analisis

### 4.4.1 Antenna satu element

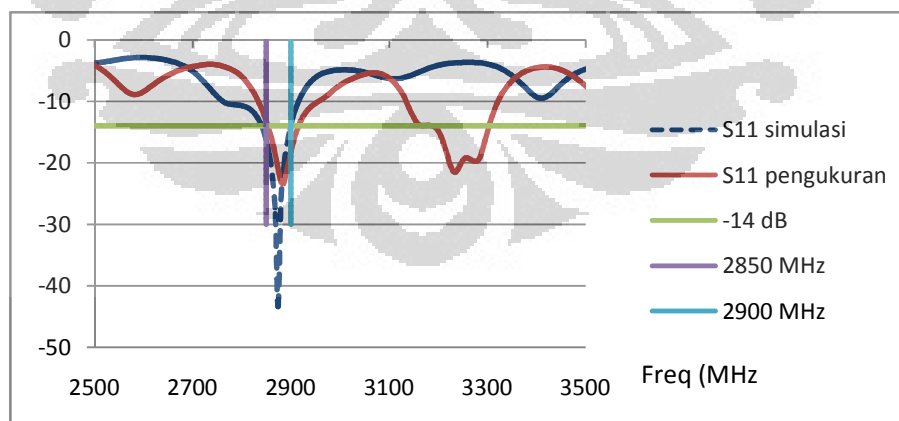
Perbandingan hasil simulasi dan pengukuran return loss ditunjukkan pada Gambar 3.11



Gambar 4.13 Perbandingan Hasil Simulasi Dan Pengukuran Return Loss Antena Satu Elemen

### 4.4.2 Antena susun 8 element

a. Perbandingan Hasil Simulasi dan pengukuran port tunggal



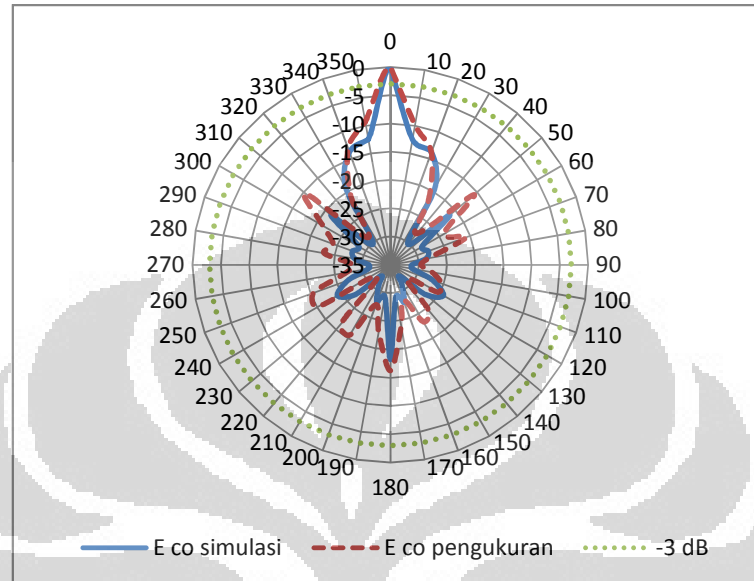
Gambar 4.14 Perbandingan Hasil Simulasi Dan Pengukuran Return Loss Antena Susun 8 Elemen

**UNIVERSITAS INDONESIA**



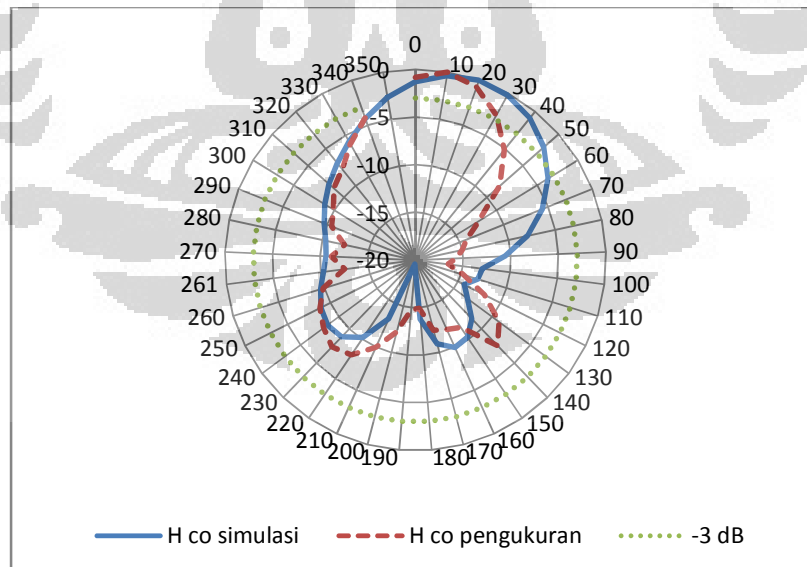
b. Perbandingan Hasil Simulasi dan pengukuran port ganda

- medan E co polarisasi



Gambar 4.15 Perbandingan Hasil Simulasi Dan Pengukuran Pola Radiasi Medan E Co Polarisasi Antenna Susun 8 Elemen

- Medan H co Polarisasi



Gambar 4.16 Perbandingan Hasil Simulasi Dan Pengukuran Pola Radiasi Medan H Co Polarisasi Antenna Susun 8 Elemen

**UNIVERSITAS INDONESIA**

Berdasarkan perbandingan yang telah dilakukan antara simulasi dengan hasil pengukuran, terdapat perbedaan antara hasil simulasi dan hasil pengukuran. Perbedaan – perbedaan yang muncul tersebut dapat disebabkan oleh beberapa faktor dimana faktor – faktor tersebut juga mempengaruhi proses pengukuran sehingga hasil pengukuran, baik pengukuran port tunggal maupun pengukuran port ganda memiliki nilai toleransi tertentu. Beberapa faktor yang mempengaruhi proses dan hasil pengukuran adalah sebagai berikut.

- a. Hasil fabrikasi antena yang tidak 100% tepat dengan rancang bangun antena yang disimulasikan.
- b. Konstanta dielektrik bahan substrat yang digunakan memiliki nilai toleransi  $\epsilon_r = 4,6 \pm 0,02$ , nilai toleransi loss tangent  $\delta$  bahan substrat, serta sifat heterogen dari bahan FR4 yang menyebabkan terjadinya dispersi gelombang pada antena.
- c. Proses penyolderan konektor SMA ke pencatu microstrip line antena yang kurang baik sehingga hasil solder kurang akurat.
- d. adanya rugi-rugi pada kabel coaxial yang digunakan pada pengukuran, port SMA pada antena, tembaga sebagai elemen peradiasi dan pentanahan antena, dan berbagai konektor yang digunakan pada network analyzer.
- e. Proses penempelan kedua substrat yang tidak begitu sempurna sehingga memungkinkan adanya celah udara diantara kedua substrat sehingga bias merubah performansi antenna.
- f. Kondisi pengukuran yang masih kurang ideal seperti masih adanya material-material yang terdapat di dalam ruangan pengukuran Anacheoic chamber yang dapat memantulkan gelombang sehingga dapat mengubah hasil pengukuran sebenarnya.
- g. Tingkat akurasi pengukuran yang belum akurat, terutama dalam proses pengukuran pola radiasi, pengukuran baru dapat dilakukan pada rentang  $10^0$  karena pengukuran baru dapat dilakukan secara manual. Selain itu tingkat akurasi sudut juga masih rendah.

## BAB V

### KESIMPULAN

1. Antena Mikrostrip Merupakan salah satu jenis antenna yang bersifat low profile, ukuran yang relative kecil, dan ringan namun dapat memiliki performansi yang baik, jenis antenna ini cocok untuk dipakai pada aplikasi telekomunikasi saat ini.
2. Kekurangan pada antena mikrostrip berupa nilai *gain* yang rendah dan *Bandwidth* yang sempit dapat diatasi salah satunya dengan menggunakan jenis pencatuan *Aperture coupled* dengan slot berbentuk Hour glass, dengan teknik ini diperoleh peningkatan *gain* sebesar 1.05 dBi dan penambahan *bandwidth* sebesar 15 MHz
3. Untuk mendapatkan *Gain* yang lebih tinggi dan lebar *beamwidth* yang kecil, maka antenna dapat disusun secara linear, dengan menyusun antenna sejumlah 8 element secara linear diperoleh *gain* sebesar 11 dBi dan *beamwidth*  $11^{\circ}$

## REFERENSI

- [1] D. pozar "A Review of *Aperture Coupled* Microstrip Antennas: History, Operation, Development, and Applications" Electron. Lett., vol.12, no.06, pp. 1941-1942, sept. 1995.
- [2] S. D. Targonski, R. B. Waterhouse, and D. M. Pozar, "Wideband *aperture coupled* stacked patch using thick substrates," Electron. Lett., vol.32, no.21, pp. 1941-1942, Oct. 1996.
- [3] C. H. Chen, A. Tulintseff and R. M. Sorbello, "Broadband two-layer microstrip antenna," Antennas and Propagation Society International Symposium, Vol. 22, pp.251-254, Jun 1984
- [4] S. D. Targonski, D.M. Pozar, "Design of wideband circularly polarized *aperture-coupled* microstrip antennas," IEEE Trans. On Antenna and Propagation, vol. 41, No. 2, February, 1993.
- [5] P. L. Sullivan and D. H. Schaubert, "Analysis of an *aperture coupled* microstrip antenna," IEEE Trans. Antenn. Propagation., vol. AP-34, pp.977-984, Aug. 1986.
- [6] R.C. Hall and J.R. Sanford, "Performance enhancement for *aperture coupled* microstrip antenna," in IEEE Antennas Propagat. Symp. Dig., vol. 2, pp. 1040-1043, July 1992.
- [7] M.E. Yazdi, M. Himdi, and J.P. Daniel, "Transmission line analysis of nonlinear slot *coupled* microstrip antenna," Electron. Lett., vol. 28,no. 15, pp. 06-1408, July 1992.
- [8] X.H. Yang and L. Shafai, "Characteristics of *aperture coupled* microstrip antennas with various radiating patches and coupling *apertures*," IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. 43, pp. 72-78, Jan. 1995.
- [9] Vivek Rathi, Girish Kumar, K.P. Ray, "Improved Coupling for *Aperture Coupled* Microstrip Antenna," IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol.44, pp, 1196-1198, August 1996.
- [10] Contatasntine A balanis. "Antenna theori, analysis and desain 2nd" USA: John willey @Sons

- [11] Ramesh Garg, Prakash Bhartia, Inder Bahl, and Apisak Ittipiboon. *Microstrip Antenna Design Handbook*. Boston: Artech House, Inc, 2001.
- [12] Constantine A. Balanis. "Antenna theory, analysis and design 2nd" USA: John Wiley & Sons
- [13] David M. Pozar. "A review of *aperture coupled* antenna microstrip antennas: History, operation, development and application. Massachusetts, USA: 1996.
- [14] K. M. Luk, K. F. Tong, and T. M. Au, "Offset dual patch microstrip antenna," *Electron. Lett.*, vol. 29, no. 18, pp. 1635-1636, Sept. 1993.
- [15] D. M. Pozar and S. D. Targonski, "Improved coupling for *aperture coupled* microstrip antenna," *Electron. Lett.*, vol. 27, no. 13, pp. 1129-1131, June 1991.
- [16] R. C. Hall and J. R. Sanford, "Performance enhancement for *aperture coupled* microstrip antenna," in *IEEE Antennas Propagat. Symp. Dig.*, July 1992, vol. 2, pp. 1040-1043.
- [17] M. E. Yazdi, M. Himdi, and J. P. Daniel, "Transmission line analysis of nonlinear slot *coupled* microstrip antenna," *Electron. Lett.*, vol. 28, no. 15, pp. 1406-1408, July 1992.
- [18] X. H. Yang and L. Shafai, "Characteristics of *aperture coupled* microstrip antennas with various radiating patches and coupling *apertures*," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 43, pp. 72-78, Jan. 1995.

## Lampiran A : Data Hasil Pengukuran Parameter Return Loss

Tabel Lampiran A.1 Data Hasil Pengukuran Return Loss Antena Satu Element

Freq (MHz)	S11(DB)	Freq (MHz)	S11(DB)	Freq (MHz)	S11(DB)
1000	-0.35249	1195	-0.37049	1390	-0.37945
1005	-0.36296	1200	-0.369	1395	-0.38112
1010	-0.3591	1205	-0.36839	1400	-0.38098
1015	-0.35586	1210	-0.36777	1405	-0.38095
1020	-0.35277	1215	-0.36637	1410	-0.38167
1025	-0.35195	1220	-0.36532	1415	-0.38384
1030	-0.3494	1225	-0.36415	1420	-0.38205
1035	-0.34964	1230	-0.36339	1425	-0.37966
1040	-0.35042	1235	-0.36274	1430	-0.37694
1045	-0.34678	1240	-0.36404	1435	-0.37894
1050	-0.34596	1245	-0.36742	1440	-0.38376
1055	-0.34803	1250	-0.36875	1445	-0.38968
1060	-0.34959	1255	-0.36605	1450	-0.39104
1065	-0.35547	1260	-0.36286	1455	-0.38635
1070	-0.35621	1265	-0.36195	1460	-0.38581
1075	-0.35513	1270	-0.35888	1465	-0.38708
1080	-0.35392	1275	-0.35979	1470	-0.3919
1085	-0.34562	1280	-0.35856	1475	-0.39074
1090	-0.3523	1285	-0.35937	1480	-0.3877
1095	-0.35719	1290	-0.35932	1485	-0.38361
1100	-0.35406	1295	-0.35955	1490	-0.38825
1105	-0.35705	1300	-0.35818	1495	-0.40142
1110	-0.35808	1305	-0.35664	1500	-0.39984
1115	-0.3607	1310	-0.35609	1505	-0.35433
1120	-0.36423	1315	-0.35817	1510	-0.45335
1125	-0.3602	1320	-0.3604	1515	-0.49736
1130	-0.36065	1325	-0.36229	1520	-0.51317
1135	-0.35984	1330	-0.36471	1525	-0.48278
1140	-0.36009	1335	-0.36753	1530	-0.45361
1145	-0.36156	1340	-0.36785	1535	-0.42991
1150	-0.3628	1345	-0.37059	1540	-0.41291
1155	-0.36319	1350	-0.37392	1545	-0.41113
1160	-0.36232	1355	-0.37581	1550	-0.40938
1165	-0.35918	1360	-0.37333	1555	-0.4086
1170	-0.35951	1365	-0.37293	1560	-0.40813
1175	-0.36138	1370	-0.37642	1565	-0.4054
1180	-0.36396	1375	-0.38043	1570	-0.40633
1185	-0.36556	1380	-0.38122	1575	-0.40439

UNIVERSITAS INDONESIA

Freq (MHz)	S11(DB)	Freq (MHz)	S11(DB)	Freq (MHz)	S11(DB)
1585	-0.40505	1795	-0.49333	2005	-0.60494
1590	-0.40691	1800	-0.49625	2010	-0.60661
1595	-0.40878	1805	-0.50409	2015	-0.61147
1600	-0.41379	1810	-0.5095	2020	-0.61473
1605	-0.41524	1815	-0.51485	2025	-0.61536
1610	-0.42039	1820	-0.51779	2030	-0.61896
1615	-0.42673	1825	-0.52129	2035	-0.62013
1620	-0.42988	1830	-0.5249	2040	-0.6244
1625	-0.43317	1835	-0.52942	2045	-0.62559
1630	-0.43648	1840	-0.53257	2050	-0.62912
1635	-0.43593	1845	-0.53758	2055	-0.63089
1640	-0.44049	1850	-0.5427	2060	-0.63067
1645	-0.44483	1855	-0.54843	2065	-0.63313
1650	-0.44694	1860	-0.55204	2070	-0.63588
1655	-0.45093	1865	-0.55387	2075	-0.6431
1660	-0.44878	1870	-0.55352	2080	-0.64239
1665	-0.45478	1875	-0.55436	2085	-0.64507
1670	-0.45774	1880	-0.55365	2090	-0.64855
1675	-0.46369	1885	-0.55304	2095	-0.65009
1680	-0.46484	1890	-0.5509	2100	-0.65267
1685	-0.46643	1895	-0.55213	2105	-0.65292
1690	-0.46662	1900	-0.54826	2110	-0.65456
1695	-0.46779	1905	-0.55133	2115	-0.65371
1700	-0.46987	1910	-0.55163	2120	-0.65628
1705	-0.47255	1915	-0.55228	2125	-0.66292
1710	-0.47685	1920	-0.54842	2130	-0.66455
1715	-0.48157	1925	-0.55373	2135	-0.66733
1720	-0.4862	1930	-0.55566	2140	-0.66669
1725	-0.49154	1935	-0.55825	2145	-0.67291
1730	-0.49363	1940	-0.56026	2150	-0.68
1735	-0.48952	1945	-0.56316	2155	-0.68423
1740	-0.48212	1950	-0.56545	2160	-0.68498
1745	-0.47763	1955	-0.56846	2165	-0.68748
1750	-0.4741	1960	-0.57215	2170	-0.6924
1755	-0.47356	1965	-0.57502	2175	-0.69773
1760	-0.4724	1970	-0.58051	2180	-0.70125
1765	-0.47205	1975	-0.58598	2185	-0.70496
1770	-0.47421	1980	-0.59273	2190	-0.70745
1775	-0.47608	1985	-0.59482	2195	-0.71277
1780	-0.48121	1990	-0.5957	2200	-0.71568
1785	-0.4836	1995	-0.60048	2205	-0.72086

UNIVERSITAS INDONESIA

Freq (MHz)	S11(DB)	Freq (MHz)	S11(DB)	Freq (MHz)	S11(DB)
2215	-0.72599	2425	-0.84433	2635	-1.2354
2220	-0.72947	2430	-0.85171	2640	-1.25971
2225	-0.73005	2435	-0.85734	2645	-1.29116
2230	-0.73053	2440	-0.86215	2650	-1.32302
2235	-0.73443	2445	-0.86801	2655	-1.3589
2240	-0.73838	2450	-0.8755	2660	-1.394
2245	-0.7366	2455	-0.88197	2665	-1.43058
2250	-0.73475	2460	-0.88803	2670	-1.46324
2255	-0.73602	2465	-0.89689	2675	-1.49823
2260	-0.74045	2470	-0.9054	2680	-1.54164
2265	-0.74392	2475	-0.91323	2685	-1.58608
2270	-0.74563	2480	-0.92271	2690	-1.64312
2275	-0.74963	2485	-0.92959	2695	-1.70555
2280	-0.74975	2490	-0.93473	2700	-1.76719
2285	-0.75213	2495	-0.94257	2705	-1.83017
2290	-0.75457	2500	-0.953	2710	-1.89105
2295	-0.75612	2505	-0.96049	2715	-1.96073
2300	-0.75912	2510	-0.97077	2720	-2.0389
2305	-0.76388	2515	-0.98174	2725	-2.12398
2310	-0.76855	2520	-0.99283	2730	-2.21909
2315	-0.7723	2525	-1.00094	2735	-2.31715
2320	-0.77544	2530	-1.00961	2740	-2.41994
2325	-0.77871	2535	-1.01691	2745	-2.5281
2330	-0.78334	2540	-1.02747	2750	-2.6493
2335	-0.78738	2545	-1.03241	2755	-2.77844
2340	-0.78921	2550	-1.04086	2760	-2.90477
2345	-0.79113	2555	-1.05099	2765	-3.03574
2350	-0.79298	2560	-1.05714	2770	-3.18163
2355	-0.79788	2565	-1.06332	2775	-3.3487
2360	-0.80329	2570	-1.06726	2780	-3.54436
2365	-0.80526	2575	-1.07546	2785	-3.76159
2370	-0.80665	2580	-1.08293	2790	-3.99431
2375	-0.80963	2585	-1.0901	2795	-4.24646
2380	-0.81407	2590	-1.09588	2800	-4.51282
2385	-0.81395	2595	-1.10508	2805	-4.8039
2390	-0.81536	2600	-1.11297	2810	-5.12084
2395	-0.82173	2605	-1.12753	2815	-5.49077
2400	-0.8221	2610	-1.141	2820	-5.94827
2405	-0.82724	2615	-1.15523	2825	-6.50339
2410	-0.83145	2620	-1.17313	2830	-7.1647
2415	-0.83675	2625	-1.19457	2835	-7.91104

**UNIVERSITAS INDONESIA**



Freq (MHz)	S11(DB)			Freq (MHz)	S11(DB)
2845	-9.73135	3050	-2.24066	3265	-1.7856
2850	<b>-10.8227</b>	3055	-2.20136	3270	-1.80283
2855	<b>-12.1453</b>	3060	-2.16618	3275	-1.83248
2860	<b>-13.8766</b>	3065	-2.13166	3280	-1.85807
2865	<b>-16.2258</b>	3070	-2.10746	3285	-1.89624
2870	<b>-19.2224</b>	3075	-2.0867	3290	-1.93336
2875	<b>-22.1862</b>	3080	-2.07012	3295	-1.98462
2880	<b>-23.1836</b>	3085	-2.04048	3300	-2.03824
2885	<b>-20.9519</b>	3090	-2.01299	3305	-2.09676
2890	<b>-17.9023</b>	3095	-1.98631	3310	-2.16854
2895	<b>-15.3536</b>	3100	-1.96364	3315	-2.24438
2900	<b>-13.3582</b>	3105	-1.92444	3320	-2.33595
2905	-11.8324	3110	-1.90881	3325	-2.43058
2910	-10.6064	3115	-1.91416	3330	-2.53601
2915	-9.53299	3120	-1.9428	3335	-2.66134
2920	-8.57496	3125	-1.87917	3340	-2.79687
2925	-7.75346	3130	-1.87008	3345	-2.94225
2930	-7.05572	3135	-1.96961	3350	-3.09624
2935	-6.46237	3140	-2.00649	3355	-3.2589
2940	-5.97728	3145	-1.98152	3360	-3.42065
2945	-5.55544	3150	-1.94239	3365	-3.58102
2950	-5.15274	3155	-1.91446	3370	-3.72357
2955	-4.77928	3160	-1.88272	3375	-3.85804
2960	-4.45534	3165	-1.87471	3380	-3.96415
2965	-4.18923	3170	-1.85835	3385	-4.04989
2970	-3.95006	3175	-1.84669	3390	-4.09885
2975	-3.74074	3180	-1.82239	3395	-4.11718
2980	-3.55289	3185	-1.80481	3400	-4.09562
2985	-3.39229	3190	-1.77696	3405	-4.03299
2990	-3.23761	3195	-1.7619	3410	-3.93285
2995	-3.08683	3200	-1.74766	3415	-3.81431
3000	-2.95277	3205	-1.74005	3420	-3.67577
3005	-2.83671	3210	-1.73586	3425	-3.5364
3010	-2.74287	3215	-1.72923	3430	-3.39256
3015	-2.66388	3220	-1.72757	3435	-3.25438
3020	-2.58918	3225	-1.72204	3440	-3.11929
3025	-2.51643	3230	-1.71805	3445	-2.99202
3030	-2.44638	3235	-1.71601	3450	-2.87224
3035	-2.38373	3240	-1.71642	3455	-2.76338
3040	-2.32534	3245	-1.72291	3460	-2.66411
3045	-2.2791	3250	-1.72761	3465	-2.57477
		3255	-1.74647		

UNIVERSITAS INDONESIA

Freq (MHz)	S11(DB)	Freq (MHz)	S11(DB)	Freq (MHz)	S11(DB)
3475	-2.41293	3685	-1.78635	3895	-1.9093
3480	-2.33881	3690	-1.77664	3900	-1.91069
3485	-2.28485	3695	-1.77716	3905	-1.90981
3490	-2.23387	3700	-1.77704	3910	-1.90763
3495	-2.20293	3705	-1.78134	3915	-1.91808
3500	-2.16849	3710	-1.78666	3920	-1.92749
3505	-2.14606	3715	-1.79839	3925	-1.93883
3510	-2.11902	3720	-1.80924	3930	-1.95183
3515	-2.10482	3725	-1.8177	3935	-1.96781
3520	-2.09382	3730	-1.82738	3940	-1.97576
3525	-2.0927	3735	-1.84714	3945	-1.98517
3530	-2.09142	3740	-1.8719	3950	-1.99742
3535	-2.09247	3745	-1.90289	3955	-2.00881
3540	-2.09683	3750	-1.93454	3960	-2.01756
3545	-2.10444	3755	-1.96022	3965	-2.03642
3550	-2.11335	3760	-1.98402	3970	-2.05113
3555	-2.11596	3765	-1.99776	3975	-2.06666
3560	-2.11955	3770	-2.01042	3980	-2.08037
3565	-2.11792	3775	-2.02608	3985	-2.10672
3570	-2.12261	3780	-2.04249	3990	-2.12537
3575	-2.13048	3785	-2.05938	3995	-2.1349
3580	-2.1362	3790	-2.06552	4000	-2.1381
3585	-2.13843	3795	-2.069	4005	-2.14248
3590	-2.12676	3800	-2.0671	4010	-2.14165
3595	-2.12134	3805	-2.06341	4015	-2.14682
3600	-2.115	3810	-2.04695	4020	-2.14768
3605	-2.11064	3815	-2.03535	4025	-2.15466
3610	-2.09654	3820	-2.01908	4030	-2.15721
3615	-2.08075	3825	-2.01071	4035	-2.16596
3620	-2.05945	3830	-1.99851	4040	-2.17145
3625	-2.04047	3835	-1.99101	4045	-2.1711
3630	-2.01863	3840	-1.9798	4050	-2.16692
3635	-1.99332	3845	-1.97288	4055	-2.16706
3640	-1.96459	3850	-1.96735	4060	-2.16569
3645	-1.94145	3855	-1.95712	4065	-2.16346
3650	-1.91439	3860	-1.9489	4070	-2.16538
3655	-1.88895	3865	-1.936	4075	-2.16787
3660	-1.86441	3870	-1.92567	4080	-2.16887
3665	-1.8424	3875	-1.91693	4085	-2.17806
3670	-1.8245	3880	-1.90868	4090	-2.18588
3675	-1.80682	3885	-1.9057	4095	-2.18968

**UNIVERSITAS INDONESIA**

Freq (MHz)	S11(DB)	Freq (MHz)	S11(DB)	Freq (MHz)	S11(DB)
4105	-2.19848	4315	-2.40973	4525	-2.33729
4110	-2.19964	4320	-2.40895	4530	-2.32952
4115	-2.20659	4325	-2.41195	4535	-2.32652
4120	-2.20915	4330	-2.41094	4540	-2.32568
4125	-2.21886	4335	-2.41505	4545	-2.3317
4130	-2.22251	4340	-2.42053	4550	-2.32978
4135	-2.23167	4345	-2.41404	4555	-2.33203
4140	-2.23778	4350	-2.39948	4560	-2.32928
4145	-2.24698	4355	-2.39211	4565	-2.33139
4150	-2.25551	4360	-2.41591	4570	-2.33087
4155	-2.26856	4365	-2.41006	4575	-2.33517
4160	-2.27771	4370	-2.40531	4580	-2.33518
4165	-2.27308	4375	-2.40333	4585	-2.34145
4170	-2.27178	4380	-2.40421	4590	-2.3439
4175	-2.31299	4385	-2.40128	4595	-2.34731
4180	-2.33412	4390	-2.39839	4600	-2.34365
4185	-2.33024	4395	-2.4014	4605	-2.34634
4190	-2.32693	4400	-2.40587	4610	-2.34105
4195	-2.33074	4405	-2.40415	4615	-2.34062
4200	-2.33404	4410	-2.40012	4620	-2.33787
4205	-2.34421	4415	-2.40317	4625	-2.33557
4210	-2.34881	4420	-2.3982	4630	-2.33432
4215	-2.35824	4425	-2.40343	4635	-2.33193
4220	-2.36462	4430	-2.40091	4640	-2.33282
4225	-2.37021	4435	-2.39831	4645	-2.33006
4230	-2.36904	4440	-2.39729	4650	-2.32626
4235	-2.37346	4445	-2.40046	4655	-2.32732
4240	-2.37723	4450	-2.39764	4660	-2.32549
4245	-2.38014	4455	-2.39847	4665	-2.32266
4250	-2.38209	4460	-2.39088	4670	-2.3135
4255	-2.38672	4465	-2.39728	4675	-2.3138
4260	-2.38937	4470	-2.39507	4680	-2.31129
4265	-2.39301	4475	-2.39729	4685	-2.31428
4270	-2.39311	4480	-2.39437	4690	-2.30896
4275	-2.39724	4485	-2.38602	4695	-2.30699
4280	-2.39456	4490	-2.37591	4700	-2.30073
4285	-2.40186	4495	-2.36918	4705	-2.28666
4290	-2.40221	4500	-2.36397	4710	-2.26856
4295	-2.40099	4505	-2.35584	4715	-2.25691
4300	-2.39757	4510	-2.3508	4720	-2.24541
4305	-2.40443	4515	-2.34671	4725	-2.23624

Freq (MHz)	S11(DB)	Freq (MHz)	S11(DB)
4735	-2.21608	4945	-2.15685
4740	-2.20067	4950	-2.15953
4745	-2.19174	4955	-2.16134
4750	-2.1777	4960	-2.15777
4755	-2.1668	4965	-2.15377
4760	-2.15122	4970	-2.14231
4765	-2.14574	4975	-2.13236
4770	-2.13758	4980	-2.12793
4775	-2.12919	4985	-2.12163
4780	-2.12148	4990	-2.11688
4785	-2.1147	4995	-2.11335
4790	-2.10937	5000	-2.11487
4795	-2.1033		
4800	-2.09726		
4805	-2.09081		
4810	-2.08159		
4815	-2.08038		
4820	-2.07777		
4825	-2.07604		
4830	-2.0735		
4835	-2.07161		
4840	-2.07452		
4845	-2.07126		
4850	-2.07023		
4855	-2.07338		
4860	-2.07431		
4865	-2.07353		
4870	-2.07154		
4875	-2.07714		
4880	-2.08366		
4885	-2.09244		
4890	-2.09877		
4895	-2.10547		
4900	-2.10463		
4905	-2.11583		
4910	-2.12358		
4915	-2.1335		
4920	-2.13568		
4925	-2.14325		
4930	-2.14611		
4935	-2.14727		

**UNIVERSITAS INDONESIA**

Tabel Lampiran A.2 Data Hasil Pengukuran Return Loss Antenna array 8 element

Freq (MHz)	S11(DB)	Freq (MHz)	S11(DB)	Freq (MHz)	S11(DB)
1000	-3.53961	1200	-1.99579	1400	-1.94208
1005	-3.44445	1205	-2.02843	1405	-1.92486
1010	-3.3093	1210	-2.0614	1410	-1.90806
1015	-3.16724	1215	-2.09268	1415	-1.89878
1020	-3.02552	1220	-2.12295	1420	-1.88694
1025	-2.88918	1225	-2.14966	1425	-1.87815
1030	-2.75672	1230	-2.1754	1430	-1.87067
1035	-2.63596	1235	-2.20187	1435	-1.8698
1040	-2.52221	1240	-2.22775	1440	-1.87432
1045	-2.41188	1245	-2.25625	1445	-1.88224
1050	-2.30765	1250	-2.28226	1450	-1.88945
1055	-2.21331	1255	-2.30255	1455	-1.89714
1060	-2.12582	1260	-2.32046	1460	-1.91779
1065	-2.05402	1265	-2.33744	1465	-1.94752
1070	-1.98815	1270	-2.3484	1470	-1.98449
1075	-1.93193	1275	-2.35894	1475	-2.01345
1080	-1.88409	1280	-2.36276	1480	-2.04063
1085	-1.84041	1285	-2.36477	1485	-2.07072
1090	-1.81854	1290	-2.36316	1490	-2.11847
1095	-1.79654	1295	-2.35933	1495	-2.18505
1100	-1.76997	1300	-2.35058	1500	-2.23848
1105	-1.74824	1305	-2.3395	1505	-2.24008
1110	-1.73098	1310	-2.3256	1510	-2.44864
1115	-1.72126	1315	-2.31027	1515	-2.5972
1120	-1.71633	1320	-2.29155	1520	-2.7263
1125	-1.71025	1325	-2.27236	1525	-2.82063
1130	-1.71265	1330	-2.25066	1530	-2.92908
1135	-1.71648	1335	-2.22707	1535	-3.06074
1140	-1.72308	1340	-2.20118	1540	-3.21442
1145	-1.72972	1345	-2.18239	1545	-3.40713
1150	-1.74105	1350	-2.16062	1550	-3.62077
1155	-1.75712	1355	-2.13588	1555	-3.85424
1160	-1.77601	1360	-2.10314	1560	-4.10873
1165	-1.79341	1365	-2.07273	1565	-4.37839
1170	-1.81604	1370	-2.04989	1570	-4.66531
1175	-1.84081	1375	-2.03132	1575	-4.96296
1180	-1.86764	1380	-2.00983	1580	-5.25022
1185	-1.89603	1385	-1.98913	1585	-5.51773
1190	-1.92726	1390	-1.97047	1590	-5.74499

UNIVERSITAS INDONESIA

Freq (MHz)	S11(DB)	Freq (MHz)	S11(DB)	Freq (MHz)	S11(DB)
1600	-6.02305	1810	-2.57723	2020	-3.16623
1605	-6.05525	1815	-2.65245	2025	-3.10903
1610	-6.01537	1820	-2.73644	2030	-3.05433
1615	-5.90762	1825	-2.83069	2035	-3.00386
1620	-5.73875	1830	-2.93094	2040	-2.95598
1625	-5.52671	1835	-3.0398	2045	-2.91421
1630	-5.27735	1840	-3.15445	2050	-2.87905
1635	-5.0203	1845	-3.27373	2055	-2.85121
1640	-4.75651	1850	-3.40022	2060	-2.83021
1645	-4.50558	1855	-3.53262	2065	-2.82007
1650	-4.25753	1860	-3.67336	2070	-2.8164
1655	-4.02577	1865	-3.81386	2075	-2.82304
1660	-3.80653	1870	-3.95777	2080	-2.83446
1665	-3.60875	1875	-4.10324	2085	-2.85761
1670	-3.42609	1880	-4.24446	2090	-2.88888
1675	-3.26628	1885	-4.38527	2095	-2.92645
1680	-3.11868	1890	-4.51546	2100	-2.97411
1685	-2.98431	1895	-4.63635	2105	-3.03073
1690	-2.86326	1900	-4.74499	2110	-3.09676
1695	-2.75706	1905	-4.83477	2115	-3.17222
1700	-2.66066	1910	-4.91027	2120	-3.2577
1705	-2.58114	1915	-4.95946	2125	-3.35817
1710	-2.50871	1920	-4.98448	2130	-3.46559
1715	-2.44703	1925	-4.98506	2135	-3.58466
1720	-2.39538	1930	-4.96513	2140	-3.71232
1725	-2.34956	1935	-4.92113	2145	-3.86028
1730	-2.31274	1940	-4.86234	2150	-4.01834
1735	-2.28383	1945	-4.77571	2155	-4.18744
1740	-2.25968	1950	-4.67172	2160	-4.3632
1745	-2.24109	1955	-4.5574	2165	-4.54827
1750	-2.23301	1960	-4.43591	2170	-4.74596
1755	-2.23061	1965	-4.31012	2175	-4.95173
1760	-2.23317	1970	-4.17954	2180	-5.15877
1765	-2.23468	1975	-4.05491	2185	-5.36287
1770	-2.24341	1980	-3.92818	2190	-5.55475
1775	-2.2635	1985	-3.81046	2195	-5.72937
1780	-2.28721	1990	-3.69689	2200	-5.87926
1785	-2.31698	1995	-3.58969	2205	-6.00666
1790	-2.35373	2000	-3.48601	2210	-6.09591
1795	-2.39587	2005	-3.39658	2215	-6.14449
1800	-2.44908	2010	-3.31435	2220	-6.1601

**UNIVERSITAS INDONESIA**

Freq (MHz)	S11(DB)	Freq (MHz)	S11(DB)	Freq (MHz)	S11(DB)
2230	-6.06189	2440	-2.71965	2650	-5.7377
2235	-5.96736	2445	-2.77485	2655	-5.53841
2240	-5.8436	2450	-2.83836	2660	-5.35238
2245	-5.70105	2455	-2.91037	2665	-5.17541
2250	-5.54094	2460	-2.99212	2670	-5.01287
2255	-5.36605	2465	-3.085	2675	-4.86387
2260	-5.18508	2470	-3.18551	2680	-4.72942
2265	-5.00213	2475	-3.30445	2685	-4.60543
2270	-4.81586	2480	-3.43607	2690	-4.50222
2275	-4.63514	2485	-3.58192	2695	-4.4165
2280	-4.45495	2490	-3.74595	2700	-4.33974
2285	-4.28478	2495	-3.92646	2705	-4.28019
2290	-4.11521	2500	-4.12895	2710	-4.21882
2295	-3.95748	2505	-4.35233	2715	-4.15623
2300	-3.80695	2510	-4.59923	2720	-4.08761
2305	-3.66142	2515	-4.87187	2725	-4.0319
2310	-3.52899	2520	-5.16489	2730	-3.99113
2315	-3.40597	2525	-5.48552	2735	-3.97505
2320	-3.29089	2530	-5.82448	2740	-3.97885
2325	-3.18826	2535	-6.18443	2745	-4.01717
2330	-3.09482	2540	-6.56135	2750	-4.07549
2335	-3.00891	2545	-6.94724	2755	-4.15845
2340	-2.92848	2550	-7.33499	2760	-4.26379
2345	-2.85969	2555	-7.71806	2765	-4.38136
2350	-2.79716	2560	-8.07167	2770	-4.51572
2355	-2.74308	2565	-8.38163	2775	-4.6706
2360	-2.69268	2570	-8.63631	2780	-4.8554
2365	-2.65406	2575	-8.8143	2785	-5.07289
2370	-2.61502	2580	-8.90444	2790	-5.32838
2375	-2.58921	2585	-8.8997	2795	-5.63001
2380	-2.56556	2590	-8.80744	2800	-5.98108
2385	-2.55074	2595	-8.64497	2805	-6.38887
2390	-2.53895	2600	-8.42344	2810	-6.85883
2395	-2.53323	2605	-8.16737	2815	-7.39666
2400	-2.52895	2610	-7.88376	2820	-8.00578
2405	-2.53223	2615	-7.58361	2825	-8.68316
2410	-2.54051	2620	-7.28167	2830	-9.42988
2415	-2.55587	2625	-6.99086	2835	-10.2561
2420	-2.57541	2630	-6.70605	2840	-11.1607
2425	-2.59978	2635	-6.43963	2845	-12.1616
2430	-2.63043	2640	-6.1879	<b>2850</b>	<b>-13.2728</b>

UNIVERSITAS INDONESIA

Freq (MHz)	S11(DB)	Freq (MHz)	S11(DB)	Freq (MHz)	S11(DB)
2860	-15.9287	3070	-5.34946	3280	-19.6455
2865	-17.5517	3075	-5.3834	3285	-19.108
2870	-19.4051	3080	-5.45685	3290	-17.9738
2875	-21.4137	3085	-5.58094	3295	-16.4604
2880	-23.0712	3090	-5.75024	3300	-14.9424
2885	-23.3389	3095	-5.96204	3305	-13.5837
2890	-21.9829	3100	-6.22114	3310	-12.3664
2895	-20.026	3105	-6.51782	3315	-11.2795
2900	-18.1642	3110	-6.89023	3320	-10.3154
2905	-16.5725	3115	-7.35421	3325	-9.47593
2910	-15.232	3120	-7.92254	3330	-8.75125
2915	-14.1137	3125	-8.46726	3335	-8.13684
2920	-13.1867	3130	-9.20666	3340	-7.58425
2925	-12.4297	3135	-10.1136	3345	-7.10288
2930	-11.8278	3140	-11.0061	3350	-6.66989
2935	-11.3474	3145	-11.8452	3355	-6.29862
2940	-10.9497	3150	-12.6285	3360	-5.96139
2945	-10.6236	3155	-13.3014	3365	-5.68422
2950	-10.3343	3160	-13.7333	3370	-5.43431
2955	-10.0741	3165	-13.9289	3375	-5.22491
2960	-9.82046	3170	-13.9574	3380	-5.03073
2965	-9.55229	3175	-13.9205	3385	-4.86893
2970	-9.2655	3180	-13.9016	3390	-4.73199
2975	-8.9625	3185	-13.9417	3395	-4.62922
2980	-8.64118	3190	-14.0542	3400	-4.5405
2985	-8.30744	3195	-14.3231	3405	-4.4736
2990	-7.97427	3200	-14.8138	3410	-4.42526
2995	-7.66213	3205	-15.5803	3415	-4.39777
3000	-7.37926	3210	-16.6099	3420	-4.39464
3005	-7.11899	3215	-17.8304	3425	-4.41427
3010	-6.87951	3220	-19.1364	3430	-4.4544
3015	-6.6684	3225	-20.4037	3435	-4.51918
3020	-6.48259	3230	-21.3194	3440	-4.60745
3025	-6.32057	3235	-21.5164	3445	-4.72548
3030	-6.16847	3240	-21.0275	3450	-4.85593
3035	-6.01696	3245	-20.2552	3455	-5.01917
3040	-5.86361	3250	-19.5952	3460	-5.19641
3045	-5.72228	3255	-19.2484	3465	-5.41096
3050	-5.59434	3260	-19.2166	3470	-5.64806
3055	-5.49188	3265	-19.428	3475	-5.91603
3060	-5.41247	3270	-19.6692	3480	-6.1951

UNIVERSITAS INDONESIA



Freq (MHz)	S11(DB)	Freq (MHz)	S11(DB)	Freq (MHz)	S11(DB)
3490	-6.79734	3700	-3.88124	3910	-9.8725
3495	-7.12451	3705	-3.83173	3915	-9.37767
3500	-7.4671	3710	-3.79323	3920	-8.88472
3505	-7.82743	3715	-3.77293	3925	-8.41998
3510	-8.22544	3720	-3.76201	3930	-7.97912
3515	-8.66925	3725	-3.76774	3935	-7.56682
3520	-9.18123	3730	-3.78715	3940	-7.18034
3525	-9.78992	3735	-3.81752	3945	-6.82215
3530	-10.5335	3740	-3.85806	3950	-6.4897
3535	-11.4397	3745	-3.91132	3955	-6.18789
3540	-12.544	3750	-3.97748	3960	-5.91179
3545	-13.9008	3755	-4.06013	3965	-5.65599
3550	-15.6396	3760	-4.15552	3970	-5.42538
3555	-17.9605	3765	-4.27388	3975	-5.21285
3560	-21.1443	3770	-4.40564	3980	-5.01762
3565	-25.3803	3775	-4.55958	3985	-4.84135
3570	-27.0607	3780	-4.72654	3990	-4.6837
3575	-22.8667	3785	-4.92124	3995	-4.5408
3580	-19.0102	3790	-5.13182	4000	-4.41008
3585	-16.2193	3795	-5.37298	4005	-4.30031
3590	-14.1264	3800	-5.63059	4010	-4.19592
3595	-12.4857	3805	-5.92704	4015	-4.10763
3600	-11.1463	3810	-6.24038	4020	-4.02788
3605	-10.0352	3815	-6.5911	4025	-3.96125
3610	-9.10698	3820	-6.97506	4030	-3.90382
3615	-8.325	3825	-7.39426	4035	-3.85607
3620	-7.65717	3830	-7.84464	4040	-3.82498
3625	-7.0854	3835	-8.33094	4045	-3.79741
3630	-6.59096	3840	-8.84039	4050	-3.7785
3635	-6.16939	3845	-9.36522	4055	-3.77324
3640	-5.80469	3850	-9.90763	4060	-3.78432
3645	-5.49744	3855	-10.4408	4065	-3.79369
3650	-5.22757	3860	-10.9508	4070	-3.81414
3655	-4.99881	3865	-11.3824	4075	-3.8484
3660	-4.79609	3870	-11.7208	4080	-3.89416
3665	-4.62111	3875	-11.9365	4085	-3.95371
3670	-4.4665	3880	-11.987	4090	-4.02497
3675	-4.33428	3885	-11.8956	4095	-4.11078
3680	-4.21902	3890	-11.6522	4100	-4.2057
3685	-4.11479	3895	-11.2991	4105	-4.32924
3690	-4.0169	3900	-10.8593	4110	-4.46681

**UNIVERSITAS INDONESIA**

Freq (MHz)	S11(DB)	Freq (MHz)	S11(DB)	Freq (MHz)	S11(DB)
4120	-4.82625	4330	-4.43163	4540	-7.20829
4125	-5.06239	4335	-4.40075	4545	-6.86178
4130	-5.32945	4340	-4.38298	4550	-6.55973
4135	-5.64555	4345	-4.39218	4555	-6.30331
4140	-6.01004	4350	-4.41494	4560	-6.07949
4145	-6.43481	4355	-4.45222	4565	-5.89107
4150	-6.92898	4360	-4.5128	4570	-5.72289
4155	-7.50952	4365	-4.5957	4575	-5.59168
4160	-8.18432	4370	-4.69553	4580	-5.4754
4165	-8.96014	4375	-4.82383	4585	-5.38956
4170	-9.88372	4380	-4.97506	4590	-5.31789
4175	-10.9845	4385	-5.15853	4595	-5.26764
4180	-12.2641	4390	-5.37155	4600	-5.23508
4185	-13.7652	4395	-5.62356	4605	-5.22271
4190	-15.5214	4400	-5.91561	4610	-5.22768
4195	-17.4829	4405	-6.24769	4615	-5.25901
4200	-19.275	4410	-6.63628	4620	-5.30738
4205	-19.9604	4415	-7.09303	4625	-5.38464
4210	-18.9805	4420	-7.61828	4630	-5.48353
4215	-17.1393	4425	-8.23099	4635	-5.61361
4220	-15.2662	4430	-8.94008	4640	-5.76993
4225	-13.6213	4435	-9.77141	4645	-5.96649
4230	-12.2293	4440	-10.7482	4650	-6.19261
4235	-11.0619	4445	-11.9093	4655	-6.45969
4240	-10.0719	4450	-13.2877	4660	-6.76123
4245	-9.22965	4455	-14.9457	4665	-7.11804
4250	-8.51039	4460	-16.9332	4670	-7.5158
4255	-7.89487	4465	-19.256	4675	-7.96725
4260	-7.36195	4470	-21.4338	4680	-8.46933
4265	-6.89686	4475	-22.0296	4685	-9.05043
4270	-6.49483	4480	-20.4542	4690	-9.70038
4275	-6.14768	4485	-18.1838	4695	-10.4362
4280	-5.84452	4490	-16.1069	4700	-11.2691
4285	-5.57623	4495	-14.3778	4705	-12.2014
4290	-5.34162	4500	-12.949	4710	-13.2444
4295	-5.1473	4505	-11.7649	4715	-14.4135
4300	-4.97799	4510	-10.7705	4720	-15.6901
4305	-4.83952	4515	-9.92954	4725	-16.9886
4310	-4.71945	4520	-9.2113	4730	-18.1505
4315	-4.62596	4525	-8.60034	4735	-18.8832
4320	-4.54094	4530	-8.06672	4740	-18.8767

**UNIVERSITAS INDONESIA**

Freq (MHz)	S11(DB)	Freq (MHz)	S11(DB)	Freq (MHz)	S11(DB)
4750	-16.9976	4840	-5.37973	4930	-3.30161
4755	-15.7302	4845	-5.15926	4935	-3.26349
4760	-14.4912	4850	-4.95276	4940	-3.22989
4765	-13.3701	4855	-4.76774	4945	-3.19226
4770	-12.361	4860	-4.59591	4950	-3.15828
4775	-11.4504	4865	-4.4453	4955	-3.1322
4780	-10.6343	4870	-4.30091	4960	-3.11412
4785	-9.91017	4875	-4.17328	4965	-3.10195
4790	-9.2582	4880	-4.05098	4970	-3.08955
4795	-8.67688	4885	-3.94655	4975	-3.08962
4800	-8.14956	4890	-3.84652	4980	-3.09417
4805	-7.67326	4895	-3.75844	4985	-3.10163
4810	-7.24491	4900	-3.67171	4990	-3.11452
4815	-6.85326	4905	-3.59708	4995	-3.13254
4820	-6.49786	4910	-3.52298	5000	-3.16188
4825	-6.18092	4915	-3.46219		
4830	-5.88981	4920	-3.40204		

Tabel Lampiran B Pola radiasi Antena Array 8 element

sudut	E co		E cross		H co		H cross	
	2875 MHz							
	S21	normalisasi	S21	normalisasi	S21	normalisasi	S21	normalisasi
0	-28	0	-67.31	-8.36	-38.56	0	-60.16	-6.7
10	-37.9	-9.9	-71.89	-12.94	-37.73	-4.44	-58.85	-5.39
20	-41.8	-13.8	-65.9	-6.95	-38.48	-5.62	-57.65	-4.19
30	-49.3	-21.3	-63.98	-5.03	-40.29	-7.77	-58.57	-5.11
40	-55.8	-27.8	-63.03	-4.08	-42.85	-17.55	-63.35	-9.89
50	-43.7	-15.7	-64.66	-5.71	-45.89	-12.58	-68.75	-15.29
60	-52.1	-24.1	-64.33	-5.38	-49.89	-14.2	-63.59	-10.13
70	-48.7	-20.7	-64.62	-5.67	-51.91	-17.93	-60.51	-7.05
80	-56.1	-28.1	-75.65	-16.7	-52.69	-22.35	-58.65	-5.19
90	-57.6	-29.6	-68.98	-10.03	-53.45	-24.61	-58.69	-5.23
100	-55.5	-27.5	-63.64	-4.69	-54.23	-23.52	-59.73	-6.27
110	-53.4	-25.4	-65.22	-6.27	-52.45	-20.02	-61.64	-8.18
120	-53.4	-25.4	-60.94	-1.99	-49.59	-17.18	-64.94	-11.48
130	-59.3	-31.3	-60.89	-1.94	-46.81	-18.48	-62.24	-8.78
140	-52.5	-24.5	-70.13	-11.18	-45.24	-20.17	-57.23	-3.77
150	-51.4	-23.4	-68.89	-9.94	-49.19	-17.3	-55.02	-1.56
160	-56.4	-28.4	-60.07	-1.12	-49.73	-17.63	-53.46	0
170	-52	-24	-66.93	-7.98	-50.11	-14.35	-55.28	-1.82
180	-44.3	-16.3	-67.39	-8.44	-52.62	-8.94	-60.51	-7.05
190	-51	-23	-59.81	-0.86	-52.48	-15.14	-61.15	-7.69
200	-55.5	-27.5	-68.22	-9.27	-49.92	-17.92	-56.81	-3.35
210	-48.7	-20.7	-66.12	-7.17	-47.69	-17.01	-55.78	-2.32
220	-49.5	-21.5	-78.16	-19.21	-45.72	-20.44	-56.97	-3.51
230	-60	-32	-65.54	-6.59	-45.09	-18.12	-58.45	-4.99
240	-48.3	-20.3	-61.74	-2.79	-45.76	-17.62	-60.17	-6.71
250	-48.5	-20.5	-76.12	-17.17	-46.51	-19.92	-62.21	-8.75
260	-55	-27	-61.96	-3.01	-47.63	-24.32	-65.4	-11.94
270	-56.4	-28.4	-61.85	-2.9	-50.24	-24.02	-69.45	-15.99
280	-51.1	-23.1	-61.22	-2.27	-48.92	-25.32	-71.25	-17.79
290	-52.2	-24.2	-58.95	0	-50.13	-18.34	-76.85	-23.39
300	-49.2	-21.2	-59.66	-0.71	-48.26	-14.12	-78.57	-25.11
310	-43.3	-15.3	-64.32	-5.37	-47.65	-13.24	-78.15	-24.69
320	-56.7	-28.7	-67.17	-8.22	-46.32	-18.35	-73.69	-20.23
330	-49	-21	-68.37	-9.42	-45.51	-7.67	-68.37	-14.91
340	-41.1	-13.1	-67.65	-8.7	-43.77	-5.33	-66.23	-12.77
350	-37.3	-9.3	-65.78	-6.83	-41.92	-4.24	-64.12	-10.66