



**UNIVERSITAS INDONESIA**



**RANCANG BANGUN LINEAR TAPERED SLOT ANTENA  
DENGAN PENCATUAN MICROSTRIP LINE  
UNTUK APLIKASI WRAN 802.22**

**TESIS**

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

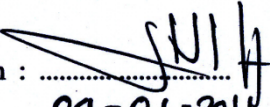
**SIGIT PRAMONO  
NPM 0806424661**

**FAKULTAS TEKNIK  
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
PROGRAM PASCASARJANA BIDANG ILMU TEKNIK  
DEPOK  
MARET 2011**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Sigit Pramono  
NPM : 0806424661

Tanda Tangan :   
Tanggal : 09-01-2011

## HALAMAN PENGESAHAN

Tesis ini diajukan oleh :  
Nama : Sigit Pramono  
NPM : 0806424661  
Program Studi : Teknik Elektro  
Judul Tesis : Rancang Bangun Linear Tapered Slot Antena  
dengan Pencatuan Microstrip Line Untuk Aplikasi  
WRAN 802.22

**Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk mata kuliah Tesis pada Program Studi Teknik Elektro, Kekhususan Teknik Telekomunikasi Fakultas Teknik, Universitas Indonesia**

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Eko Tjipto Rahardjo M.Sc ((  ))  
Penguji : Dr. Fitri Yuli Zulkifli, ST, M.Sc. ((  ))  
Penguji : Dr. Ir. Muhammad Asvial, M.Eng ((  ))  
Penguji : Ir. Gunawan Wibisono, M.Sc, Ph.D ((  ))

Ditetapkan di : Depok  
Tanggal : 31 Maret 2011

## KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kehadirat Allah SWT, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan tesis ini. Penulisan tesis ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Magister Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Kekhususan Teknik Telekomunikasi, Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan tesis ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan tesis ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Eko Tjipto Rahardjo, MSc, selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan tesis ini;
2. Diana Istriku dan Raihan Buah Hatiku serta Orang tua yang menjadi semangat hidupku, yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral.
3. Teman-teman di AMRG, di Elektro yang telah menyemangati saya sehingga tesis ini dapat selesai..

Akhir kata, saya berharap Allah SWT berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga tesis ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, Maret 2011

Penulis

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

---

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

Nama : Sigit Pramono  
NPM : 0806424661  
Program Studi : Teknik Elektro  
Fakultas : Teknik  
Jenis karya : Tesis

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

**RANCANG BANGUN LINEAR TAPERED SLOT ANTENA  
DENGAN PENCATUAN MICROSTRIP LINE  
UNTUK APLIKASI WRAN 802.22**

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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok  
Pada Tanggal : 31 Maret 2011

Yang menyatakan

  
(Sigit Pramono)

## ABSTRAK

Nama : Sigit Pramono  
Program Studi : Teknik Elektro  
Judul : Rancang Bangun Linear Tapered Slot Antena dengan  
Pencatuan Microstrip Line Untuk Aplikasi WRAN 802.22

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

Tesis ini membahas desain *Linear Tapered Slot Antena* dengan teknik pencatuan Saluran Mikrostrip (*Microstrip Feed Line*) untuk mendukung aplikasi IEEE 802.22 Wireless Regional Area Network (WRAN) pada *band* televisi UHF frekuensi 470 - 698 MHz. Antena ini terbuat dari substrat dielektrik FR4 *epoxy*.

WRAN IEEE 802.22. sebagai skema alternatif untuk akses broadband dengan memanfaatkan kanal TV VHF/UHF yang tidak digunakan, dengan tetap menjaga bahwa tidak ada interferensi yang merugikan terhadap operasional *incumbent* ( siaran TV digital dan TV analog) dan perangkat berijin yang lainnya dengan daya rendah. WRAN memerlukan antena dengan *bandwidth* yang lebar (*wideband*) untuk sistem komunikasinya.

Antena mikrostrip memiliki beberapa keuntungan, akan tetapi jenis antena ini memiliki beberapa kelemahan, diantaranya *bandwidth* sempit. Salah satu teknik untuk melebarkan *bandwidth* yaitu menggunakan desain antena *Linear Tapered Slot Antena*.

Dari hasil pengukuran, nilai *impedance bandwidth* dari pengukuran antena adalah 204 MHz (492-696MHz) atau sebesar 34,63 % terhadap frekuensi kerja antena (594 MHz) pada  $VSWR \leq 1,9$ . Pola radiasi yang dihasilkan adalah *directional* dan polarisasinya linear. *Gain* yang dihasilkan antena mencapai maksimum pada frekuensi 662MHz sebesar 8,92 dBi.

Kata kunci : LTSA, WRAN, *Wideband*

## ABSTRACT

Name : Sigit Pramono  
Study Program : Teknik Elektro  
Title : *Linear Tapered Slot Antenna With Microstrip Feed Line*  
For CPE WRAN Application  
Supervisor : Prof. Dr. Ir. Eko Tjipto Rahardjo M.Sc

This thesis discusses the design of Linear tapered slot antenna with microstrip feed line technique to support the application of IEEE 802.22 Wireless Regional Area Network (WRAN) in the UHF TV frequency 470-698 MHz. This antenna is made of epoxy FR4 dielectric substrate.

IEEE 802.22 WRAN, as an alternative scheme for broadband access by using TV channel VHF / UHF is not used, while maintaining that no harmful interference to incumbent operations (broadcast digital TV and analog TV) and the other licensed devices with low power. WRAN require a wideband antenna for its communications system.

Microstrip antenna has several advantages, but this type of antenna has some disadvantages, such as narrow bandwidth. One technique to widen the bandwidth of the antenna design using Linear tapered slot antenna.

From the measurement results, the impedance bandwidth of the measurement antenna was 204 MHz (492-696MHz) or for 34.63% of the working frequency antenna (594 MHz) at  $VSWR \leq 1.9$ . The resulting radiation pattern is directional and linear polarization. The resulting antenna gain reaches a maximum at a frequency of 8.92 dBi 662MHz.

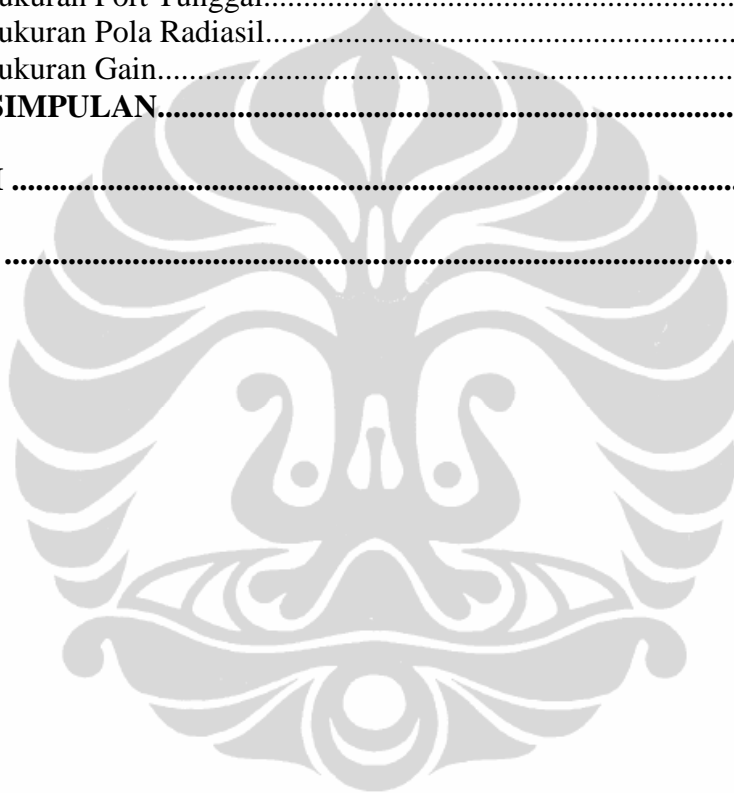
Keywords: LTSA, WRAN, Wideband

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN .....	iii
KATA PENGANTAR .....	iv
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR.....	v
ABSTRAK .....	vi
ABSTRACT.....	vii
DAFTAR ISI .....	viii
DAFTAR GAMBAR .....	x
DAFTAR TABEL.....	xi
<b>BAB 1 PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Tujuan Penulisan .....	3
1.3 Batasan Masalah .....	3
1.4 Sistematika Penulisan .....	4
<b>BAB 2 LINEAR TAPERED SLOT ANTENNA DENGAN PENCATUAN MICROSTRIP LINE.....</b>	<b>5</b>
2.1 Struktur Antena Mikrostrip.....	5
2.2 Metode <i>Cavity</i> untuk Analisa Antena Mikrostrip.....	6
2.3 Antena Mikrostrip <i>Slot</i> .....	8
2.4 <i>Tapered Slot Antena</i> .....	9
2.5 <i>Linier Trapered Slot Antena</i> .....	12
2.6 Saluran Mikrostrip ( <i>Microstrip Feedline</i> ).....	13
2.7 Parameter Antena.....	15
2.7.1 Impedansi Masukan.....	15
2.7.2 <i>VSWR (Voltage Standing Wave Ratio)</i> .....	16
2.7.3 <i>Return loss</i> .....	16
2.7.4 <i>Bandwidth</i> .....	17
2.7.5 Pola Radiasi.....	18
2.7.6 Penguatan ( <i>Gain</i> ).....	19
2.7.7 Keterarahan ( <i>Direktivitas</i> ).....	20
2.7.8 <i>Polarisasi</i> .....	20
<b>BAB 3 PERANCANGAN LTSA .....</b>	<b>23</b>
3.1 Pendahuluan.....	23
3.2 Perlengkapan Yang Digunakan.....	23
3.3 Diagram Alir Perancangan LTSA.....	24
3.4 Menentukan Karakteristik Antena.....	26
3.5 Menentukan Jenis Substrat Yang Dipergunakan.....	26
3.6 Perancangan Dimensi <i>Slot</i> .....	27
3.7 Perancangan Lebar Saluran Pencatu .....	28
3.8 Desain Antena LTSA.....	29



3.9	Karakterisasi Antena.....	31
3.9.5	Karakterisasi Lebar Feed.....	31
3.9.4	Karakterisasi Panjang Saluran Pencatu.....	32
3.9.3	Karakterisasi Letak Saluran Pencatu .....	33
3.9.1	Karakterisasi Panjang <i>Slot</i> .....	34
3.9.2	Karakterisasi Lebar <i>Slot</i> .....	35
3.9.6	Karakterisasi Lebar Sudut Buka ( <i>Opening Angle</i> ).....	36
3.10	Hasil Perancangan LTSA.....	37
<b>BAB 4</b>	<b>HASIL PENGUKURAN DAN ANALISIS HASIL</b>	
	<b>PENGUKURAN.....</b>	<b>40</b>
	Pengukuran Port Tunggal.....	40
	Pengukuran Pola Radiasil.....	45
	Pengukuran Gain.....	48
<b>BAB 5</b>	<b>KESIMPULAN.....</b>	<b>51</b>
<b>REFERENSI</b>	<b>.....</b>	<b>52</b>
<b>LAMPIRAN</b>	<b>.....</b>	<b>54</b>



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Antena pada CPE.....	1
Gambar 2.1	Bentuk Umum Antena Mikrostrip.....	5
Gambar 2.2	Charge distribution dan current density pada patch mikrostrip.	7
Gambar 2.3	Beberapa model <i>Tapered Slot Antena</i> .....	10
Gambar 2.4	Model dasar LTSA .....	12
Gambar 2.6	Geometri Saluran Mikrostrip.....	14
Gambar 2.7	Rentang Frekuensi yang Menjadi <i>Bandwidth</i> ....	17
Gambar 2.8	Pola Radiasi <i>Directional</i> .....	19
Gambar 2.9	Polarisasi Linier .....	21
Gambar 2.10	Polarisasi Melingkar .....	22
Gambar 2.11	Polarisasi Elips .....	22
Gambar 3.1	Diagram Alir Perancangan <i>Slot Antena</i> .....	25
Gambar 3.2	Tampilan Program PCAAD Untuk Mencari Lebar Catu.....	28
Gambar 3.4	Desain Antena LTSA .....	29
Gambar 3.5a	Grafik <i>Return Loss</i> pada Simulasi Awal .....	30
Gambar 3.5b	Grafik <i>Return Loss</i> pada Simulasi Awal .....	30
Gambar 3.6	Grafik <i>Return Loss</i> pada Iterasi Lebar <i>Feed</i> .....	31
Gambar 3.7	Grafik <i>Return Loss</i> pada Iterasi Panjang <i>Feed</i> .....	32
Gambar 3.8	Grafik <i>Return Loss</i> pada Iterasi Letak <i>Feed</i> .....	33
Gambar 3.9	Grafik <i>Return Loss</i> pada Iterasi Panjang <i>Slot</i> .....	34
Gambar 3.10	Grafik <i>Return Loss</i> pada Iterasi Lebar <i>Slot</i> .....	35
Gambar 3.11	Grafik <i>Return Loss</i> pada Iterasi <i>Opening Angle</i> .....	36
Gambar 3.12	Grafik <i>Return Loss</i> pada Hasil Perancangan LTSA.....	37
Gambar 3.13	Grafik <i>VSWR</i> pada Hasil Perancangan LTSA.....	38
Gambar 3.14	Pola Radiasi Hasil Perancangan LTSA.....	39
Gambar 4.1	Antena Hasil Fabrikasi.....	40
Gambar 4.2	Grafik <i>Return Loss</i> Hasil Pengukuran Antena.....	41
Gambar 4.3	Grafik <i>VSWR</i> Hasil Pengukuran Antena.....	41
Gambar 4.4	Grafik Input impedansi masukan Hasil Pengukuran Antena.....	42
Gambar 4.5	Grafik Perbandingan <i>Return loss</i> hasil simulasi dg hasil Pengukuran Antena.....	43
Gambar 4.6	Grafik Perbandingan <i>VSWR</i> hasil simulasi dengan hasil Pengukuran Antena.....	44
Gambar 4.7	Grafik Plot medan E dan Medan H .....	45
Gambar 4.7	Grafik Pengukuran Karakteristik <i>Cross-Polarization</i> Antena....	47
Gambar 4.8a	Grafik Perbandingan Medan Yang Diterima Pada Bidang E Dan Bidang E .....	48
Gambar 4.8a	Grafik Perbandingan Medan Yang Diterima Pada Bidang E Dan Bidang H .....	48
Gambar 4.9	Metode Pengukuran gain antena .....	49

## DAFTAR TABEL

Tabel 1.1	Pembagian Sub Grup Kanal TV UHF.....	2
Tabel 2.1	Perbandingan Antara Mikrostrip <i>Patch</i> dan <i>Slot</i> .....	7
Tabel 3.1	Spesifikasi Substrat FR4_epoxy .....	27
Tabel 3.2	Dimensi Antena Hasil Rancangan Berdasarkan Teori.....	29
Tabel 3.3	Dimensi Antena Hasil Akhir Simulasi LTSA.....	37
Tabel 3.4	Hasil Simulasi Perancangan LTSA.....	38
Tabel 4.1	Hasil Pengukuran .....	44
Tabel 4.2	Perbandingan Hasil Pengukuran dan Simulasi.....	45
Tabel 4.3	Perolehan <i>Gain</i> Antena dari Data Pengukuran .....	50



# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Sebagai terobosan untuk mempercepat pemerataan akses internet sekarang ini banyak dikembangkan dengan jaringan tanpa kabel (*wireless*). Banyak standar yang sudah tersedia misal GPRS, 3G, Wifi, Wimax dan yang sejenisnya. Namun disisi lain frekuensi merupakan *resources* yang terbatas. Sehingga diperlukan terobosan yang cerdas dalam menangani penggunaan *resources* frekuensi dengan tetap memperhatikan regulasi tentang frekuensi baik regulasi internasional maupun regulasi nasional.

Sesuai dengan *Notice of Proposed Rule Making* (NPRM) yang dikeluarkan May 2004 [1], dan terakhir November 2008[2], FCC mengindikasikan bahwa saluran 5-13 TV VHF dan kanal 14-51 TV UHF bisa digunakan untuk sistem akses *fixed-broadband*. Sistem komunikasi radio cerdas mulai November 2004 yang sedang dikembangkan oleh *Working Group IEEE 802* yaitu sistem yang berbasis *Cognitive Radio*. Sedangkan standar yang dikembangkan yaitu standar IEEE 802.22 *Wireless Regional Area Network*. WRAN memanfaatkan kanal yang kosong (*white space*) pada pita siaran televisi VHF dan UHF dengan tetap menjaga bahwa tidak ada interferensi yang merugikan terhadap operasi *incumbent* yaitu siaran TV digital dan TV analog maupun perangkat berijin yang lainnya dengan daya rendah [3].

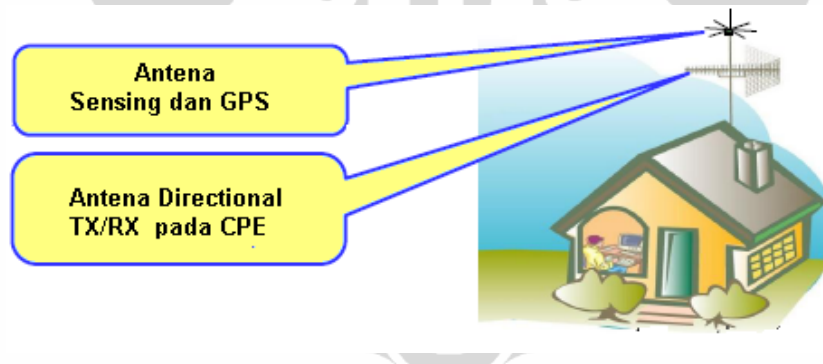
Standar WRAN IEEE 802.22 menyediakan akses *wireless broadband* untuk daerah *rural* dengan radius 17-30 km, radius maksimum 100 km dari BS dan mampu melayani 255 *fixed CPE*. Minimal *peak throughput* yang dilewatkan ke CPE pada arah *downstream* (DS) atau dari BS ke CPE sebesar 1,5 Mbps dan arah *upstream* (US) atau dari CPE ke BS sebesar 384 kbps[3].

WRAN beroperasi pada pita VHF dan UHF, dengan frekuensi kerja [4] VHF *low* 54-60 MHz dan 76-88Mhz , VHF *high* 174-216, UHF 470-608 MHz dan 614-698 MHz. Sedangkan untuk UHF dibagi dalam 5 sub grup kanal seperti pada tabel 1.1. [5].

Tabel 1.1 Pembagian Sub Grup Kanal TV UHF [5]

Sub Grup	Kanal TV	Frekuensi	BW
1	14–20	470 – 512 Mhz	42 Mhz
2	21–28	512 – 560 Mhz	48 Mhz
3	29–36	560 – 608 Mhz	48 Mhz
4	38–44	614 – 656 Mhz	42 Mhz
5	45–51	656 – 698 Mhz	42 Mhz

CPE WRAN memerlukan tiga jenis antena[4] yaitu antena Sensing, antena GPS dan antena TX/RX. Antena sensing merupakan antena *omni directional* dengan polarisasi horisontal dan vertikal yang dipergunakan untuk menangkap sinyal TV dan mikrofon secara terus menerus. Antena GPS dipergunakan untuk menangkap sinyal posisi dari satelit untuk data *geo location* dari CPE. Antena TX/RX untuk komunikasi data menggunakan antena *directional* dan diletakkan sekitar 10 m diatas permukaan tanah, sebagai ilustrasi seperti pada gambar 1.1. berdasarkan hal tersebut, CPE WRAN memerlukan antena TX/RX *bandwidth* yang lebar dengan jenis *directional*.



Gambar 1.1 Antena pada CPE [4]

Antena mikrostrip memiliki beberapa keuntungan, yaitu : bentuk kompak, dimensi kecil, mudah untuk difabrikasi, mudah dikoneksikan dan dapat diintegrasikan dengan *devices* elektronik lain (IC, rangkaian aktif, rangkaian pasif, dan lain-lain) atau *Microwave Integrated Circuits (MICs)*, dan radiasi samping (*fringing effect*) yang rendah. Akan tetapi jenis antena ini memiliki beberapa kelemahan, diantaranya : *gain* rendah, efisiensi rendah, timbul gelombang permukaan, dan *bandwidth* rendah [6] .

Salah satu teknik untuk melebarkan *bandwidth* yaitu dengan menggunakan desain antena *tapered*. Antena *tapered* pertama kali diteliti oleh Prasad dan

Mahatma, dan Gibson Prasad dan Mahatma meneliti *Linear* TSA sedangkan Gibson *Exponentially* TSA. [8]. Penelitian – penelitian tentang antena TSA banyak diaplikasikan pada *milimeter wave*. Penelitian [7] bekerja pada frekuensi 27 GHz sampai 35 GHz dengan panjang slot  $\approx 7,6 \lambda$  lebar slot  $\approx 5\lambda$ . Kemudian penelitian [8] bekerja pada frekuensi 10 GHz dengan panjang slot  $\approx 5\lambda$  lebar slot  $\approx 1,5\lambda$ . Penelitian [9] bekerja pada *single band* di frekuensi 10 GHz, 35 GHz, dan 95GHz panjang slot  $\approx \lambda$  lebar slot  $\approx 2\lambda$ . Sedangkan Antena TSA untuk frekuensi dalam *ordo* Mhz jarang sekali. Oleh karena itu penelitian ini akan membahas antena LTSA dengan panjang dan lebar slot dengan pendekatan  $0,5 \lambda$  yang bekerja pada 470 Mhz sampai 698 Mhz.

Pada Tesis ini, akan mendesain sebuah antena mikrostrip jenis *Linear Tapered Slot Antena* dengan teknik pencatutan Saluran Mikrostrip (*Microstrip Feed Line*) untuk mendukung aplikasi IEEE 802.22 *Wireless Regional Area Network* (WRAN) *band* UHF yang bekerja pada frekuensi 470 - 698 MHz.

## 1.2 Tujuan Penulisan

Tujuan penulisan Tesis ini adalah untuk merancang sebuah antena mikrostrip jenis *Linear Tapered Slot Antena* dengan teknik pencatutan secara tidak langsung yaitu menggunakan Saluran Mikrostrip (*Microstrip Feed Line*) untuk mendukung aplikasi IEEE 802.22 *Wireless Regional Area Network* (WRAN) *band* UHF yang bekerja pada frekuensi 470 - 698 MHz.

## 1.3 Batasan Masalah

Pada Tesis ini permasalahan akan dibatasi pada rancang bangun antena mikrostrip jenis *Linear Tapered Slot Antena* dengan teknik pencatutan secara tidak langsung yaitu menggunakan Saluran Mikrostrip (*Microstrip Feed Line*) yang diharapkan dapat bekerja pada WRAN *band* UHF yaitu frekuensi 470 - 698 MHz. Parameter yang diteliti dibatasi pada perolehan *impedance* masukan sebesar  $50\Omega$ , mempunyai  $VSWR \leq 1,9$  atau mempunyai  $return\ loss \leq -10,16\text{ dB}$ , XPD (*Cross Polarization Discrimination*) 20 dB.. Antena terbuat dengan substrat dielektrik yang digunakan adalah FR4 (*evoxy*) yang memiliki konstanta dielektrik ( $\epsilon_r$ ) = 4,4 dan ketebalan substrat (h) = 1,6 mm.

## 1.4 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan pada buku Tesis ini adalah

### **Bab 1 Pendahuluan**

Pada bagian ini berisi tentang Latar belakang, tujuan penulisan, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

### **Bab 2 *Linear Tapered Slot Antenna* dengan Pencatuan *Microstrip Line***

Bagian ini membahas teori dasar yang akan dipergunakan pada penelitian ini, yaitu mengenai antena mikrostrip, LTSA, teknik pencatuan, dan parameter-parameter umum antena.

### **Bab 3 Perancangan *Linear Tapered Slot Antenna* dengan Pencatuan *Microstrip Line***

Pada bagian ini membahas mengenai perlengkapan yang dibutuhkan dalam perancangan ini, substrat yang dipergunakan, diagram alir proses pembuatan antena yang akan dirancang, penentuan dimensi antena, karakterisasi antena dan hasil simulasi yang didapatkan dengan menggunakan *software Ansoft HFSS 11*.

### **Bab 4 Pengukuran dan Analisis Pengukuran**

Pada bagian ini membahas pengukuran dan analisa port tunggal ( $S_{11}$ ) yang meliputi pengukuran *return loss*, VSWR, dan impedansi masukan, port ganda yang meliputi pengukuran pola radiasi, serta pengukuran *gain* dengan metoda 3 antena dan salah satu antena telah diketahui penguatannya

### **Bab 5 Penutup**

Bab ini berisi kesimpulan dari hasil penelitian yang telah dilakukan

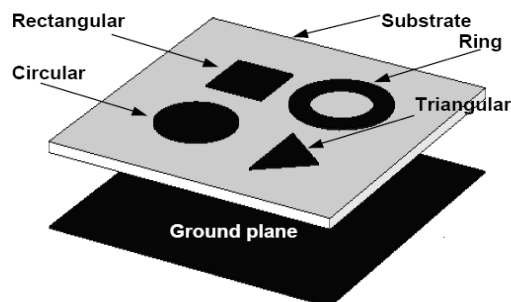
## BAB 2

### ***LINIER TAPERED SLOT ANTENA DENGAN PENCATUAN MICROSTRIP LINE***

#### **2.1 Struktur Antena Mikrostrip**

Antena merupakan komponen yang penting dalam sistem komunikasi *wireless*. Struktur antena di desain untuk meradiasikan dan menerima gelombang elektromagnetik secara efektif. Berdasarkan definisi standar dari IEEE, antena merupakan alat yang digunakan untuk meradiasi dan menerima gelombang radio (elektromagnetik). Dengan kata lain antena merupakan struktur transisi antara ruang bebas (*free space*) dan sebuah alat pengarah yang mengkonversi gelombang elektromagnetik menjadi arus listrik maupun sebaliknya [10].

Antena mikrostrip merupakan salah satu jenis antena yang mempunyai kelebihan dalam hal bentuk yang sederhana, ringan dan dapat dibuat sesuai dengan kebutuhan. Penggunaan antena mikrostrip sangat cocok digunakan untuk aplikasi-apikasi yang membutuhkan antena yang *compact* seperti yang telah diaplikasikan pada pesawat terbang, pesawat ruang angkasa, satelit, dan peluru kendali. Secara umum antena mikrostrip terdiri dari 3 elemen, yaitu : element peradiasi (*radiator*), susbstrat, dan element pentanahan (*ground*) seperti pada gambar 2.1 [10].



Gambar 2.1 Bentuk Umum Antena Mikrostrip Beserta Variasi Elemen Peradiasinya

Antena mikrostrip ini memiliki beberapa keuntungan dibandingkan dengan antena lainnya yaitu [6] :

1. *Low profile* , mempunyai ukuran yang kecil dan ringan.
2. Mudah difabrikasi.
3. Dapat berdiri dengan kuat ketika diletakkan pada benda yang *rigid*.
4. Polarisasi linier dan sirkular mudah didapat dengan *feeding* yang sederhana.



5. Dapat digunakan untuk aplikasi *dual polarisasi* , *dual band frekuensi*, maupun *triple band frekuensi*.
6. *Feed line* dan *matching network* dapat difabrikasi langsung dengan struktur antena.

Akan tetapi selain kelebihan-kelebihan yang telah disebutkan diatas, antena mikrostrip juga memiliki beberapa kekurangan-kekurangan , diantaranya [6] :

1. Mempunyai efisiensi yang rendah.
2. Mempunyai gain yang rendah.
3. Mempunyai kemurnian polarisasi yang rendah.
4. *Bandwidth* sempit.
5. Dapat terjadi radiasi yang tidak diinginkan pada *feed line* –nya.
6. Timbulnya *surface wave* (gelombang permukaan).

## 2.2 Metode *Cavity* untuk Analisa Antena Mikrostrip

Ada beberapa macam metode yang dapat digunakan untuk menganalisa antena mikrostrip. Beberapa diantaranya yaitu Model Saluran Transmisi, Model *Cavity*, Model Momen dan Persamaan Integral, serta Model Persamaan Differensial[6]. Masing-masing metode tersebut memiliki kelebihan dan kekurangan.

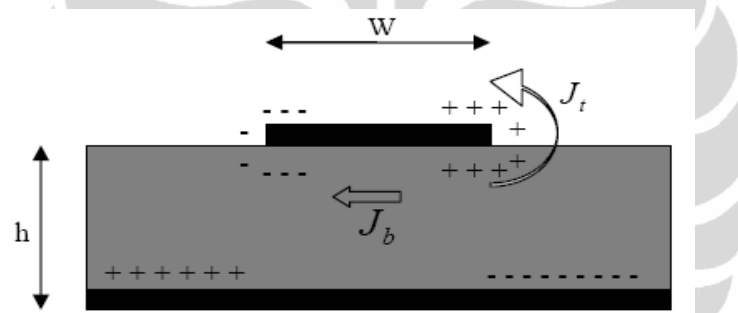
Pada Model Saluran Transmisi, gambaran secara fisik terlihat bagus dan tidak membutuhkan perhitungan yang rumit, hanya saja hasil perhitungannya tidak akurat sebagai bentuk representasi dari antena mikrostrip. Selain itu metode ini hanya cocok digunakan untuk jenis *patch* berbentuk segi empat (*rectangular*)[6]. Sedangkan pada Model *Cavity*, perhitungannya lebih rumit dibandingkan dengan Model Saluran Transmisi[6], akan tetapi hasil yang didapatkan lebih akurat dan gambaran secara fisik terlihat lebih baik.

Lain halnya dengan Model Momen dan Persamaan Integral, yang memiliki gambaran fisik yang tidak terlalu baik serta perhitungan yang rumit, akan tetapi hasilnya menunjukkan tingkat keakuratan yang cukup tinggi[6]. Metode yang lebih dikenal pada Model Persamaan Diferensial yaitu FDTD dan FEM. Jenis metode ini menuntut kepada perhitungan yang rumit, akan tetapi lebih baik daripada metode yang lain karena hasilnya sudah dalam bentuk representasi lingkungan luar yang sebenarnya[6].

Analisa yang digunakan pada seminar ini menggunakan metode *Cavity*. Metode ini merepresentasikan ruang antara *patch* dengan bidang pentanahan sebagai

*cavity* yang dibatasi oleh *electric conductors* (pada bidang atas dan bawah) dan dinding magnetik (pada sisi-sisinya)[6].

Ketika *patch* mikrostrip diberi energi gelombang elektromagnetik, akan timbul distribusi muatan pada bagian permukaan atas dan bawah *patch*, serta bagian permukaan atas bidang pentanahan. Distribusi muatannya dikendalikan oleh dua mekanisme, yaitu *attractive* dan *repulsive*[6]. Mekanisme *attractive* mengendalikan distribusi muatan pada bagian diantara *patch* dengan bidang pentanahan, atau dengan kata lain mengatur konsentrasi distribusi muatan di bagian bawah *patch*. Sedangkan Mekanisme *repulsive* mengendalikan distribusi muatan dibagian bawah *patch*, yang memberikan aksi untuk menekan sebagian muatan dari bagian bawah *patch* menuju ke sekeliling pinggiran *patch* dan terakhir sampai pada bagian atas *patch* peradiasi. Proses berpindah-pindahnya muatan ini menimbulkan kerapatan arus (*current densities*) dibagian atas ( $J_t$ ) dan bawah ( $J_b$ ) *patch*, seperti pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 *Charge distribution* dan *current density* pada *patch* mikrostrip

Seiring dengan semakin kecilnya nilai *height-to-weight ratio* ( $h/W$ ), maka mekanisme *attractive* menjadi yang dominan, sehingga mengakibatkan jumlah arus yang mengalir dari bawah *patch* lalu ke pinggir dan berakhir pada bagian atas *patch* semakin berkurang[6]. Jika arus tersebut semakin berkurang dan bernilai nol, maka tidak akan timbul medan magnet tangensial pada sisi-sisi *patch*, sehingga tidak akan ada gelombang elektromagnetik yang diradiasikan, atau dengan kata lain sisi-sisi *patch* menjadi dinding magnetik sempurna. Kejadian ini tidak diharapkan, karenanya sekecil apapun *height-to-weight ratio*, dengan metode *Cavity* diharapkan masih ada arus yang mengalir ke permukaan atas *patch*. Ketika timbul arus ini, maka pada bagian sisi *patch* akan timbul medan tambahan yang dapat dianalisa sebagai perluasan *patch* peradiasi[6].

Metode *Cavity* timbul dengan kenyataan yang ada bahwa ketebalan dari substrat jauh lebih kecil jika dibandingkan dengan panjang gelombang ( $h \ll \lambda$ ). Dari asumsi tersebut, maka dapat ditinjau sebagai berikut [11]:

1. Medan elektrik  $\vec{E}$  hanya memiliki komponen  $\hat{z}$  dan medan magnetik hanya memiliki komponen melintang dalam daerah yang dibatasi antara *patch* peradiasi dengan bidang pentanahan
2. Medan pada ruang *cavity* tidak berubah terhadap  $\hat{z}$
3. Karena arus elektrik dalam mikrostrip tidak boleh memiliki komponen normal terhadap tepi, berdasarkan persamaan Maxwell maka komponen tangensial dari  $\vec{H}$  sepanjang tepi dapat diabaikan.

Dengan adanya tinjauan seperti diatas, maka Persamaan *Maxwell*[12] untuk daerah diantara *patch* peradiasi dengan bidang pentanahan yaitu:

$$\nabla \times \vec{E} = -j\omega\mu_0\vec{H} \quad (2.1)$$

$$\nabla \times \vec{H} = -j\omega\epsilon\vec{E} + \vec{J} \quad (2.2)$$

$$\nabla \cdot \vec{E} = \zeta/\epsilon \quad (2.3)$$

$$\nabla \cdot \vec{H} = 0 \quad (2.4)$$

Dimana  $\epsilon$  adalah permitivitas substrat, sedangkan  $\mu_0$  adalah permeabilitas substrat yang besarnya diasumsikan sama dengan permeabilitas udara. Rapat arus  $J$  tergantung dari sistem pencatuan yang biasanya berupa *coaxial* atau saluran mikrostrip (*microstrip line*).

### 2.3 Antena Mikrostrip Slot

Antena mikrostrip *slot* merupakan pengembangan dari konsep antena *patch* yang dieksitasi oleh saluran *stripline* dengan melapaskan bagian *patch* dan saluran catu akan meradiasikan langsung ke bidang pentanahan melalui *slot*. Perbandingan antara antena mikrostrip *slot* dan antena mikrostrip *patch* seperti pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 Perbandingan Antara Mikrostrip *Patch* dan *Slot* [6]

No	Karakteristik	Antena <i>patch</i>	Antena <i>Slot</i>
1	Analisa dan design	Mudah	Mudah
2	Fabrikasi	Sangat Mudah	Sangat Mudah
3	Toleransi pada fabrikasi	Sensitif	Tidak terlalu sensitif
4	Bentuk	Tipis	Tipis
5	Fleksibel dalam bentuk	Banyak bentuk	Terbatas

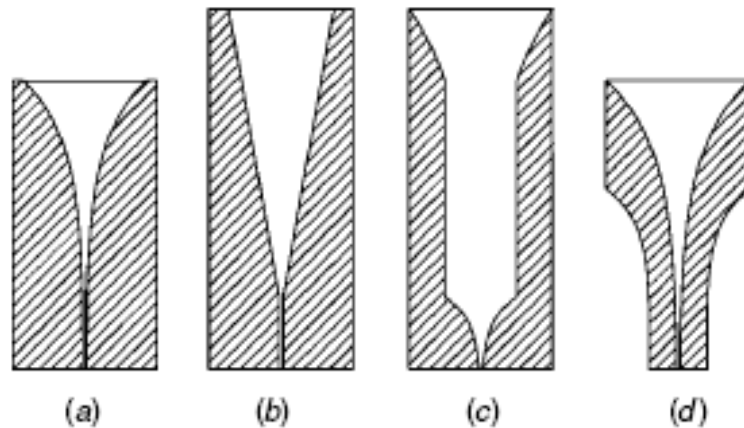
6	Pola radiasi	<i>Unidirectional</i>	<i>Unidirectional</i> dan <i>bidirectional</i>
7	Polarisasi	Melingkar dan linier	Melingkar dan linier
8	Bandwidth	Sempit	Lebar
9	Dual Frekuensi	Dapat	Dapat
10	Radiasi Spurious	Sedang	Kecil
11	Isolasi antara radiating element	Sedang	Baik
12	Penentuan Frekuensi kerja	Sangat mudah dilakukan	Bisa walau sulit
13	<i>Cross Polarisasi</i>	Rendah	Sangat Rendah
14	<i>End Fire Antena</i>	Tidak memungkinkan	Mungkin

Kelebihan utama yang dimiliki antena mikrostrip *slot* adalah *bandwidth* yang dihasilkan lebih lebar. Antena mikrostrip *slot* juga memungkinkan kinerja antena pada polarisasi melingkar. Kekurangan dari jenis antena ini yaitu kemungkinan polarisasi terjadi pada dua arah (*bidirectional*). Akan tetapi kekurangan ini bisa ditanggulangi dengan penggunaan *metal reflector* yang ditaruh di salah satu sisi *slot*. Selain itu, penelitian pada antena *slot* masih lebih sedikit dibandingkan dengan antena jenis patch, sehingga literatur yang mendukung penelitian antena *slot* cukup sulit. Penentuan dari ukuran *slot* hingga saat ini juga sulit untuk dipresiksi, tetapi persyaratan yang dapat digunakan adalah panjang *slot* sekurangnya harus lebih besar dari pada lebar saluran catu yang digunakan [13].

#### 2.4 Tapered Slot Antena

Model *Tapered Slot Antena* (TSA) pertama kali ditemukan dan diteliti oleh Gibson pada tahun 1970 [7]. Bentuk tipikal dari antena TSA terdiri atas sebuah *slot* berbentuk *tapered* yang di-*etching* pada bagian metal substrat dielektrik. Antena TSA merupakan radiator *end-fire*, yang tidak seperti antena lainnya yang hanya meradiasikan ke bagian substrat yang dicetak [14].

Antena TSA memiliki beberapa model dengan variasi pada model *slot* yang berbentuk *tapered* [13]. Diantaranya adalah *Linear TSA*, *Exponentially TSA*, dan *Constant Width TSA*. Beberapa model dari antena TSA tersebut ditunjukkan pada Gambar 2.3 di bawah ini.



Gambar 2.3 Beberapa model *Tapered Slot Antenna* : (a) *exponentially tapered slot antenna*, (b) *linear tapered slot antenna*; (c) *constant-width slot antenna*; (d) *dual exponentially tapered slot antenna* [14]

Antena *Exponentialy Tapered Slot* (ETSA)[14] yang biasa juga disebut antena Vivaldi dengan bentuk *slot tapered* yang berubah secara eksponensial terhadap panjang antena, meradiasikan *beamwidth* yang hampir sama besar untuk bidang E dan H, perubahan hanya sedikit terjadi untuk peningkatan frekuensi. *Matching* impedansi antena ini bagus dan antena meradiasi ketika ketebalan *slot* mencapai  $\geq \lambda/2$ . Frekuensi kerja terendah ETSA panjangnya sebesar  $0,72\lambda$  untuk antena yang menggunakan substrat alumina. Antena meradiasikan pola dengan *beamwidth*  $180^\circ$  pada bidang H dan  $70^\circ$  pada bidang E untuk *aperture*  $\lambda/2$ . Untuk lebar *aperture*  $\lambda$ , antena memancarkan *beamwidth*  $60^\circ$  pada bidang E dan  $70^\circ$  pada bidang H. Kedua *beamwidth* pada dasarnya sama untuk  $1.5\lambda$  dan *aperture* yang lebih besar.

Antena *Linear Tapered Slot* (LTSA) dengan bentuk *slot tapered* yang berubah secara linier terhadap panjang antena, meradiasikan pola radiasi dengan *gain* yang lebih tinggi daripada *Exponentialy* TSA karena antena tersebut bergantung pada panjang antena untuk membuat *beamwidth* yang lebih sempit [7].

Antena *Continous Width Slot* (CWSA) dengan bentuk *slot tapered* yang berubah pada sebagian awal panjang antena dan kemudian memiliki lebar yang konstan (tidak berubah). CWSA hampir menyerupai antena dielektrik *rod*, dan mempunyai *beamwidth* yang paling sempit dan *gain* yang paling besar jika dibandingkan dengan tipe antena TSA lainnya.

Beberapa keuntungan antenna TSA dibandingkan dengan antenna konvensional lainnya adalah [7] :

- 1 *Beamwidth* yang sempit (sekitar  $15^{\circ}$  untuk -3dB dan  $30^{\circ}$  untuk -10dB ) dan menghasilkan *gain* yang lebih besar (hingga 16 dB) untuk elemen yang lebih panjang.
- 2 Mudah dalam mengintegrasikan elemen antenna dengan saluran pencatu
- 3 *Bandwidth* yang lebih lebar dari antenna *broadband* lainnya (kecuali jenis log-periodik dan spiral) dalam beberapa kasus lebih dari dua oktaf.

Antena TSA termasuk dalam kelas antenna *travelling-wave* (TWA) dari gelombang permukaan (*surface wave*). TWA didefinisikan sebagai antenna dengan medan dan arusnya menghasilkan pola radiasi antenna yang dapat direpresentasikan dengan satu atau lebih gelombang berjalan, biasanya dengan arah yang sama. Pada antenna *travelling-wave*, panjang struktur antenna sangat mempengaruhi *gain* dan *bandwidth* yang diperoleh antenna. Ada dua tipe utama antenna *travelling-wave*, yaitu antenna *surface-wave* dan antenna *leaky-wave* [6].

Antena *leaky-wave* menggunakan gelombang berjalan yang merambat sepanjang struktur antenna dengan kecepatan fasa  $v_{ph} > c$ , dimana  $c$  adalah kecepatan rambat cahaya di ruang hampa udara[8]. *Leaky wave* secara kontinu melepaskan energi untuk radiasi. Umumnya medan akan berkurang sepanjang struktur antenna pada arah yang sama dengan propagasi gelombang dan bertambah pada arah yang menjauh dari struktur antenna

Antena *surface-wave* juga menggunakan gelombang berjalan yang merambat sepanjang antenna, namun dengan kecepatan fasa  $v_{ph} \leq c$ , dan dapat menghasilkan radiasi *end-fire*[8]. Satu hal yang membedakan *surface wave* dengan *leaky wave* adalah pada *surface wave* tidak ada radiasi energi secara kontinu sepanjang struktur antenna, namun radiasi hanya akan terjadi ketika adanya discontinuitas atau ketidakseragaman (*non-uniform*) pada struktur antenna. Radiasi yang terjadi adalah perubahan energi dari medan *surface wave* ke bentuk energi lainnya.

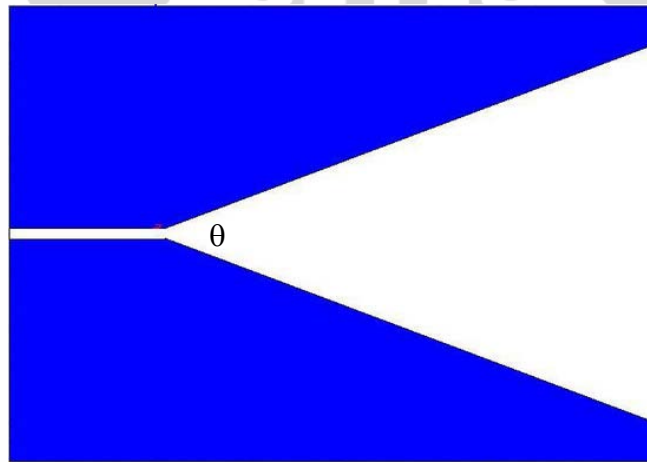
Ada tiga properti dasar yang dimiliki oleh antenna TSA yang harus dipelajari, yaitu *beamwidth*, *directivity*, dan *gain* [6]. *Directivity* antenna TSA meningkat dan *beamwidth* menurun dengan peningkatan panjang antenna ( $L$ ). Untuk antenna *travelling-wave* dengan kecepatan fasa yang konstan sepanjang struktur antenna ( $L$ ), terdapat rasio

kecepatan fasa optimum yaitu  $p = \frac{c}{v_{ph}}$  yang menghasilkan *directivity* maksimum dan *gain* yang lebih tinggi. Kasus ini disebut dengan *Zucker's high gain*.

Pada tipe antena TSA dengan tipe *slot* yang tidak kontinu, seperti pada *linear TSA* dan antena Vivaldi, kecepatan fasa tidak konstan sehubungan dengan bentuk *slot* yang *tapered*. Variasi kecepatan fasa terhadap jarak sepanjang antena menyebabkan pengurangan *directivity* dan juga mengurangi *level sidelobe*. Kasus ini disebut dengan *Zucker's low sidelobe*.

### 2.5 Linier Tapered Slot Antena

Model antena yang akan diteliti pada penelitian ini adalah *Linear Tapered Slot Antena* (LTSA). Selain dapat menghasilkan *bandwidth* yang lebar, antena LTSA juga mempunyai *gain* yang lebih besar bila dibandingkan dengan model antena TSA lainnya [7]. Model dasar antena LTSA sangat sederhana seperti ditunjukkan pada Gambar 2.4 berikut ini.



Gambar 2.4 Model dasar LTSA

Antena LTSA merupakan salah satu yang menggunakan *surface wave* dimana  $p > 1$ . Pada daerah *slotline*, *gap* yang kecil akan menyalurkan daya ke saluran transmisi, dan ketika saluran transmisi melebar maka akan meradiasi. Untuk *slowing wave*, digunakan *slotline* dengan *gap* yang sempit untuk menyalurkan gelombang. Karena antena LTSA dibuat pada substrat dielektrik, maka gelombang dilambatkan pada *slotline* dan ketika *slot* dibuka akan meningkatkan radiasi.

Keunggulan antenna LTSA adalah kemampuannya untuk menghasilkan *beam* yang simetris (pada bidang E dan H) meskipun bentuknya planar. Untuk mendapatkan karakteristik antenna LTSA yang optimum, parameter antenna LTSA seperti bentuk *slot*, *opening angle*, panjang antenna, ketebalan antenna, ketebalan substrat dielektrik, dan konstanta dielektrik harus dipilih dengan tepat [9]. *Opening Angle* ( $\theta$ ) pada LTSA ini biasanya berkisar dari  $5^\circ$  sampai  $12^\circ$ .

Substrat dielektrik yang digunakan berguna untuk melambatkan gelombang pada *slot* dan meningkatkan gain antenna. Ketebalan efektif substrat yang akan digunakan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan [7][8] :

$$\frac{t_{eff}}{\lambda} = \left(\sqrt{\epsilon_r} - 1\right) \frac{t}{\lambda} \quad (2.5)$$

Dengan :  $t_{eff}$  = ketebalan efektif substrat  
 $\lambda$  = panjang gelombang  
 $\epsilon_r$  = Permittivitas substrat  
 $t$  = Ketebalan substrat

Nilai optimum untuk  $t_{eff}/\lambda$  berkisar antara 0.005 dan 0.03. Substrat yang terlalu tipis tidak cukup melambatkan propagasi gelombang permukaan, dan substrat yang terlalu tebal juga akan terlalu melambatkan propagasi gelombang permukaan.

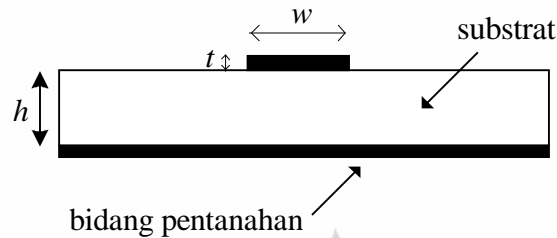
Polarisasi yang dihasilkan antenna LTSA adalah linear dan sepanjang lebar antenna. Polarisasi dapat didefinisikan sebagai bentuk dan tempat kedudukan dari ujung vektor medan listrik E (pada bidang yang tegak lurus dengan arah propagasi) pada suatu titik dalam ruang sebagai fungsi waktu. Gelombang elektromagnetik terdiri dari medan listrik dan medan magnet yang saling tegak lurus dan keduanya tegak lurus dengan arah propagasi gelombang.

## 2.6 Saluran Mikrostrip (*Microstrip Feed Line*)

Pemilihan saluran pencatu dengan saluran mikrostrip adalah karena kemudahan dalam hal fabrikasi dan penentuan *matching* dari saluran mikrostrip dapat dengan mudah dilakukan. Untuk *me-matching*-kan antenna, hal yang perlu dilakukan cukup dengan mengubah-ubah panjang dari elemen pencatu atau dengan memberikan stub dan mengubah-ubah posisinya.



Geometri saluran pencatu mikrostrip ditunjukkan pada Gambar 2.5. Pada *microstrip feed slot* antenna, terdapat saluran catu yang akan meradiasikan gelombang elektromagnetik ke bidang pentanahan yang telah diberi *slot*.



Gambar 2.5 Geometri Saluran Mikrostrip

### 2.6.1 Perhitungan Lebar Saluran Mikrostrip (*Microstrip Line*)

Lebar saluran mikrostrip ( $W$ ) tergantung dari impedansi karakteristik ( $Z_0$ ) yang diinginkan. Adapun rumus untuk menghitung lebar saluran mikrostrip diberikan oleh Persamaan 2.11 di bawah ini[16].

$$W = \frac{2h}{\pi} \left\{ B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} \left[ \ln(B - 1) + 0,39 - \frac{0,61}{\epsilon_r} \right] \right\} \quad (2.6)$$

Dengan  $\epsilon_r$  adalah konstanta dielektrik relatif dan :

$$A = \frac{Z_0}{60} \left\{ \frac{\epsilon_r + 1}{2} \right\}^{1/2} + \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1} \left\{ 0,23 + \frac{0,11}{\epsilon_r} \right\} \quad (2.7)$$

$$B = \frac{60\pi^2}{Z_0 \sqrt{\epsilon_r}} \quad (2.8)$$

### 2.6.2 Karakteristik Saluran Mikrostrip (*Microstrip Line*) untuk $W/h < 1$

Konstanta dielektrik efektif ( $\epsilon_{eff}$ )

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[ \frac{1}{\sqrt{1 + 12h/W}} + 0,04 \left( 1 - \frac{W}{h} \right)^2 \right] \quad (2.9)$$

Dan karakteristik impedansi

$$Z_0 = \frac{60}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \ln \left( \frac{8h}{W} + \frac{W}{4h} \right) \quad (2.10)$$

### 2.6.3 Karakteristik Saluran Mikrostrip (*Microstrip Line*) untuk $W/h > 1$

Konstanta dielektrik efektif ( $\epsilon_{eff}$ )

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[ \frac{1}{\sqrt{1 + 12h/W}} \right] \quad (2.11)$$

dan karakteristik impedansi

$$Z_0 = \frac{120\pi / \sqrt{\epsilon_{eff}}}{W/h + 1,393 + 2/3 \ln(W/h + 1,44)} \quad (2.12)$$

Dengan memasukkan ketebalan substrat dan lebar saluran catu antenna yang dirancang maka akan dapat diketahui impedansi masukan pada saluran transmisi. Kedua parameter ini merupakan faktor utama dalam penentuan *matching* dari saluran transmisi ke saluran catu antenna.

## 2.7 Parameter Antena

Antena mempunyai banyak parameter. Pada bagian ini hanya akan dibahas mengenai impedansi masukan, VSWR, *return loss*, *bandwidth*, pola radiasi, penguatan, keterarahan dan polarisasi.

### 2.7.1 Impedansi masukan

Impedansi masukan didefinisikan sebagai impedansi sebuah antenna pada terminal masukan, sebagai perbandingan antara besarnya tegangan terhadap arusnya. Impedansi dari sebuah antenna dirumuskan:

$$Z_A = R_A + jX_A \quad (2.13)$$

dengan  $Z_A$  adalah impedansi antenna,  $R_A$  adalah resistansi antenna dan  $X_A$  reaktansi antenna. Bagian resistansi masukan terbagi lagi menjadi dua, yaitu resistansi radiasi ( $R_r$ ) dan *loss resistance* ( $R_L$ ).

$$R_A = R_r + R_L \quad (2.14)$$

Resistansi radiasi adalah resistansi yang digunakan dalam meradiasikan gelombang elektromagnetik sedangkan *loss resistance* adalah resistansi yang menyebabkan berkurangnya *power* gelombang teradiasi akibat adanya panas. Desain antenna yang baik memiliki nilai resistansi radiasi yang tinggi dan sebaliknya memiliki *loss resistance* yang rendah. Sedangkan kondisi *matching* terjadi ketika besar

impedansi *input* antena sama dengan besar impedansi karakteristik saluran transmisi. Dalam tesis ini digunakan impedansi input sebesar  $50 \Omega$ .

### 2.7.2 VSWR

VSWR adalah perbandingan antara amplitudo gelombang berdiri (*standing wave*) maksimum ( $|V|_{\max}$ ) dengan minimum ( $|V|_{\min}$ ). Pada saluran transmisi ada dua komponen gelombang tegangan, yaitu tegangan yang dikirimkan ( $V_0^+$ ) dan tegangan yang direfleksikan ( $V_0^-$ ) [10]. Perbandingan antara tegangan yang direfleksikan dengan tegangan yang dikirimkan disebut sebagai koefisien refleksi tegangan ( $\Gamma$ ) [16]:

$$\Gamma = \frac{V_0^-}{V_0^+} = \frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2} \quad (2.15)$$

Di mana  $Z_1$  adalah impedansi beban (*load*) dan  $Z_2$  adalah impedansi saluran *lossless*.

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

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

Rumus untuk mencari nilai VSWR adalah [6]:

$$S = \frac{\left| \tilde{V} \right|_{\max}}{\left| \tilde{V} \right|_{\min}} = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \quad (2.16)$$

Kondisi yang paling baik adalah ketika VSWR bernilai 1 ( $S=1$ ) yang berarti tidak ada refleksi ketika saluran dalam keadaan *matching* sempurna. Nilai VSWR yang umum digunakan pada suatu antena adalah lebih kecil atau sama dengan 2.

### 2.7.3 Return Loss

Parameter dari antena yang menunjukkan koefisien pantul dalam bentuk logaritmis, menunjukkan daya yang hilang karena antena dan saluran transmisi tidak *matching*. Persamaan dari *Return loss* adalah :

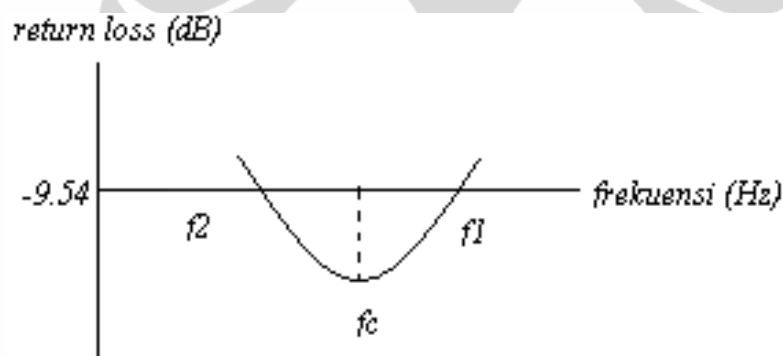
$$\text{Return Loss} = 20 \text{ Log} |\Gamma|$$

$$\Gamma = \frac{\text{vswr} - 1}{\text{vswr} + 1} \quad (2.18)$$

Dengan menghubungkan kedua persamaan di atas dapat kita lihat bahwa nilai *return loss* sangat bergantung dengan nilai VSWR. Dimana bila diinginkan  $VSWR < 2,0$  maka nilai *return loss* akan sebesar -9,54 db, sehingga antenna itu akan dikatakan baik bila memiliki nilai *Return loss* kurang dari -9,54 dB.

#### 2.7.4 Bandwidth

*Bandwidth* dari sebuah antenna didefinisikan sebagai jarak dari frekuensi-frekuensi dimana performa (karakteristik-karakteristik) dari antenna sesuai dengan standar yang ditetapkan. *Bandwidth* suatu antenna juga dapat didefinisikan sebagai rentang frekuensi di mana kinerja antenna yang berhubungan dengan beberapa karakteristik (seperti impedansi masukan, pola, *beamwidth*, polarisasi, *gain*, efisiensi, VSWR, *return loss*) memenuhi spesifikasi standar. Pada Gambar 2.6 dapat dilihat *bandwidth* berdasarkan *return loss*, yaitu rentang frekuensi saat nilai *return loss*  $\leq -9,54$  dB atau  $VSWR \leq 2,0$  dB.



Gambar 2.6 Rentang Frekuensi yang Menjadi *Bandwidth*[6]

*Bandwidth* dinyatakan sebagai perbandingan antara frekuensi atas dan frekuensi bawah dalam level yang dapat diterima.

$$BW = \frac{f_h - f_l}{f_c} \times 100\% \quad (2.19)$$

Dengan  $f_h$  = frekuensi tertinggi dalam *band* (MHz)

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

$f_c$  = frekuensi tengah dalam *band* (MHz),

$$f_c = \frac{f_h + f_l}{2} \quad (2.20)$$

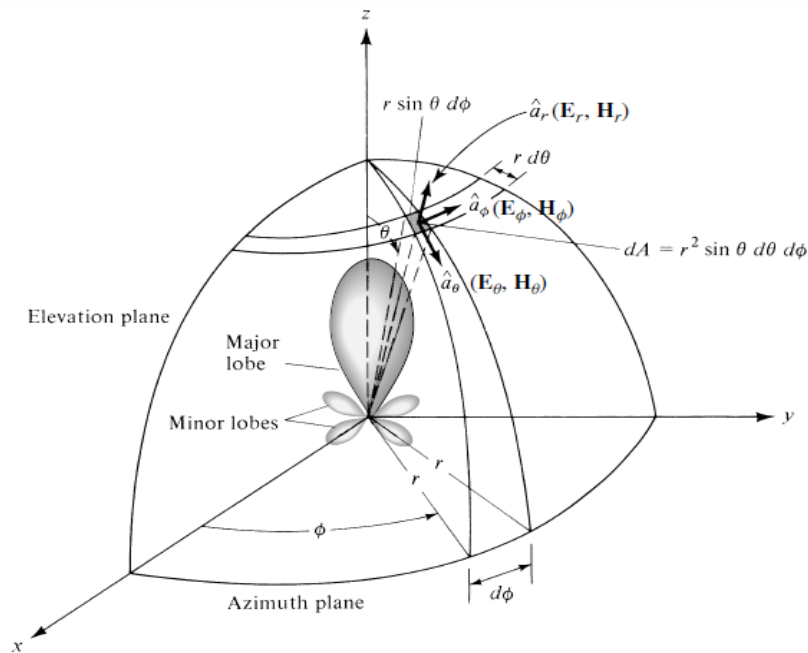
Ada beberapa jenis *bandwidth* di antaranya:

- 1 *Impedance bandwidth*, yaitu rentang frekuensi di mana elemen peradiasi antenna berada pada keadaan *matching* dengan saluran pencatu. Hal ini terjadi karena impedansi dari elemen antenna bervariasi nilainya tergantung dari nilai frekuensi. Pada Tesis ini, antenna yang dibuat diharapkan memiliki *Impedance bandwidth* minimal 228 MHz di range frekuensi 470-682 MHz dengan nilai return loss  $\leq -10,16$  dB atau VSWR  $\leq 1,9$ .
- 2 *Pattern bandwidth*, yaitu rentang frekuensi di mana *beamwidth*, *sidelobe*, atau *gain*, yang bervariasi menurut frekuensi memenuhi nilai tertentu. Nilai tersebut harus ditentukan pada awal perancangan antenna agar nilai *bandwidth* dapat dicari

### 2.7.5 Pola Radiasi

Pola radiasi antenna didefinisikan sebagai fungsi matematik atau sebuah representasi grafik dari radiasi antenna sebagai sebuah fungsi dari koordinat ruang[10].

- Pola Isotropik  
Antena isotropik didefinisikan sebagai sebuah antenna tanpa rugi-rugi secara hipotesis yang mempunyai radiasi sama besar ke setiap arah.
- Pola *Directional*  
Antena yang mempunyai pola radiasi atau pola menerima gelombang elektromagnetik yang lebih efektif pada arah-arah tertentu saja. Salah satu contoh antenna *directional* adalah antenna dengan pola *omnidirectional*
- Pola radiasi *lobe (cuping)*  
Bagian-bagian dari pola radiasi ditunjukkan sebagai cuping-cuping yang bisa diklasifikasikan menjadi *main* (utama), *side* (samping) dan *back* (belakang).
  - ✓ *Main lobe* ialah *lobe* radiasi yang memiliki arah radiasi maksimum
  - ✓ *Side lobe* ialah *lobe* selain *main lobe*
  - ✓ *Back lobe* ialah *lobe* yang arahnya berlawanan 180° dengan *mainlobe*. *Side lobe* dan *back lobe* merupakan *minor lobe* yang keberadaannya tidak diharapkan.



Gambar 2.7 Pola Radiasi Directional [9].

### 2.7.6 Penguatan (*Gain*)

Ada dua jenis parameter penguatan (*Gain*) yaitu :

1. *Absolute gain* pada sebuah antenna didefinisikan sebagai perbandingan antara intensitas pada arah tertentu dengan intensitas radiasi yang diperoleh jika daya yang diterima oleh antenna teradiasi secara isotropik. Intensitas radiasi yang berhubungan dengan daya yang diradiasikan secara isotropik sama dengan daya yang diterima oleh antenna ( $P_{in}$ ) dibagi dengan  $4\pi$ . *Absolute gain* ini dapat dihitung dengan rumus [10]:

$$gain = 4\pi \frac{U(\theta, \phi)}{P_{in}} \quad (2.21)$$

2. *Relative gain* didefinisikan sebagai perbandingan antara perolehan daya pada sebuah arah dengan perolehan daya pada antenna referensi pada arah yang direferensikan juga. Daya masukan harus sama di antara kedua antenna itu. Akan tetapi, antenna referensi merupakan sumber isotropik yang *lossless* ( $P_{in}(lossless)$ ). Secara rumus dapat dihubungkan sebagai berikut[10]:

$$G = \frac{4\pi U(\theta, \phi)}{P_{in}(lossless)} \quad (2.22)$$

### 2.7.7 Keterarahan (*Directivity*)

Keterarahan dari sebuah antenna didefinisikan sebagai perbandingan (rasio) intensitas radiasi sebuah antenna pada arah tertentu dengan intensitas radiasi rata-rata pada semua arah. Intensitas radiasi rata-rata sama dengan jumlah daya yang diradiasikan oleh antenna dibagi dengan  $4\pi$ . Dengan demikian, keterarahan dapat dihitung dengan menggunakan rumus seperti pada Persamaan 2.23 berikut ini:

$$D = \frac{U}{U_0} = \frac{4\pi U}{P_{rad}} \quad (2.23)$$

Jika arah tidak ditentukan, keterarahan terjadi pada intensitas radiasi maksimum yang didapat dengan rumus seperti pada Persamaan 2.24:

$$D_{max} = D_0 = \frac{U_{max}}{U_0} = \frac{4\pi U_{max}}{P_{rad}} \quad (2.24)$$

Di mana :

$D$  = keterarahan

$D_0$  = keterarahan maksimum

$U$  = intensitas radiasi

$U_{max}$  = intensitas radiasi maksimum

$U_0$  = intensitas radiasi pada sumber isotropik

$P_{rad}$  = daya total radiasi

*Directivity* biasanya dinyatakan dalam dB, yaitu  $10 \log D_0$  dB. Dimana  $D_0$  merupakan *Maximum Directivity* dari sebuah antenna. *Directivity* sebuah antenna isotropis adalah 1, karena daya yang diradiasikan ke segala arah sama. Untuk antenna yang lain, *directivity* akan selalu lebih dari satu, dan ini adalah *figure of merit relatif* yang memberikan sebuah indikasi karakteristik pengarahan antenna dibandingkan dengan karakteristik pengarahan antenna isotropis.

### 2.7.8 Polarisasi

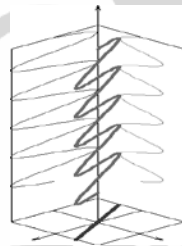
Polarisasi antenna adalah polarisasi dari gelombang yang ditransmisikan oleh antenna. Jika arah tidak ditentukan maka polarisasi merupakan polarisasi pada arah *gain* maksimum[10]. Pada prakteknya, polarisasi dari energi yang teradiasi bervariasi dengan arah dari tengah antenna, sehingga bagian lain dari pola radiasi mempunyai polarisasi yang berbeda.

Polarisasi dari gelombang yang teradiasi didefinisikan sebagai suatu keadaan gelombang elektromagnet yang menggambarkan arah dan magnitudo vektor medan elektrik yang bervariasi menurut waktu. Selain itu, polarisasi juga dapat didefinisikan sebagai gelombang yang diradiasikan dan diterima oleh antena pada suatu arah tertentu.

Polarisasi dapat diklasifikasikan sebagai *linear* (linier), *circular* (melingkar), atau *elliptical* (elips). Polarisasi linier (Gambar 2.8) terjadi jika suatu gelombang yang berubah menurut waktu pada suatu titik di ruang memiliki vektor medan elektrik (atau magnet) pada titik tersebut selalu berorientasi pada garis lurus yang sama pada setiap waktu[9].

Hal ini dapat terjadi jika vektor (elektrik maupun magnet) memenuhi:

- a. Hanya ada satu komponen, atau
- b. Dua komponen yang saling tegak lurus secara linier yang berada pada perbedaan fasa waktu atau  $180^0$  atau kelipatannya



Gambar 2.8 Polarisasi Linier

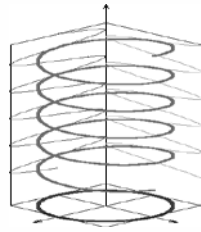
Polarisasi melingkar (Gambar 2.9) terjadi jika suatu gelombang yang berubah menurut waktu pada suatu titik memiliki vektor medan elektrik (atau magnet) pada titik tersebut berada pada jalur lingkaran sebagai fungsi waktu[10].

Kondisi yang harus dipenuhi untuk mencapai jenis polarisasi ini adalah :

- a. Medan harus mempunyai 2 komponen yang saling tegak lurus linier
- b. Kedua komponen tersebut harus mempunyai magnitudo yang sama
- c. Kedua komponen tersebut harus memiliki perbedaan fasa waktu pada kelipatan ganjil  $90^0$ .

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



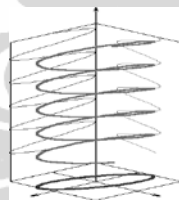


Gambar 2.9 Polarisasi Melingkar

Polarisasi elips (Gambar 2.10) terjadi ketika gelombang yang berubah menurut waktu memiliki vektor medan (elektrik atau magnet) berada pada jalur kedudukan elips pada ruang [10].

Kondisi yang harus dipenuhi untuk mendapatkan polarisasi ini adalah :

- a. Medan harus mempunyai dua komponen linier ortogonal
- b. Kedua komponen tersebut harus berada pada magnitudo yang sama atau berbeda
- c. Jika kedua komponen tersebut tidak berada pada magnitudo yang sama, perbedaan fasa waktu antara kedua komponen tersebut harus tidak bernilai  $0^0$  atau kelipatan  $180^0$  (karena akan menjadi linier). Jika kedua komponen berada pada magnitudo yang sama maka perbedaan fasa di antara kedua komponen tersebut harus tidak merupakan kelipatan ganjil dari  $90^0$  (karena akan menjadi lingkaran).



Gambar 2.10 Polarisasi Elips

## **BAB 3**

### **PERANCANGAN *LINEAR TAPERED SLOT* ANTENA DENGAN PENCATUAN *MICROSTRIP LINE***

#### **3.1. Pendahuluan**

Pada tesis ini akan dirancang antenna mikrostrip *slot* dengan *slot* berbentuk *linear tapered* dan teknik pencatuan secara tidak langsung yaitu menggunakan saluran mikrostrip (*Microstrip Feed Line*). Keuntungan rancangan ini adalah desain yang sederhana dan mudah proses fabrikasinya serta dapat menghasilkan *bandwidth* yang lebar sehingga mampu memenuhi spesifikasi yang dibutuhkan.

Ada beberapa tahapan dalam perancangan antenna ini, diantaranya adalah penentuan karakteristik antenna, penentuan spesifikasi substrat yang akan digunakan, penentuan dimensi *slot* antenna, penentuan dimensi saluran pencatu. Hasil rancangan tersebut kemudian disimulasikan dengan menggunakan perangkat lunak *HFSS* versi 11. Untuk mendapatkan spesifikasi yang dibutuhkan dilakukan karakterisasi-karakterisasi baik pada *slot* antenna maupun pada saluran pencatu.

#### **3.2. Perlengkapan Yang Digunakan**

Perangkat yang digunakan dalam perancangan ini terdiri dari perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*). Perangkat keras digunakan untuk fabrikasi dan pengukuran antenna. Perangkat lunak digunakan untuk melakukan simulasi dan mengetahui karakteristik antenna yang dirancang.

Perangkat keras yang dipergunakan dalam perancangan antenna mikrostrip antara lain:

1. *Network Analyzer* HP 8753E (30 kHz - 6GHz)

Alat ini digunakan untuk pengukuran *port* tunggal (mengukur frekuensi resonansi, *VSWR*, *return loss*, impedansi masukan, dan *bandwidth*) dan *port* ganda (mengukur pola radiasi dan *gain*).

3. *Konektor SMA* 50 ohm.
4. Kabel *Coaxial* 50 ohm.

Perangkat lunak (*software*) yang digunakan yaitu dalam perancangan antenna mikrostrip antara lain :

1. *Software* Ansoft HFSS versi 11

Perangkat lunak ini dipergunakan untuk merancang dan mensimulasikan LTSA yang akan dibuat. Setelah disimulasi akan diperoleh beberapa karakteristik antenna seperti frekuensi kerja, *bandwidth*, impedansi input, *return loss*, VSWR, dan pola radiasi.

2. *Software* PCCAD 5.0

Perangkat lunak ini digunakan untuk menentukan saluran pencatu *microstrip line* sehingga dihasilkan kondisi *matching*.

3. *Software* Microsoft Visio 2003

Perangkat lunak ini digunakan untuk mencetak rancangan antenna LTSA yang akan dibuat sehingga dapat dibuat sesuai dengan ukuran sebenarnya.

4. *Microsoft Excel* 2007

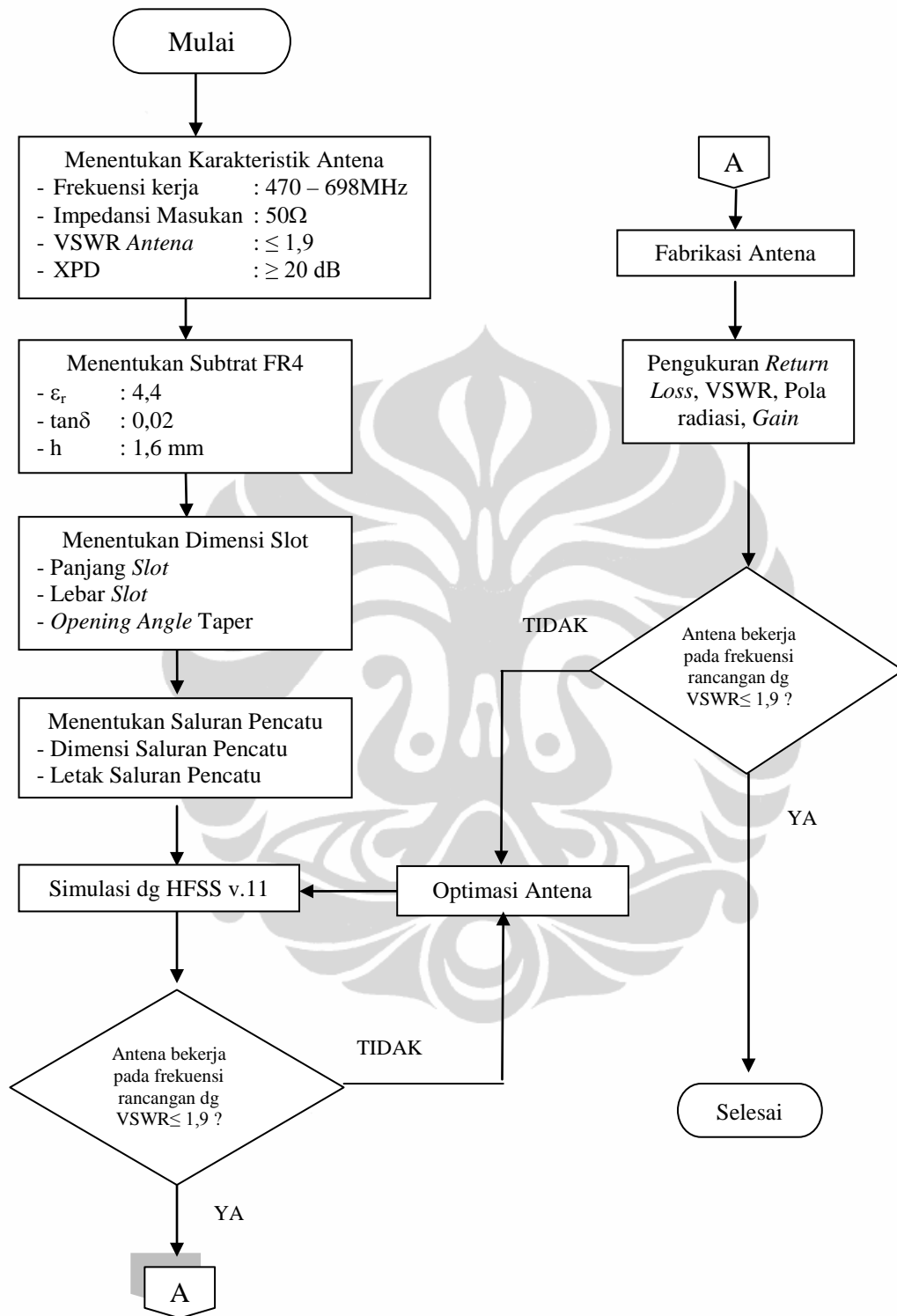
Perangkat lunak ini digunakan untuk mengolah data dengan persamaan matematis.

### 3.3. Diagram Alir Perancangan LTSA

Dalam merancang antenna diperlukan tahapan-tahapan untuk membantu dalam proses perancangan antenna. Langkah pertama dimulai dari penentuan karakteristik antenna, kemudian penentuan bahan substrat yang akan digunakan. Substrat ini berhubungan dengan konstanta dielektrik relatif ( $\epsilon_r$ ), dielektrik *loss tangent* ( $\tan \delta$ ) dan ketebalan ( $h$ ). Penentuan dimensi saluran pencatu menggunakan PCCAD atau menggunakan rumus pada subbab 2.6 agar saluran pencatu yang dirancang impedansi masukannya mendekati  $50\Omega$ . Kemudian perancangan dimensi *slot* antenna menggunakan rumus pada subbab 2.6.

Setelah diperoleh dimensi pencatu dan *slot* langkah selanjutnya yaitu menentukan letak dari saluran pencatu, kemudian dilakukan simulasi menggunakan HFSS Ansoft 11 untuk mengetahui karakteristik antenna. Apabila frekuensi yang diperoleh belum memenuhi karakteristik dilakukan optimasi pada dimensi *slot*. Selanjutnya apabila *bandwidth* yang diperoleh belum memenuhi karakteristik dilakukan optimasi pada dimensi pencatu dan letak pencatu. Gambar

3.1 merupakan gambar diagram alir dari perancangan antenna pada tesis ini.



Gambar 3.1 Diagram Alir Perancangan *LTSA*

### 3.4. Menentukan Karakteristik Antena

Tahapan perancangan antena pertama kali adalah menentukan karakteristik antena yang diinginkan, karakteristik antena yang dimaksud yaitu frekuensi kerja, impedansi, *bandwidth*, dan *VSWR*.

1. Frekuensi kerja : 470 - 698 Mhz
2. Impedansi terminal : 50  $\Omega$  Konektor SMA
3. *Bandwidth* : 228 MHz
4. *VSWR* :  $\leq 1,9$

Pada rancangan antena ini, diharapkan antena mampu bekerja pada frekuensi 470-698 Mhz. Hal ini berarti, frekuensi resonansinya adalah 470-698 Mhz dengan frekuensi tengah 584 Mhz.

### 3.5. Menentukan Jenis Substrat Yang Dipergunakan

Substrat merupakan bahan dielektrik yang memiliki nilai konstanta dielektrik relatif ( $\epsilon_r$ ), dielektrik *loss tangent* ( $\tan \delta$ ) dan ketebalan (h) tertentu. Ketiga nilai tersebut mempengaruhi frekuensi kerja *bandwidth*, dan juga efisiensi antena yang akan dibuat.

Semakin kecil konstanta dielektrik, maka ukuran elemen peradiasi dan saluran pencatu mikrostrip yang dibutuhkan akan semakin luas, karena ukuran elemen peradiasi dan saluran mikrostrip berbanding terbalik dengan konstanta dielektrik. Ketebalan substrat jauh lebih besar dari pada ketebalan konduktor metal peradiasi.

Semakin tebal substrat maka *bandwidth* akan semakin meningkat, tetapi berpengaruh terhadap timbulnya gelombang permukaan (*surface wave*)[6][9]. Begitu juga sebaliknya, semakin kecil tebal substrat maka efek gelombang permukaan semakin kecil sehingga diharapkan dapat meningkatkan kinerja antena seperti *gain*, efisiensi, dan *bandwidth*.

Dalam pemilihan jenis substrat sangat dibutuhkan pengetahuan tentang spesifikasi umum dari substrat tersebut, kualitasnya, ketersediannya dan yang tidak kalah penting adalah harga atau biaya yang harus dikeluarkan untuk mendapatkannya. Semua parameter tersebut akan mempengaruhi nilai jual ketika

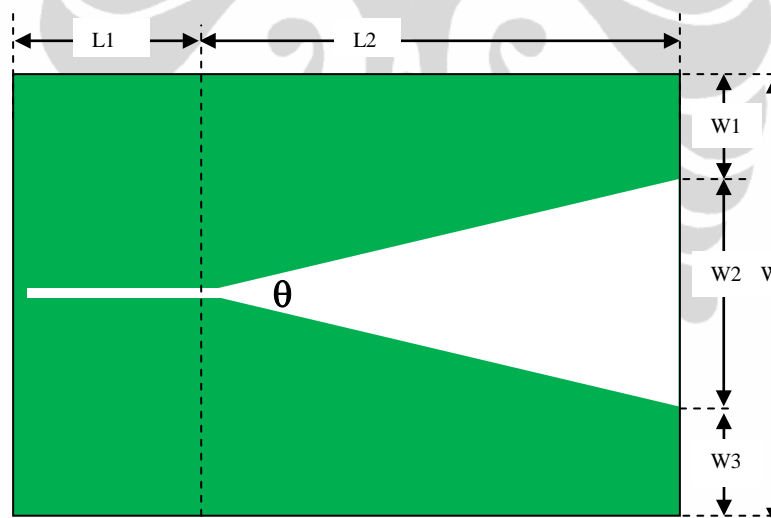
akan difabrikasi secara massal untuk dipasarkan. Pada tesis ini digunakan substrat FR4 *epoxy* dengan ketebalan 1,6 mm dengan spesifikasi pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Spesifikasi Substrat FR4 (epoxy)

Konstanta Dielektrik Relatif ( $\epsilon_r$ )	4,4
Dielektrik <i>Loss Tangent</i> ( $\tan \delta$ )	0,02
Ketebalan Substrat (h)	1,6 mm

### 3.6. Perancangan Dimensi Slot

Setelah didapatkan spesifikasi substrat yang digunakan, dilakukan perancangan slot peradiasi antenna mikrostrip. Antena yang dirancang disini bekerja pada frekuensi 470-698 Mhz. Penentuan dimensi slot meliputi panjang slot, lebar slot dan *opening angle* dari *taper*. Bentuk slot dalam perancangan ini seperti pada gambar 3.2.



Gambar 3.2 Desain Antena LTSA

Panjang dan lebar slot ditentukan  $\approx \frac{1}{2} \lambda$ . Sedangkan  $\lambda$  diambil dari frekuensi terendah yang hendak dicapai. Panjang gelombang pada frekuensi 470 Mhz dapat dihitung sebagai berikut

$$\lambda = \frac{300 \times 10^6}{470 \times 10^6} = 0,638m = 638mm$$

$$\text{Panjang slot (L2)} = \frac{1}{2} \times 638mm = 319mm$$

$$\text{Lebar slot (W)} = \frac{1}{2} \times 638mm = 319mm$$

*Opening Angle* menurut [9] efektif di sudut  $11,2^\circ$  , sehingga dengan panjang slot 319mm lebar *opening angle* (W2) bisa dihitung sebagai berikut :

$$W2 = \tan \theta \times L$$

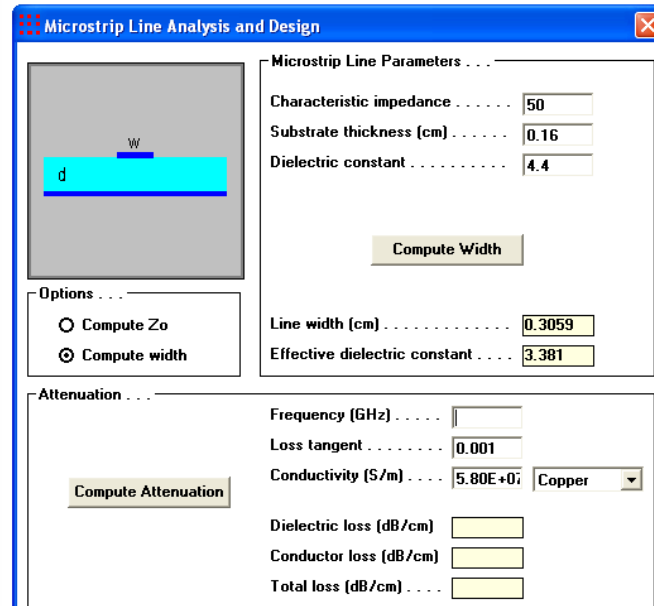
$$W2 = \tan 11,2^\circ \times 319\text{mm} = 63\text{mm}$$

Setelah W2 diketahui maka lebar W1 dan W3 dapat dihitung sebagai berikut

$$W1 = W3 = (319 - 63):2 = 128\text{mm}$$

### 3.7. Perancangan Lebar Saluran Pencatu

Teori mengenai saluran pencatu mikrostrip telah dijelaskan pada subbab 2.6. Pencatuan yang digunakan pada antenna yang dirancang pada tesis ini menggunakan teknik pencatuan secara tidak langsung (*microstrip feed line*). Dalam perancangan pencatu antenna mikrostrip perlu impedansi masukan ( $Z_{in}$ )  $50 \Omega$ . Nilai tersebut bisa didapatkan dengan mengatur lebar dari saluran pencatu. Untuk mendapatkan besar lebar dari saluran pencatu yang menghasilkan nilai impedansi 50 ohm dapat dicari dengan menggunakan perangkat lunak PCAAD 5.0. Tampilan dari program PCAAD dapat dilihat pada Gambar 3.3



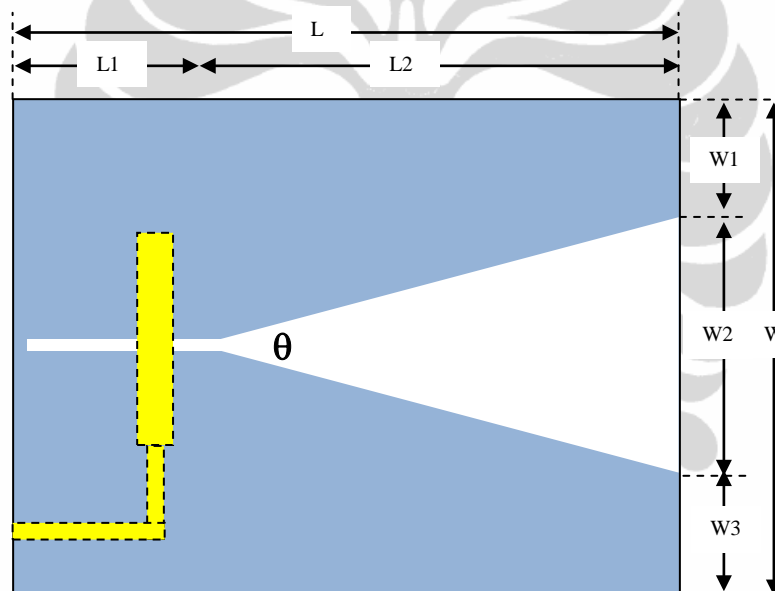
Gambar 3.3 Tampilan Program PCAAD Untuk Mencari Lebar Catu

Dengan memasukkan karakteristik impedansi masukan sebesar  $50\Omega$ , ketebalan substat 0.16 cm dan konstanta dielektrik 4.4, maka program ini akan

secara otomatis menampilkan lebar dari saluran pencatu yang dibutuhkan sebesar 3,059 mm. Sedangkan untuk panjang saluran pencatu pada desain awal ini akan digunakan bentuk pencatuan *microstrip line*.

### 3.8 Desain Antena LTSA

Seperti yang terlihat pada Gambar 3.4, antena mikrostrip *slot* yang didesain pada tesis ini merupakan antena mikrostrip yang dibuat dengan menggunakan satu buah substrat FR4-Epoxy yang bisa di-*etching* pada kedua sisinya. Pencatu dan *slot* berada di dua sisi yang berbeda sehingga pada desain antena ini proses pencatuan dilakukan secara tidak langsung. *Slot* dapat digambarkan sebagai sebuah lapisan *ground* pada suatu struktur antena mikrostrip *patch*.



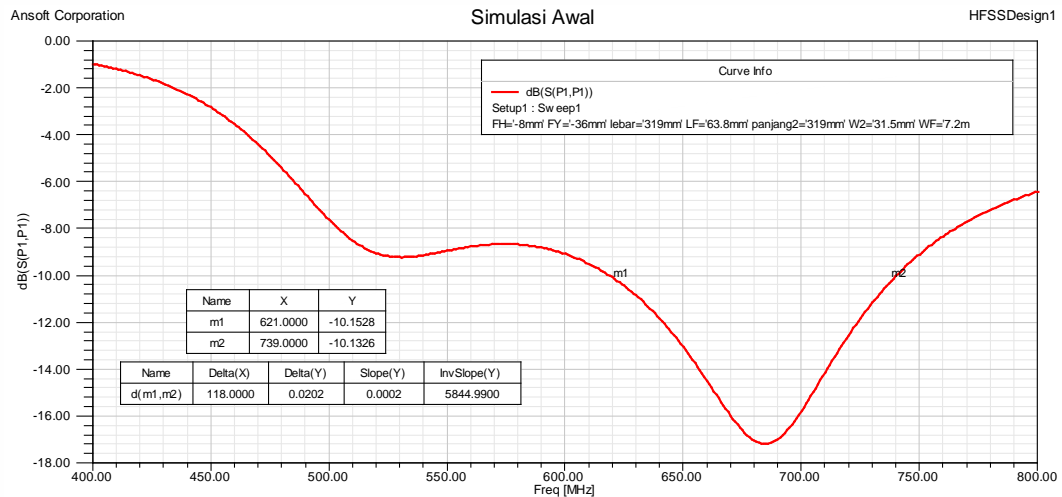
Gambar 3.4 Desain Antena LTSA

Tabel 3.2 Dimensi Antena Hasil Rancangan Berdasarkan Teori

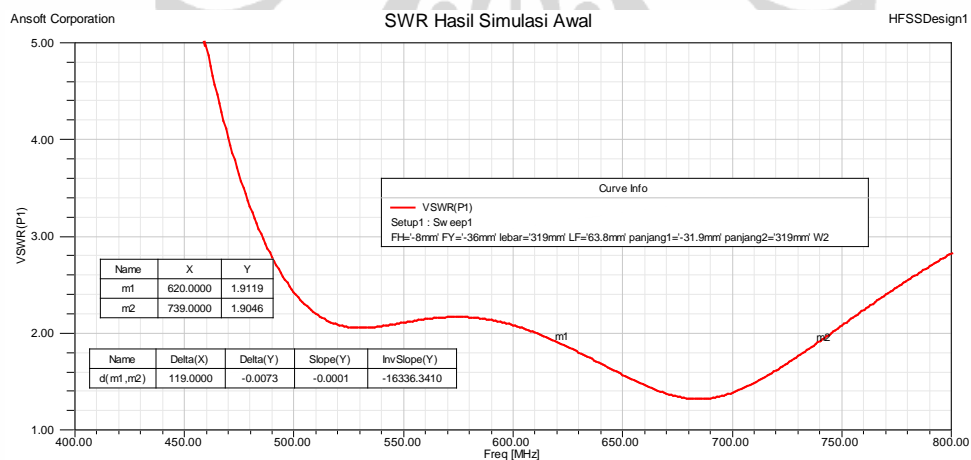
Parameter	Ukuran (mm)
Panjang1 Slot ( $L_1$ )	31,9 mm
Panjang 2 Slot ( $L_2$ )	319 mm
Lebar Opening angle Slot ( $W_2$ )	63 mm
$W_1=W_3$	128 mm
Letak Feed dg sumbu X (FH)	-8 mm
Lebar Pencatu (WF)	4 mm
Panjang Pencatu (LF)	63,8 mm
Lebar Pencatu2 (WF2)	3 mm
Panjang Pencatu2 (LF2)	36 mm
Letak Feed dg sumbu Y (FV)	-36 mm



Pada tahap ini, hasil rancangan disimulasikan dengan perangkat lunak *HFSS v 11* Gambar 3.5(a) dan 3.5(b) menunjukkan grafik *return loss* dan grafik *SWR* hasil simulasi awal yang merupakan hasil rancangan berdasarkan perhitungan teori yang telah dijabarkan pada keterangan di Gambar 3.4.



Gambar 3.5(a) Grafik *Return Loss* pada Simulasi Awal



Gambar 3.5(b) Grafik *SWR* pada Simulasi Awal

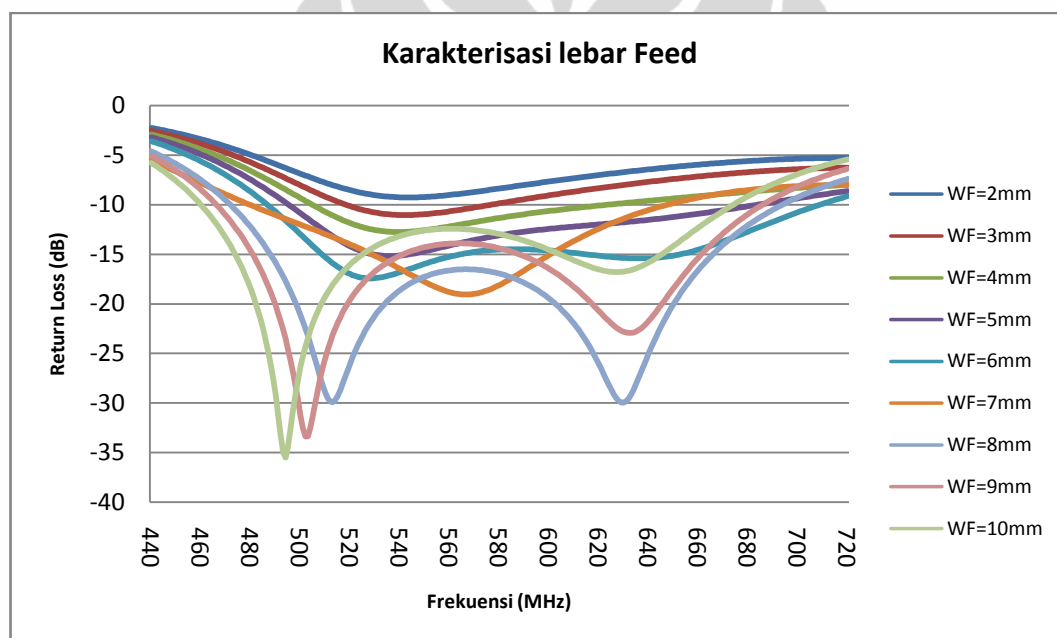
Dari Gambar 3.5 dapat dilihat bahwa frekuensi kerja yang diinginkan bergeser ke frekuensi 621 MHz hingga 739 MHz dengan nilai *return Loss* yang diperoleh sebesar -10,13dB. Hasil ini jauh dari frekuensi yang diharapkan yaitu 584MHz. Adapun dari hasil simulasi desain awal antenna ini. Hal tersebut dapat disebabkan oleh ketidaksesuaian antara perhitungan dimensi *slot* yang digunakan dengan teknik pencatutan *Microstrip Feed Line*. Oleh karena itu, untuk

mendapatkan rancangan yang optimal perlu dilakukan pengkarakterisasian antena. Karakterisasi ini meliputi karakterisasi lebar *feed*, lebar *feed*, lebar sudut buka, letak feed terhadap posisi horizontal, panjang *slot*, dan lebar slot

### 3.9 Karakterisasi Antena

#### 3.9.1 Karakterisasi Lebar *Feed*

Pada karakterisasi kali ini, dilakukan iterasi dimensi lebar *feed* (WF) 2mm sampai 10mm dengan interval 1mm. Gambar 3.6 menunjukkan hasil simulasi dari perubahan dimensi lebar *feed* (WF). Parameter panjang *slot* 2, panjang1 *slot*, lebar *slot*, lebar *opening angle*, letak dan panjang saluran pencatu dibuat tetap

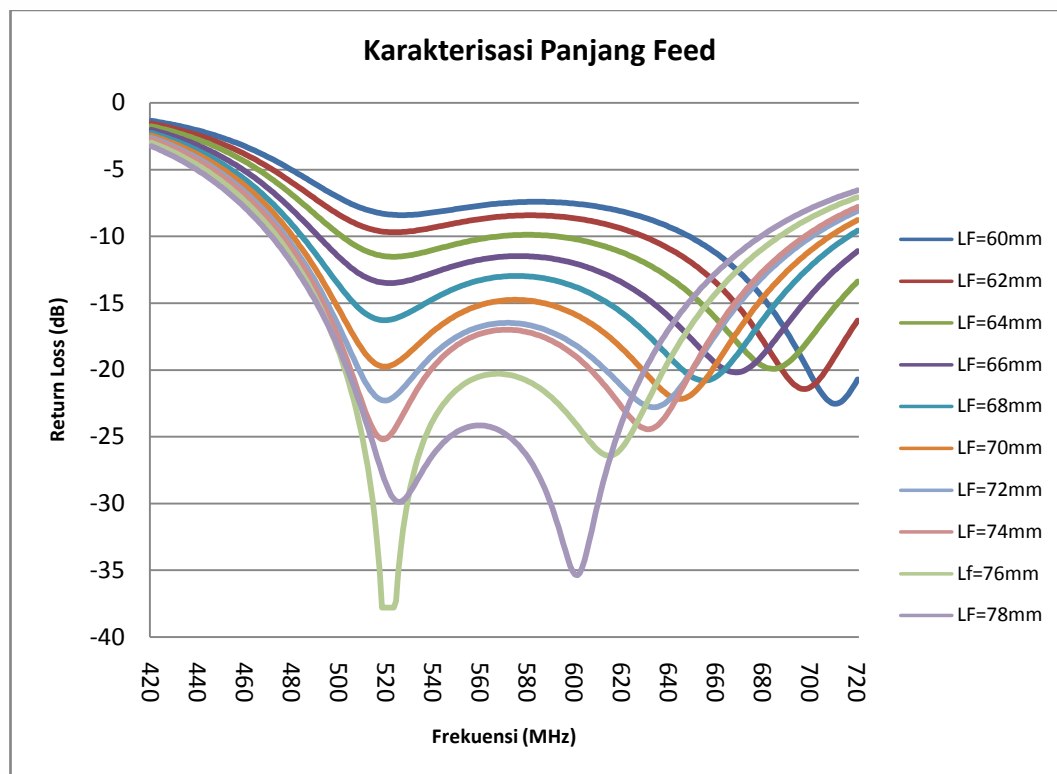


Gambar 3.6 Grafik *Return Loss* pada karakterisasi Lebar *Feed*

Berdasarkan hasil simulasi iterasi lebar *feed*, nilai *return loss* dibawah -10 dB dengan *bandwidth*  $\geq 170$  MHz didapatkan pada *WF* = 6mm, 7mm, 8mm, 9mm dan 10mm, sedangkan frekuensi resonansi berada di sekitar 480-650 MHz. Hasil simulasi ini dapat disimpulkan bahwa karakterisasi pada *feed* (WF) mempengaruhi *matching impedance* dan juga frekuensi resonansi antena.

### 3.9.2 Karakterisasi Panjang *Feed*

Pada karakterisasi kali ini, dilakukan iterasi dimensi panjang *feed* (LF) dengan variasi 60 mm sampai 78mm dengan interval 2mm. Gambar 3.7 menunjukkan hasil simulasi dari perubahan dimensi panjang *feed* (LF). Parameter panjang *slot* 2 ,panjang1 *slot* , lebar *opening angle*, letak dan lebar *feed* dibuat tetap.

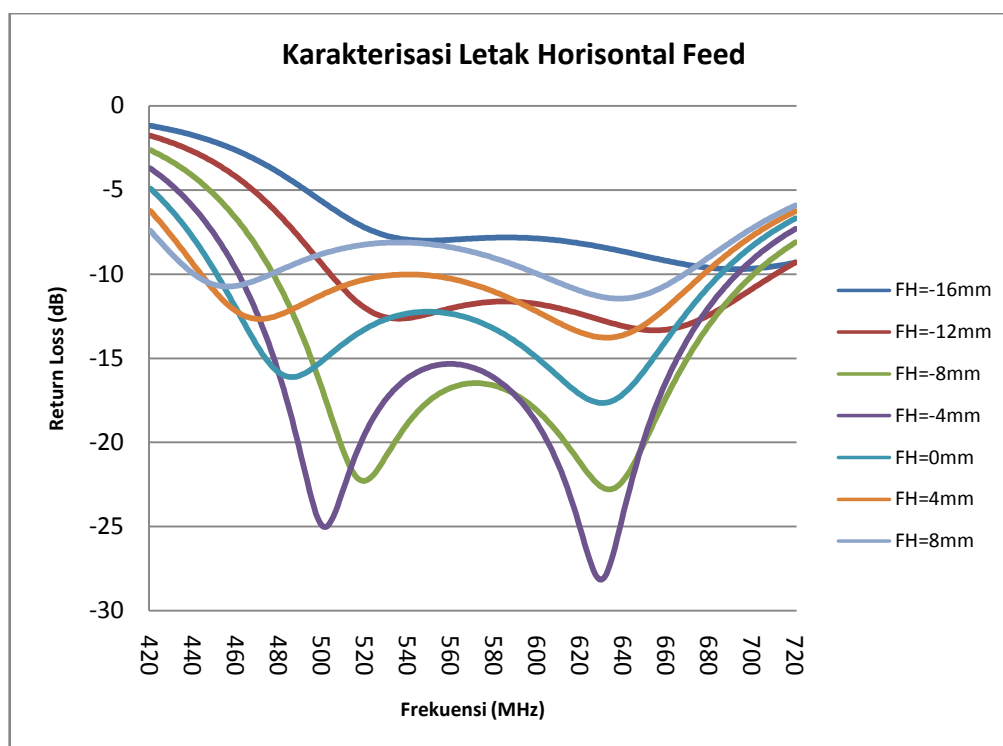


Gambar 3.7 Grafik *Return Loss* pada karakterisasi Panjang *Feed*

Berdasarkan hasil simulasi, nilai *return loss* dibawah -10 dB dengan *bandwidth*  $\geq 195$  MHz didapatkan pada LF = 68mm, 70mm, 72mm, 74mm, 76mm dan 78mm, sedangkan frekuensi resonansi berada di sekitar 475-670 MHz . Hasil simulasi ini dapat disimpulkan bahwa karakterisasi pada panjang *feed* (LF) mempengaruhi *matching impedance* antena.

### 3.9.3 Karakterisasi Letak Horizontal Feed

Pada karakterisasi kali ini, dilakukan iterasi letak *feed* secara horizontal (FH) terhadap sumbu Y dengan variasi -12mm sampai 8 mm dengan interval 4mm, Gambar 3.8 menunjukkan hasil simulasi dari perubahan letak *feed* secara horizontal (FH), Parameter panjang *slot 2*, panjang1 *slot* , lebar *slot*, lebar *opening angle*, panjang dan lebar *feed* dibuat tetap

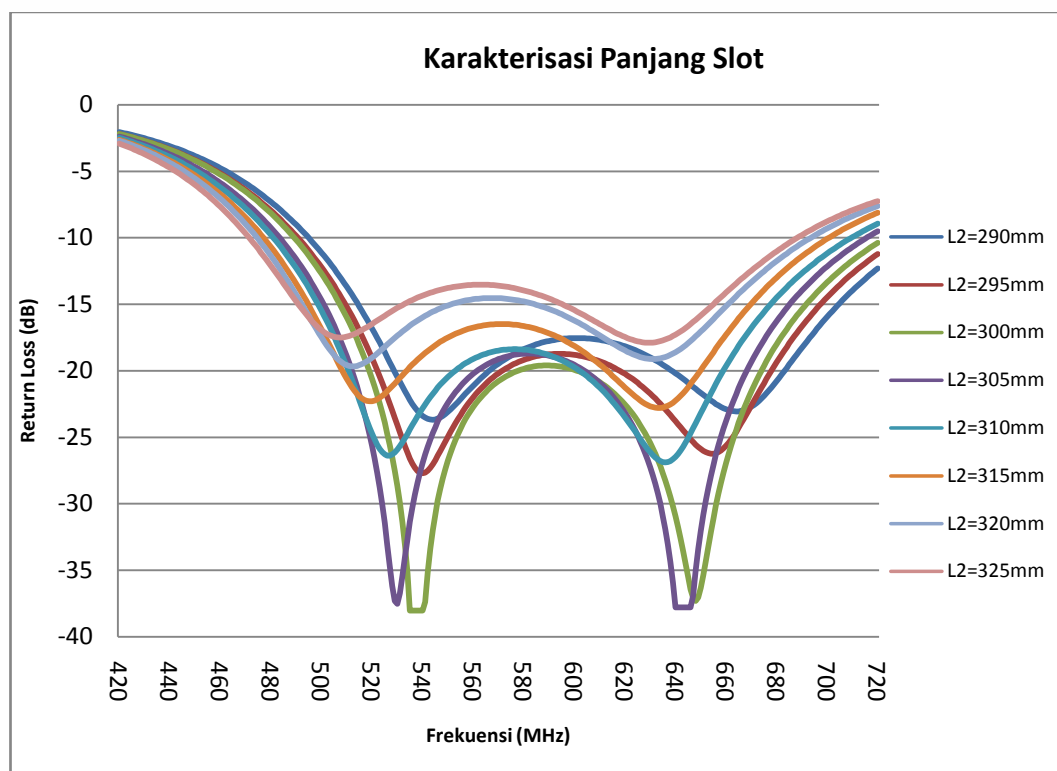


Gambar 3.8 Grafik *Return Loss* pada Iterasi Letak Feed

Berdasarkan hasil simulasi iterasi letak saluran pencatu nilai *return loss* dibawah -10 dB dengan *bandwidth*  $\geq 200$  MHz didapatkan pada FH= -12mm, -8mm, -4mm, dan 0mm memiliki frekuensi resonansi berada disekitar 480-680MHz. Hasil simulasi ini dapat disimpulkan bahwa karakterisasi pada letak horizontal *feed* (FH) mempengaruhi *matching impedance* antenna.

### 3.9.4 Karakterisasi Panjang Slot

Pada karakterisasi kali ini, dilakukan iterasi dimensi panjang slot 2 ( $L_2$ ) 290mm sampai 325 mm dengan interval 5mm. Gambar 3.9 menunjukkan hasil simulasi dari perubahan dimensi panjang slot 2, sedangkan parameter lainnya seperti panjang slot 1, lebar slot, lebar opening angle, letak dan lebar serta panjang feed dibuat tetap.

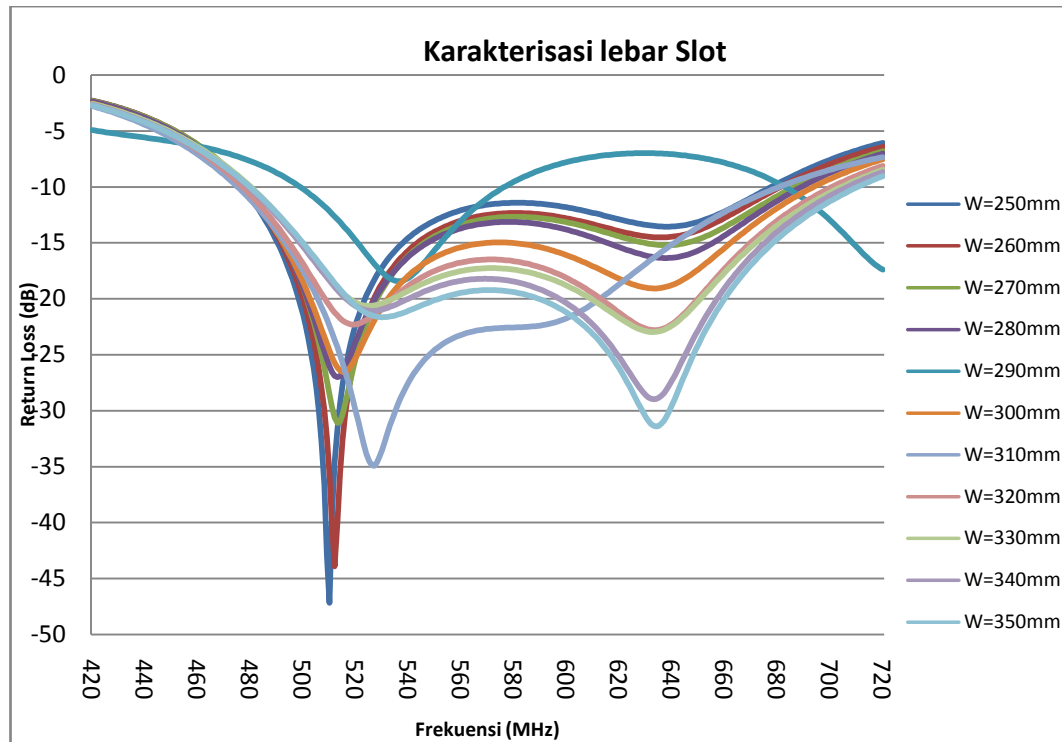


Gambar 3.9 Grafik Return Loss pada Iterasi Panjang Slot

Berdasarkan hasil simulasi iterasi panjang slot ( $L_2$ ), nilai return loss dibawah -10 dB dengan bandwidth  $\geq 200$ Mhz didapatkan pada  $L_2$  290mm hingga 352mm, sedangkan frekuensi resonansi berbanding terbalik dengan panjang slot. Semakin panjang slot makin frekuensi semakin menurun. Hasil simulasi ini dapat disimpulkan bahwa karakterisasi pada panjang slot 2 ( $L_2$ ) mempengaruhi frekuensi resonansi antenna.

### 3.9.5 Karakterisasi Lebar Slot

Pada karakterisasi kali ini, dilakukan iterasi dimensi lebar slot 250mm hingga 350mm dengan interval 10mm. Gambar 3.10 menunjukkan hasil simulasi dari perubahan dimensi lebar Slot. Parameter panjang slot 2, panjang slot1, lebar opening angle, letak dan lebar serta panjang feed dibuat tetap.

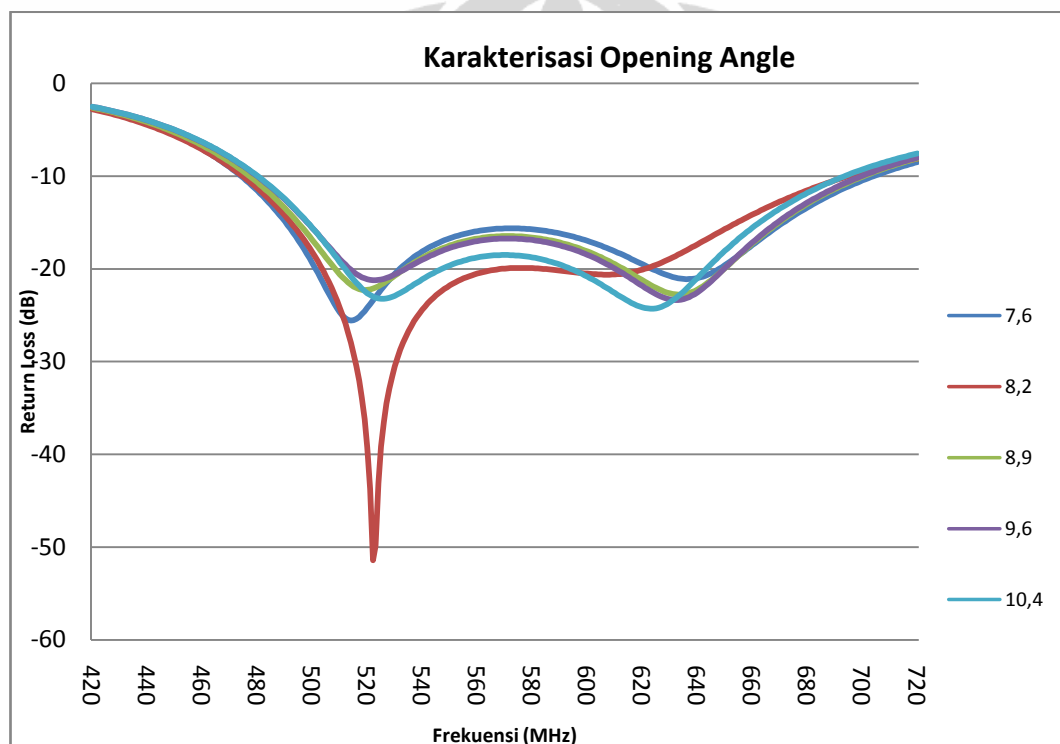


Gambar 3.10 Grafik Return Loss pada Iterasi Lebar Slot

Berdasarkan hasil simulasi Iterasi lebar Slot, nilai *return loss* dibawah -10 dB dengan *bandwidth*  $\geq 200$  Mhz didapatkan pada  $W = 300$ mm, 310mm, 320mm, 330mm, 340mm dan 350mm, sedangkan frekuensi resonansi rata-rata berada di 480-680 MHz. Hasil simulasi ini dapat disimpulkan bahwa karakterisasi pada lebar slot (W) mempengaruhi *matching impedance* antenna dan frekuensi resonansi.

### 3.9.6. Karakterisasi Sudut Buka (*Opening Angle*)

Pada karakterisasi kali ini, dilakukan iterasi sudut buka (*opening Angle*). Iterasi ini dengan cara merubah lebar sudut buka *slot* ( $W_2$ ) 42mm hingga 58mm, dengan interval 4mm. Parameter panjang *slot* 2 sebesar 320 mm, dengan menggunakan rumus *sinuscosinus* maka diperoleh sudut 7,6°, 8,2°, 8,9°, 9,6°, 10,4°. Gambar 3.11 menunjukkan hasil simulasi dari perubahan sudut buka (*opening angle*) *slot*., sedangkan parameter lainnya seperti panjang1 *slot* , lebar *slot*, letak dan panjang serta lebar saluran pencatu dibuat tetap



Gambar 3.11 Grafik *Return Loss* pada Iterasi *Opening Angle*

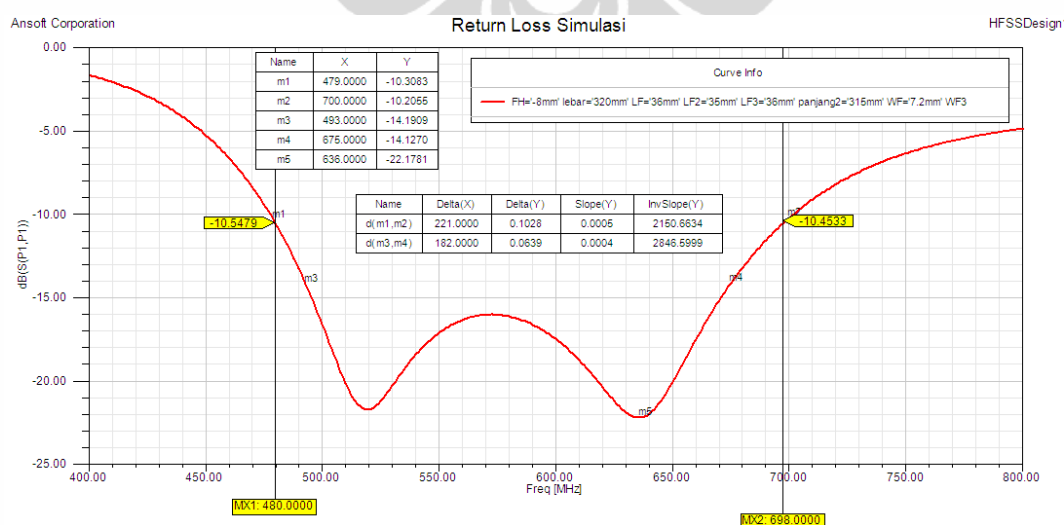
Berdasarkan hasil simulasi iterasi sudut buka (*opening angle*) *slot* dapat disimpulkan bahwa karakterisasi ini mempengaruhi *matching impedance* antena. Sedangkan frekuensi resonansi relatif tidak berubah.

### 3.10 Hasil Perancangan LTSA

Pertama-tama dimensi panjang *slot* dikarakterisasi untuk mendapatkan range frekuensi resonan yang diinginkan kemudian pada dimensi panjang *slot* yang optimal tersebut dikarakterisasi lebar *slot*, panjang pencatu, lebar pencatu, dan letak pencatu, serta besarnya *opening angle slot*. Ukuran dari tiap parameter pada rancangan akhir LTSA ini diberikan pada Tabel 3.3 sedangkan data hasil simulasi karakterisasi dapat dilihat pada gambar 3.12.

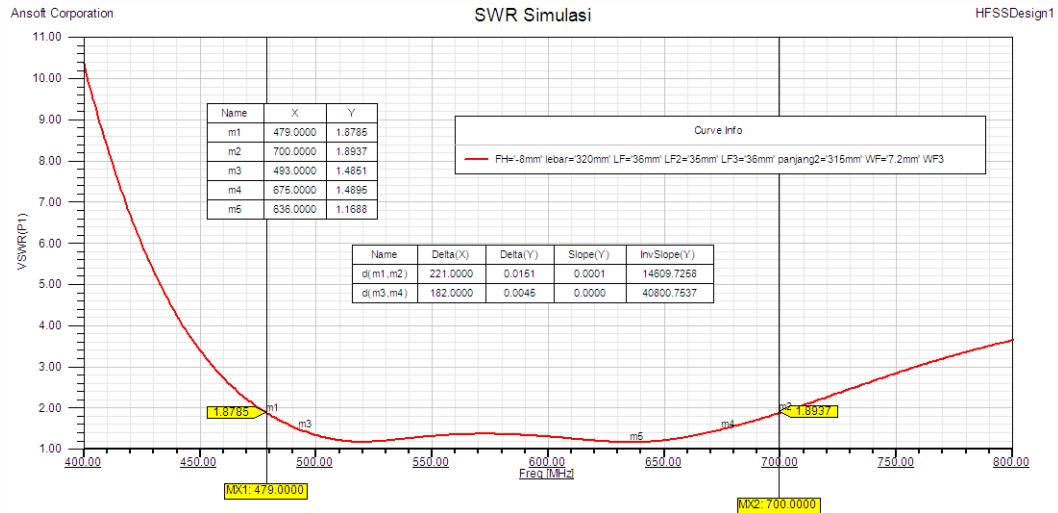
Tabel 3.3 Dimensi Antena Hasil Akhir Simulasi LTSA

Parameter	Ukuran (mm)
Panjang1 Slot (L1)	33 mm
Panjang 2 Slot (L2)	315 mm
Lebar Opening angle Slot (W2)	50 mm
W1=W3	135 mm
Letak Feed dg sumbu X (FH)	-8 mm
Lebar Pencatu (WF)	7.2 mm
Panjang Pencatu (LF)	71 mm
Lebar Pencatu2 (WF)	3 mm
Panjang Pencatu2 (LF)	36 mm
Letak Feed dg sumbu Y (FV)	-36 mm



Gambar 3.12 Grafik *Return Loss* Hasil Perancangan LTSA





Gambar 3.13 Grafik VSWR Hasil Perancangan LTSA

Berdasarkan gambar 3.12 dan gambar 3.13 perolehan frekuensi dengan return loss  $\leq -10,16$  dB pada frekuensi 480 hingga 698 MHz sedangkan *impedance bandwidth* pada  $VSWR \leq 1,9$  hasil simulasi adalah 479 hingga 698 MHz . Adapun *bandwidth* yang dicapai pada nilai  $VSWR \leq 1,9$  adalah:

$$\text{bandwidth} = \frac{f_2 - f_1}{f_c} \times 100 \%$$

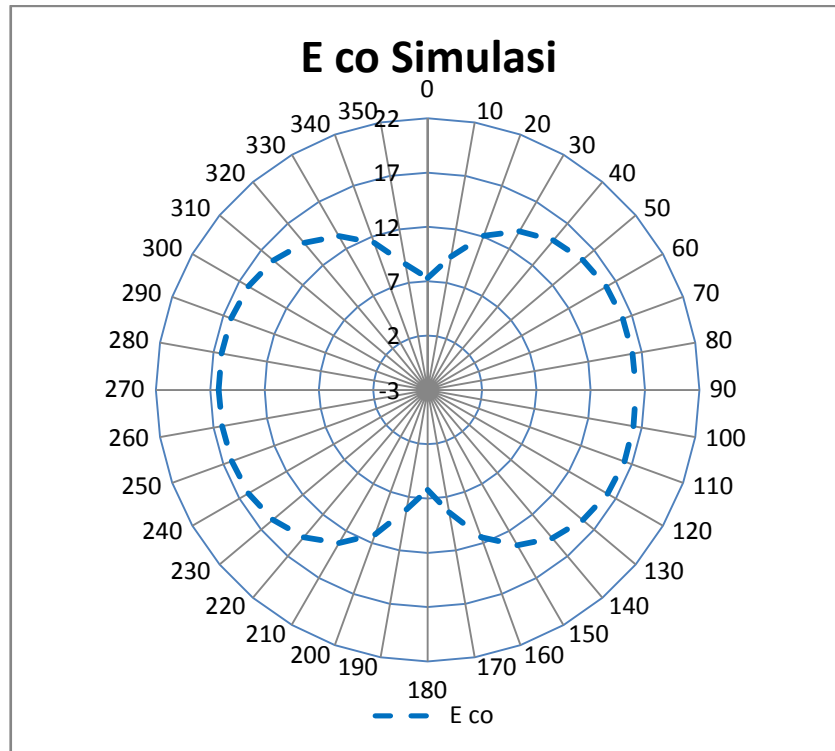
$$\text{bandwidth} = \frac{698 - 479}{588,5} \times 100 \%$$

$$\text{bandwidth} = 37,21\% \text{ ( 219 MHz)}$$

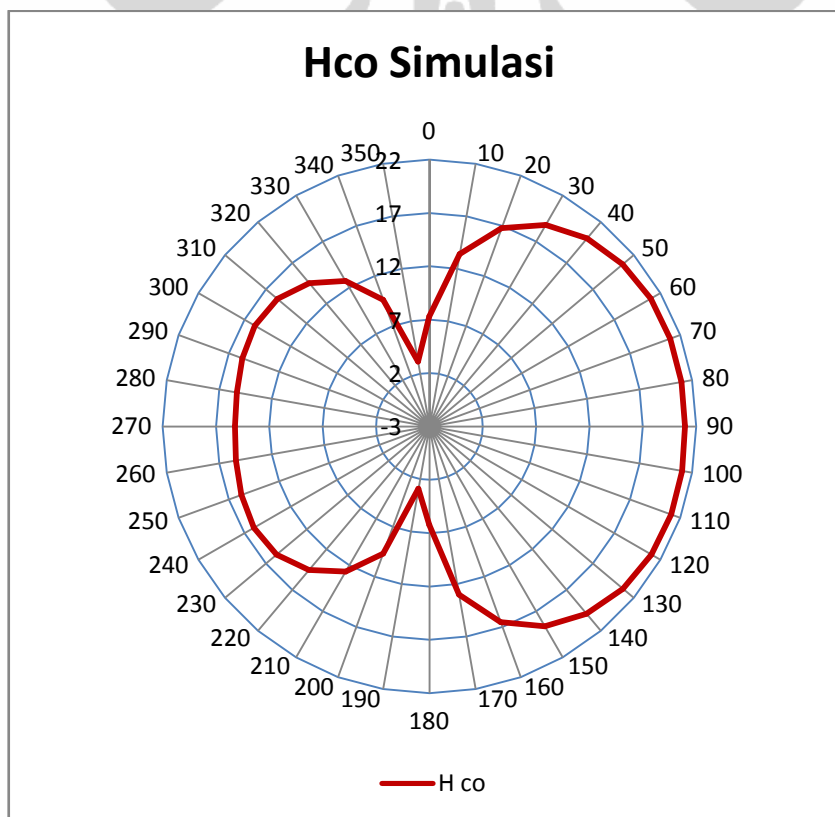
Kemudian rangkuman hasil simulasi ini seperti pada table 3.4, sedangkan hasil Eco dan Hco simulasi seperti pada gambar 2.14 dan 2.15

Tabel 3.4 Hasil Simulasi Perancangan LTSA

Parameter		Hasil Simulasi
$VSWR \leq 1,9$	Range Frekuensi	479-698 MHz
	<i>Impedance Bandwidth</i>	37,21 % ( 219MHz)
480 MHz	<i>Return loss</i>	-10,54 dB
	VSWR	1,84
698 MHz	<i>Return loss</i>	-10,45 dB
	VSWR	1,85
<i>Return loss minimum</i>		- 22,178 dB (pada frek 636 MHz )
VSWR minimum		1,169 frek 636 MHz

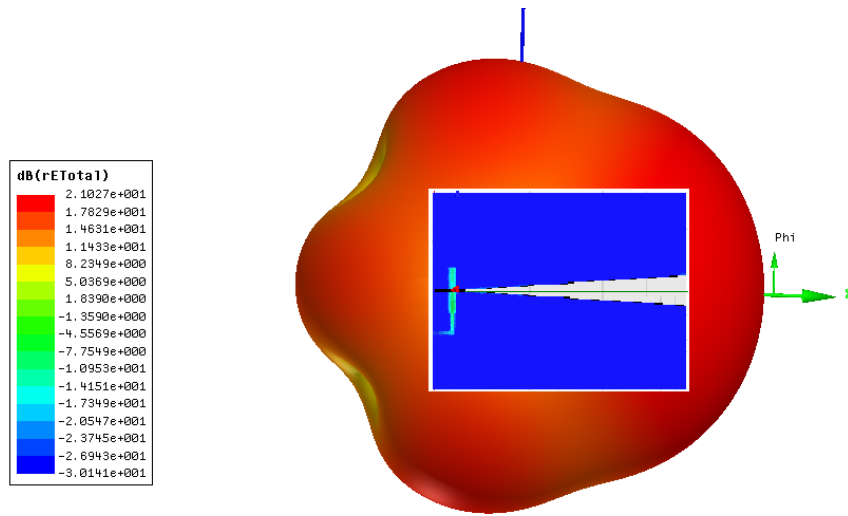


Gambar 2.14 Grafik Plot Hasil Simulasi Medan-E Antena LTSA

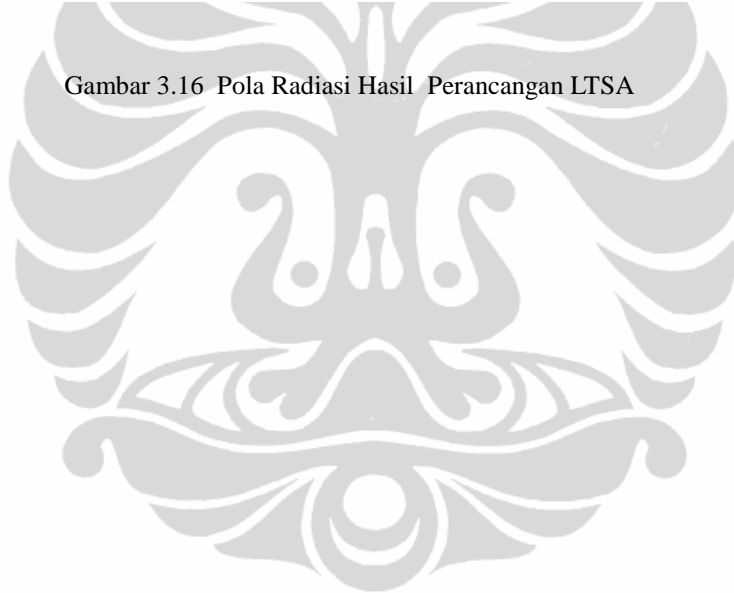


Gambar 3.15 Grafik Plot Hasil Simulasi Medan-H Antena LTSA

Gambar 3.16 memperlihatkan pola radiasi antenna dalam tiga dimensi



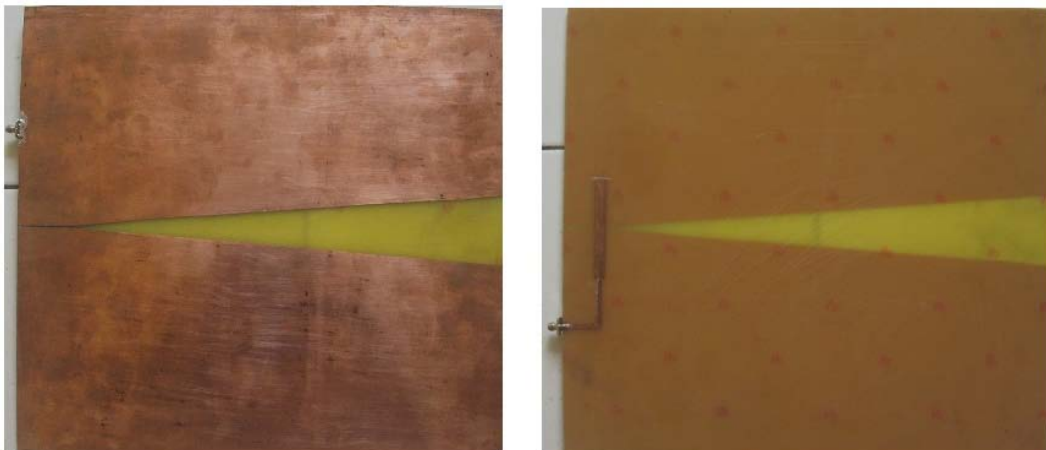
Gambar 3.16 Pola Radiasi Hasil Perancangan LTSA



## BAB 4

### HASIL PENGUKURAN DAN ANALISIS HASIL PENGUKURAN

Setelah desain antenna selesai dibuat dan disimulasikan dengan menggunakan perangkat lunak *HFSS v.11*, antenna kemudian difabrikasi. Hasil fabrikasi antenna terlihat seperti pada Gambar 4.1. Setelah itu, antenna hasil fabrikasi diukur pada ruang *anechoic chamber* (ruang anti gema). Ada 5 parameter antenna yang diukur pada penelitian ini, yaitu *return loss*, *VSWR*, impedansi masukan, pola radiasi, dan *gain*. Kelima parameter tersebut dibagi ke dalam 3 kelompok pengukuran, yaitu pengukuran *port* tunggal (untuk mengukur *return loss*, *VSWR*, dan impedansi masukan), pengukuran *port* ganda (untuk mengukur pola radiasi), dan pengukuran *gain* dengan metoda 3 antenna dan salah satu antenna telah diketahui penguatannya.



Gambar 4.1 Antena Hasil Fabrikasi

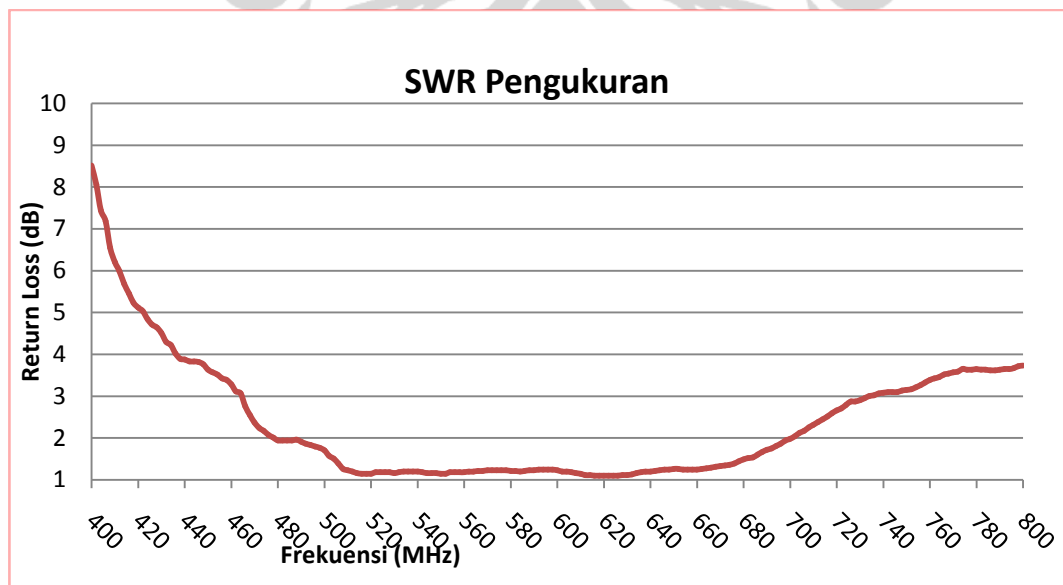
#### 4.1 Pengukuran *Port* Tunggal

Pengukuran port tunggal hanya menggunakan antenna yang diukur, tanpa melibatkan antenna yang lain. Antena yang telah difabrikasi dapat diukur dengan menggunakan *Network Analyzer*. Antena dapat diukur dengan menggunakan format  $S_{11}$  atau  $S_{22}$ . Format  $S_{11}$  digunakan jika antenna dipasang pada *port* 1, sedangkan format  $S_{22}$  digunakan jika antenna dipasang pada *port* 2. Parameter-parameter yang dapat diketahui dari hasil pengukuran port tunggal antara lain *VSWR*, *return loss*, dan impedansi masukan.

Hasil pengukuran *port* tunggal berupa grafik *return loss*, VSWR, dan *Smith Chart* impedansi masukan dapat dilihat pada Gambar 4.2, 4.3, dan 4.4 secara berurutan.

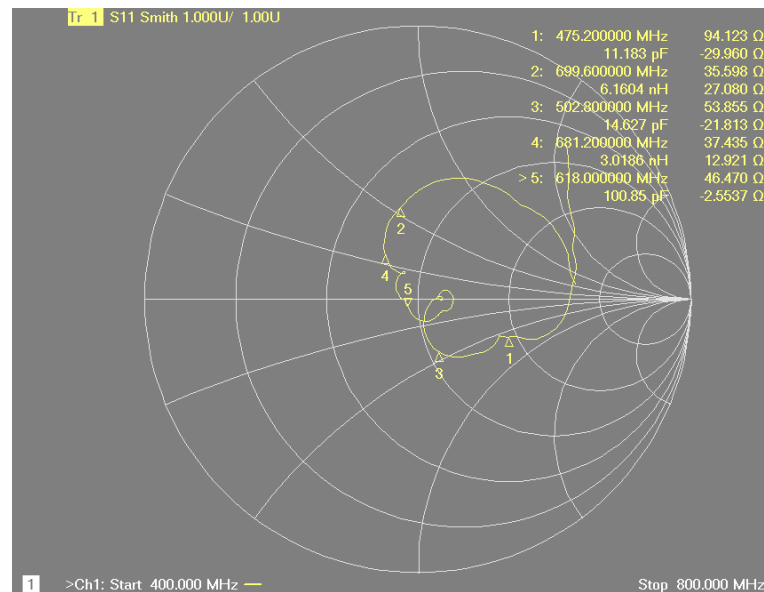


Gambar 4.2 Grafik *Return loss* Hasil Pengukuran Antena



Gambar 4.3 Grafik VSWR Hasil Pengukuran Antena

Gambar 4.2 dan Gambar 4.3 memperlihatkan *impedance bandwidth*. Dari gambar tersebut dapat terlihat bahwa pada nilai *Return loss*  $\leq -10,16$  dB diperoleh pada frekuensi dari 492 MHz sampai 696 MHz. Nilai *return loss* terendah yang diperoleh adalah -27,67 dB pada frekuensi 618 MHz. Adapun nilai *VSWR*  $\leq 1,9$  yang diperoleh pada frekuensi 490 MHz sampai 696 MHz dengan nilai *VSWR* terendah mencapai 1,085 pada frekuensi 618 MHz.



Gambar 4.4 Grafik Impedansi Masukan Hasil Pengukuran Antena Elemen Tunggal

Gambar 4.4 menunjukkan impedansi masukan antenna pada rentang frekuensi 475 MHz – 699 MHz. Pada frekuensi 477, 699, 502, 681 dan 618 MHz, impedansi masukan yang terbaca pada *Smith Chart* berturut-turut adalah sebesar 94,12-29,96j  $\Omega$  ; 35+27,80j  $\Omega$  ; 53,85-21,813j  $\Omega$  ; 37,43+12,92 j  $\Omega$  ; 46,470-2,533j. Impedansi masukan terbaik berada pada frekuensi 618 MHz dengan nilai impedansi masukan 46,470-2,533j. Karena adanya fluktuasi tingkat *matching* antenna yang terbaca pada *Network Analyzer* sehingga nilai *return loss* , *SWR* maupun impedansi masukan pada saat pengukuran tidak selalu sama.

Adapun *bandwidth* yang dicapai pada nilai *VSWR*  $\leq 1,9$  adalah:

$$\text{bandwidth} = \frac{f_2 - f_1}{f_c} \times 100 \%$$

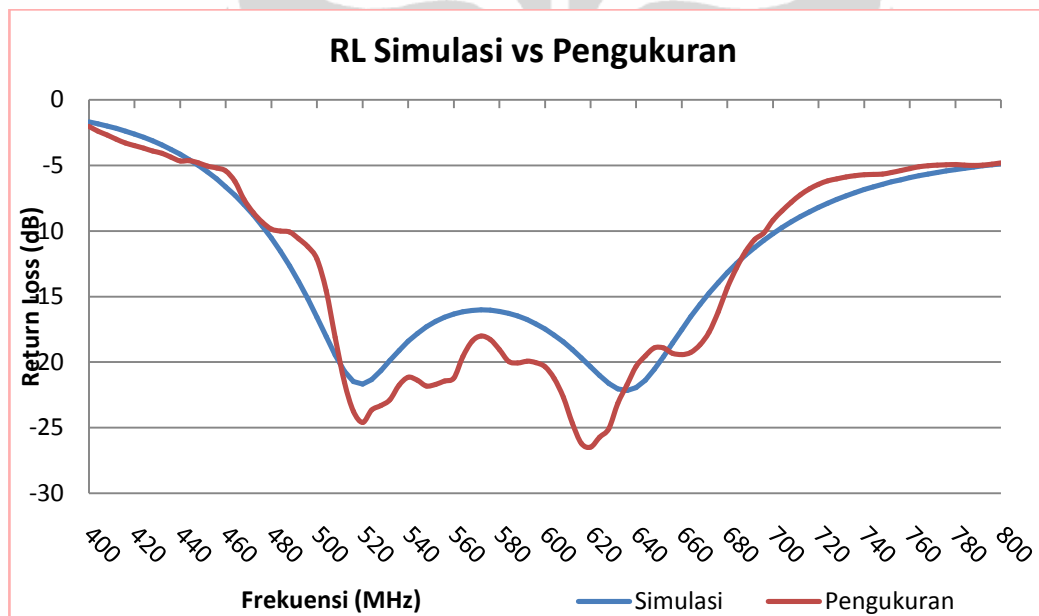
$$\text{bandwidth} = \frac{696 - 492}{594} \times 100 \%$$

$$\text{bandwidth} = 34,34\% (204 \text{ MHz})$$

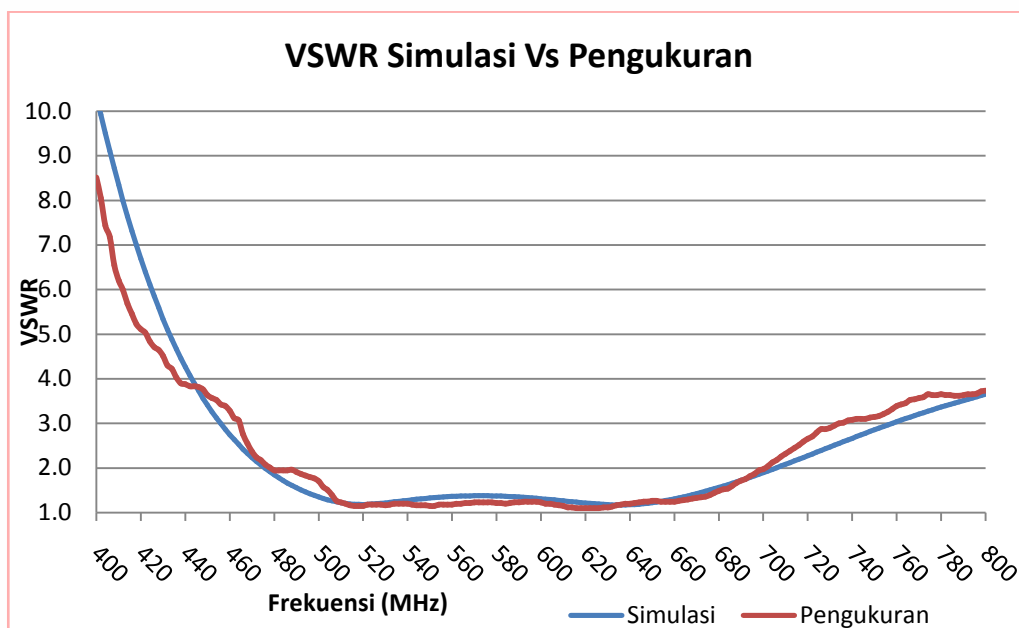
Hasil pengukuran *port* tunggal ini dituliskan kembali pada Tabel 4.1

Tabel 4.1 Hasil Pengukuran *Port* Tunggal

Parameter		Hasil Pengukuran
VSWR $\leq$ 1,9	<i>Range</i> Frekuensi	492-696 MHz
	<i>Impedance Bandwidth</i>	34,63 % ( 204MHz)
492 MHz	<i>Return loss</i>	-10,59 dB
	VSWR	1,86
696 MHz	<i>Return loss</i>	-10,16 dB
	VSWR	1,86
<i>Return loss</i> minimum		- 27,67 dB pada 618 MHz
VSWR minimum		1,085 pada 618 MHz



Gambar 4.5 Perbandingan *Return loss* Hasil Simulasi Dengan Hasil Pengukuran Antena



Gambar 4.6 Perbandingan VSWR Hasil Simulasi Dengan Hasil Pengukuran Antena

Dari hasil pengukuran *port* tunggal antena terdapat 2 parameter yang dianalisis, yaitu parameter *return loss* dan VSWR. Gambar 4.5 dan 4.6 secara berurutan digambarkan grafik perbandingan *return loss* dan VSWR antara hasil simulasi dengan hasil pengukuran. Telah dipaparkan sebelumnya bahwa *Impedance bandwidth* pada  $VSWR \leq 1,9$  hasil simulasi adalah 479 – 698 MHz (219MHz). Sedangkan *impedance bandwidth* pada  $VSWR \leq 1,9$  hasil pengukuran adalah 492 - 696 MHz (204 MHz). Pada tabel 4.2 Perbandingan antara hasil simulasi dan hasil pengukuran.

Tabel 4.2 Perbandingan Hasil Pengukuran dan Simulasi *Port* Tunggal

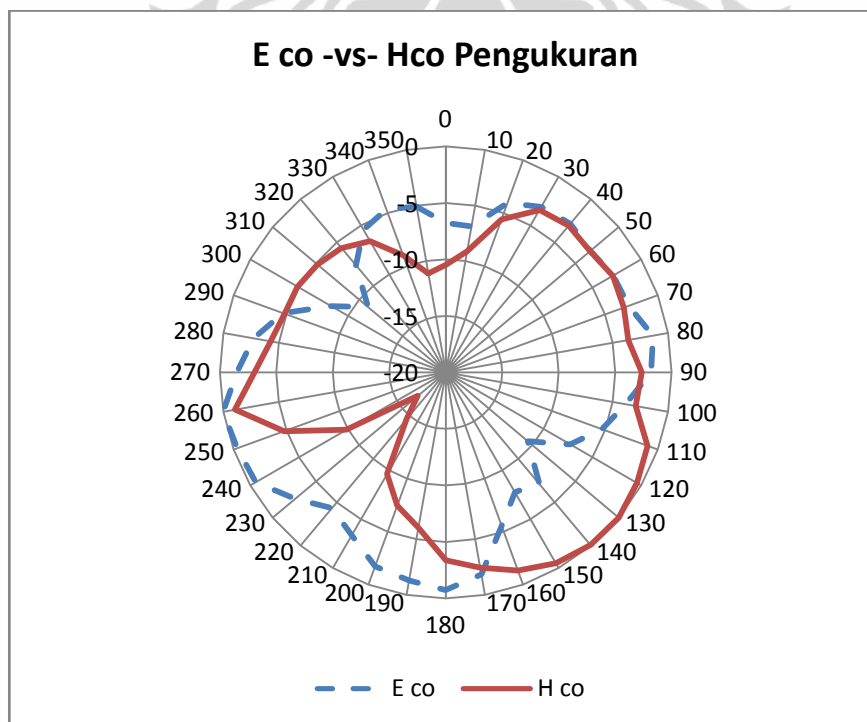
Parameter		Hasil Pengukuran	Hasil Simulasi
VSWR $\leq 1,9$	Range Frekuensi	492-696 MHz	479-698 MHz
	<i>Impedance Bandwidth</i>	34,63 % ( 204MHz)	37,21 % ( 219MHz)
480 MHz	<i>Return loss</i>	-9,85 dB	-10,54 dB
	VSWR	1,94	1,84
698 MHz	<i>Return loss</i>	-9,85 dB	-10,45 dB
	VSWR	1,94	1,85
<i>Return loss</i> minimum		- 27,67 dB (pada frek 618 MHz )	- 22,178 dB (pada frek 636 MHz )
VSWR minimum		1,085	1,169 frek 636 MHz

## 4.2 Pengukuran Pola Radiasi

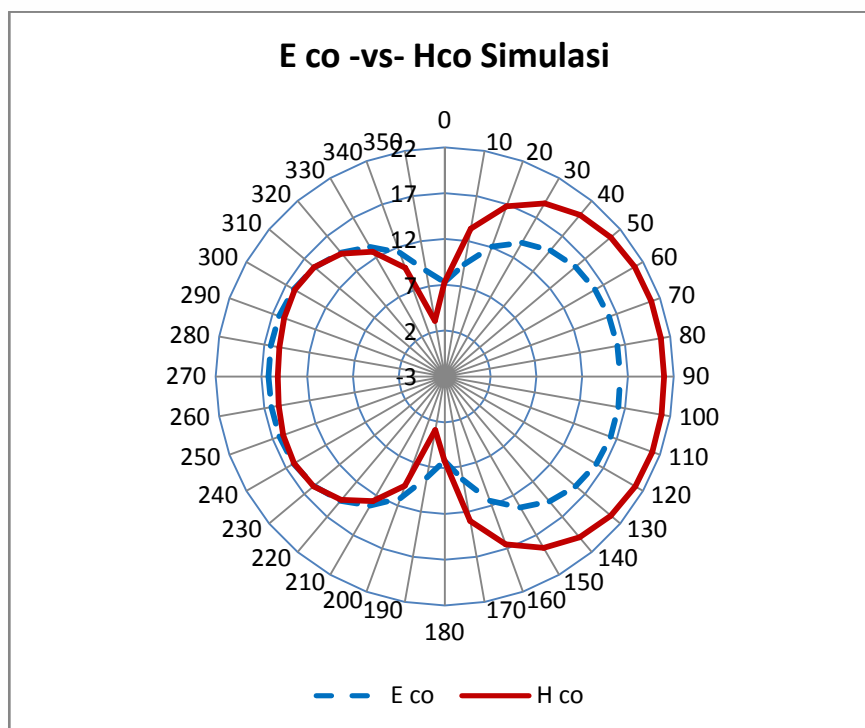


Pengukuran pola radiasi menggunakan *port 1* dan *port 2* pada *Network Analyzer*. *Port 2* dihubungkan ke antenna pemancar menggunakan kabel penyambung sedangkan *port 1* dihubungkan dengan antenna penerima juga menggunakan kabel penyambung. Kabel penyambung yang digunakan di sini juga harus memiliki impedansi karakteristik 50 ohm, sehingga tidak terjadi refleksi tegangan pada kabel penyambung ini. Antena pemancar dan penerima dipisahkan pada jarak 200 cm,

Setelah menentukan jarak antar antenna dan antenna telah dihubungkan ke port *Network Analyzer* (format S12) menggunakan kabel koaksial, kemudian antenna penerima diputar dari posisi sudut  $0^{\circ} - 360^{\circ}$  dengan interval  $10^{\circ}$ . Pola radiasi diukur pada dua bidang yang saling tegak lurus yaitu bidang E dan bidang H untuk mendapatkan gambaran bentuk radiasi dalam ruang. Data hasil pengukuran pola radiasi antenna mikrostrip *Linear Tapered Slot* dapat dilihat pada **Lampiran B.2 dan B.3**. Data yang telah dirata-ratakan tersebut kemudian dinormalisasikan terhadap nilai rata-rata yang maksimum. Hasil normalisasi selanjutnya di-plot ke dalam grafik *radar*. Pengolahan data ini dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak *Microsoft Excel 2007*. Gambar 4.5 dan 4.6 memperlihatkan karakteristik pola radiasi antenna *Linear Tapered Slot*.



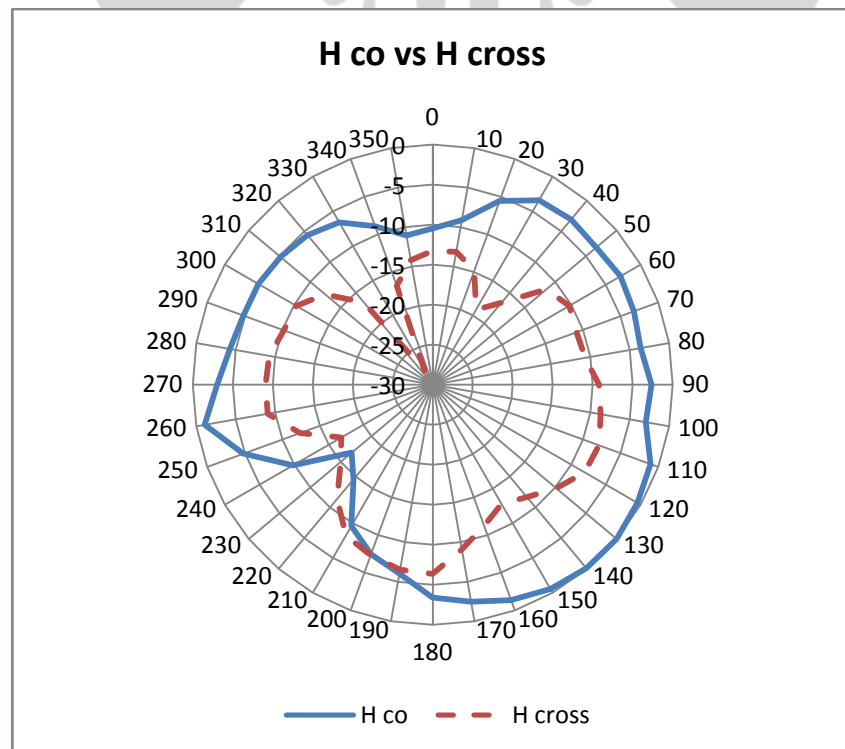
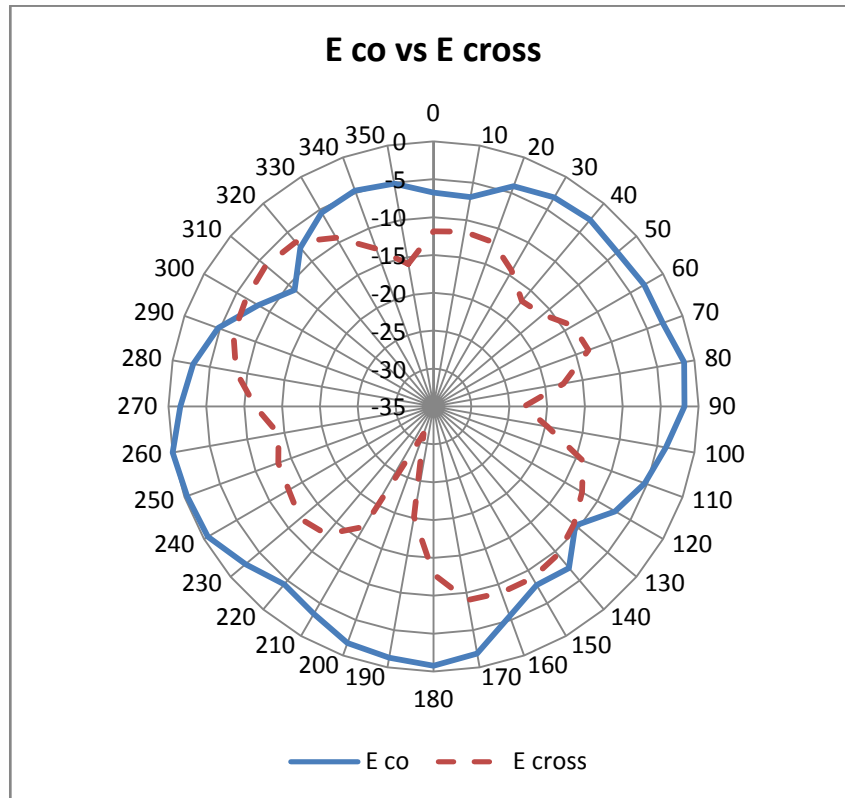
(a)



Gambar 4.7 Grafik Plot Medan-E Dan Medan-H Antena Pada Frekuensi 584 MHz  
(a) Hasil Pengukuran (b) Hasil Simulasi

Gambar 4.5 menunjukkan plot medan-E dan medan-H antena pada frekuensi 584 MHz. Gambar 4.5 (a) adalah plot medan-E dan medan-H hasil pengukuran, sedangkan Gambar 4.5 (b) adalah plot medan-E dan medan-H dari simulasi. Pola radiasi maksimum (*main lobe*) untuk medan-E tercapai pada sudut  $260^\circ$  sedangkan untuk medan-H pada sudut  $130^\circ$  yang ditandai dengan normalisasi sebesar 0. Hasil pengukuran dapat dilihat pada **Lampiran B.2** dan **B.3**.

Gambar 4.6 menunjukkan hasil pengukuran karakteristik *cross-polarization* antena pada frekuensi 584 MHz. Gambar 4.6 (a) adalah plot E-Co terhadap E-Cross, sedangkan Gambar 4.6 (b) adalah plot dari H-Co terhadap H-Cross. Dari kedua plot ini, akan ditentukan besarnya XPD (*Cross Polarization Discrimination*). XPD merupakan perbandingan antara radiasi maksimum *co-polar* dengan minimum *cross-polar*. Ketika antena menerima sinyal yang dikirimkan oleh antena lain pada medan yang saling tegak lurus, kekuatan sinyal efektif dikurangi oleh beberapa dB.



Gambar 4.8 Hasil Pengukuran Karakteristik *Cross-Polarization* Antena Pada Frekuensi 584 MHz  
(a) E-co vs E-Cross (b) H-Co vs H-Cross

Untuk bidang E pada antenna ini, medan E-Co memiliki magnitudo maksimum sebesar -25,68 dB sedangkan pada *E-Crossnya* memiliki magnitudo minimum sebesar -56,87 dB seperti terlihat pada **Lampiran B.2** Berdasarkan data ini, maka diperoleh nilai XPD sebesar 31,18, dB. Untuk bidang H, medan H-Co memiliki magnitudo maksimum sebesar -30,37 dB sedangkan pada *H-Cross* memiliki magnitudo minimum sebesar -58,32 dB seperti terlihat pada **Lampiran B.3**. Berdasarkan data ini, maka diperoleh nilai XPD sebesar 27,19 dB.

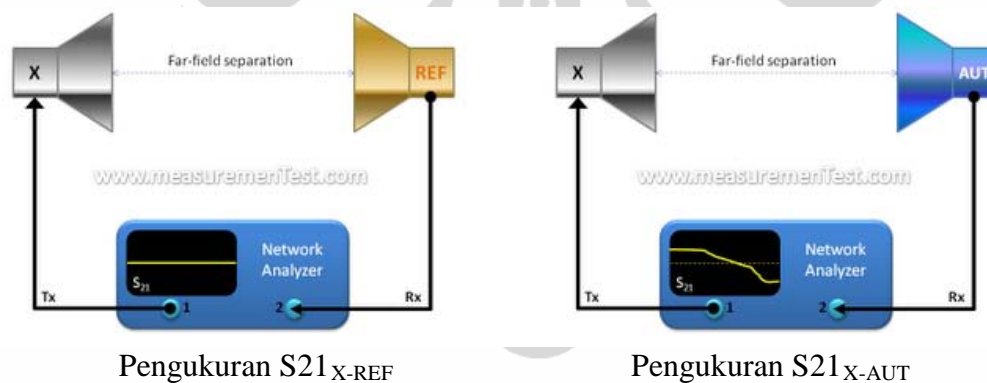
### 4.3 Pengukuran Gain

Pengukuran *gain* menggunakan *network analyzer* untuk menghasilkan gelombang dengan frekuensi 494 – 698 MHz serta untuk pengukuran S21 antenna. Pengukuran *gain* menggunakan 3 antenna yaitu :

Antena AUT = AUT (*Antenna Under Test*) yang akan dicari gainnya

Antena REF = Antenna referensi Dipole  $\frac{1}{2} \lambda$  Gain 2,15 dB

Antena X = Antena bebas yang memiliki pola radiasi sama dengan AUT



Gambar 4.9 Metode Pengukuran gain antenna

Besarnya penguatan dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$G_{AUT} = G_{REF} + (S21_{X-AUT}) - (S21_{X-REF})$$

$G_{REF}$  = Gain antenna referensi

$S21_{X-AUT}$  = selisih S21 antenna X dikurangi antenna dengan S21 antenna yang akan diukur penguatannya

$S21_{X-REF}$  = Selisih S21 antenna X dikurangi antenna dengan S21 antenna yang akan diukur penguatannya

Hasil pengukuran dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Perolehan *Gain* Antena dari Data Pengukuran

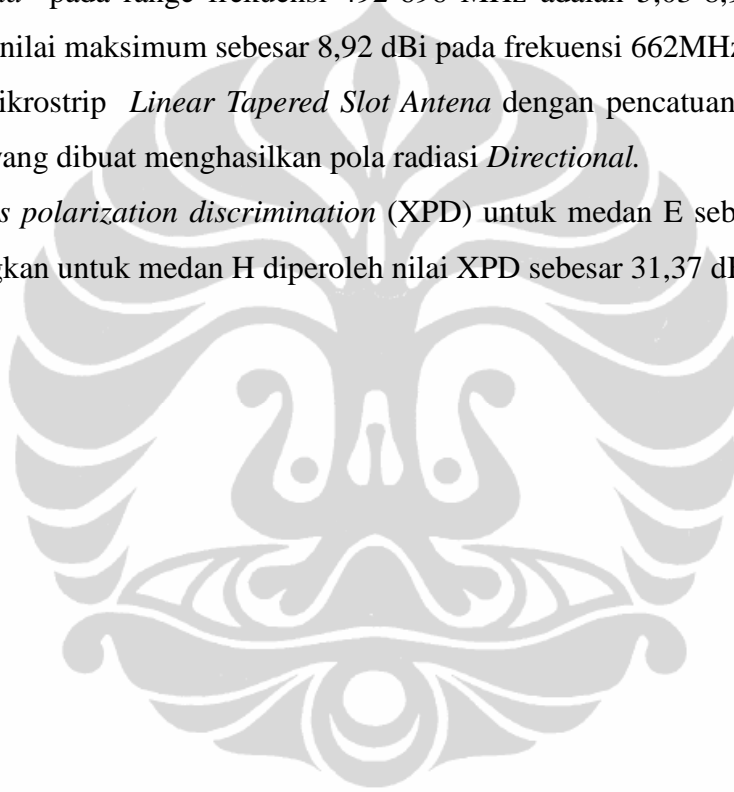
Frek (MHz)	S21 (dB)		(X-AUT)-(X-REF) (dBi)	Gain (dB)	
	X-REF	X-AUT		REF	AUT
494	-27,912	-24,273	3,639	2,15	5,79
500	-27,939	-24,245	3,694	2,15	5,84
506	-27,961	-24,317	3,644	2,15	5,79
512	-27,993	-24,211	3,782	2,15	5,93
518	-28,026	-24,361	3,665	2,15	5,81
524	-28,047	-24,383	3,664	2,15	5,81
530	-28,074	-24,405	3,669	2,15	5,82
536	-28,401	-24,427	3,974	2,15	6,12
542	-28,128	-24,449	3,679	2,15	5,83
548	-28,155	-24,471	3,684	2,15	5,83
554	-28,182	-24,493	3,689	2,15	5,84
560	-28,309	-24,415	3,894	2,15	6,04
566	-28,236	-24,517	3,719	2,15	5,87
572	-28,263	-24,559	3,704	2,15	5,85
578	-28,295	-24,581	3,714	2,15	5,86
584	-28,317	-24,603	3,714	2,15	5,86
590	-28,344	-24,725	3,619	2,15	5,77
596	-28,371	-24,647	3,724	2,15	5,87
602	-28,398	-24,659	3,739	2,15	5,89
608	-28,425	-24,691	3,734	2,15	5,88
614	-28,452	-24,713	3,739	2,15	5,89
620	-28,875	-24,632	4,243	2,15	6,39
626	-28,472	-24,592	3,88	2,15	6,03
632	-28,745	-24,713	4,032	2,15	6,18
638	-29,385	-24,643	4,742	2,15	6,89
644	-29,914	-24,415	5,499	2,15	7,65
650	-30,282	-24,472	5,81	2,15	7,96
656	-31,421	-24,658	6,763	2,15	8,91
662	-31,832	-25,047	6,785	2,15	8,94
668	-31,352	-25,668	5,684	2,15	7,83
674	-30,695	-26,173	4,522	2,15	6,67
680	-30,745	-26,656	4,089	2,15	6,24
686	-30,732	-26,815	3,917	2,15	6,07
692	-31,655	-27,376	4,279	2,15	6,43
698	-31,634	-27,745	3,889	2,15	6,04
<b>Penguatan Minimal</b>					<b>5,77</b>
<b>Penguatan Maksimal</b>					<b>8,94</b>

Dari Tabel 4.2 di atas terlihat bahwa nilai *gain* yang diperoleh antena LTSA pada range frekuensi 492 – 698 MHz sebesar 5,76 – 8,94 dBi dan mencapai nilai maksimum sebesar 8,94 dBi pada frekuensi 662 MHz.

## BAB 5

### KESIMPULAN

1. Antena mikrostrip *Linear Tapered Slot Antena* dengan pencatuan *microstrip feed line* yang dibuat mampu bekerja pada range frekuensi 492 – 696MHz dengan *impedance bandwidth* pada  $VSWR \leq 1,9$  sebesar 204 MHz (34,63%).
2. Gain yang didapat berdasarkan hasil pengukuran, nilai *gain Linear Tapered Slot Antena* pada range frekuensi 492-696 MHz adalah 5,03-8,92 dBi dan mencapai nilai maksimum sebesar 8,92 dBi pada frekuensi 662MHz.
3. Antena mikrostrip *Linear Tapered Slot Antena* dengan pencatuan *microstrip feed line* yang dibuat menghasilkan pola radiasi *Directional*.
4. Nilai *cross polarization discrimination* (XPD) untuk medan E sebesar ,27,17 dB sedangkan untuk medan H diperoleh nilai XPD sebesar 31,37 dB.



## DAFTAR REFERENSI

- [1] U.S. FCC, ET Docket 04-186, “Notice of Proposed Rule Making, in the matter of Unlicensed Operation in the TV Broadcast Bands,” 25 Mei 2004.
- [2] U.S. FCC, ET Docket 08-260, “Second Report and Order and Memorandum Opinion and Order, in the Matter of Unlicensed Operation in the TV Broadcast Bands Additional Spectrum for Unlicensed Devices Below 900 MHz and in the 3 GHz Band,” 18 Oktober. , 2006.
- [3] *Carl R. Stevenson*, IEEE 802.22: The First Cognitive Radio Wireless Regional Area Network Standard”, IEEE Communication , Vol 47, no 1, Jan 2009.
- [4] Apurva N. Mody, Gerald Chouinard, “Enabling Rural Broadband Wireless Access Using Cognitive Radio Technology”, 20 Oktober 2010, <<http://www.ieee802.org/22>>
- [5] IEEE, Standard to Enhance Harmful Interference Protection for Low-Power Licensed Devices Operating in TV Broadcast Bands, 15 Nov 2010. <<http://www.ieee802.org/22>>
- [6] Garg, R., Bhartia, P, Bahl, I., dan Ittipiboon, A., “Microstrip Design Handbook”, Artech House Inc., Norwood, MA, 2001.
- [7] Yngvesson, K.S., Korzeniowski, T.L., Young Sik Kim, Kollberg, E.L., Johansson, J.F., The Tapered Slot Antenna – A New Integrated Element for Millimeter-Wave Applications, IEEE Transactions on Antennas and Propagations, Vol 37, no 2, September 1989
- [8] K. S. Yngvesson, “Endfire tapered slot antennas on dielectric substrates”, IEEE Transactions on Antennas and Propagations., vol. 33, no. 12, pp. 1392–1400, Desember. 1985
- [9] Janaswamy, R., Schaubert, D.H., “Analysis of Tapered Slot Antenna “, IEEE Transactions on Antennas and Propagations, Vol 35, no 9, September 1987
- [10] Constantine A. Balanis, “*Antena Theory : Analysis and Design*”, (USA: John Willey and Sons, 1997)
- [11] Stutzman, W.L., dan Gary, A.T., “*Antena Theory and Design*”, 2nd edition, John Wiley & Sons, 1998.
- [12] Hirasawa, K. Dan Haneishi, M., “*Analisis, Design, and Measurement of small and Low Profile Antennas*”, Artech House, Norwood MA, 1992

- [13] A.s Abdallah,Liu Yuan,Y.E Mohammed, "Wide\_Band Slot Microstrip Antena". IEEE 2004
- [14] Milligan, Thomas A," Modern antenna design 2<sup>nd</sup> edition", A JOHN WILEY & SONS, INC., PUBLICATION,2005
- [15] James J.R., Hall P.S., "Handbook of Microstrip Antenas", Vol. I and II,Peter Perginus. IEEE,1989
- [16] Davendra K.Misra, "Radio Frequecy and Microwave Comunication Circuit", Wiley Interscience, 2004







**LAMPIRAN-A**  
**DATA SIMULASI**

Tabel A.1. Hasil Simulasi n Return Loss &amp; VSWR (1)

Frek (Mhz)	Hasil Simulasi	
	Return Loss	VSWR
400	-1,684	10,351
402	-1,757	9,921
404	-1,834	9,507
406	-1,915	9,106
408	-2,001	8,721
410	-2,091	8,349
412	-2,185	7,991
414	-2,285	7,646
416	-2,390	7,315
418	-2,500	6,997
420	-2,616	6,691
422	-2,738	6,398
424	-2,866	6,117
426	-3,000	5,847
428	-3,142	5,589
430	-3,291	5,342
432	-3,447	5,106
434	-3,611	4,880
436	-3,783	4,664
438	-3,964	4,458
440	-4,154	4,261
442	-4,353	4,074
444	-4,562	3,895
446	-4,781	3,725
448	-5,011	3,563
450	-5,251	3,408
452	-5,503	3,261
454	-5,768	3,122
456	-6,044	2,989
458	-6,334	2,863
460	-6,637	2,744
462	-6,954	2,630
464	-7,286	2,523
466	-7,633	2,421
468	-7,995	2,324
470	-8,375	2,233
472	-8,772	2,146
474	-9,187	2,064
476	-9,620	1,987
478	-10,074	1,914

Tabel A.1. Hasil Simulasi n Return Loss &amp; VSWR (2)

Frek (Mhz)	Hasil Simulasi	
	Return Loss	VSWR
480	-10,548	1,845
482	-11,043	1,779
484	-11,561	1,718
486	-12,103	1,660
488	-12,668	1,606
490	-13,258	1,555
492	-13,874	1,508
494	-14,515	1,463
496	-15,180	1,422
498	-15,870	1,383
500	-16,580	1,348
502	-17,305	1,316
504	-18,036	1,287
506	-18,762	1,261
508	-19,465	1,238
510	-20,119	1,219
512	-20,695	1,203
514	-21,163	1,192
516	-21,492	1,184
518	-21,667	1,180
520	-21,687	1,179
522	-21,567	1,182
524	-21,335	1,188
526	-21,023	1,195
528	-20,660	1,204
530	-20,272	1,215
532	-19,875	1,226
534	-19,484	1,237
536	-19,107	1,249
538	-18,750	1,261
540	-18,414	1,273
542	-18,102	1,284
544	-17,815	1,295
546	-17,552	1,306
548	-17,313	1,316
550	-17,097	1,325
552	-16,903	1,333
554	-16,731	1,341
556	-16,579	1,348
558	-16,447	1,354

Tabel A.1. Hasil Simulasi n Return Loss &amp; VSWR (3)

Frek (Mhz)	Hasil Simulasi	
	Return Loss	VSWR
560	-16,335	1,360
562	-16,240	1,365
564	-16,164	1,368
566	-16,104	1,371
568	-16,062	1,374
570	-16,035	1,375
572	-16,025	1,375
574	-16,030	1,375
576	-16,050	1,374
578	-16,086	1,372
580	-16,136	1,370
582	-16,202	1,366
584	-16,283	1,362
586	-16,378	1,358
588	-16,489	1,352
590	-16,615	1,346
592	-16,756	1,340
594	-16,913	1,333
596	-17,085	1,325
598	-17,273	1,317
600	-17,478	1,309
602	-17,699	1,300
604	-17,936	1,291
606	-18,189	1,281
608	-18,458	1,271
610	-18,744	1,261
612	-19,044	1,251
614	-19,358	1,241
616	-19,684	1,231
618	-20,018	1,222
620	-20,357	1,212
622	-20,696	1,203
624	-21,026	1,195
626	-21,338	1,188
628	-21,621	1,181
630	-21,861	1,176
632	-22,043	1,172
634	-22,152	1,169
636	-22,178	1,169
638	-22,112	1,170

Tabel A.1. Hasil Simulasi n Return Loss &amp; VSWR (4)

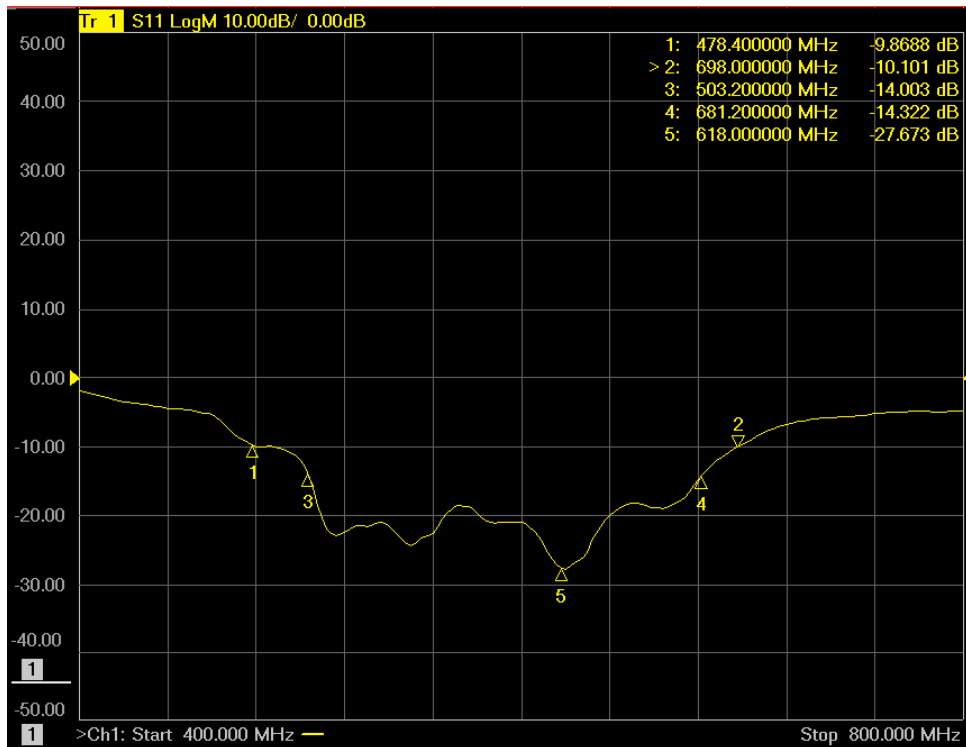
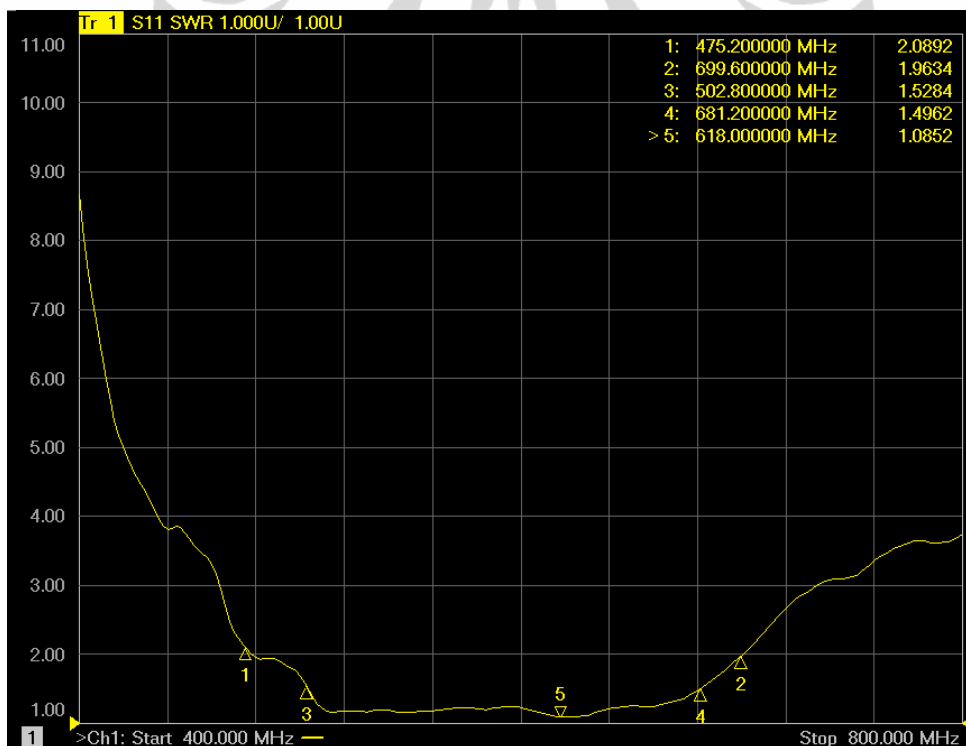
Frek (Mhz)	Hasil Simulasi	
	Return Loss	VSWR
640	-21,954	1,174
642	-21,706	1,179
644	-21,381	1,187
646	-20,991	1,196
648	-20,550	1,207
650	-20,073	1,220
652	-19,573	1,235
654	-19,060	1,251
656	-18,543	1,268
658	-18,028	1,287
660	-17,520	1,307
662	-17,022	1,328
664	-16,536	1,350
666	-16,064	1,373
668	-15,607	1,398
670	-15,165	1,423
672	-14,738	1,449
674	-14,327	1,476
676	-13,931	1,504
678	-13,550	1,532
680	-13,183	1,562
682	-12,830	1,592
684	-12,490	1,623
686	-12,164	1,654
688	-11,850	1,687
690	-11,548	1,720
692	-11,258	1,753
694	-10,979	1,788
696	-10,711	1,822
698	-10,453	1,858
700	-10,206	1,894
702	-9,967	1,930
704	-9,738	1,967
706	-9,518	2,004
708	-9,307	2,042
710	-9,104	2,080
712	-8,908	2,118
714	-8,721	2,157
716	-8,540	2,195
718	-8,367	2,234

Tabel A.1. Hasil Simulasi n Return Loss &amp; VSWR (5)

Frek (Mhz)	Hasil Simulasi	
	Return Loss	VSWR
720	-8,200	2,274
722	-8,040	2,313
724	-7,886	2,352
726	-7,738	2,391
728	-7,596	2,431
730	-7,460	2,470
732	-7,328	2,509
734	-7,202	2,549
736	-7,081	2,588
738	-6,965	2,626
740	-6,853	2,665
742	-6,745	2,704
744	-6,642	2,742
746	-6,543	2,780
748	-6,447	2,817
750	-6,355	2,854
752	-6,267	2,891
754	-6,182	2,928
756	-6,100	2,964
758	-6,021	3,000
760	-5,945	3,035
762	-5,873	3,070
764	-5,802	3,104
766	-5,735	3,139
768	-5,669	3,172
770	-5,606	3,205
772	-5,546	3,238
774	-5,487	3,270
776	-5,431	3,302
778	-5,376	3,334
780	-5,324	3,365
782	-5,273	3,395
784	-5,224	3,425
786	-5,176	3,455
788	-5,130	3,484
790	-5,086	3,513
792	-5,043	3,541
794	-5,001	3,569
796	-4,961	3,596
Minimum	-22,178	1,169

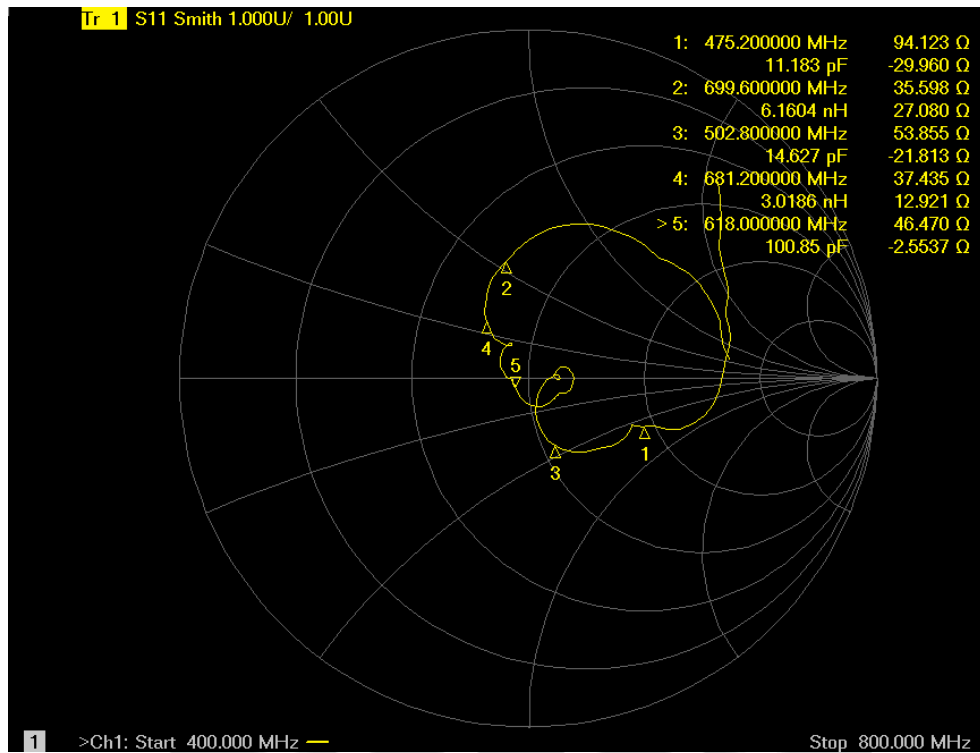


**LAMPIRAN B**  
**DATA HASIL PENGUKURAN**

Gambar B.1 Tampilan *return loss* antenna pada Network Analyzer

Gambar B.2 Tampilan VSWR antenna pada Network Analyzer





Gambar B.3 Tampilan impedansi masukan antenna pada Network Analyzer

Tabel B.1. Perbandingan Hasil Simulasi dan hasil Pengukuran Return Loss &amp; VSWR (1)

Frek (Mhz)	Return Loss		Frek (Mhz)	VSWR	
	Hasil Simulasi	Hasil Ukur		Hasil Simulasi	Hasil Ukur
400	-1,684	-2,027	400	10,351	8,512
402	-1,757	-2,217	402	9,921	8,057
404	-1,834	-2,389	404	9,507	7,439
406	-1,915	-2,545	406	9,106	7,179
408	-2,001	-2,693	408	8,721	6,545
410	-2,091	-2,861	410	8,349	6,203
412	-2,185	-3,013	412	7,991	5,992
414	-2,285	-3,167	414	7,646	5,683
416	-2,390	-3,295	416	7,315	5,455
418	-2,500	-3,409	418	6,997	5,228
420	-2,616	-3,494	420	6,691	5,114
422	-2,738	-3,599	422	6,398	5,033
424	-2,866	-3,703	424	6,117	4,837
426	-3,000	-3,817	426	5,847	4,707
428	-3,142	-3,906	428	5,589	4,642
430	-3,291	-3,985	430	5,342	4,512
432	-3,447	-4,084	432	5,106	4,301
434	-3,611	-4,220	434	4,880	4,220
436	-3,783	-4,388	436	4,664	4,024
438	-3,964	-4,560	438	4,458	3,894
440	-4,154	-4,667	440	4,261	3,878
442	-4,353	-4,681	442	4,074	3,829
444	-4,562	-4,649	444	3,895	3,829
446	-4,781	-4,696	446	3,725	3,813
448	-5,011	-4,812	448	3,563	3,764
450	-5,251	-4,944	450	3,408	3,634
452	-5,503	-5,068	452	3,261	3,569
454	-5,768	-5,153	454	3,122	3,520
456	-6,044	-5,198	456	2,989	3,423
458	-6,334	-5,254	458	2,863	3,390
460	-6,637	-5,417	460	2,744	3,276
462	-6,954	-5,755	462	2,630	3,114
464	-7,286	-6,230	464	2,523	3,065
466	-7,633	-6,874	466	2,421	2,756
468	-7,995	-7,608	468	2,324	2,545
470	-8,375	-8,206	470	2,233	2,366
472	-8,772	-8,606	472	2,146	2,236
474	-9,187	-8,976	474	2,064	2,171
476	-9,620	-9,325	476	1,987	2,073
478	-10,074	-9,615	478	1,914	2,008

Tabel B.1. Perbandingan Hasil Simulasi dan hasil Pengukuran Return Loss &amp; VSWR (2)

Frek (Mhz)	Return Loss		Frek (Mhz)	VSWR	
	Hasil Simulasi	Hasil Ukur		Hasil Simulasi	Hasil Ukur
480	-10,548	-9,857	480	1,845	1,943
482	-11,043	-10,001	482	1,779	1,943
484	-11,561	-10,010	484	1,718	1,943
486	-12,103	-10,087	486	1,660	1,943
488	-12,668	-10,087	488	1,606	1,959
490	-13,258	-10,278	490	1,555	1,911
492	-13,874	-10,591	492	1,508	1,862
494	-14,515	-10,945	494	1,463	1,829
496	-15,180	-11,211	496	1,422	1,797
498	-15,870	-11,542	498	1,383	1,764
500	-16,580	-12,145	500	1,348	1,699
502	-17,305	-13,098	502	1,316	1,569
504	-18,036	-14,562	504	1,287	1,504
506	-18,762	-16,341	506	1,261	1,390
508	-19,465	-18,122	508	1,238	1,260
510	-20,119	-19,826	510	1,219	1,228
512	-20,695	-21,538	512	1,203	1,195
514	-21,163	-22,756	514	1,192	1,163
516	-21,492	-23,744	516	1,184	1,146
518	-21,667	-24,475	518	1,180	1,146
520	-21,687	-24,597	520	1,179	1,146
522	-21,567	-24,361	522	1,182	1,179
524	-21,335	-23,663	524	1,188	1,179
526	-21,023	-23,270	526	1,195	1,179
528	-20,660	-23,314	528	1,204	1,179
530	-20,272	-23,318	530	1,215	1,163
532	-19,875	-22,874	532	1,226	1,179
534	-19,484	-22,181	534	1,237	1,195
536	-19,107	-21,757	536	1,249	1,195
538	-18,750	-21,425	538	1,261	1,195
540	-18,414	-21,156	540	1,273	1,195
542	-18,102	-21,159	542	1,284	1,179
544	-17,815	-21,389	544	1,295	1,163
546	-17,552	-21,582	546	1,306	1,163
548	-17,313	-21,820	548	1,316	1,163
550	-17,097	-21,876	550	1,325	1,146
552	-16,903	-21,691	552	1,333	1,146
554	-16,731	-21,469	554	1,341	1,179
556	-16,579	-21,440	556	1,348	1,179
558	-16,447	-21,481	558	1,354	1,179

Tabel B.1. Perbandingan Hasil Simulasi dan hasil Pengukuran Return Loss &amp; VSWR (3)

Frek (Mhz)	Return Loss		Frek (Mhz)	VSWR	
	Hasil Simulasi	Hasil Ukur		Hasil Simulasi	Hasil Ukur
560	-16,335	-21,204	560	1,360	1,179
562	-16,240	-20,505	562	1,365	1,195
564	-16,164	-19,571	564	1,368	1,195
566	-16,104	-18,824	566	1,371	1,211
568	-16,062	-18,408	568	1,374	1,211
570	-16,035	-18,135	570	1,375	1,228
572	-16,025	-18,014	572	1,375	1,228
574	-16,030	-18,150	574	1,375	1,228
576	-16,050	-18,291	576	1,374	1,228
578	-16,086	-18,515	578	1,372	1,228
580	-16,136	-19,044	580	1,370	1,211
582	-16,202	-19,678	582	1,366	1,211
584	-16,283	-19,952	584	1,362	1,195
586	-16,378	-20,138	586	1,358	1,211
588	-16,489	-20,068	588	1,352	1,228
590	-16,615	-19,940	590	1,346	1,228
592	-16,756	-19,937	592	1,340	1,244
594	-16,913	-19,979	594	1,333	1,244
596	-17,085	-20,049	596	1,325	1,244
598	-17,273	-20,186	598	1,317	1,244
600	-17,478	-20,358	600	1,309	1,228
602	-17,699	-20,652	602	1,300	1,195
604	-17,936	-21,240	604	1,291	1,195
606	-18,189	-21,906	606	1,281	1,179
608	-18,458	-22,688	608	1,271	1,163
610	-18,744	-23,600	610	1,261	1,146
612	-19,044	-24,651	612	1,251	1,114
614	-19,358	-25,570	614	1,241	1,114
616	-19,684	-26,204	616	1,231	1,098
618	-20,018	-26,505	618	1,222	1,098
620	-20,357	-26,489	620	1,212	1,098
622	-20,696	-26,107	622	1,203	1,098
624	-21,026	-25,726	624	1,195	1,098
626	-21,338	-25,463	626	1,188	1,098
628	-21,621	-25,082	628	1,181	1,114
630	-21,861	-24,254	630	1,176	1,114
632	-22,043	-23,155	632	1,172	1,130
634	-22,152	-22,501	634	1,169	1,163
636	-22,178	-21,734	636	1,169	1,179
638	-22,112	-20,927	638	1,170	1,195

Tabel B.1. Perbandingan Hasil Simulasi dan hasil Pengukuran Return Loss &amp; VSWR (4)

Frek (Mhz)	Return Loss		Frek (Mhz)	VSWR	
	Hasil Simulasi	Hasil Ukur		Hasil Simulasi	Hasil Ukur
640	-21,954	-20,347	640	1,174	1,195
642	-21,706	-19,903	642	1,179	1,211
644	-21,381	-19,526	644	1,187	1,228
646	-20,991	-19,222	646	1,196	1,244
648	-20,550	-18,923	648	1,207	1,244
650	-20,073	-18,877	650	1,220	1,260
652	-19,573	-18,931	652	1,235	1,260
654	-19,060	-19,084	654	1,251	1,244
656	-18,543	-19,325	656	1,268	1,244
658	-18,028	-19,442	658	1,287	1,244
660	-17,520	-19,423	660	1,307	1,244
662	-17,022	-19,302	662	1,328	1,260
664	-16,536	-19,255	664	1,350	1,276
666	-16,064	-19,091	666	1,373	1,293
668	-15,607	-18,680	668	1,398	1,309
670	-15,165	-18,220	670	1,423	1,325
672	-14,738	-17,726	672	1,449	1,341
674	-14,327	-17,052	674	1,476	1,358
676	-13,931	-16,162	676	1,504	1,390
678	-13,550	-15,244	678	1,532	1,439
680	-13,183	-14,342	680	1,562	1,488
682	-12,830	-13,542	682	1,592	1,520
684	-12,490	-12,809	684	1,623	1,537
686	-12,164	-12,149	686	1,654	1,602
688	-11,850	-11,585	688	1,687	1,667
690	-11,548	-11,114	690	1,720	1,715
692	-11,258	-10,657	692	1,753	1,748
694	-10,979	-10,245	694	1,788	1,813
696	-10,711	-10,165	696	1,822	1,862
698	-10,453	-9,514	698	1,858	1,943
700	-10,206	-9,195	700	1,894	1,976
702	-9,967	-8,850	702	1,930	2,041
704	-9,738	-8,486	704	1,967	2,122
706	-9,518	-8,142	706	2,004	2,171
708	-9,307	-7,819	708	2,042	2,252
710	-9,104	-7,531	710	2,080	2,317
712	-8,908	-7,260	712	2,118	2,382
714	-8,721	-7,016	714	2,157	2,447
716	-8,540	-6,801	716	2,195	2,512
718	-8,367	-6,624	718	2,234	2,593

Tabel B.1. Perbandingan Hasil Simulasi dan hasil Pengukuran Return Loss &amp; VSWR (5)

Frek (Mhz)	Return Loss		Frek (Mhz)	VSWR	
	Hasil Simulasi	Hasil Ukur		Hasil Simulasi	Hasil Ukur
720	-8,200	-6,450	720	2,274	2,659
722	-8,040	-6,311	722	2,313	2,707
724	-7,886	-6,189	724	2,352	2,789
726	-7,738	-6,099	726	2,391	2,870
728	-7,596	-6,034	728	2,431	2,870
730	-7,460	-5,960	730	2,470	2,902
732	-7,328	-5,883	732	2,509	2,951
734	-7,202	-5,832	734	2,549	3,000
736	-7,081	-5,783	736	2,588	3,016
738	-6,965	-5,742	738	2,626	3,065
740	-6,853	-5,725	740	2,665	3,081
742	-6,745	-5,710	742	2,704	3,098
744	-6,642	-5,699	744	2,742	3,098
746	-6,543	-5,699	746	2,780	3,098
748	-6,447	-5,673	748	2,817	3,130
750	-6,355	-5,624	750	2,854	3,146
752	-6,267	-5,558	752	2,891	3,163
754	-6,182	-5,479	754	2,928	3,211
756	-6,100	-5,413	756	2,964	3,260
758	-6,021	-5,339	758	3,000	3,325
760	-5,945	-5,249	760	3,035	3,390
762	-5,873	-5,178	762	3,070	3,423
764	-5,802	-5,120	764	3,104	3,455
766	-5,735	-5,072	766	3,139	3,520
768	-5,669	-5,032	768	3,172	3,537
770	-5,606	-5,010	770	3,205	3,569
772	-5,546	-4,989	772	3,238	3,585
774	-5,487	-4,967	774	3,270	3,650
776	-5,431	-4,956	776	3,302	3,634
778	-5,376	-4,941	778	3,334	3,634
780	-5,324	-4,940	780	3,365	3,650
782	-5,273	-4,956	782	3,395	3,634
784	-5,224	-4,996	784	3,425	3,634
786	-5,176	-5,017	786	3,455	3,618
788	-5,130	-5,023	788	3,484	3,618
790	-5,086	-5,020	790	3,513	3,634
792	-5,043	-4,995	792	3,541	3,650
794	-5,001	-4,957	794	3,569	3,650
796	-4,961	-4,912	796	3,596	3,667
Minimum	-22,178	-26,505	Minimum	1,169	1,098

Tabel B.2. Hasil Pengukuran Intensitas Daya Relatif Antena Untuk **Bidang E**

Sudut	E co		E Cross	
	E db	E normalize	E db	E normalize
0	-32.446	-6.763	-37.553	-5.808
10	-32.571	-6.888	-37.255	-5.51
20	-29.733	-4.05	-37.606	-5.861
30	-28.777	-3.094	-39.986	-8.241
40	-28.514	-2.831	-42.492	-10.747
50	-28.966	-3.283	-41.815	-10.07
60	-28.556	-2.873	-39.349	-7.604
70	-28.447	-2.764	-38.879	-7.134
80	-27.063	-1.38	-43.227	-11.482
90	-27.515	-1.832	-48.711	-16.966
100	-29.506	-3.823	-45.388	-13.643
110	-30.987	-5.304	-39.656	-7.911
120	-32.971	-7.288	-38.025	-6.28
130	-36.212	-10.529	-36.453	-4.708
140	-32.81	-7.127	-35.148	-3.403
150	-33.446	-7.763	-34.54	-2.795
160	-31.223	-5.54	-34.502	-2.757
170	-27.535	-1.852	-34.73	-2.985
180	-26.433	-0.75	-38.541	-6.796
190	-26.995	-1.312	-45.874	-14.129
200	-27.434	-1.751	-56.874	-25.129
210	-29.053	-3.37	-42.339	-10.594
220	-30.02	-4.337	-38.668	-6.923
230	-28.283	-2.6	-37.668	-5.923
240	-26.261	-0.578	-38.601	-6.856
250	-26.041	-0.358	-38.874	-7.129
260	-25.683	0	-39.887	-8.142
270	-27.218	-1.535	-37.111	-5.366
280	-28.411	-2.728	-34.199	-2.454
290	-30.373	-4.69	-32.558	-0.813
300	-33.933	-8.25	-32.115	-0.37
310	-36.704	-11.021	-31.745	0
320	-33.313	-7.63	-32.341	-0.596
330	-31.115	-5.432	-34.96	-3.215
340	-30.323	-4.64	-38.491	-6.746
350	-30.787	-5.104	-41.577	-9.832
Maksimum	-25.683		-31.745	
Minimum	-36.704		-56.874	

Tabel B.3. Hasil Pengukuran Intensitas Daya Relatif Antena Untuk **Bidang H**

Sudut	H co		H Cross	
	H db	H normalize	H db	H normalize
0	-40.856	-10.479	-43.645	-6.903
10	-39.491	-9.114	-43.511	-6.769
20	-35.941	-5.564	-45.175	-8.433
30	-33.775	-3.398	-49.554	-12.812
40	-33.411	-3.034	-47.017	-10.275
50	-33.697	-3.32	-41.83	-5.088
60	-33.287	-2.91	-40.675	-3.933
70	-33.597	-3.22	-41.251	-4.509
80	-33.958	-3.581	-41.017	-4.275
90	-33.018	-2.641	-39.605	-2.863
100	-33.312	-2.935	-39.072	-2.33
110	-31.37	-0.993	-38.266	-1.524
120	-30.831	-0.454	-38.442	-1.7
130	-30.377	0	-40.256	-3.514
140	-30.444	-0.067	-42.067	-5.325
150	-30.877	-0.5	-43.178	-6.436
160	-31.71	-1.333	-41.608	-4.866
170	-32.822	-2.445	-39.478	-2.736
180	-33.742	-3.365	-36.742	0
190	-36.41	-6.033	-36.888	-0.146
200	-37.822	-7.445	-37.715	-0.973
210	-39.997	-9.62	-38.635	-1.893
220	-44.972	-14.595	-41.818	-5.076
230	-47.154	-16.777	-45.356	-8.614
240	-40.222	-9.845	-47.176	-10.434
250	-35.161	-4.784	-42.731	-5.989
260	-31.432	-1.055	-39.444	-2.702
270	-33.445	-3.068	-39.478	-2.736
280	-34.632	-4.255	-39.644	-2.902
290	-35.185	-4.808	-40.571	-3.829
300	-35.215	-4.838	-40.701	-3.959
310	-35.542	-5.165	-42.782	-6.04
320	-35.999	-5.622	-46.945	-10.203
330	-36.965	-6.588	-58.321	-21.579
340	-39.322	-8.945	-47.198	-10.456
350	-41.465	-11.088	-44.565	-7.823
Maksimum	-30.377		-36.742	
Minimum	-47.154		-58.321	



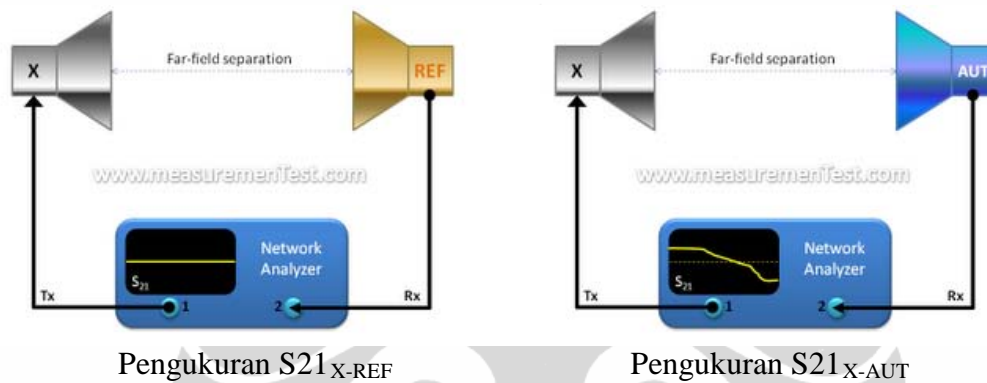
#### B4. DATA HASIL PENGUKURAN GAIN

Metode yang digunakan dalam pengukuran *gain* pada penelitian ini menggunakan 3 antenna yang salah satunya sudah diketahui penguatannya. Antena-antena yang digunakan adalah sebagai berikut.:

Antena AUT = AUT (Antenna Under Test) yang akan dicari gainnya

Antena REF = Antenna referensi Dipole  $\frac{1}{2} \lambda$  Gain 2,15 dB

Antena X = Antena bebas yang memiliki pola radiasi sama dengan AUT



$$G_{AUT} = G_{REF} + (S_{21}_{X-AUT}) - (S_{21}_{X-REF})$$

Tabel B.4. Data Hasil Pengukuran Gain (1)

Frek (MHz)	S21 (dB)		(X-AUT)-(X-REF) (dBi)	Gain (dB)	
	X-REF	X-AUT		REF	AUT
494	-27,912	-24,273	3,639	2,15	5,79
500	-27,939	-24,245	3,694	2,15	5,84
506	-27,961	-24,317	3,644	2,15	5,79
512	-27,993	-24,211	3,782	2,15	5,93
518	-28,026	-24,361	3,665	2,15	5,81
524	-28,047	-24,383	3,664	2,15	5,81
530	-28,074	-24,405	3,669	2,15	5,82
536	-28,401	-24,427	3,974	2,15	6,12
542	-28,128	-24,449	3,679	2,15	5,83
548	-28,155	-24,471	3,684	2,15	5,83
554	-28,182	-24,493	3,689	2,15	5,84
560	-28,309	-24,415	3,894	2,15	6,04
566	-28,236	-24,517	3,719	2,15	5,87
572	-28,263	-24,559	3,704	2,15	5,85

Tabel B.4. Data Hasil Pengukuran Gain (2)

Frek (MHz)	S21 (dB)		(X-AUT)-(X-REF) (dBi)	Gain (dB)	
	X-REF	X-AUT		REF	AUT
578	-28,295	-24,581	3,714	2,15	5,86
584	-28,317	-24,603	3,714	2,15	5,86
590	-28,344	-24,725	3,619	2,15	5,77
596	-28,371	-24,647	3,724	2,15	5,87
602	-28,398	-24,659	3,739	2,15	5,89
608	-28,425	-24,691	3,734	2,15	5,88
614	-28,452	-24,713	3,739	2,15	5,89
620	-28,875	-24,632	4,243	2,15	6,39
626	-28,472	-24,592	3,88	2,15	6,03
632	-28,745	-24,713	4,032	2,15	6,18
638	-29,385	-24,643	4,742	2,15	6,89
644	-29,914	-24,415	5,499	2,15	7,65
650	-30,282	-24,472	5,81	2,15	7,96
656	-31,421	-24,658	6,763	2,15	8,91
662	-31,832	-25,047	6,785	2,15	8,94
668	-31,352	-25,668	5,684	2,15	7,83
674	-30,695	-26,173	4,522	2,15	6,67
680	-30,745	-26,656	4,089	2,15	6,24
686	-30,732	-26,815	3,917	2,15	6,07
692	-31,655	-27,376	4,279	2,15	6,43
698	-31,634	-27,745	3,889	2,15	6,04
<b>Penguatan Minimal</b>					<b>5,77</b>
<b>Penguatan Maksimal</b>					<b>8,94</b>