



**PERANCANGAN ANTENA MIKROSTRIP UNTUK  
APLIKASI LONG TERM EVOLUTION (LTE)**

**TESIS**

**OLEH :**

**EMILIA ROZA**

**NIM: 55411120008**

**PROGRAM MAGISTER TEKNIK ELEKTRO  
PROGRAM PASCASARJANA  
UNIVERSITAS MERCU BUANA  
2015**



**PERANCANGAN ANTENA MIKROSTRIP UNTUK  
APLIKASI LONG TERM EVOLUTION (LTE)**

**TESIS**

**Diajukan sebagai Salah Satu Syarat untuk Menyelesaikan  
Program Pascasarjana Program Magister Teknik Elektro**

**OLEH :**

**EMILIA ROZA**

**NIM: 55411120008**

**UNIVERSITAS MERCU BUANA  
PROGRAM PASCASARJANA  
2015**

## LEMBAR PENGESAHAN

Judul : PERANCANGAN ANTENA MIKROSTRIP UNTUK  
APLIKASI LONG TERM EVOLUTION (LTE)  
Nama : Emilia Roza  
NIM : 55411120008  
Program : Pascasarjana Program Magister Teknik Elektro  
Konsentrasi : Manajemen Telekomunikasi  
Tanggal : Emilia Roza

NIM : 55411120008

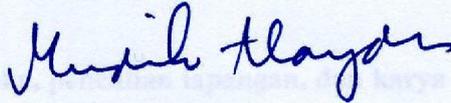
Program : Pascasarjana Program Magister Teknik Elektro

Konsentrasi : Manajemen Telekomunikasi

Tanggal : Emilia Roza

Mengetahui

Pembimbing



(Prof. Dr.-Ing Mudrik Alaydrus)

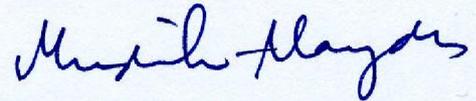
Mengesahkan

Direktur Pascasarjana

Ketua Program Studi



(Prof. Dr. Didik Junaidi Rachbini)



(Prof. Dr.-Ing Mudrik Alaydrus)

Jakarta, Januari 2015

(Emilia Roza)

## PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertandatangan di bawah ini menyatakan dengan sebenarnya bahwa seluruh tulisan dan pernyataan Tesis ini :

**Judul** : PERANCANGAN ANTENA MIKROSTRIP UNTUK  
APLIKASI LONG TERM EVOLUTION (LTE)

**Nama** : Emilia Roza

**NIM** : 55411120008

**Program** : Pascasarjana Program Magister Teknik Elektro

**Konsentrasi** : Manajemen Telekomunikasi

**Tanggal** :

Merupakan hasil studi pustaka, penelitian lapangan, dan karya saya sendiri dengan bimbingan Pembimbing yang ditetapkan dengan Surat Keputusan Ketua Program Studi Magister Teknik Elektro Universitas Mercu Buana.

Tesis ini belum pernah diajukan untuk memperoleh gelar magister pada program sejenis di perguruan tinggi lain. Semua informasi, data, dan hasil pengolahan yang digunakan, telah dinyatakan secara jelas sumbernya dan dapat diperiksa kebenarannya.

Jakarta, Januari 2015



## KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Puji syukur kami panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan nikmat Iman, Islam dan Karunia Ilmu dan Kemampuan sehingga kami dapat menyelesaikan Tesis dengan judul PERANCANGAN ANTENA MIKROSTRIP UNTUK APLIKASI LONG TERM EVOLUTION (LTE).

Dalam penelitian ini masih terdapat banyak kekurangan, kami mengharapkan masukan, kritikan yang bersifat membangun kearah perbaikan dan penyempurnaan untuk penelitian selanjutnya.

Ucapan terima kasih kami ucapkan kepada

1. Suami tercinta **Jhon Ferry** dan anak-anakku tersayang **Najma dan Erina**, Mama, Papa, Kakak-kakak dan Adik yang selalu memberikan dukungan moral dan spiritual kepada kami.
2. Prof. Dr.-Ing Mudrik Alaydrus selaku Pembimbing dan juga Ketua Program Studi Magister Teknik Elektro UMB yang telah membimbing kami hingga dapat menyelesaikan penelitian ini
3. Pimpinan dan teman-teman sejawat di FT UHAMKA dan M-Tel UMB angkatan X dan serta semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah memberikan dukungan dan doanya kepada kami.

Jakarta, Februari 2015

Emilia Roza

## DAFTAR ISI

Abstrak	
Daftar Isi	
Daftar Gambar	
Daftar Tabel	
Bab I	Pendahuluan .....1
1.1	Latar Belakang Masalah .....1
1.2	Perumusan Masalah .....3
1.3	Batasan Masalah .....4
1.4	Tujuan Penelitian .....4
Bab II	Kajian Pustaka .....5
2.1	Perbandingan Jurnal .....5
2.2	Antena Mikrostrip .....7
2.3	Daerah Medan Antena .....9
2.4	Parameter Antena Mikrostrip .....10
2.4.1	Frekuensi Resonansi .....10
2.4.2	Return Loss .....11
2.4.3	Voltage Standing Wave ratio (VSWR).....12
2.4.4	Impedansi Masukan ( $Z_{in}$ ) .....12
2.4.5	Bandwidth .....13
2.4.6	Faktor Kualitas (Q <sub>q</sub> ) .....13
2.4.7	Gain .....14
2.4.8	Keterarahan (Directivity) .....14
2.4.9	Pola Radiasi .....15
2.4.10	Polarisasi .....15
2.5	Antena Mikrostrip Patch Persegi Panjang .....16
2.6	Teknik Pencatuan Electromagnetically Coupled .....17

2.7	Saluran Transmisi .....	19
2.7.1	Saluran Mikrostrip .....	19
2.7.2	Karakteristik Saluran Mikrostrip untuk $w/h < 1$ .....	20
2.8	Impedansi Matching .....	20
Bab III	Perancangan Antena Mikrostrip .....	22
3.1	Diagram Alir Perancangan Antena .....	22
3.2	Perancangan Antena .....	23
3.3	Perancangan Saluran Pencatu Mikrostrip .....	24
3.4	Computer Simulation Teknologi (CST) Studio Suite 2012.....	25
Bab IV	Hasil Perhitungan, Simulasi, Pengukuran dan Analisis Antena .....	26
4.1	Hasil Perhitungan Dimensi Antena .....	26
4.2	Proses Simulasi Antena .....	27
4.3	Hasil Akhir Simulasi Rancangan Antena .....	31
4.4	Hasil Cetak Antena .....	34
4.5	Hasil Pengukuran Rancangan Antena .....	35
4.5.1	Hasil Pengukuran Return Loss Antena 1 .....	37
4.5.2	Hasil Pengukuran Return Loss Antena 2 .....	40
4.5.3	Hasil Pengukuran Return Loss Antena 3 .....	46
4.6	Analisis Hasil Simulasi dan Pengukuran .....	49
Bab V	Kesimpulan dan Saran .....	52
5.1	Kesimpulan .....	52
5.2	Saran .....	52

Tinjauan Pustaka

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Antena Mikrostrip dan E-field Pattern di dalam Substrat .....	7
Gambar 2.2	Jenis-jenis Patch Antena Mikrostrip .....	8
Gambar 2.3	Daerah Medan Antena .....	9
Gambar 2.4	Pencatuan secara Langsung.....	17
Gambar 2.5	Pencatuan secara Tak langsung .....	18
Gambar 2.6	Transformator $\lambda/4$ .....	21
Gambar 3.1	Diagram Alir Perancangan .....	22
Gambar 4.1	Simulasi Bentuk Awal Antena Mikrostrip .....	28
Gambar 4.2	VSWR Hasil Simulasi Awal .....	28
Gambar 4.3	Return Loss (dB) Hasil Simulasi Awal .....	29
Gambar 4.4	Perubahan Bentuk Antena .....	30
Gambar 4.5	Perubahan Grafik Return Loss Pengaruh Perubahan Ukuran dan Bentuk Antena.....	31
Gambar 4.6	Perubahan Grafik VSWR Pengaruh Perubahan Ukuran dan Bentuk Antena .....	31
Gambar 4.7	Hasil Akhir Perancangan Antena Mikrostrip .....	32
Gambar 4.8	Return Loss Rancangan Antena Mikrostrip .....	32
Gambar 4.9	VSWR Antena Mikrostrip .....	33
Gambar 4.10	Smit Chart .....	34
Gambar 4.11	Antena 1 Konektor pada Posisi 37 mm .....	34
Gambar 4.12	Antena 2 Konektor pada Posisi 74 mm .....	35
Gambar 4.13	Antena3 Konektor pada Posisi 55.5 mm .....	35
Gambar 4.14	Network Analyzer .....	36
Gambar 4.15	Grafik Return Loss Antena 1 .....	37
Gambar 4.16	Smit Chart Antena 1 .....	38
Gambar 4.17	Grafik Return Loss Antena 2a .....	40
Gambar 4.18	Grafik Return Loss Antena 2b .....	41
Gambar 4.19	Grafik Return Loss Antena 3a .....	46
Gambar 4.20	Grafik Return Loss Antena 3b .....	46
Gambar 4.21	Perbandingan Return Loss Frekuensi Bawah .....	49
Gambar 4.22	Perbandingan Return Loss Frekuensi Atas .....	50

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Parameter Substrat FR4 .....	24
Tabel 4.1	Perubahan Nilai-nilai Parameter Antena .....	30
Tabel 4.2	Parameter Antena Mikrostrip .....	32
Tabel 4.3	Analisis return loss pada antena mikrostrip .....	33
Tabel 4.4	Hasil Pengukuran Antena 1 .....	38
Tabel 4.5	Hasil Pengukuran Antena 2a .....	42
Tabel 4.6	Hasil Pengukuran Antena 2b .....	44
Tabel 4.7	Hasil Pengukuran Antena 3 .....	47
Tabel 4.8	Perbandingan Hasil Simulasi dan Pengukuran Frekuensi dibawah 1 GHz .....	49
Tabel 4.9	Perbandingan Hasil Simulasi dan Pengukuran Frekuensi di atas 2 GHz .....	50

## ABSTRAK

*Perancangan antenna mikrostrip untuk aplikasi LTE dengan melihat hasil pada rentang frekuensi 0.5 – 2.6 GHz diharapkan antenna dapat bekerja pada frekuensi 700 MHz,  $VSWR \leq 2$ , Return loss  $\leq -10$  dB dan dihasilkan bandwidth  $\geq 20$  MHz. Perancangan terlebih dahulu disimulasikan dengan software CST hingga didapatkan nilai-nilai parameter yang sesuai kemudian baru dilakukan pencetakan antenna dengan cara dietching. Hasil simulasi dan pengukuran dibandingkan untuk mengetahui kinerja antenna. Dari perbandingan hasil simulasi dan pengukuran pada frekuensi di bawah 1 GHz dan di atas 2 GHz dihasilkan nilai parameter antenna sesuai dengan performa yang diinginkan lebih baik pada frekuensi kerja 2.549 GHz, dengan return loss = -35 dB serta bandwidth sebesar 42 MHz*



# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang Masalah**

Antena adalah suatu bagian yang tidak terpisahkan dari sistem telekomunikasi nirkabel. Kebutuhan akan antena semakin lama semakin berkembang sehingga menyebabkan teknologi perancangan antena juga harus semakin meningkat. Antena yang dibutuhkan juga semakin lama semakin kompak dan harus memiliki performa yang tinggi. Antena mikrostrip merupakan salah satu jenis antenna yang dapat memenuhi kebutuhan ini.

Antena mikrostrip memiliki beberapa keunggulan diantaranya: ringan, low profile, mudah dipabrikasi, conformal (dapat menyesuaikan dengan tempat dimana antenna tersebut diletakkan), mudah dalam pemasangan, dan lebih fexibel dipasang ke rangkaian. Namun antenna mikrostrip juga mempunyai kelemahan yang sangat mendasar, yaitu: bandwidth yang sempit, keterbatasan gain dan daya yang rendah [1].

Parameter antena seperti frekuensi kerja, pola radiasi, dan polarisasi dapat dikonfigurasi ulang untuk memenuhi permintaan komunikasi nirkabel saat ini atau masa depan. Salah satu sistem komunikasi nirkabel masa depan adalah sistem radio kognitif yang memiliki kemampuan untuk melakukan penginderaan spektrum dan menggunakan spektrum yang tersedia untuk berkomunikasi [5].

*Long Term Evolution* ( LTE ) adalah teknologi nirkabel 4G yang diperkenalkan oleh 3GPP ( *3rd Generation Partnership Project* ) mampu mendukung bandwidth mulai dari 1,4 MHz sampai 20 MHz , baik FDD ( *Frequency Division Duplex* ) dan TDD ( *Time Division Duplex* ) dan bekerja pada frekuensi 700 MHz hingga 3500 MHz .

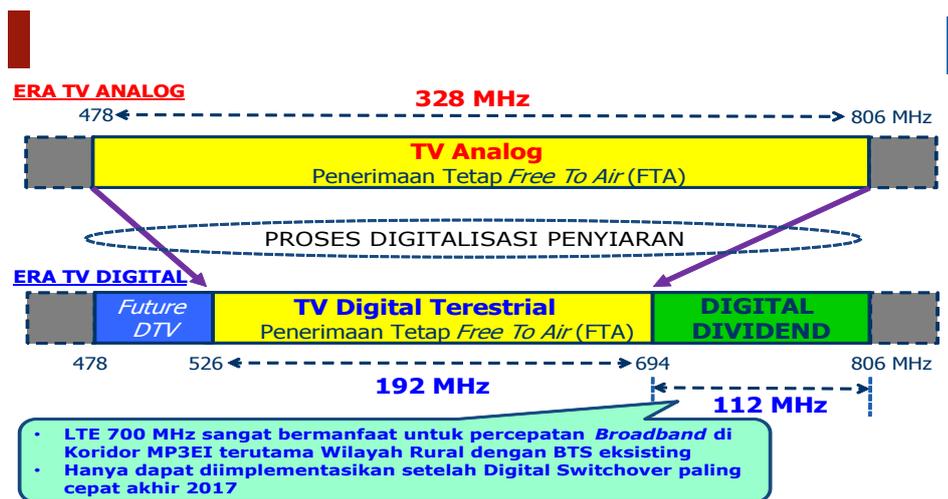
LTE merupakan salah satu teknologi komunikasi mobile yang memanfaatkan frekuensi 700 MHz (746-787 MHz). yang diharapkan mampu memberikan kualitas komunikasi mobile yang lebih baik dari pada layanan yang ada, seperti GSM/DCS/PCS, dengan kecepatan data 100 Mb/s untuk downlink dan 50 Mb/s untuk uplink [5].

Long Term Evolution (LTE) menjadi menarik untuk perangkat mobile modern seperti smartphone, laptop komputer dan komputer tablet yang mampu menyediakan dua band operasi yaitu 698-960 dan 1710-2690 MHz untuk menutupi tiga band LTE (LTE700/2300/2500 di 698-787/2300-2400/2500-2690 MHz) dan lima WWAN band (GSM850/900/1800/1900/UMTS di 824-894/ 880-960/1710-1880/1850-1990/1920-2170 MHz) [6].

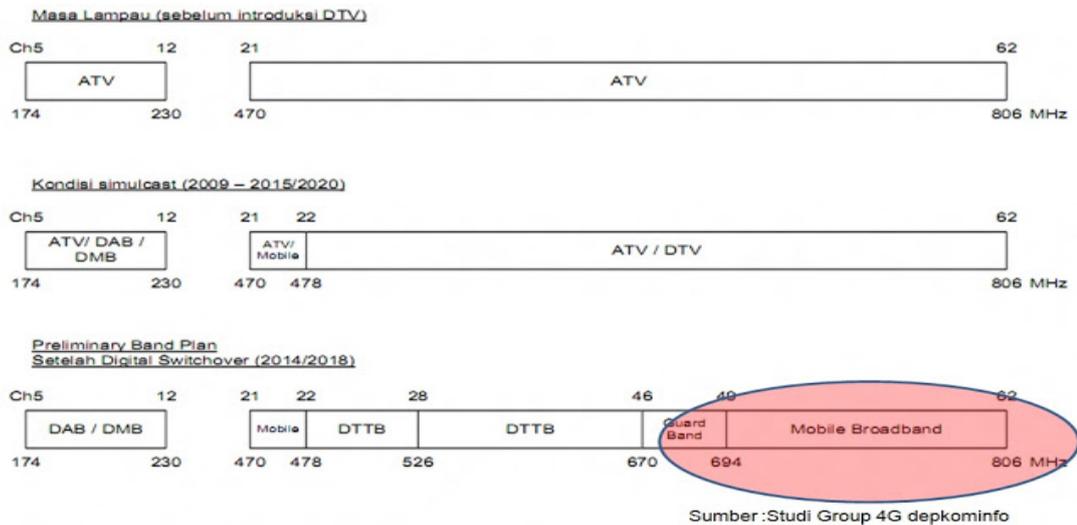
Penggunaan frekuensi LTE di dunia adalah 700 MHz, 800 MHz, 1800 MHz, 2100 MHz, 2300 MHz, 2600 MHz. Di Asia Pasifik, tercatat ada 66 operator seluler yang sudah mengadopsi LTE. Frekuensi yang paling banyak digunakan adalah 700MHz, 2.100MHz, 2.600MHz, dan 1.800MHz.

Sebagian besar pita frekuensi 470-806 MHz dialokasikan untuk siaran televisi analog di Asia Pasifik, seperti juga berlaku di Indonesia dan seluruh dunia, yang tidak akan digunakan lagi setelah dilakukan peralihan ke transmisi TV digital.

Dari program digitalisasi televisi itu, nanti frekuensi 700MHz akan memiliki *digital dividend* sebesar 112MHz.



## Alokasi Pita Frekuensi di Indonesia



LTE FDD yang beroperasi di frekuensi 700 MHz dapat diimplementasikan untuk menjawab kebutuhan layanan broadband 2 Mbps dengan jangkauan sekurang-kurangnya 9 km.

Keuntungan menggunakan LTE

- Peningkatan kapasitas jaringan
  - LTE hanya membutuhkan bandwidth 20 MHz
- Mengurangi Kompleksitas jaringan
- Mengurangi CAPEX (Capital Expenditure) dan OPEX (Operational Expenditure)
- Throughput dengan data rate yang tinggi

- Latency yang rendah
- Peningkatan customer experience
- Co-existence dengan standar yg lain

## 1.2 Perumusan Masalah

Masalah yang akan diteliti yaitu

- a. Merancang antenna mikrostrip yang dapat bekerja pada frekuensi 700 MHz dengan parameter kinerja  $VSWR \leq 2$ ,  $Return Loss \leq -10$  dB dan  $Bandwidth \geq 20$  MHz
- b. Apakah hasil rancangan sesuai dengan performansi yang diinginkan?
- c. Bagaimana hasil perbandingan performansi antenna hasil simulasi dan perancangan?

## 1.3 Batasan Masalah

Beberapa pembatasan masalah pada perancangan antenna mikrostrip adalah:

1. Antenna mikrostrip menggunakan bahan lempengan PCB (FR4)
2. Simulasi menggunakan Software Antenna CST untuk mendapatkan model antenna yang sesuai dengan parameter yang direncanakan
3. Metode feed yang digunakan adalah direct coupling.

## 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah merancang dan memfabrikasi antenna mikrostrip untuk aplikasi Long Term Evolution (LTE) yang dapat bekerja pada frekuensi 700 Mhz untuk menghasilkan parameter antenna yang sesuai dengan performansi yang diinginkan.

## BAB II KAJIAN PUSTAKA

### 2.1 Perbandingan Jurnal

NO	JUDUL JURNAL	MASALAH	METODE	HASIL
1	<i>A Planar WWAN/LTE Antenna for Portable Divives, ". Chen Wen-Shan dan Jhang Wei-Chiang, IEEE Antena and Wireless Propogasion Letters, Vol.12, 2013</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Mendisign antenna mikrostrip multifungsi dengan ukuran kecil untuk aplikasi laptop atau computer tablet</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Menggunakan software ANSYS HFSS</li> <li>▶ Menggunakan monopole direct-fed dengan sebuah chip indikapor, dan grounded strip serta coupled-fed dengan sebuah indicator distribusi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Berhasil membuat desain antenna Planar WWAN/LTE dengan ukuran 75x10x0.8 untuk aplikasi laptop atau komputer tablet</li> <li>▶ Pada frekuensi 0.66-1.03 GHz dan 1.7-2.2.87 GHz dihasilkan Return loss 6 dB yang mampu mengkafer 8 aplikasi pita frekuensi yaitu LTE700/GSM850/900/1800/1900/UMTS/lte 2300/2500</li> </ul>
2	Frequency Reconfigurable Microstrip Patch_Slot Antenna Huda A Majid, Mohammad kamal Abdul Rahim , IEEE Antena and Wireless Propogasion Letters, Vol.12, 2013	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Mendisain antenna persegi yang dapat menjadi switch untuk mengubah-ubah frekuensi antara 0.98 – 3.59 GHz</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Pada slot antenna diposisikan 5 buah RF p-i-n dioda sebagai switch guna meningkatkan performa antenna</li> <li>▶ Simulasi menggunakan CST</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Patch berbentuk T yang beresonansi pada frekuensi 3.59 GHz dengan return loss -10 dB</li> <li>▶ Hasil disign dapat berfungsi sebagai switch yang dapat mengubah-ubah 9 band frekuensi berbeda antara 1.98-3.41 GHz</li> <li>▶ Antena dapat digunakan untuk aplikasi radio cognituve</li> </ul>
3	Planar Compct LTE/WWAN Monopole antenna for Tablet Computer Application, Jui-Han Lu, IEEE Antena and Wireless Propogasion Letters, Vol.12, 2013	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Mendisain antenna dengan ukuran lebih kecil untuk LTE/WWAN untuk aplikasi computer tablet</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Dengan metode dual parasitic shorted strips</li> <li>▶ Menggunakan software Ansoft HFSS</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Dihasilkan antenna monopole dengan ukuran yang lebih kecil yang mereduksi 25% ukuran semula yaitu 45x15x0.8mm yang dapat beroperasi di computer tablet</li> <li>▶</li> </ul>

NO	JUDUL JURNAL	MASALAH	METODE	HASIL
3	LTE 800 vs Short Range Devices: Adjacent Band Compatibility around Band Edge of 863 MHz, Evaldas Stankevicius, Arturas Medeisis International Symposium ELMAR, Croatia 2013	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Pengaruh interferensi pengguna LTE yang beroperasi di pita 792-862 MHz untuk jarak dekat di band 863-870 MHz</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Analisis teoritis dan secara statistik yang disimulasikan dengan monte carlo,</li> <li>▶ Membandingkan hasil simulasi dan pengukuran</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ hasil simulasi menunjukkan tingkat signifikan kemungkinan interferensi antara 13-37% tergantung pada jenis SRD</li> <li>▶ Emisi LTE UE OOB dapat mempengaruhi perangkat SRD sepenuhnya atau sebagian dengan mengganggu komunikasi hingga jarak beberapa meter dari LTE UE</li> </ul>
4	Design of microstrip antenna for wireless communication at 2.4 GHz, A.B. Mutiara, R.Refianti Journal of Theoretical and Applied Information Technology. Vol 33 No2 . 2011	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Mendisain microstrip sebagai Wi-Fi untuk klien</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Menggunakan Model saluran transmisi mikrostrip dengan dua slot lebar (W) dan h yang dipisahkan oleh garis transmisi berbentuk L</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Gain untuk antenna omnidirectional 15 dB untuk indoor dan 11 dB untuk outdoor</li> <li>▶ Radius mikrostrip <math>\pm</math> 200m</li> <li>▶ Half Power Beamwidth antenna 40° untuk indoor dan 30° untuk outdoor</li> <li>▶ Antena mikrostrip antenna dapat digunakan pada klien</li> </ul>
5	Microstrip Antenna for Dual band wireless Application, Sk. Riyadh Hussain, M. Suresh Kumar and D. Sriram Kumar. DIPED-2010 Proceedings	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Mendisain antenna untuk aplikasi wireless pada bidang kesehatan</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Analisis menggunakan Method of Moment dengan software IE3D</li> <li>▶ Melakukan perubahan bentuk, ukuran dan lokasi port, dan ketebalan substrate</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Dihasilkan design Antenna dengan parameter <ul style="list-style-type: none"> <li>○ VSWR &lt; 2</li> <li>○ Return loss -37 dB</li> <li>○ Gain &gt; 8 db</li> <li>○ Efficiency vs frekuensi &gt;96%</li> <li>○ dihasilkan frekuensi dualband yaitu 1.98-2.08 GHz dan 2.75-2.78 GHz</li> </ul> </li> </ul>
6	Analysis and Design of Rectangular Microstrip Antenna in x Band	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Frekuensi kerja 9 GHz</li> <li>▶ Bentuk antenna persegi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Membandingkan hasil dari software Matlab dan CST</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Bandwidth 2.9%</li> <li>▶ VSWR 1.004</li> </ul>
7	Planar Mender Monopole Antenna with Parasitic Strips and Sleeve Feed for DVB-H/LTE/GSM850/900, IEEE Antena and Wireless Propogasion Letters, Vol.12, 2013	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Mendisain antena monopole planar wideband berliku untuk aplikasi ponsel</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Menggunakan parasitic strips dan sleeve feed</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Dihasilkan design Antenna dengan parameter <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Nilai VSWR <math>\leq</math> 3 untuk 101.7% dari frekuensi 440-1350 MHz</li> </ul> </li> <li>▶ Aplikasi Gias digunakan untuk DVB-H, LTE13, GSM830 dan GSM900 untuk mobile phone</li> </ul>

## 2.2 Antena Mikrostrip

Antena merupakan komponen kunci dari sistem komunikasi nirkabel, yang memungkinkan terjadinya transfer sinyal dan menyebarkannya kembali sehingga dapat diterima oleh antenna lain. Antena penerima bertanggung jawab untuk proses timbal-balik dengan mengubah gelombang elektromagnetik menjadi sinyal atau tegangan yang kemudian diproses oleh penerima. Proses penerimaan dan transmisi antena ditandai dengan persamaan Maxwell berikut

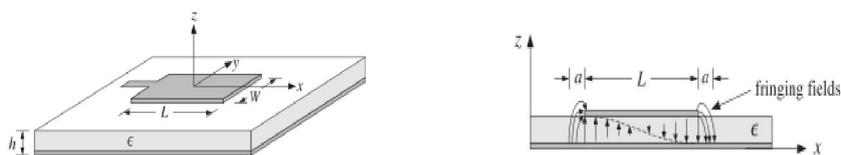
$$\nabla \times H = J + \frac{\partial D}{\partial t} \quad (2.1)$$

$$\nabla \times E = -\frac{\partial B}{\partial t} \quad (2.2)$$

Dimana :

- E = Kuat medan listrik
- H = Kuat medan magnet
- D = Kerapatan fluks listrik
- B = Kerapatan fluks magnet
- J = Kerapatan arus
- $\rho$  = Perapatan muatan listrik

Persamaan 2.1 menunjukkan bahwa pergeseran kerapatan arus (J) dan medan listrik yang berubah terhadap waktu akan menimbulkan medan magnet. Sedangkan persamaan 2.2 menjelaskan bahwa medan magnet yang berubah terhadap waktu akan membangkitkan medan listrik. Medan listrik dan medan magnet selanjutnya akan saling membangkitkan dan menjadi sumber gelombang elektromagnetik yang dapat merambat melalui udara

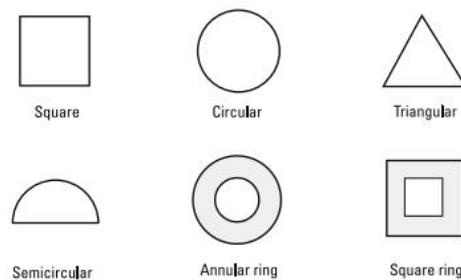


**Gambar 2.1 Antena Mikrostrip dan E-field Pattern di dalam Substrat**  
(electromagnetic\_Waves\_and\_Antenna)

Secara garis besar struktur antena mikrostrip terdiri dari tiga bagian, yaitu : elemen peradiasi (*radiating patch*), saluran transmisi (*feed line*) dan bidang pertanahan (*ground plane*) yang dapat dicetak pada satu atau lebih dielektrik substrat. Pada dielektrik substrat

terdapat parameter  $h$  yang merupakan ketebalan dari substrat, loss tangent ( $\tan \delta$ ) yang merupakan rugi-rugi dielektrik dan  $\epsilon_r$  yang merupakan konstanta dielektrik substrat.

Elemen peradiasi berfungsi untuk meradiasi gelombang elektromagnetik yang terbuat dari lapisan logam (metal) yang memiliki ketebalan tertentu jenis, logam yang biasanya digunakan adalah tembaga (*copper*) dengan konduktifitas  $5.8 \times 10^7 S/m$ . Berdasarkan bentuknya, patch memiliki jenis yang bermacam-macam diantaranya bujur sangkar (*square*), persegi panjang (*rectangular*), garis tipis (*dipole*), lingkaran ellips, segitiga dan lain-lain. (gambar 2.2). Pada penelitian ini bentuk yang digunakan adalah persegi panjang.



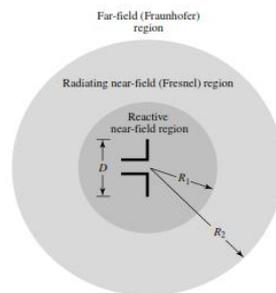
**Gambar 2.2 Jenis-jenis Patch Antena Mikrostrip**

Elemen substrat (*substrate*) berfungsi sebagai bahan dielektri dari antena mikrostrip yang membatasi elemen peradiasi dengan elemen pentanahan. Elemen ini memiliki jenis yang bervariasi yang dapat digolongkan berdasarkan nilai konstanta dielektri ( $\epsilon_r$ ) dan ketebalannya ( $h$ ). Kedua nilai tersebut mempengaruhi frekuensi kerja, bandwidth, dan juga efisiensi dari antena yang akan dibuat. Ketebalan substrat jauh lebih besar daripada ketebalan konduktor metal peradiasi. Semakin tebal substrat akan meningkatkan dapat bandwidth, tetapi berpengaruh terhadap timbulnya gelombang permukaan (*surface wave*). Gelombang permukaan pada antena mikrostrip merupakan efek yang merugikan karena akan mengurangi sebagian daya yang seharusnya dapat digunakan untuk meradiasikan gelombang elektromagnetik kearah yang diinginkan.

Sedangkan elemen pentanahan (*ground*) berfungsi sebagai pembumian bagi sistem antena mikrostrip. Elemen pentanahan ini umumnya memiliki jenis bahan yang sama dengan elemen peradiasi yaitu berupa logam tembaga.

Pada antena mikrostrip, karena yang diinginkan adalah terjadinya pemancaran yang maksimal, maka permitivitas relative yang diambil kecil, sedangkan tebal substrat yang dipergunakan sebaiknya besar, sehingga diharapkan medan elektromagnetiknya tidak terkonsentrasi pada substrat, sehingga dengan adanya medan yang keluar dari substrat ke udara akan memberikan kontribusi pada proses pemancaran energy.

### 2.3 Daerah Medan Antena



Gambar 2.3 Daerah Medan Antena  
(Fundamental Parameters of antennas)

Daerah medan antena adalah daerah sekeliling karakteristik gelombang elektromagnetik yang dipancarkan oleh antena. Ruang disekeliling antena biasanya dibagi dalam 3 daerah yaitu ;

*a. Reactive near-field region*

Daerah ini didefinisikan sebagai bagian dari daerah medan dekat di sekitar antenna, dimana daerah reaktif lebih dominan. Batasan terluar antena daerah ini adalah

$$R < 0.62\sqrt{D^3/\lambda} \quad (2.3)$$

Dari permukaan antenna, dimana  $\lambda$  adalah panjang gelombang dan D adalah dimensi terluar antenna

*b. Radiating near-field (Fresnel) region*

Didefinisikan sebagai daerah medan dekan reaktif dan medan jauh dimana medan radiasi dominan dan distribusi medan tergantung pada jarak dari antenna. Daerah ini disebut daerah *Freshnel*. radiusnya :

$$0.62\sqrt{\frac{D^3}{\lambda}} \leq R < 2\frac{D^2}{\lambda} \quad (2.4)$$

c. *Far-field (Fraunhofer) region*

Merupakan daerah medan antenna dimana distribusi medan tidak lagi bergantung pada jarak dari antenna. Di daerah ini, komponen medan transversal dan distribusi angular tidak bergantung pada jarak radial dimana pengukuran dibuat. Semua spesifikasi diperoleh dari pengukuran yang dilakukan di daerah ini

$$R > 2\frac{D^2}{\lambda} \quad (2.5)$$

Antena mikristrip merupakan salah satu jenis antenna yang mempunyai kelebihan dan kekurangan seperti :

a. Kelebihan

- Low profile dan ringan
- Low-fabrication, fabrikasi mudah dan murah, dan diproduksi dengan menggunakan teknik printed circuit
- Bias menghasilkan polarisasi sirkular maupun linier
- Bias dibuat compact sehingga cocok untuk system komunikasi bergerak
- Bias beroperasi pada single, dual, maupun multiband

b. Kekurangan

- Bandwidth yang sempit
- Gain yang rendah
- Kemampuan pengaturan daya yang rendah

## 2.4 Parameter Antena Mikrostrip

Ada beberapa parameter penting dari antenna mikrostrip, antara lain frekuensi resonansi, *return loss*, *Voltage Wave Ratio* (VSWR), impedansi masukan dan *bandwidth*.

### 2.4.1 Frekuensi Resonansi

Frekuensi resonansi merupakan frekuensi kerja dari suatu antenna. Rentang frekuensi kerja dari suatu antenna dapat dilihat dari grafik *Voltage Standing Wave Ratio* (VSWR) dan grafik *return loss*. Pada penelitian ini rentang frekuensi dari antenna dapat

diketahui dari grafik VSWRnya yaitu ketika  $VSWR < 2$ . Sedangkan apabila menggunakan *return loss* rentang frekuensi kerja dapat dilihat ketika nilai *return loss*nya  $\leq -10$  dB.

Frekuensi resonansi dengan bentuk *patch rectangular* dirumuskan dengan:

$$f_m = \frac{c}{2\sqrt{\epsilon_r}} \left[ \left( \frac{m}{L} \right)^2 + \left( \frac{n}{W} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2.6)$$

#### 2.4.2 *Return loss*

*Return loss* adalah perbandingan antara amplitudo dari gelombang yang direfleksikan terhadap amplitudo gelombang yang dikirim. *Return loss* dapat terjadi akibat adanya diskontinuitas di antara saluran transmisi dengan impedansi masukan beban (antena) sehingga tidak semua daya diradiasikan melainkan ada yang dipantulkan kembali. Perbandingan antara gelombang yang dipantulkan dengan gelombang yang dikirim (koefisien refleksi tegangan ( $\Gamma$ )) dapat dicari dengan persamaan :

$$\Gamma = \frac{V_0^-}{V_0^+} = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} \quad (2.7)$$

Di mana :

- $\Gamma$  = koefisien refleksi tegangan
- $V_0^-$  = tegangan yang dipantulkan (Volt)
- $V_0^+$  = tegangan yang dikirimkan (Volt)
- $Z_L$  = impedansi beban atau load (Ohm)
- $Z_0$  = impedansi saluran lossless (Ohm)

Nilai *return loss* dapat dicari dengan cara memasukkan koefisien refleksi tegangan ke dalam persamaan bawah ini :

$$Return Loss = 20 \log_{10} |\Gamma| \quad (2.8)$$

Nilai *return loss* yang baik adalah  $< -9.54$  dB, yang berarti nilai gelombang yang direfleksikan tidak terlalu besar dibandingkan dengan gelombang yang dikirimkan atau dengan kata lain, saluran transmisi sudah dalam keadaan *matching*.

Nilai parameter ini menjadi salah satu acuan untuk melihat apakah antenna sudah bekerja pada frekuensi yang diharapkan atau belum.

### 2.4.3 Voltage Standing Wave Ratio (VSWR)

Voltage Standing Wave Ratio (VSWR) adalah perbandingan antara amplitude gelombang berdiri (*standing wave*) maksimum ( $|V_{max}|$ ) dengan minimum ( $|V_{min}|$ ). Rumus yang digunakan mencari nilai VSWR atau S adalah :

$$S = \frac{|V|_{max}}{|V|_{min}} = \frac{1+|\Gamma|}{1-|\Gamma|} \quad (2.9)$$

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

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

Kondisi yang paling baik adalah ketika nilai VSWR = 1, yang berarti tidak ada refleksi ketika saluran dalam keadaan matching sempurna. Namun kondisi ini pada prakteknya sulit untuk didapatkan. Oleh karena itu nilai standar VSWR yang diijinkan untuk simulasi dan pabrikan antenna mikrostrip adalah  $VSWR \leq 2$ .

### 2.4.4 Impedansi Masukan ( $Z_{in}$ )

Impedansi masukan adalah perbandingan antara tegangan dengan arus. Impedansi masukan suatu antenna dapat dilihat sebagai impedansi dari antenna tersebut pada terminalnya. Impedansi masukan ( $Z_{in}$ ) terdiri dari bagian *real* ( $R_{in}$ ) dan imajiner ( $X_{in}$ ) dan dapat ditulis sebagai berikut :

$$Z_{in} = (R_{in} + jX_{in})\Omega \quad (2.10)$$

Dari persyaratan  $Z_{in}$  tersebut di atas, komponen yang diharapkan adalah daya *real* ( $R_{in}$ ) yang menggambarkan banyaknya daya yang hilang melalui panas ataupun radiasi.

Komponen imajiner ( $X_{in}$ ) mewakili reaktansi dari antenna dan daya yang tersimpan pada medan dekat antenna.

Kondisi matching terjadi ketika besar impedansi masukan sama besar dengan impedansi karakteristik saluran transmisi. Dalam penelitian ini impedansi masukannya adalah  $50 \Omega$

#### 2.4.5 Bandwidth

*Bandwidth* merupakan besar rentang frekuensi kerja dari suatu antenna. Nilai *bandwidth* dapat diketahui apabila nilai frekuensi bawah dan frekuensi atas dari suatu antenna sudah diketahui. Berikut adalah rumus yang dapat digunakan untuk mencari nilai *bandwidth* :

$$BW = \frac{f_2 - f_1}{f_c} \times 100\% \quad (2.11)$$

Dimana :

$f_2$  = frekuensi atas (Hz)  
 $f_1$  = frekuensi bawah (Hz)  
 $f_c$  = frekuensi tengah (Hz)

Besarnya bandwidth pada antenna mikrostrip dapat dihitung dengan menggunakan besaran dari factor kualitas ( $Q_0$ ) dan VSWR (S) yang diinginkan, dan dinyatakan dengan persamaan :

$$BW = \frac{S-1}{Q_0 \sqrt{S}} \quad (2.12)$$

#### 2.4.6 Faktor Kualitas ( $Q_q$ )

Faktor kualitas berkaitan dengan rugi-rugi yang terjadi pada antenna. Rugi-rugi yang terjadi diantaranya adalah rugi-rugi radiasi, rugi-rugi dielektrik, rugi-rugi gelombang permukaan dan rugi konduktor. Factor kualitas merupakan inverse dari rugi-rugi total yang secara matematis dapat diekspresikan sebagai berikut :

$$\frac{1}{Q} = \frac{1}{Q_r} + \frac{1}{Q_d} + \frac{1}{Q_s} + \frac{1}{Q_c} \quad (13)$$

Dengan  $Q_r = \frac{\omega W_T}{P_r}$   $Q_r = \frac{\omega W_T}{P_r}$

$$Q_d = \frac{\omega W_T}{P_d} = \frac{1}{\delta} \qquad Q_c = \frac{\omega W_T}{P_c}$$

$\delta$  merupakan los tangent rongga dan  $w_T$  adalah energi total yang tersimpan selama beresonansi, didefinisikan sebagai berikut :

$$W_T = 2W_c = \frac{\epsilon}{2} \iint E_z|^2 dv = \frac{P_d}{\omega\delta} \qquad (14)$$

### 3.4.7 Gain

Gain merupakan perbandingan intensitas radiasi maksimum suatu antenna dengan intensitas radiasi maksimum antenna referensi yang daya inputnya sama. Hal ini dapat dituliskan dengan rumus :

$$G = \frac{U_m}{U_{mr}} = \frac{\text{intensitas radiasi maksimal suatu antenna}}{\text{intensitas radiasi maksimal antenna referensi dengan daya input sama}} \qquad (15)$$

Hubungan antara Gain dengan Direktivitas adalah :

$$G = n_{eff} \cdot D \qquad (16)$$

### 2.4.8 Keterarahan (Directivity)

Direktevitas mempresentasikan ‘pengarahan’ antenna, merupakan perbandingan (rasio) intensitas radiasi maksimum sebuah antenna pada arah tertentu dengan intensitas radiasi rata-rata semua arah. Direktivitas dapat dirumuskan dengan :

$$D = \frac{U_m}{U_o} = \frac{4\pi U_m}{4\pi U_o} = \frac{4\pi U_m}{P_{rad}} = \frac{E_m^2}{E_o^2} \qquad (17)$$

Dimana :

- D = Direktivitas
- $U_m$  = Intensitas radiasi maksimum (W/unit solid angle)
- $U_o$  = Intensitas radiasi rata-rata (W/unit solid angle)
- $P_{rad}$  = Daya yang diradiasikan (Watt)
- $E_m$  = Energi radiasi maksimum
- $E_o$  = Energi radiasi rata-rata

#### 2.4.9 Pola Radiasi

Pola radiasi adalah fungsi matematika atau representasi grafik dari sifat radiasi antenna sebagai fungsi koordinat ruang. Sifat radiasi tersebut meliputi kerapatan flux, intensitas radiasi, kuat medan, atau polarisasi.

#### 2.4.10 Polarisasi

Polarisasi antenna adalah polarisasi dari gelombang yang ditransmisikan oleh antenna. Jika arah tidak ditentukan maka polarisasi merupakan polarisasi pada arah gain maksimum.

Polarisasi antenna mikrostri dapat diklarifikasikan sebagai polarisasi linier, polarisasi *circular* (melingkar), dan polarisasi *elliptical* (elips).

Polarisasi linier 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. Hal ini dapat terjadi jika vector (elektrik maupun magnet) memenuhi :

- Hanya ada satu komponen, atau
- Dua komponen yang saling tegak lurus secara linier yang berada pada perbedaan fasa waktu atau  $180^\circ$  atau kelipannya.

Polarisasi melingkar 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. Kondisi yang harus dipenuhi untuk mencapai jenis polarisasi ini adalah :

- Medan harus mempunyai 2 komponen yang saling tegak lurus linier
- Kedua komponen tersebut harus mempunyai magnitude yang sama.
- Kedua komponen tersebut harus memiliki perbedaan fasa waktu pada kelipatan ganjil  $90^\circ$ .

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

Polarisasi elips terjadi ketika gelombang yang berubah menurut waktu memiliki vektor medan (elektrik atau magnet) berada pada jalur kedudukan elips pada ruang. Kondisi yang harus dipenuhi untuk mendapatkan polarisasi ini adalah ;

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

## 2.5 Antena Mikrostrip Patch Persegi Panjang

*Patch* berbentuk persegi panjang merupakan bentuk yang paling umum digunakan karena mudah dianalisa. Berikut adalah beberapa perhitungan yang digunakan untuk merancang antena mikrostrip persegi panjang [9][10] : Menentukan lebar patch (W):

$$\lambda_o = \frac{c}{f_r} \quad (18)$$

$$W = \sqrt{\frac{h\lambda_o}{\sqrt{\epsilon_r}}} \left[ \ln \left( \frac{\lambda_o}{h\sqrt{\epsilon_r}} \right) - 1 \right] \quad (19)$$

Dimana h merupakan tinggi substrat, dan  $\epsilon_{reff}$  adalah konstanta dielektrik relative yang dirumuskan sebagai [9][10]

$$\epsilon_{reff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left( 1 + \frac{10}{u} \right)^{-0.54} \quad (20)$$

Dimana c adalah kecepatan cahaya di ruang bebas yaitu sebesar  $3 \times 10^8$  m/dt.  $f_c$  adalah frekuensi kerja dari antenna, dan  $\epsilon_r$  adalah konstanta dielektrik dari bahan substrat. Sedangkan untuk menentukan panjang dari L ( $\Delta L$ ) tersebut dirumuskan dengan [9][10]

$$\Delta L = 0.412h \frac{(\epsilon_{reff} + 0.3)(u + 0.264)}{(\epsilon_{reff} - 0.258)(u + 0.8)} \quad (21)$$

Dimana  $L_{eff}$  merupakan panjang patch efektif yang dapat dirumuskan dengan :

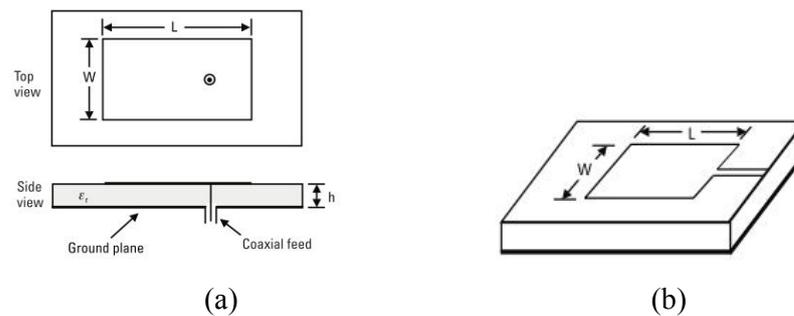
$$L_{eff} = \frac{c}{2f_o \sqrt{\epsilon_{reff}}} \quad (22)$$

Dengan demikian panjang patch (L) diberikan oleh :

$$L = L_{eff} + 2\Delta L \quad (23)$$

## 2.6 Teknik Pencatuan *Electromagnetically Coupled*

Pada dasarnya teknik pencatuan antenna mikrostrip dapat dibagi menjadi 2, yaitu pencatuan secara langsung (*direct coupling*) dan pencatuan secara tidak langsung (*electromagnetic coupling*).



**Gambar 2.4 (a) Pencatuan secara Langsung b. Mikrostrip Line**

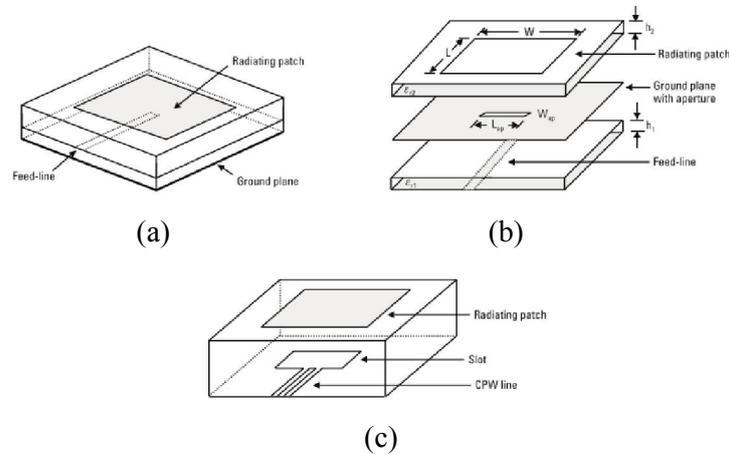
### a. Pencatuan Secara Langsung (*Direct Coupling*)

Pencatuan secara langsung menggunakan teknik *probe coaxial* atau dengan menggunakan mikrostrip *line*. Pada teknik pencatuan *probe coaxial*, konduktor pusat dari konektor *coaxial* langsung dihubungkan dengan *patch* antenna dengan cara disolder. Keuntungan dari pencatuan ini adalah penempatan konektor bisa dimana saja pada *patch* untuk mencocokkan dengan impedansi masukannya. Selain itu, dengan dihubungkan secara langsung maka kopling catuan dengan *patch* bisa diminimalisasi. Kerugiannya adalah bahwa lubang harus dibor di substrat dan ada konektor yang keluar dari *ground*, sehingga antenna tidak sepenuhnya planar, pengaturan posisi konektor ini membuat konfigurasi menjadi tidak simetris

Sedangkan pada teknik pencatuan mikrostrip *line* (gambar 2.5b), *patch* dapat *etching* pada substrat yang sama sehingga struktur antenna sepenuhnya planar. Kerugiannya adalah radiasi dari mikrostrip line menyebabkan peningkatan *cross-planar*,

kisaran gelombang mm, ukuran *line* akan sebanding dengan ukuran patch, yang menyebabkan peningkatan radiasi yang tidak diinginkan.

Kelemahan dari pencatutan secara langsung adalah sangat sulit jika akan dipabrikasi secara array dan bandwidth yang dihasilkan sangat sempit.



**Gambar 2.5 Pencatutan secara tidak Langsung a. *Proximity Coupling* b. *Aperture Coupled* c. *Coplanar Waveguide (CPW)***

**b. Pencatutan Secara Tidak langsung (*Electromagnetic coupling*)**

Teknik pencatutan secara tidak langsung menggunakan *proximity coupling*, *aperture coupled* dan *coplanar waveguide* (CPW), dimana tidak ada kontak langsung antara feed line dan patch. (Gambar 2.6)

Teknik pencatutan *proximity coupling*, dan *aperture coupled* dapat menghasilkan *bandwidth* yang lebih lebar dibandingkan dengan menggunakan teknik pencatutan secara langsung. Konfigurasi dari teknik pencatutan jenis ini adalah dengan menggunakan dua lapisan substrat.

Teknik pencatutan *proximity coupling* menggunakan saluran mikrostrip sebagai pencatu, jika saluran terdapat pada permukaan yang sama dengan *patch* dan terhubung secara langsung dengan patch pada salah satu tepinya maka pendekatan ini biasanya tidak memiliki kelebihan dibandingkan dengan pencatutan secara langsung. Tapi jika saluran diletakkan pada posisi yang lebih rendah dari patch atau dibawah patch, dimana pada substrate pertama sisi atas adalah *patch* peradiasi dari antenna, dan sisi bawahnya tidak terdapat *ground*. Sedangkan pada substrat kedua sisi atasnya adalah *line* pencatu dan pada

lapisan bawahnya adalah *ground* maka mekanisme penggandengan yang timbul akan menjadi sangat kuat. Besar penggandengan tergantung dari dua faktor, yaitu jarak  $s$  dan lebar *patch*  $W$ . Penggandengan akan meningkat ketika jarak  $s$  bertambah dan mencapai nilai maksimum ketika  $s=L/2$  (untuk *patch* persegi)

Beberapa keuntungan menggunakan teknik pencatuan *aperture coupled* (penggandengan celah) antara lain adalah *bandwidth* lebih lebar dan mempunyai tingkat isolasi antara antenna dan saluran transmisi yang lebih baik. Dengan teknik pencatuan ini, memungkinkan antenna mikrostrip dan saluran transmisi dioptimasi secara terpisah dengan menggunakan bahan substrat yang berbeda.

Konfigurasi dasar dari sebuah antenna mikrostrip yang terhubung secara *aperture coupled* (gambar 2.6b). Susunan antenna terdiri atas dua buah atau lebih substrat dielektrik, di mana elemen peradiasi berada pada permukaan atas dari substrat dielektrik bagian atas sedangkan saluran transmisi berada pada permukaan bawah dari substrat dielektrik bagian bawah. Elemen peradiasi dan saluran transmisi dipisahkan oleh bidang pentanahan dan digandeng (*coupled*) dengan sebuah celah (*slot* atau *aperture*) pada bidang pentanahan yang disisipkan di antara keduanya. Impedansi *matching* dari antenna dapat dicapai dengan mengontrol impedansi karakteristik saluran pencatu dan dengan mengatur dimensi dan posisi dari celah tersebut.

*Coplanar waveguide* (CPW) mempunyai keunggulan, yaitu kemudahan untuk merealisasikan hubungan seri maupun parallel baik pada komponen pasif maupun komponen aktif. Disamping itu karakteristik impedansinya dapat dikontrol dengan mengkombinasikan *line width* (lebar konduktor) dan *gap width* (lebar celah) dari saluran CPW tersebut. Dengan cara ini rugi-rugi ohmic dari saluran CPW dapat dikurangi secara proposional.

## **2.7 Saluran Transmisi**

### **2.7.1 Saluran Mikrostrip**

Saluran transmisi antenna mikrostrip tersusun dari dua konduktor, yaitu sebuah garis (strip) dengan lebar saluran mikrostrip ( $W$ ) dan bidang pentanahan, keduanya dipisahkan oleh suatu substrat yang memiliki konstanta dielektrik relative  $\epsilon_r$  dengan tinggi  $h$ . Parameter utama yang penting untuk diketahui pada suatu saluran transmisi adalah

impedansi karakteristiknya  $Z_0$  dari saluran mikrostrip ditentukan oleh lebar strip ( $W$ ) dan tinggi substrat ( $h$ ). rumus untuk menghitung lebar saluran mikrostrip adalah :

$$W = \frac{2h}{\pi} \left\{ b - 1 - \ln(sB - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} \left[ \ln(B - 1) + 0.39 - \frac{0.61}{\epsilon_r} \right] \right\} \quad (24)$$

Dengan  $\epsilon_r$  adalah konstanta dielektrik relative dan :

$$A = \frac{Z_0}{60} \left\{ \frac{\epsilon_r + 1}{2} \right\}^{\frac{1}{2}} + \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1} \left\{ 0.23 + \frac{0.11}{\epsilon_r} \right\} \quad (25)$$

$$B = \frac{60\pi^2}{Z_0 \sqrt{\epsilon_r}} \quad (26)$$

### 2.7.2 Karakteristik Saluran Mikrostrip untuk $w/h < 1$

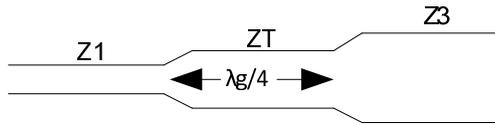
Konstanta dielektrik efektif :

$$\epsilon_{reff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left( \frac{1}{\sqrt{1 + 12h/W}} + 0.04 \left[ 1 - \frac{W}{h} \right]^2 \right) \quad (27)$$

## 2.8 Impedansi Matching

Perancangan suatu antenna tidak terlepas dari penyesuaian impedansi (*impedance matching*). Suatu jalur transmisi dikatakan *matched* apabila karakteristik impedansi  $Z_0 = Z_L$  , yang berarti tidak ada refleksi yang terjadi pada ujung saluran beban.  $Z_0$  merupakan karakteristik impedansi suatu saluran transmisi dan biasanya bernilai 50 ohm. Sedangkan  $Z_L$  merupakan impedansi beban. Beban dapat berupa antenna atau rangkaian lain yang mempunyai impedansi ekuivalen  $Z_L$ . Karena kegunaan utama saluran transmisi adalah untuk mentransfer daya secara sempurna, maka beban yang *matched* sangat diperlukan.

Metode pencatuan secara langsung sulit untuk mencapai kondisi *matching*. Oleh karena itu dibutuhkan suatu cara untuk mendapatkan kondisi yang *matching*, yaitu dengan cara menambahkan transformator  $\lambda/4$  (Gambar 2.7)



**Gambar 2.6 Transformator  $\lambda/4$**

Transformator  $\lambda/4$  adalah suatu teknik *impedance matching* dengan cara memberikan saluran transmisi dengan impedansi  $Z_T$  di antara dua saluran transmisi yang tidak match. Panjang saluran transmisi transformator  $\lambda/4$  ini adalah sebesar  $l = \frac{1}{4}\lambda_g$ , dimana  $\lambda_g$  merupakan panjang gelombang pada bahan dielektrik yang besarnya dapat dihitung dengan persamaan :

$$\lambda_g = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (28)$$

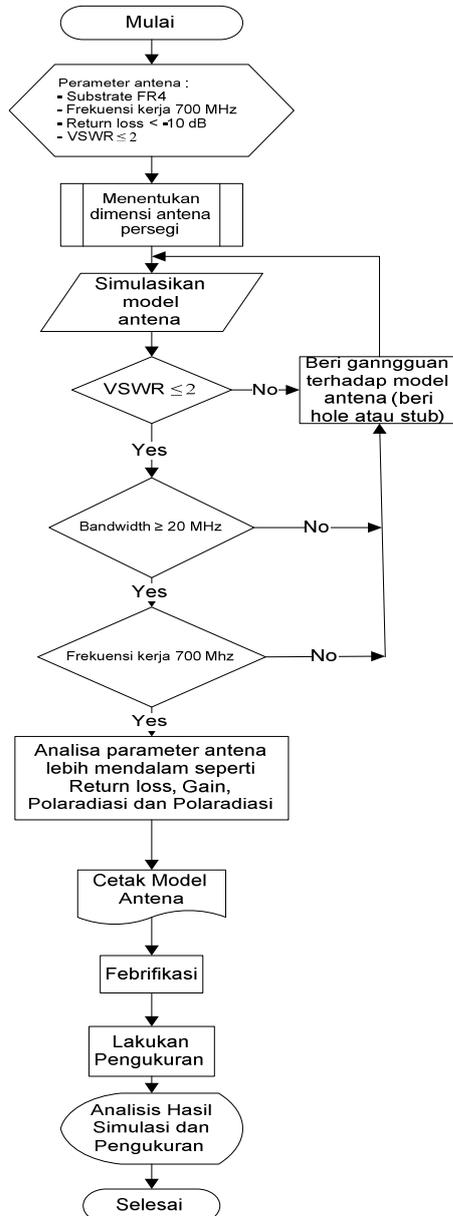
Dimana  $\lambda_0$  adalah panjang gelombang pada ruang bebas. Nilai impedansi  $Z_T$  dapat dihitung dengan menggunakan persamaan

$$Z_T = \sqrt{z_1 z_3} \quad (29)$$

## BAB III PERANCANGAN ANTENA MIKROSTRIP

### 3.1 Diagram Alir Perancangan Antena

Tahapan perancangan antena mikrostrip dapat diperlihatkan pada diagram alir (*flowchart*) dibawah ini.



**Gambar 3.1 Diagram Alir Perancangan**

Pada penelitian ini akan dirancang dan difabrikasi antenna mikrostrip yang berbentuk persegi untuk aplikasi LTE yang dengan frekuensi kerja 700 MHz dengan bandwidth 20 MHz. Penelitian ini dibagi ke dalam dua bagian yaitu perancangan antenna dan fabrikasi antenna. Perancangan dilakukan melalui beberapa tahap yaitu penentuan spesifikasi substrate yang digunakan, penentuan dimensi ground, substrat dan patch antenna. Setelah didapatkan dimensi perancangan, kemudian dilakukan simulasi menggunakan software CST. Tujuan disimulasikan adalah untuk menemukan dimensi perancangan yang menghasilkan karakteristik atau kinerja antenna sesuai atau mendekati parameter yang direncanakan. Tahapan terakhir baru dilakukan pembuatan prototype antenna yang selanjutnya dilakukan pengukuran terhadap antenna untuk mengetahui apakah antenna mempunyai performa yang baik dengan berpedoman pada standarisasi kinerja antenna.

### 3.2 Perancangan Antena

Dalam perancangan dan fabrikasi antenna dibutuhkan perangkat yang akan mendukung input, proses dan output yaitu berupa perangkat lunak (*software*) dan perangkat keras (*hardware*). Perangkat lunak digunakan untuk mengetahui dimensi antenna yang sesuai dengan karakteristik yang direncanakan, sedangkan perangkat keras digunakan untuk fabrikasi dan pengukuran antenna.

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

1. Substrate dielektrik F4 sebagai bahan antenna
2. *Network Analyzer*

Alat ini digunakan untuk pengukuran port tunggal (mengukur VSWR, frekuensi resonansi, impedansi masukan, return loss, dan bandwidth)

3. Conector SMA 50 ohm
4. Kabel coaxial 50 ohm

Karakteristik antenna yang ingin dihasilkan dari rancang ini adalah

1. Frekuensi kerja 700 MHz
2.  $VSWR \leq 2$
3. Return loss  $\leq -10$  dB
4. Bandwidth  $\geq 20$  MHz

Setiap substrat memiliki parameter yang berbeda-beda. Pada perancangan ini jenis substrat yang digunakan adalah FR4 dengan parameter yang tertera pada tabel 3.1.

**Tabel 3.1 Parameter substrat FR4**

Parameter	Nilai
Jenis Substrat	FR4
Konstanta dielektrik relative ( $\epsilon_r$ )	4.3
Tebal dielektrik (thickness)	1.6 mm
Rugi Tangensial ( $\tan \delta$ )	0.02
Tebal Elemen Penghantar	0.035 mm

Ketebalan substrat akan mempengaruhi bandwidth dan gelombang permukaan (*surface wave*). Semakin kecil tebal substrat maka efek gelombang permukaan semakin kecil. Dengan mengecilnya gelombang permukaan diharapkan dapat meningkatkan kinerja antenna seperti; gain, efisiensi, dan *bandwidth*. Konstanta dielektri relative akan mempengaruhi terjadinya gelombang permukaan. Namun dengan semakin kecilnya konstanta dielektrik, maka ukuran *patch* dan saluran pencatu mikrostrip yang dibutuhkan akan makin luas, karena ukuran *patch* dan saluran mikrostrip berbanding terbalik dengan konstanta dielektrik.

Bentuk dan ukuran *patch* elemen dapat diubah-ubah dengan cara menambahkan beban seperti stub, notch, shorting-pin dan kapasitor, slot pada *patch* antenna, hingga ditemukan nilai-nilai untuk parameter yang direncanakan.

### 3.3 Perancangan Saluran Pencatu Mikrostrip

Teknik pencatuan yang digunakan pada perancangan ini adalah *proxically coupled*, dimana substrat memiliki 2 lapisan *patch*. Lapisan atas adalah *patch* antenna dan saluran pencatu sedangkan lapisan bawah untuk ground. Teori mengenai saluran pencatu mikrostrip telah dijelaskan pada sub bab 2.5.

Pada saat pengukuran, pencatu antenna mikrostrip akan dihubungkan dengan konektor SMA 50Ω. Dengan demikian dalam perancangan pencatu antenna mikrostrip impedansi masukannya ( $Z_{in}$ ) 50 Ω.

### 3.4 Computer Simulation Teknologi (CST) Studio Suite 2012

CST adalah software yang dapat digunakan untuk mensimulasikan semua jenis medan elektromagnetik dan aplikasi yang terkait serta dapat juga mengintegrasikan berbagai macam metode simulasi. Menu-menu yang ada pada CST Studio Suite adalah :

- a. CST Microwave Studio adalah software analysis dan simulasi medan Elektromagnetic 3D untuk frekuensi tinggi dan dapat memecahkan operasi berbeda baik domain frekuensi maupun domain waktu
- b. CST EM Studio adalah tool untuk simulasi elektromagnetik 3D untuk frekuensi rendah dan statis
- c. CST Particle Studio adalah khusus untuk simulasi 3D dari medan elektromagnetik yang berintegrasi dengan perubahan partikel.
- d. CST Design Studio adalah skematik tool untuk system level simulasi
- e. CST PCB Studio adalah tool untuk mendeteksi dan simulasi kuat sinyal dan integritas efek EMC dan EMI pada PCB
- f. CST Cable Studio adalah alat untuk menganalisis SI, EMC dan EMI effect dalam system kabel termasuk single wires, twisted pairs sebaik menggunakan kabel yang kompleks.
- g. CST Mphysics Studio adalah tool untuk memecahkan masalah panas pada mekanik
- h. CST Microstripes adalah tool untuk simulasi performa 3D EMC/EMI dalam domain waktu

Dalam simulasi ini digunakan CST Microwave Studio untuk membuat project antenna, mensimulasikan dengan *Time domain Solver* untuk mendapatkan nilai *return loss*, *VSWR* dan *bandwidth* hingga didapatkan bentuk dan ukuran antenna yang menghasilkan nilai-nilai parameter yang direncanakan.

## BAB IV HASIL PERHITUNGAN, SIMULASI, PENGUKURAN DAN ANALISIS ANTENA

### 4.1 Hasil Perhitungan Dimensi Antena

*Patch* antenna yang dirancang berbentuk persegi panjang dengan dimensi sebagai berikut.

- Lebar patch (W)

frekuensi kerja 700 MHz,  $h = 1.6$  mm,  $\epsilon_r = 4.3$

$$\lambda_o = \frac{c}{f_r} = \frac{3 \times 10^8}{700 \times 10^6} = 0.428571 \text{ m} = 428.57 \text{ mm}$$

$$W = \sqrt{\frac{h\lambda_o}{\sqrt{\epsilon_r}}} \left[ \ln \left( \frac{\lambda_o}{h\sqrt{\epsilon_r}} \right) - 1 \right]$$

$$W = \sqrt{\frac{1.6 \times 428.57}{\sqrt{4.3}}} \left[ \ln \left( \frac{428.57}{1.6\sqrt{4.3}} \right) - 1 \right]$$

$$W = 70.2174$$

$$W = 70 \text{ mm}$$

$$u = \frac{W}{h} = \frac{70}{1.6} = 43.75 = 43.8$$

- $\epsilon_{reff}$  adalah konstanta dielektrik relative yang dirumuskan sebagai

$$\epsilon_{reff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left( 1 + \frac{10}{u} \right)^{-0.54}$$

$$\epsilon_{reff} = \frac{4.3 + 1}{2} + \frac{4.3 - 1}{2} \left( 1 + \frac{10}{43.8} \right)^{-0.54}$$

$$\epsilon_{reff} = 3.8$$

- Untuk menentukan panjang dari L ( $\Delta L$ ) tersebut dirumuskan dengan [9][10]

$$\Delta L = 0.412h \frac{(\epsilon_{reff} + 0.3)(u + 0.264)}{(\epsilon_{reff} - 0.258)(u + 0.8)}$$

$$\Delta L = 0.412(1.6) \frac{(3.8 + 0.3)(43.8 + 0.264)}{(3.8 - 0.258)(43.8 + 0.8)}$$

$$\Delta L = 0.7536 \text{ mm}$$

- $L_{eff}$  merupakan panjang patch efektif yang dapat dirumuskan dengan :

$$L_{eff} = \frac{c}{2f_0\sqrt{\epsilon_{reff}}}$$

$$L_{eff} = \frac{3 \times 10^8}{2 \times 700 \times 10^6 \sqrt{3.8}}$$

$$L_{eff} = 0.1099 \text{ m} = 110 \text{ mm}$$

- Dengan demikian panjang patch (L) diberikan oleh :

$$L = L_{eff} + 2\Delta L$$

$$L = 110 + (2 \times 0.734) = 111.507 = 111 \text{ mm}$$

Dari hasil perhitungan menggunakan rumus diperoleh dimensi antenna mikrostrip adalah  $W = 70 \text{ mm}$ ,  $L = 111 \text{ mm}$  dan  $h = 1.67$  (tebal substrate + copper) antenna

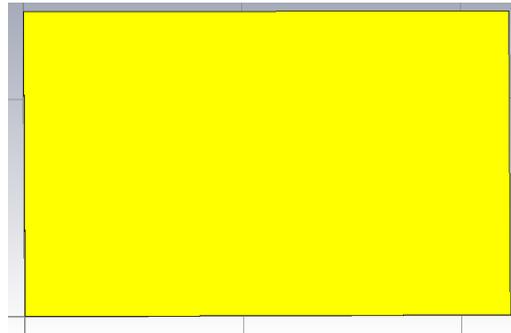
#### 4.2 Proses Simulasi Antena

Frekuensi kerja 700 MHz, jenis substrate FR4 dengan dimensi substrat  $111 \times 70 \times 1.67 \text{ mm}^3$ , dan impedansi saluran pencatu  $50 \Omega$  menjadi input untuk proses simulasi dengan program CST *Microwave studio* menggunakan *analisis Time Domain Solver* (TDS), hingga ditemukan dimensi yang menghasilkan nilai *return loss*  $\leq -10$  dB dan *VSWR*  $\leq 2$ . Dimensi dengan nilai parameter dan *VSWR* yang sudah standar tersebut kemudian dicetak pada PCB FR4 dengan cara *dietching*. Antena yang sudah dicetak diukur parameternya dengan menggunakan alat ukur *vector network analyzer*

(VNA) untuk melihat nilai parameter return loss (S11) dan bandwidth dari rancangan antenna.

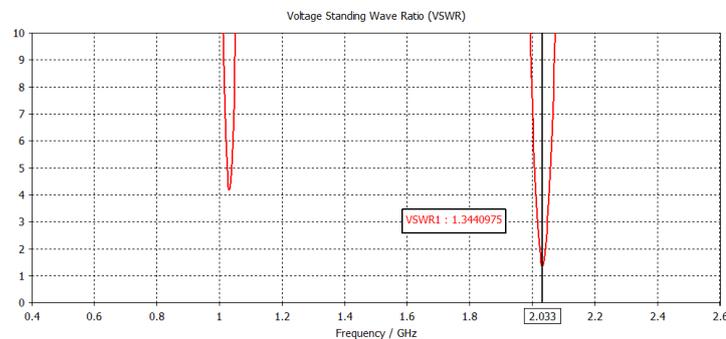
Dimensi antenna yang akan dijadikan sebagai inputan awal simulasi dapat dilihat pada gambar 4.1 adalah :

- Substrate 111x70x 1.6 mm
- Ground 111x70x 0.035 mm
- Patch 111 x70x 0.035 mm

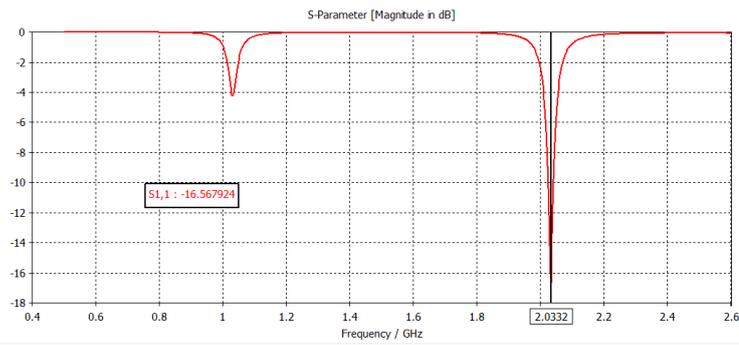


**Gambar 4.1 Simulasi Bentuk Awal Antena Mikrostrip**

Dari gambar simulasi awal antenna, diperoleh nilai VSWR = 1.344. (Gambar 4.2), dan return loss -16.57 dB (Gambar 4.3) pada frekuensi kerja 2.033 GHz. Walaupun nilai VSWR dan return loss sudah sesuai dengan rencana tetapi frekuensi kerjanya belum berada pada frekuensi kerja yang diinginkan yaitu 700 MHz

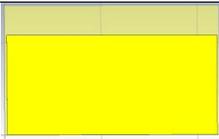
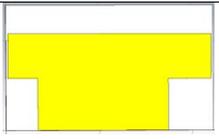
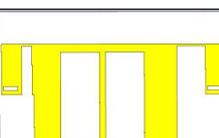
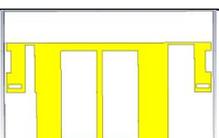


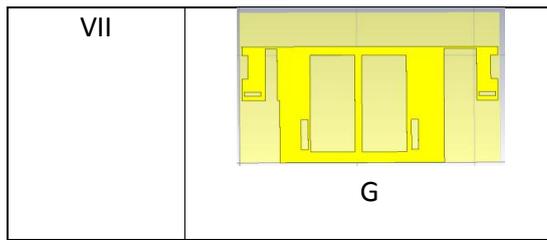
**Gambar 4.2 VSWR Hasil Simulasi Awal**



**Gambar 4.3 Return Loss (dB) Hasil Simulasi Awal**

Langkah selanjutnya perlu dilakukan perubahan terhadap ukuran patch awal dengan cara memperkecil ukuran W maupun L maupun merubah bentuk patch yang bisa dilakukan dengan memberikan slot dan notch sampai ditemukan nilai VSWR, return loss dan frekuensi kerja yang direncanakan.

Gangguan ke	Perubahan bentuk antenna	Gangguan ke	Perubahan bentuk antenna
I	 a	II	 b
III	 c	IV	 d
V	 e	VI	 f



**Gambar 4.4 Perubahan Bentuk Antena**

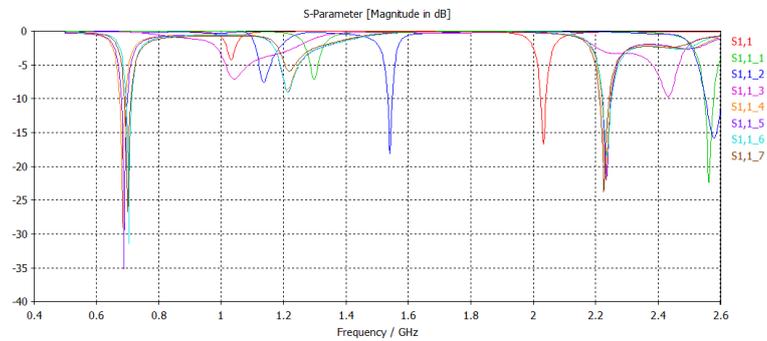
Gambar perubahan ukuran dan bentuk patch antena dapat dilihat pada gambar 4.4. Sedangkan perubahan nilai *return loss*, VSWR dan frekuensi kerja berdasarkan perubahan ukuran dan bentuknya dapat dilihat pada tabel 4.1.

Perubahan awal ke bentuk I dan II diharapkan nilai VSWR dan return loss semakin mengecil agar nilai bandwidth lebih lebar. Pada perubahan III dan IV diharapkan agar frekuensi kerja menjadi lebih kecil, Perubahan V dan VI agar frekuensi bergeser ke kanan mendekati 700 MHz. Perubahan VII frekuensi kerja berada pada posisi 700 MHz.

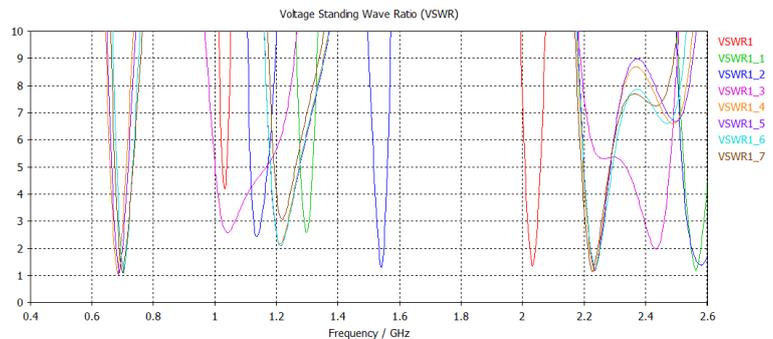
**Tabel 4.1 Perubahan Nilai-nilai Parameter Antena**

Bentuk	VSWR	Retutn Loss (dB)	Bandwidth (MHz)	Frekuensi Kerja (GHz)
Awal	4.19 1.34	-4.23 -16.67	- 18.2 MHz	1.03 2.033
Perubahan I	2.58 1.16	-7.12 -22.41	- 31.16	1.30 2.56
Perubahan II	2.43 1.28 1.38	-7.58 -18.10 -15.87	- 14.84 48	1.14 1.54 2.58
Perubahan III	2.58 1.97	-7.08 -9.69	- -	1.04 2.43
Perubahan IV	1.07 2.17 1.17	-29.07 -8.64 -22.01	19.25 - 28.76	0.684 1.21 2.23
Perubahan V	1.04 2.10 1.17	-35.19 -9.00 -21.95	19.33 - 28.39	0.689 1.21 2.23
Perubahan VI	1.05 2.10 1.27	-31.38 -9.00 -18.46	18.53 - 29.34	0.704 1.21 2.24
Perubahan VII	1.097 3.07 1.14	-26.71 -5.90 -23.83	20.81 - 30.03	0.700 1.22 2.23

Pada gambar 4.5 – 4.6 dapat dilihat perubahan grafik dari VSWR dan return loss hingga dihasilkan parameter-parameter yang direncanakan yaitu nilai return loss  $\leq -10$  dB,  $VSWR \leq 2$  dan frekuensi kerja  $\pm 700$  MHz serta bandwidth 20 MHz.



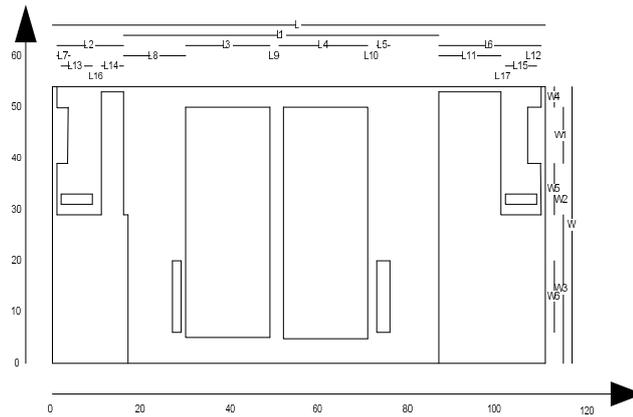
**Gambar 4.5 Perubahan Grafik Return Loss Pengaruh Perubahan Ukuran dan Bentuk Antenna**



**Gambar 4.6 Perubahan Grafik VSWR Pengaruh Perubahan Ukuran dan Bentuk Antenna**

### 4.3 Hasil Akhir Simulasi Rancangan Antena

Model akhir perencanaan antenna mikrostrip dapat dilihat pada gambar 4.7 dan ukuran patch antenna dapat dilihat pada tabel 3.2 yang memenuhi parameter-parameter yang direncanakan.

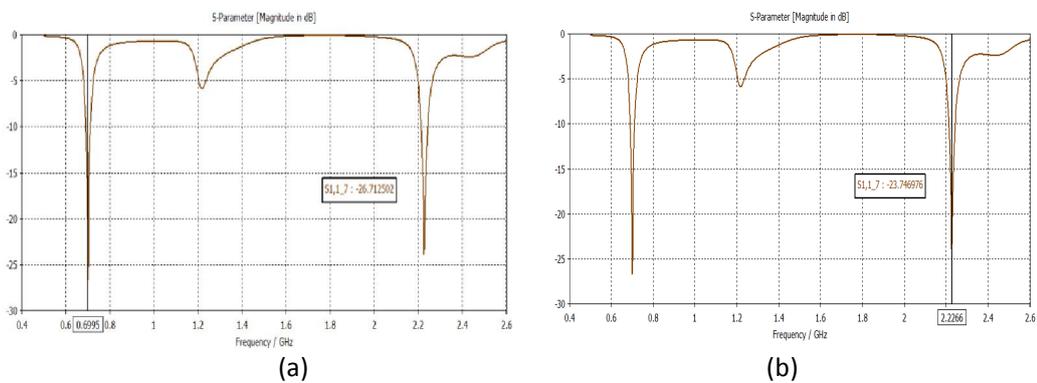


**Gambar 4.7 Hasil Akhir Perancangan Antena Mikrostrip**

**Tabel 4.2 Parameter Antena Mikrostrip**

Parameter	Panjang (mm)	Parameter	Panjang (mm)	Parameter	Panjang (mm)
W	54	L	111	L8=L11	14
W1	11	L1	55	L9=L10=L16	2
W2	2	L2	15	L13=L15	7
W3	29	L3	19	L14	5
W4	4	L4	20	L17	1
W5	10	L5=L7=L12	3		
W6	14	L6	23		

Ukuran *patch* yang dihasilkan dalam simulasi ini akan digunakan sebagai dimensi antena dalam perancangan antena mikrostrip.



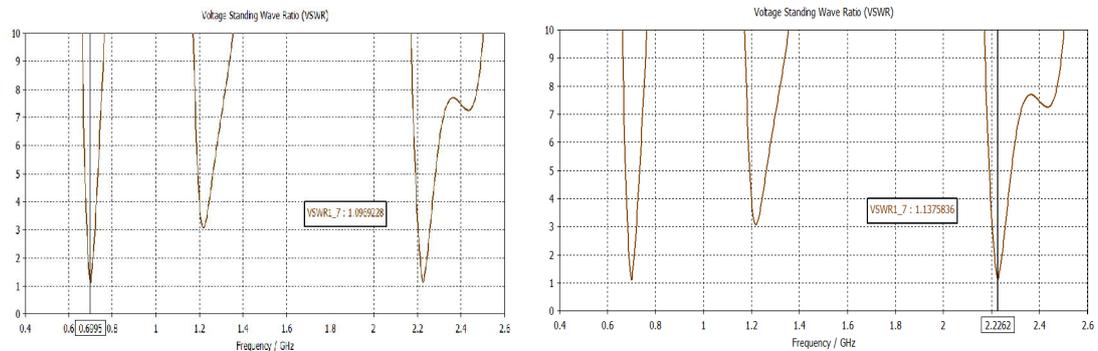
**Gambar 4.8 Return loss Rancangan Antena Mikrostrip**

Gambar 4.8 memperlihatkan nilai return loss yang dihasilkan dari bentuk antenna yang terakhir. Rancangan antenna dapat meresonansikan tiga frekuensi (triple-band), yang mana dari ketiga frekuensi hanya 2 frekuensi yang nilai return lossnya memenuhi standar  $\leq -10$  dB. Analisis yang dapat diambil dari hasil simulasi return loss di atas diperlihatkan pada table 4.2

**Tabel 4.3 Analisis return loss pada antenna mikrostrip**

Frekuensi (MHz)	Rentang Frekuensi (MHz)	Impedansi Bandwidth (MHz)	Return loss Terbaik
699.5	690.42-711.36	20.95 MHz	-26.71 dB
2,226.6	2,213-2,2429	29.95 MHz	-23.75 dB

Pada gambar 4.9 dapat dilihat nilai VSWR dari 3 frekuensi resonansi yang dihasilkan, juga hanya 2 frekuensi yang nilai VSWR  $\leq 2$  yaitu pada frekuensi 699.5 MHz dengan VSWR 1.096 dan 1.14 pada frekuensi 2,226.2 MHz.



**Gambar 4.9 VSWR Antena Mikrostrip**

Dari hasil simulasi diatas dapat dilihat bahwa antenna dapat bekerja baik pada frekuensi 699.5 MHz dan frekuensi 2,226.6 MHz serta parameter return loss, VSWR dan frekuensi kerja terpenuhi.

Selain parameter diatas perangkat lunak juga menghasilkan simulasi untuk impedansi masukan yang dapat dilihat pada gambar 4.10





(a) (b)  
**Gambar 4.12 Antena 2 Konektor pada Posisi 74mm**  
 a). Patch Antena b). Ground Antena



(a) (b)  
**Gambar 4.13 Antena 3 dengan posisi konektor pada 55.5 mm**  
 a). Patch Antena b). Ground antenna

#### 4.5 Hasil Pengukuran Rancangan Antena

Pengukuran antena dapat dilakukan setelah antena yang dirancang dicetak ke PCB dengan cara dietching. Tujuan pengukuran adalah untuk mengetahui karakteristik antena yang telah dibuat, sehingga bisa diketahui apakah parameter antenna tersebut sesuai dengan apa yang telah direncanakan untuk kemudian akan dibandingkan dengan hasil simulasi dari software CST. Hasil pengukuran antenna juga akan digunakan sebagai tolak ukur kelayakan antenna yang dirancang terhadap spesifikasi yang ditentukan sebelumnya dengan melakukan analisa atas penyimpangan yang terjadi.

Pengukuran yang dilakukan yaitu pengukuran port tunggal (return loss, VSWR, dan impedansi masukan), Pengukuran menggunakan alat ukur ZVL *Network Analyzer* 9kHz-13.6 GHz (gambar 4.14) di Laboratorium FT UMB.



**Gambar 4.14 Network Analyzer**

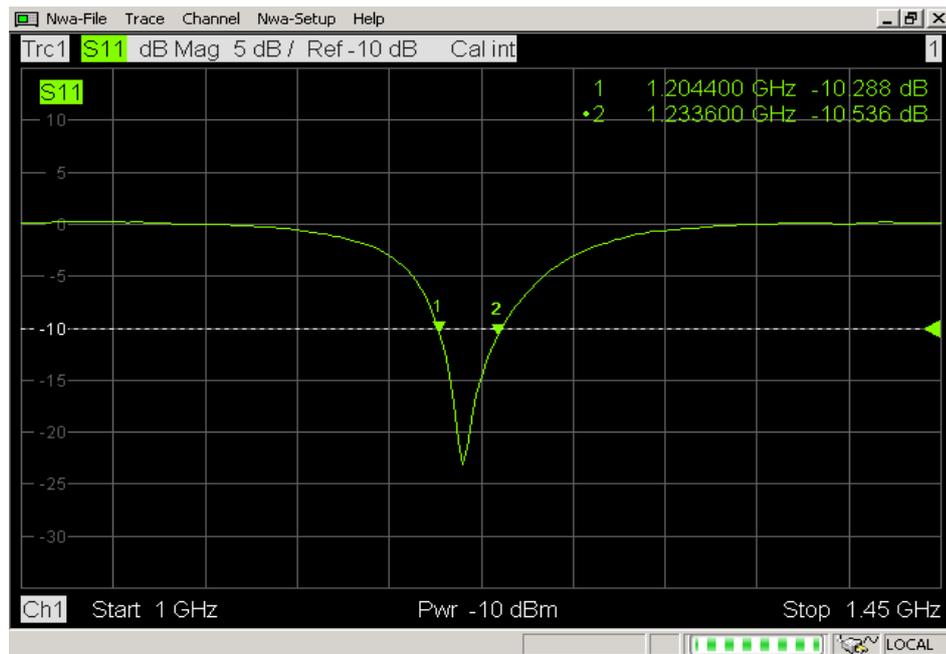
Pengukuran dilakukan pada 3 buah antenna dengan penempatan posisi konektor yang berbeda Adapun prosedur pengukuran pada *Vektor Network Analyzer* (VNA) adalah sebagai berikut :

1. Lakukan kalibrasi untuk validities pengukuran ,dengan cara membuat kondisi alat ukur sesuai standar.
2. Setelah kalibrasi selesai hubungkan konektor input 50 ohm pada antenna yang akan diukur pada probe yang terpasang di NA.
3. Untuk menampilkan rentang frekuensi sebagai pengamatan, gunakan tombol start pada frekuensi 0.3 GHz dan tombol stop pada frekuensi 2.6 GHz. Maka Network analyzer ini hanya dapat menampilkan frekuensi dari frekuensi 0.3 – 2.6 GHz.
4. Tampilkan parameter-parameter yang akan dilihat hasil pengukuran dengan menekantombol format tang terdapat pada NA. lalu pilih parameter satu persatu, tombol log mag untuk menampilkan grafik return loss terhadap frekuensi kerjanya, , tombol smithchart untuk menampilkan besar impedansi pada frekuensi kerjanya. Untuk pengukuran bandwidth dapat dilihat dari grafik return loss terhadap frekuensi kerjanya. Dalam grafik tersebut dapat

dilihat frekuensi kerja untuk return loss = -10 dB lalu nilai-nilai frekuensi tersebut nantinya disebut frekuensi atas dan frekuensi bawah. Kedua frekuensi tersebut dikurangkan sehingga didapat selisih yang disebut bandwidth.

5. Ambil gambar (foto) hasil pengukuran parameter-parameter tersebut

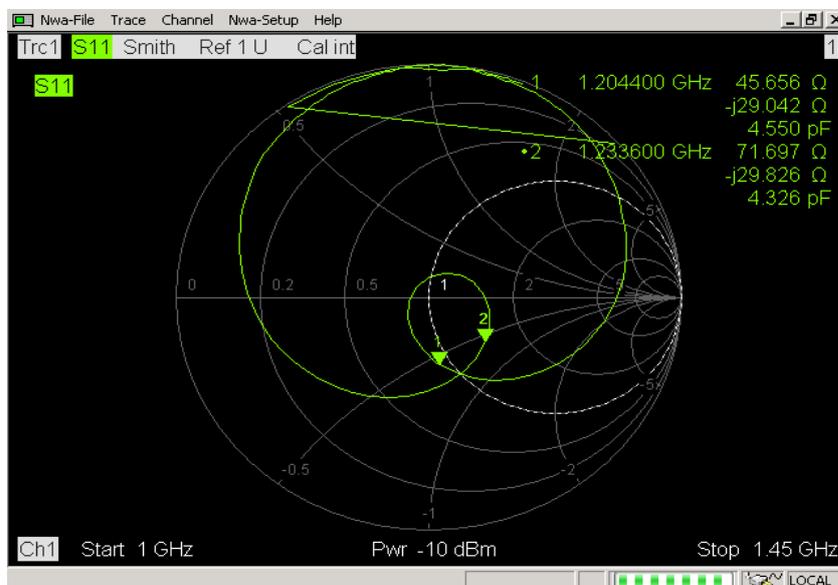
#### 4.5.1 Hasil Pengukuran Return Loss Antena 1



**Gambar 4.15 Grafik Return Loss Antenna 1**

Dari grafik antenna 1 dengan melihat rentang frekuensi 1 – 1.45 GHz dapat dilihat bahwa nilai **return loss berada pada posisi -23 dB**, **bandwidth 29 MHz** dapat diperoleh dengan melihat frekuensi yang berada di return loss -10 dB yaitu selisih dari frekuensi 1,204 – 1,233 MHz serta dengann **frekuensi kerja 1,218.5 MHz** yang merupakan pertengahan dari rentang frekuensi 1.204 – 1,233 MHz. Dari data tersebut dapat dihitung besar persentasi impedance bandwidth menggunakan persamaan 2.11, yang dituliskan kembali sebagai berikut :

$$BW = \frac{f_h - f_l}{f_c} \times 100\% = \frac{1,233 - 1,204}{1.218.5} \times 100\% = 2.38\%$$



**Gambar4.16 Smit Chart Antena 1**

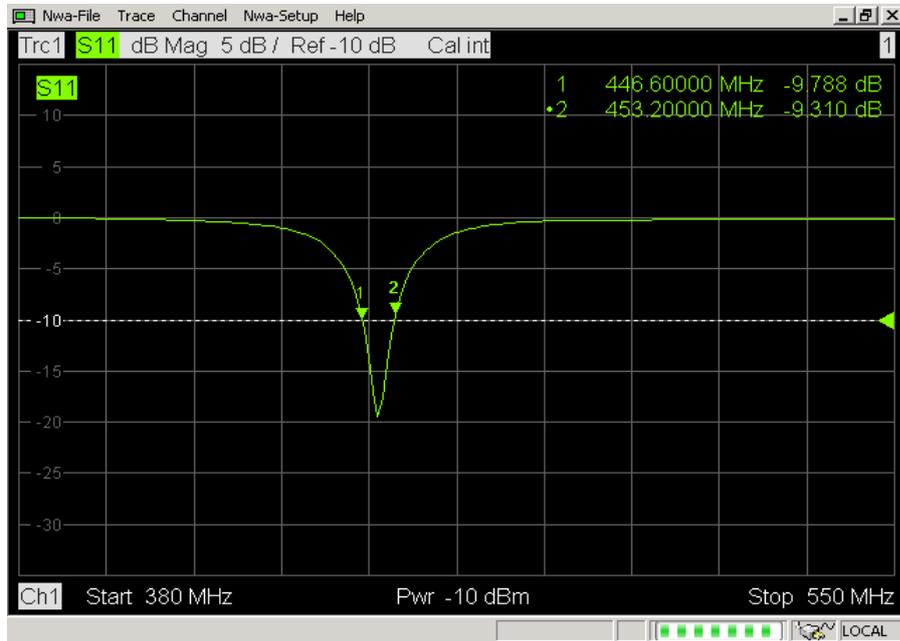
**Tabel 4.4 Hasil Pengukuran Antena 1**

No	Frekuensi (MHz)	S11	No	Frekuensi (MHz)	S11	No	Frekuensi (MHz)	S11
1	500	-5.31E-02	71	1,235	-9.97	141	1,970	4.86E-01
2	510	5.54E-02	72	1,245.50	-7.03	142	1,980.50	4.03E-01
3	521	7.82E-02	73	1,256	-4.94	143	1,991	3.44E-01
4	531.5	1.09E-01	74	1,266.50	-3.43	144	2,001.50	3.32E-01
5	542	1.23E-01	75	1,277	-2.34	145	2,012	1.47E-01
6	552.5	1.37E-01	76	1,287.50	-1.58	146	2,022.50	-5.04E-02
7	563	1.40E-01	77	1,298	-1.05	147	2,033	6.85E-02
8	573.5	1.28E-01	78	1,308.50	-6.49E-01	148	2,043.50	-1.54E-01
9	584	1.32E-01	79	1,319	-4.57E-01	149	2,054	-2.09E-01
10	594.5	7.00E-02	80	1,329.50	-2.86E-01	150	2,064.50	-4.43E-01
11	605	4.98E-02	81	1,340	-1.04E-01	151	2,075	-7.94E-01
12	615.5	-4.96E-02	82	1,350.50	1.36E-02	152	2,085.50	-1.43
13	626	-3.28E-01	83	1,361	7.61E-02	153	2,096	-2.34
14	636.5	-1.3	84	1,371.50	1.37E-01	154	2,106.50	-2.72
15	647	-6.96	85	1,382	1.87E-01	155	2,117	-2.25

No	Frekuensi (MHz)	S11	No	Frekuensi (MHz)	S11	No	Frekuensi (MHz)	S11
16	657.5	-4.75	86	1,392.50	1.31E-01	156	2,127.50	-1.45
17	668	-1.24	87	1,403	1.00E-01	157	2,138	-1.08
18	678.5	-5.14E-01	88	1,413.50	2.09E-01	158	2,148.50	-1.02
19	689	-2.30E-01	89	1,424	2.68E-01	159	2,159	-1.16
20	699.5	-1.26E-01	90	1,434.50	2.09E-01	160	2,169.50	-1.53
21	710	-9.66E-02	91	1,445	1.53E-01	161	2,180	-2
22	720.5	-7.18E-02	92	1,455.50	1.47E-01	162	2,190.50	-2.95
23	731	-1.38E-01	93	1,466	3.78E-02	163	2,201	-3.41
24	741.5	-2.53E-01	94	1,476.50	-7.71E-02	164	2,211.50	-4.67
25	752	-3.45E-01	95	1,487	-1.77E-01	165	2,222	-6.17
26	762.5	-4.67E-01	96	1,497.50	-3.28E-01	166	2,232.50	-8.01
27	773	-6.43E-01	97	1,508	-4.32E-01	167	2,243	-9.42
28	783.5	-9.61E-01	98	1,518.50	-8.06E-01	168	2,253.50	-9.27
29	794	-1.4	99	1,529	-1.14E+00	169	2,264	-7.15
30	804.5	-2.23	100	1,539.50	-1.64E+00	170	2,274.50	-5.66
31	815	-3.4	101	1,550	-2.44	171	2,285	-4.16
32	825.5	-4.49	102	1,560.50	-3.61	172	2,295.50	-3.29
33	836	-4.65	103	1,571	-4.98	173	2,306	-2.45
34	846.5	-3.66	104	1,581.50	-6.38	174	2,316.50	-1.88
35	857	-2.49	105	1,592	-7.25	175	2,327	-1.44
36	867.5	-1.6	106	1,602.50	-6.59	176	2,337.50	-1.17
37	878	-1	107	1,613	-5.03	177	2,348	-9.97E-01
38	888.5	-6.48E-01	108	1,623.50	-3.54	178	2,358.50	-8.40E-01
39	899	-3.71E-01	109	1,634	-2.39	179	2,369	-1.01
40	909.5	-2.01E-01	110	1,644.50	-1.72	180	2,379.50	-7.19E-01
41	920	-1.23E-01	111	1,655	-1.26	181	2,390	-7.33E-01
42	930.5	-1.94E-02	112	1,665.50	-7.69E-01	182	2,400.50	-7.34E-01
43	941	1.02E-01	113	1,676	-4.48E-01	183	2,411	-8.53E-01
44	951.5	1.59E-01	114	1,686.50	-2.95E-01	184	2,421.50	-9.75E-01
45	962	1.90E-01	115	1,697	-1.32E-01	185	2,432	-1.17
46	972.5	1.92E-01	116	1,707.50	5.75E-02	186	2,442.50	-1.51
47	983	2.48E-01	117	1,718	1.16E-01	187	2,453	-1.53
48	993.5	2.19E-01	118	1,728.50	1.60E-01	188	2,463.50	-1.94
49	1,004	2.18E-01	119	1,739	2.98E-01	189	2,474	-2.33
50	1,014.50	2.79E-01	120	1,749.50	3.76E-01	190	2,484.50	-2.98
51	1,025	3.16E-01	121	1,760	3.69E-01	191	2,495	-3.9
52	1,035.50	3.30E-01	122	1,770.50	3.60E-01	192	2,505.50	-5.12
53	1,046	2.77E-01	123	1,781	4.90E-01	193	2,516	-6.66
54	1,056.50	2.78E-01	124	1,791.50	5.62E-01	194	2,526.50	-9.14
55	1,067	1.59E-01	125	1,802	4.90E-01	195	2,537	-1.40E+01
56	1,077.50	1.27E-01	126	1,812.50	4.68E-01	196	2,547.50	-1.82E+01

No	Frekuensi (MHz)	S11	No	Frekuensi (MHz)	S11	No	Frekuensi (MHz)	S11
57	1,088	1.01E-01	127	1,823	5.26E-01	197	2,558	-1.64E+01
58	1,098.50	5.87E-02	128	1,833.50	5.56E-01	198	2,568.50	-1.27E+01
59	1,109	-3.96E-02	129	1,844	5.38E-01	199	2,579	-1.00E+01
60	1,119.50	-1.47E-01	130	1,854.50	5.91E-01	200	2,589.50	-8.87
61	1,130	-3.33E-01	131	1,865	5.74E-01	201	2,600	-8.4
62	1,140.50	-6.26E-01	132	1,875.50	4.06E-01			
63	1,151	-9.60E-01	133	1,886	5.10E-01			
64	1,161.50	-1.42	134	1,896.50	5.37E-01			
65	1,172	-2.1	135	1,907	5.66E-01			
66	1,182.50	-3.27	136	1,917.50	5.48E-01			
67	1,193	-5.38	137	1,928	5.27E-01			
68	1,203.50	-9.76	138	1,938.50	4.50E-01			
69	1,214	-2.13E+01	139	1,949	4.07E-01			
70	1,224.50	-1.49E+01	140	1,959.50	4.51E-01			

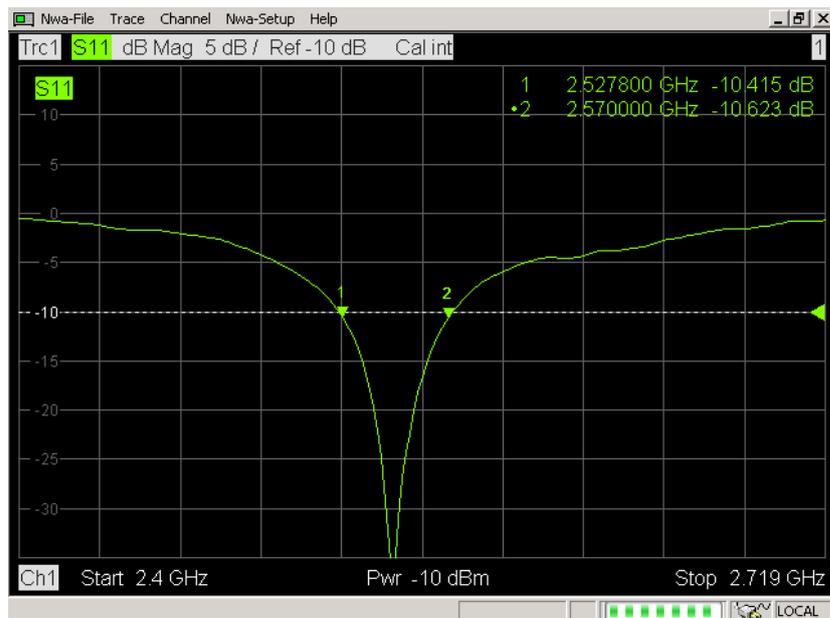
#### 4.5.2 Hasil pengukuran return loss antenna 2



Gambar 4.17 Grafik Return Loss Antena 2a

Dari grafik antenna 2a dengan melihat band frekuensi 380 – 550 MHz **return loss berada pada posisi -19 dB, bandwidth 6.6 MHz** dapat diperoleh dari selisih frekuensi 446.6 – 453.2 MHz yang berada pada posisi return loss -10 dB serta frekuensi kerja berada pada **frekuensi 449.9 MHz**. Dari data tersebut dapat dihitung besar persentasi impedance bandwidth sebagai berikut :

$$BW = \frac{f_h - f_l}{f_c} \times 100\% = \frac{453.2 - 446.6}{449.9} \times 100\% = 1.47\%$$



**Gambar 4.18 Grafik Return Loss Antenna 2b**

Dari grafik antenna 2b dengan melihat band frekuensi 2.4 – 2.719 GHz **return loss berada pada posisi -35 dB, bandwidth 42 MHz** dapat diperoleh dari selisih frekuensi 2,528 – 2,570 MHz yang berada pada posisi return loss -10dB serta frekuensi kerja berada pada **frekuensi 2,549 MHz**. Dari data tersebut dapat dihitung besar persentasi impedance bandwidth sebagai berikut :

$$BW = \frac{f_h - f_l}{f_c} \times 100\% = \frac{2,570 - 2,528}{2,549} \times 100\% = 1.65\%$$

**Tabel 4.5 Hasil Pengukuran Antena 2a**

No	Frekuensi (MHz)	S11	No	Frekuensi (MHz)	S11	No	Frekuensi (MHz)	S11
1	380	-1.64E-02	71	439.5	-2.64	141	499	-1.89E-01
2	381	-2.29E-03	72	440.4	-3.04	142	499.9	-1.81E-01
3	382	-1.67E-02	73	441.2	-3.45	143	500.7	-1.82E-01
4	382.6	-9.91E-03	74	442.1	-3.97	144	501.6	-1.80E-01
5	383.4	-9.03E-03	75	442.9	-4.63	145	502.4	-1.69E-01
6	384.3	-2.61E-02	76	443.8	-5.38	146	503.3	-1.56E-01
7	385.1	2.99E-03	77	444.6	-6.31	147	504.1	-1.42E-01
8	386	-8.53E-03	78	445.5	-7.48	148	505	-1.27E-01
9	386.8	-2.09E-02	79	446.3	-8.97	149	505.8	-1.29E-01
10	387.7	-2.68E-02	80	447.2	-1.09E+01	150	506.7	-1.09E-01
11	388.5	-3.23E-02	81	448	-1.34E+01	151	507.5	-9.98E-02
12	389.4	-1.94E-02	82	448.9	-1.66E+01	152	508.4	-9.24E-02
13	390.2	-2.53E-02	83	449.7	-1.93E+01	153	509.2	-6.23E-02
14	391.1	-2.28E-02	84	450.6	-1.77E+01	154	510.1	-6.34E-02
15	391.9	-3.61E-02	85	451.4	-1.43E+01	155	510.9	-6.75E-02
16	392.8	-3.82E-02	86	452.3	-1.16E+01	156	511.8	-6.04E-02
17	393.6	-4.83E-02	87	453.1	-9.50E+00	157	512.6	-6.32E-02
18	394.5	-3.83E-02	88	454	-7.87	158	513.5	-7.10E-02
19	395.3	-3.52E-02	89	454.8	-6.64	159	514.3	-6.19E-02
20	396.2	-4.97E-02	90	455.7	-5.65	160	515.2	-6.21E-02
21	397	-4.84E-02	91	456.5	-4.82	161	516	-7.67E-02
22	397.9	-5.03E-02	92	457.4	-4.16	162	516.9	-6.52E-02
23	398.7	-5.92E-02	93	458.2	-3.63	163	517.7	-5.91E-02
24	399.6	-6.70E-02	94	459.1	-3.18	164	518.6	-7.19E-02
25	400.4	-7.20E-02	95	460	-2.76	165	519.4	-6.58E-02
26	401.3	-9.22E-02	96	460.8	-2.47	166	520.3	-5.57E-02
27	402.1	-7.78E-02	97	461.6	-2.17	167	521.1	-5.61E-02
28	403	-9.20E-02	98	462.5	-1.94	168	522	-4.71E-02
29	403.8	-1.06E-01	99	463.3	-1.72	169	522.8	-7.77E-02
30	404.7	-1.03E-01	100	464.2	-1.54	170	523.7	-6.11E-02
31	405.5	-1.33E-01	101	465	-1.39	171	524.5	-7.18E-02
32	406.4	-1.18E-01	102	465.9	-1.24	172	525.4	-6.44E-02
33	407.2	-1.28E-01	103	466.7	-1.13	173	526.2	-7.28E-02
34	408.1	-1.36E-01	104	467.6	-1.02	174	527.1	-9.45E-02

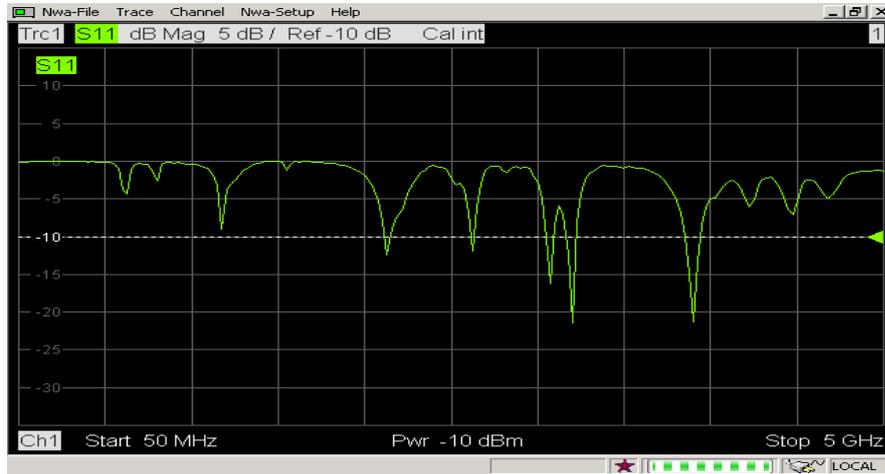
No	Frekuensi (MHz)	S11	No	Frekuensi (MHz)	S11	No	Frekuensi (MHz)	S11
35	408.9	-1.61E-01	105	468.4	-9.46E-01	175	527.9	-5.87E-02
36	409.8	-1.80E-01	106	469.3	-8.25E-01	176	528.8	-6.50E-02
37	410.6	-1.96E-01	107	470.1	-7.82E-01	177	529.6	-6.08E-02
38	411.5	-2.07E-01	108	471	-7.09E-01	178	530.5	-6.47E-02
39	412.3	-2.16E-01	109	471.8	-6.52E-01	179	531.3	-9.09E-02
40	413.2	-2.44E-01	110	472.7	-6.09E-01	180	532.2	-7.44E-02
41	414	-2.61E-01	111	473.5	-5.67E-01	181	533	-7.76E-02
42	414.9	-2.82E-01	112	474.4	-5.43E-01	182	533.9	-6.18E-02
43	415.7	-3.01E-01	113	475.2	-4.68E-01	183	534.7	-9.19E-02
44	416.6	-3.26E-01	114	476.1	-4.66E-01	184	535.6	-7.47E-02
45	417.4	-3.41E-01	115	476.9	-4.05E-01	185	536.4	-5.98E-02
46	418.3	-3.57E-01	116	477.8	-4.05E-01	186	537.3	-8.73E-02
47	419.1	-3.65E-01	117	478.6	-3.63E-01	187	538.1	-9.01E-02
48	420	-3.94E-01	118	479.5	-3.48E-01	188	539	-8.30E-02
49	420.8	-4.22E-01	119	480.3	-3.25E-01	189	539.8	-6.72E-02
50	421.7	-4.44E-01	120	481.2	-3.12 E-001	190	540.7	-6.43E-02
51	422.5	-4.67E-01	121	482	-2.94E-01	191	541.5	-6.71E-02
52	423.4	-4.91E-01	122	482.9	-2.79E-01	192	542.4	-7.99E-02
53	424.2	-5.30E-01	123	483.7	-2.51E-01	193	543.2	-7.12E-02
54	425.1	-5.61E-01	124	484.6	-2.43E-01	194	544.1	-5.90E-02
55	425.9	-6.07E-01	125	485.4	-2.23E-01	195	544.9	-7.56E-02
56	426.8	-6.47E-01	126	486.3	-2.30E-01	196	545.8	-8.60E-02
57	427.6	-6.85E-01	127	487.1	-2.33E-01	197	546.6	-7.66E-02
58	428.5	-7.43E-01	128	488	-2.26E-01	198	547.5	-8.39E-02
59	429.3	-7.98E-01	129	488.8	-2.35E-01	199	548.3	-5.72E-02
60	430.2	-8.74E-01	130	489.7	-2.27E-01	200	549.2	-5.80E-02
61	431	-9.46E-01	131	490.5	-2.27E-01	201	550	-8.94E-02
62	431.9	-1.20E+00	132	491.4	-2.31E-01			-7.27E-02
63	432.7	-1.13	133	492.2	-2.24E-01			
64	433.6	-1.24	134	493.1	-2.27E-01			
65	434.4	-1.36	135	493.9	-2.18E-01			
66	435.3	-1.52	136	494.8	-2.16E-01			
67	436.1	-1.67	137	495.6	-2.10E-01			
68	437	-1.86	138	496.5	-2.12E-01			
69	437.8	-2.09	139	497.3001	-1.98E-01			
70	438.7	-2.36	140	498.2				

**Tabel 4.6 Hasil Pengukuran Antena 2b**

No	Frekuensi (MHz)	S11	No	Frekuensi (MHz)	S11	No	Frekuensi (MHz)	S11
1	240	-3.10E-01	71	251.2	-5.90E+00	141	262.3	-4.17E+00
2	240.2	-3.18E-01	72	251.3	-6.19E+00	142	262.5	-4.06E+00
3	240	-3.21E-01	73	251.5	-6.48E+00	143	262.6	-3.92E+00
4	240.5	-3.25E-01	74	251.6	-6.79E+00	144	262.8	-3.78E+00
5	240.6	-3.60E-01	75	251.8	-7.14E+00	145	263	-3.66E+00
6	240.8	-3.96E-01	76	251.9	-7.52E+00	146	263.1	-3.62E+00
7	241	-4.36E-01	77	252.1	-7.95E+00	147	263.3	-3.62E+00
8	241.1	-4.73E-01	78	252.3	-8.38E+00	148	263.4	-3.57E+00
9	241.3	-5.09E-01	79	252.4	-8.88E+00	149	363.6	-3.54E+00
10	241.4	-5.44E-01	80	252.6	-9.39E+00	150	263.8	-3.51E+00
11	241.6	-5.69E-01	81	252.8	-9.96E+00	151	263.9	-3.46E+00
12	241.8	-5.83E-01	82	252.9	-1.06E+01	152	264.1	-3.40E+00
13	241.9	-6.27E-01	83	253.1	-1.14E+01	153	264.2	-3.34E+00
14	242.1	-6.59E-01	84	253.2	-1.23E+01	154	264.4	-3.24E+00
15	242.2	-6.74E-01	85	253.4	-1.35E+01	155	264.6	-3.16E+00
16	242.4	-6.96E-01	86	253.6	-1.48E+01	156	264.7	-3.07E+00
17	242.6	-7.31E-01	87	253.7	-1.63E+01	157	264.9	-2.97E+00
18	242.7	-7.45E-01	88	253.9	-1.79E+01	158	265	-2.86E+00
19	242.9	-7.74E-01	89	254	-1.99E+01	159	265.2	-2.74E+00
20	243	-8.11E-01	90	254.2	-2.26E+01	160	265.4	-2.60E+00
21	243.2	-8.87E-01	91	254.4	-2.62E+01	161	265.5	-2.47E+00
22	243.3	-9.73E-01	92	254.5	-3.14E+01	162	265.7	-2.40E+00
23	243.5	-1.04E+00	93	254.7	-4.28E+01	163	265.8	-2.30E+00
24	243.7	-1.11E+00	94	254.8	-3.47E+01	164	266	-2.23E+00
25	243.8	-1.16E+00	95	255	-2.83E+01	165	266.2	-2.14E+00
26	243.9	-1.21E+00	96	255.2	-2.51E+01	166	266.3	-2.06E+00
27	244.1	-1.25E+00	97	255.3	-2.27E+01	167	266.5	-1.98E+00
28	244.3	-1.27E+00	98	255.5	-2.10E+01	168	266.6	-1.91E+00
29	244.5	-1.27E+00	99	255.6	-1.88E+01	169	266.8	-1.85E+00
30	244.6	-1.28E+00	100	255.8	-1.71E+01	170	267	-1.76E+00
31	244.8	-1.27E+00	101	256	-1.56E+01	171	267.1	-1.70E+00
32	244.9	-1.27E+00	102	256.1	-1.45E+01	172	267.3	-1.62E+00
33	245.1	-1.27E+00	103	256.3	-1.34E+01	173	267.4	-1.57E+00
34	245.3	-1.28E+00	104	256.4	-1.26E+01	174	267.6	-1.49E+00
35	245.4	-1.29E+00	105	256.6	-1.18E+01	175	267.8	-1.42E+00
36	245.6	-1.33E+00	106	256.7	-1.11E+01	176	267.9	-1.37E+00
37	245.7	-1.40E+00	107	256.9	-1.05E+01	177	268.1	-1.34E+00
38	245.9	-1.48E+00	108	257.1	-9.89E+00	178	268.2	-1.33E+00

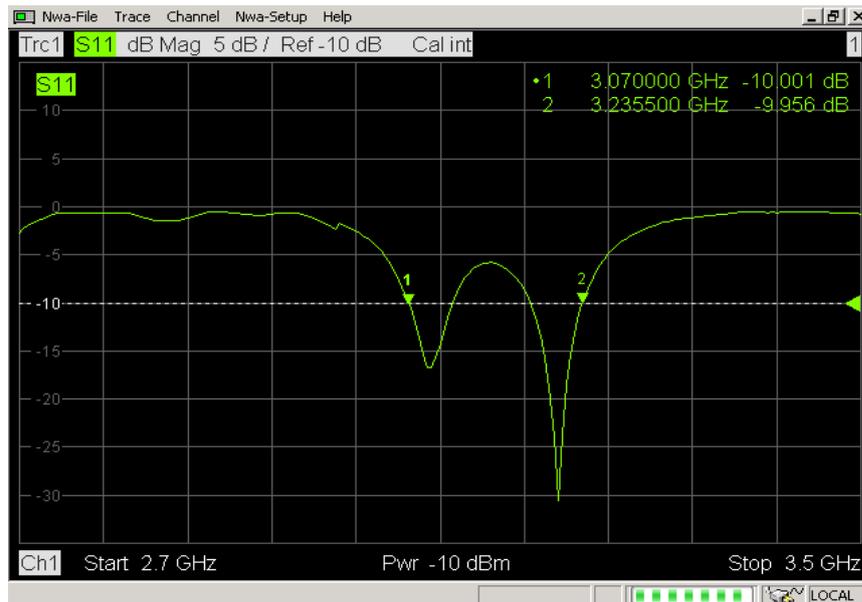
No	Frekuensi (MHz)	S11	No	Frekuensi (MHz)	S11	No	Frekuensi (MHz)	S11
39	246.1	-1.53E+00	109	257.2	-9.34E+00	179	268.4	-1.33E+00
40	246.2	-1.58E+00	110	257.4	-8.86E+00	180	268.6	-1.33E+00
41	246.4	-1.65E+00	111	257.5	-8.40E+00	181	268.7	-1.33E+00
42	246.5	-1.70E+00	112	257.7	-7.96E+00	182	268.9	-1.30E+00
43	246.7	-1.76E+00	113	257.9	-7.57E+00	183	269	-1.26E+00
44	246.9	-1.80E+00	114	258	-7.19E+00	184	269.2	-1.21E+00
45	247	-1.85E+00	115	258.2	-6.91E+00	185	269.3	-1.17E+00
46	247.1	-1.90E+00	116	258.3	-6.65E+00	186	269.5	-1.09E+00
47	247.3	-1.97E+00	117	258.5	-6.41E+00	187	269.7	-1.03E+00
48	247.5	-2.02E+00	118	258.7	-6.21E+00	188	269.8	-9.37E-01
49	247.7	-2.09E+00	119	258.8	-5.98E+00	189	270	-8.39E-01
50	247.8	-2.17E+00	120	259	-5.80E+00	190	270.1	-7.76E-01
51	248	-2.24E+00	121	259.1	-5.63E+00	191	270.3	-6.82E-01
52	248.1	-2.36E+00	122	259.3	-5.47E+00	192	270.5	-6.31E-01
53	248.3	-2.49E+00	123	259.5	-5.31E+00	193	270.6	-6.03E-01
54	248.5	-2.64E+00	124	259.6	-5.16E+00	194	270.8	-5.88E-01
55	248.6	-2.79E+00	125	259.8	-5.01E+00	195	270.9	-5.84E-01
56	248.8	-2.92E+00	126	259.9	-4.88E+00	196	271.1	-5.74E-01
57	248.9	-3.08E+00	127	260.1	-4.74E+00	197	271.3	-5.54E-01
58	249.1	-3.21E+00	128	260.3	-4.61E+00	198	271.4	-5.47E-01
59	249.3	-3.37E+00	129	260.4	-4.51E+00	199	271.6	-5.33E-01
60	249.4	-3.53E+00	130	260.6	-4.41E+00	200	271.7	-5.08E-01
61	249.6	-3.70E+00	131	260.7	-4.36E+00	201	271.9	-5.05E-01
62	249.7	-3.88E+00	132	260.9	-4.32E+00			
63	249.9	-4.06E+00	133	261.1	-4.31E+00			
64	250	-4.25E+00	134	261.2	-4.33E+00			
65	250.2	-4.47E+00	135	261.4	-4.35E+00			
66	250.4	-4.69E+00	136	261.5	-4.35E+00			
67	250.5	-4.93E+00	137	261.7	-4.34E+00			
68	250.7	-5.14E+00	138	261.9	-4.36E+00			
69	250.8	-5.38E+00	139	262	-4.30E+00			
70	251	-5.61E+00	140	262.2	-4.24E+00			

### 4.5.3 Hasil pengukuran Return Loss Antena 3



**Gambar 4.19 Grafik Return Loss Antena 3a**

Dari grafik antenna 3a dengan melihat band frekuensi 50 MHz – 5 GHz. Ada 5 titik return loss berada pada posisi dibawah -10 dB. Dari 5 posisi tersebut dianalisis lebih detil pada rentang frekuensi 2.7-3.5 GHz pada gambar 4.17.



**Gambar 4.20 Grafik Return Loss Antenna 3b**

Dari grafik antenna 3b dengan melihat band frekuensi 2.7 – 3.5 GHz ada dua buah return loss yaitu berada pada posisi -17 dB dan -31 db. Karena bandwidth terbagi dua hal ini menyebabkan bandwidth yang dihasilkan terlalu sempit sekitar 5-6 MHz saja.

**Tabel 4.7 Hasil Pengukuran Antena 3**

No	Frekuensi (MHz)	S11	No	Frekuensi (MHz)	S11	No	Frekuensi (MHz)	S11
1	500	-1.61E-01	71	178.3	-5.75E-02	141	351.5	-7.00E-01
2	747.5	-1.47E-01	72	180.7	-1.91E-01	142	354	-5.58E-01
3	995	-1.15E-01	73	183.2	-1.65E-01	143	356.5	-6.19E-01
4	124.3	-5.12E-02	74	185.7	-1.97E-01	144	358.9	-7.17E-01
5	149	-2.08E-02	75	188.2	-3.71E-01	145	361.4	-7.60E-01
6	173.8	-4.23E-03	76	190.6	-4.35E-01	146	363.9	-8.73E-01
7	198.5	-1.53E-02	77	193.1	-5.33E-01	147	366.4	-1.17E+00
8	223.3	-3.51E-03	78	195.6	-7.76E-01	148	368.8	-1.40E+00
9	248	-2.14E-02	79	198.1	-1.01E+00	149	371.3	-1.64E+00
10	272.8	2.95E-02	80	200.5	-1.29E+00	150	373.8	-2.18E+00
11	297.5	-6.66E-02	81	203	-1.81E+00	151	376.3	-2.98E+00
12	322.3	-1.35E-02	82	205.5	-2.41E+00	152	378.7	-3.69E+00
13	347	-2.51E-02	83	208	-3.31E+00	153	381.2	-4.75E+00
14	371.8	-6.62E-02	84	210.4	-5.15E+00	154	383.7	-6.56E+00
15	396.5	-1.09E-02	85	212.9	-7.85E+00	155	386.2	-9.42E+00
16	421.3	-1.71E-02	86	215.4	-1.20E+01	156	388.6	-1.42E+01
17	446	-1.48E-01	87	217.9	-9.37E+00	157	391.1	-2.15E+01
18	470.8	-3.12E-02	88	220.3	-7.84E+00	158	393.6	-1.35E+01
19	495.5	-7.49E-02	89	222.8	-7.09E+00	159	396.1	-8.49E+00
20	520.3	-7.12E-02	90	225.3	-6.16E+00	160	398.5	-6.12E+00
21	545	-1.41E-01	91	227.6	-4.29E+00	161	401	-5.00E+00
22	569.8	-1.26E-01	92	230.2	-3.10E+00	162	403.5	-4.81E+00
23	594.5	-3.54E-01	93	232.7	-2.09E+00	163	406	-3.98E+00
24	619.3	-9.41E-01	94	235.2	-1.38E+00	164	408.4	-3.16E+00
25	644	-3.83E+00	95	237.7	-1.09E+00	165	410.9	-2.58E+00
26	668.8	-4.37E+00	96	240.1	-6.05E-01	166	413.4	-2.34E+00
27	693.5	-1.13E+00	97	242.6	-4.33E-01	167	415.9	-2.76E+00
28	718.3	-4.51E-01	98	245.1	-6.59E-01	168	418.3	-3.34E+00
29	743	-2.90E-01	99	247.6	-6.03E-01	169	420.8	-4.79E+00
30	767.8	-3.44E-01	100	250	-9.67E-01	170	423.3	-6.05E+00
31	792.5	-3.96E-01	101	252.5	-2.22E+00	171	425.8	-5.07E+00
32	817.3	-1.52E+00	102	255	-2.99E+00	172	428.2	-2.96E+00

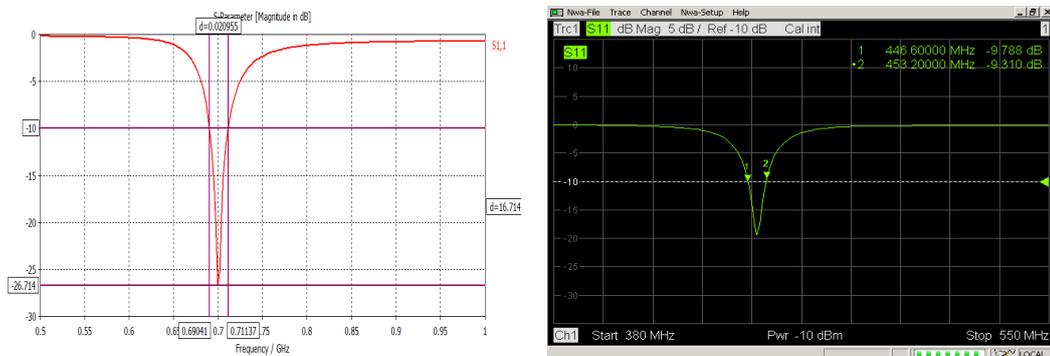
No	Frekuensi (MHz)	S11	No	Frekuensi (MHz)	S11	No	Frekuensi (MHz)	S11
33	842	-2.67E+00	103	257.5	-2.75E+00	173	430.7	-2.15E+00
34	866.8	-4.13E-01	104	259.9	-3.67E+00	174	433.2	-2.09E+00
35	891.5	-1.47E-01	105	262.4	-6.81E+00	175	435.7	-1.97E+00
36	916.3	-1.22E-01	106	264.9	-1.18E+01	176	438.1	-2.34E+00
37	941	-1.73E-01	107	267.4	-5.84E+00	177	440.6	-3.31E+00
38	965.8	-1.63E-01	108	269.8	-2.77E+00	178	443.1	-4.50E+00
39	990.5	-1.76E-01	109	272.3	-1.06E+00	179	445.6	-6.19E+00
40	101.5	-3.02E-01	110	274.8	-5.25E-01	180	448	-7.21E+00
41	104	-3.00E-01	111	277.3	-5.25E-01	181	450.5	-5.32E+00
42	106.5	-3.66E-01	112	279.7	-5.27E-01	182	453	-3.19E+00
43	109	-5.99E-01	113	282.2	-1.15E+00	183	455.5	-2.36E+00
44	111.4	-7.22E-01	114	284.7	-1.41E+00	184	457.9	-2.41E+00
45	113.9	-1.02E+00	115	287.2	-7.53E-01	185	460.4	-2.52E+00
46	116.4	-1.70E+00	116	289.6	-5.08E-01	186	462.9	-3.16E+00
47	118.9	-2.97E+00	117	292.1	-7.40E-01	187	465.4	-4.06E+00
48	121.3	-8.82E+00	118	295	-5.68E-01	188	467.8	-4.74E+00
49	123.8	-3.60E+00	119	297.1	-7.04E-01	189	470.3	-4.18E+00
50	126.3	-2.87E+00	120	299.5	-1.86E+00	190	472.8	-3.52E+00
51	128.8	-2.38E+00	121	302	-2.36E+00	191	475.3	-2.92E+00
52	131.2	-1.70E+00	122	304.5	-4.63E+00	192	477.7	-2.07E+00
53	133.7	-1.07E+00	123	307	-9.96E+00	193	480.2	-1.60E+00
54	136.2	-8.63E-01	124	309.4	-1.63E+01	194	482.7	-1.54E+00
55	138.7	-4.14E-01	125	311.9	-8.34E+00	195	485.2	-1.43E+00
56	141.1	-1.38E-01	126	314.4	-5.89E+00	196	487.6	-1.23E+00
57	143.6	-1.92E-01	127	316.9	-6.91E+00	197	490.1	-1.22E+00
58	146.1	-2.73E-03	128	319.3	-1.23E+01	198	492.6	-1.17E+00
59	148.6	5.33E-02	129	321.8	-2.19E+01	199	495.1	-1.06E+00
60	151	5.10E-03	130	324.3	-8.11E+00	200	497.5	-1.13E+00
61	153.5	5.30E-02	131	326.8	-4.22E+00	201	500	-1.24E+00
62	156	-7.92E-02	132	329.2	-2.43E+00			
63	158.5	-1.14E+00	133	331.7	-1.50E+00			
64	160.9	-4.00E-01	134	334.2	-1.07E+00			
65	163.4	4.16E-02	135	336.7	-7.69E-01			
66	165.9	1.32E-02	136	339.1	-4.52E-01			
67	168.4	2.18E-02	137	341.6	-5.25E-01			
68	170.8	5.70E-02	138	344.1	-4.81E-01			
69	173.3	-3.36E-02	139	346.6	-4.72E-01			
70	175.8	-8.10E-02	140	349	-6.29E-01			

Dari ketiga hasil pengukuran dapat dilihat bahwa antenna bekerja paling baik pada antenna 2b dimana konektor dipasang pada posisi 74 mm yang menghasilkan frekuensi kerja 2,549 MHz dimana return loss berada pada posisi -35 dB, dan bandwidth mencapai 42 MHz. Hasil inilah yang akan dianalisis dan menjadi bahan perbandingan dengan hasil simulasi.

#### 4.6 Analisis Hasil Simulasi dan Pengukuran

Pada sub bab ini akan dianalisis mengenai perbedaan hasil simulasi dengan hasil pengukuran dari return lossnya. Selain itu akan dihitung persen kesalahan perbedaan hasil simulasi dan hasil pengukuran.

Berikut ini adalah perbedaan grafik hasil pengukuran dan simulasi untuk frekuensi di atas 0.4-1GHz (frekuensi bawah). Dari data gambar hasil pengukuran dan simulasi dapat dilihat bahwa antenna hasil pengukuran lebih buruk dari pada hasil simulasi dapat dilihat dari tabel 4.6.

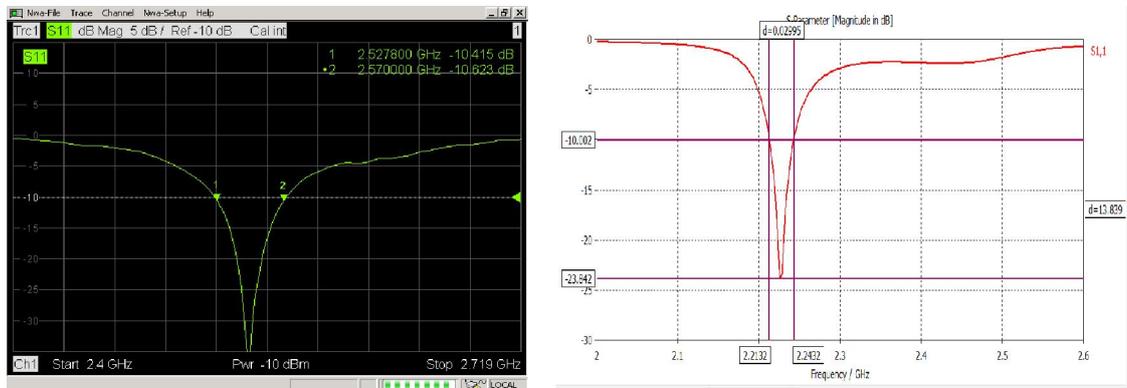


**Gambar 4.21 Perbandingan Return Loss Frekuensi Bawah**

**Tabel 4.8 Perbandingan Hasil Simulasi dan Pengukuran Frekuensi dibawah 1 GHz**

Parameter	Hasil Simulasi	Hasil Pengukuran
Impedansi Bandwidth	690.41-711.3 MHz	446.6-453.2 MHz
Bandwidth	20.96MHz	6.6 MHz
Frekuensi Tengah	700.8 MHz	449.9MHz
Return loss (di frekuensi resonansi)	-26.714 dB	-19.5 dB

Selanjutnya akan ditampilkan pula perbedaan grafik hasil pengukuran dan simulasi untuk frekuensi di atas 2-2.5GHz (frekuensi atas). Dari data gambar dapat dilihat bahwa hasil pengukuran lebih baik daripada hasil simulasi. Dibandingkan dengan frekuensi bawah, frekuensi atas juga lebih baik hasilnya.



**Gambar 4.22 Perbandingan Return Loss Frekuensi Atas**

**Tabel 4.9 Perbandingan Hasil Simulasi dan Pengukuran Frekuensi diatas 2 GHz**

Parameter	Hasil Simulasi	Hasil Pengukuran
Impedansi Bandwidth	2,213-2,2429	2,528 – 2,570 MHz
Bandwidth	29.95 MHz	42 MHz
Frekuensi Tengah	2,226.6	2,549 MHz
Return loss (di frekuensi resonansi)	-23.75 dB	-35 db

Error (kesalahan) perbandingan antara hasil simulasi dan hasil pengukuran didapat dengan persamaan :

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

Berikut nilai error frekuensi kerja antenna berdasarkan data Tabel 4.6 dan 4.7

- Untuk frekuensi bawah

$$Error = \left| \frac{f_{\text{frekuensi pengukuran}} - f_{\text{simulasi}}}{f_{\text{simulasi}}} \right| \times 100\% = \left| \frac{449.9 - 700.8}{700.8} \right| \times 100\% = 35.8\%$$

- Untuk frekuensi atas

$$Error = \left| \frac{f_{\text{frekuensi pengukuran}} - f_{\text{simulasi}}}{f_{\text{simulasi}}} \right| \times 100\% = \left| \frac{2,549 - 2,226.6}{2,226.6} \right| \times 100\% = 14.5\%$$

Dari hasil kesalahan pada frekuensi bawah dan atas dapat disimpulkan bahwa hasil pada frekuensi atas lebih baik dari hasil pada frekuensi bawah dimana nilai errornya lebih kecil dibandingkan error pada frekuensi bawah ( $14.5\% < 35.8\%$ ).

Kesalahan (error) dalam pengukuran dapat disebabkan oleh beberapa faktor yaitu kondisi pada saat pengukuran tidak ideal, proses fabrikasi antenna yang kurang baik sehingga menyebabkan adanya sedikit kecacatan pada antenna, penyolderan konektor SMA dengan saluran pencatu mikrostrip yang kurang baik, penempatan konektor yang kurang pas atau kondisi lingkungan pengukuran yang masih memungkinkan adanya gelombang pantul yang dihasilkan oleh lantai atau benda-benda disekitar objek pengukuran.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN**

Pada penelitian ini telah dirancang dan difabrikasi antenna mikrostrip untuk aplikasi LTE. Berdasarkan hasil simulasi, pengukuran dan analisis yang sudah dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Impedance bandwidth yang dihasilkan dari pengukuran dapat bekerja pada frekuensi 2,549 MHz sebesar 42 MHz melebihi yang diperoleh dari hasil simulasi yang hanya 29.95 MHz
2. Return loss yang dihasilkan mencapai nilai -35 dB lebih kecil dari pada yang dihasilkan pada simulasi yang hanya -23. 75 dB.
3. Sedangkan frekuensi kerja yang dihasilkan yaitu 2,549 MHz berada jauh dari frekuensi kerja yang direncanakan yaitu 700 MHz.

## TINJAUAN PUSTAKA

- [1]. Garg Ramesh, Bhartia Prakash dan Bahl Inder. "*Microstrip Antenna Design Handbook*", Artech House, Inc. 2001.
- [2]. Chen Wen-Shan, Member senior, IEEE dan Jhang Wei-Chiang, "*A Planar WWAN/LTE Antenna for Portable Divives*,". IEEE Antennas and Wireless Propagation. Let.,vol 12,. 19-22, 2013.
- [3]. Lu Jui-Han, Senior Member, IEEE, and Lin Zi-Wen, "*Planar Compact LTE/WWAN Monopole Antenna for Tablet Computer Application*,". IEEE Antennas and Wireless Propagation. Let.,vol 12,. 147-150, 2013.
- [4]. Mutiara, A.B, Refianti, Rahmansyah, "*Design of Microstrip Antenna for Wireless Communication at 2.4 GHz*,". Journal of Theoretical and applied Information Technology. Vol 33 no 2, 2011
- [5]. Majid Huda A, Abdul Rahim Mohamad Kamal, Senior anggota IEEE, Rijal Hamid Mohammad, ....., "*Frekuensi-reconfigurable Microstrip patch-Slot Antena*,". IEEE Antena dan Propagasi Wireless. Mari., Vol 12,. 218-220, 2013
- [6]. Li-Zuo Shao, Zhang Zhi-Ya and Yang Jia-Wei, "*Planar Meander Monopole Antenna with Parasitic Strips and Sleeve Feed for DVB-H/LTE/GSM850/900 Operation in the Mobile Phone*,". IEEE Antennas and Wireless Propagation. Let.,vol 12,. 27-30, 2013.
- [7]. Stankevicius Evaldas, Medeisis Arturas "*LTE 800 vs Short Range Devices: Adjacent Band Compatibility around Band Edge of 863 MHz*", International Symposium ELMAR, Croatia
- [8]. Sk Hussain Riyaz., Kumar M. Suresh and Kumar D. Sriram. "*Microstrip Antenna for Dual bandwireless Application*", DIPED-2010 Proceedings
- [9]. Milligan Thomas A. "Modern Antenna Design" A John Wiley & Son, Inc Publication, 2005
- [10]. Tesis Ali Hanafiah Rambe, "*Rancang Bangun Antena Mikrostrip Patch Segiempat Planar Array 4 Elemen Dengan Pencatuan Aperture-Coupled Untuk Aplikasi CPE Pada WIMAX* ", FT UI, 2008.

- [11]. Tesis, Muhammad Fahrazal, "*Rancang Bangun Antena Mikrostrip Triple-Band Linear Array 4 Elemen untuk Aplikasi Wimax*", FT UI 2008
- [12]. Alaydrus Mudrik. "*Antena Prinsip dan Aplikasi*", Graha Ilmu, Yogyakarta. 2011
- [13]. Indra Surjati, Antena, "*Mikrostrip Konsep dan Aplikasinya*," Universitas Trisakti, 2010
- [14]. Setiawan Denny, Sirat Djamhari, dan Gunawan Dadang, "*Feasibility of LTE 700 MHz Digital Dividend for Broadband Development Acceleration in Rural Areas*", ITB J.ICT, Vol. 6. No. 1, 2012, 21-42
- [15]. C. Johnson Richard, "Antenna Engineering Handbook" Georgia Institute of Technology Atlanta, Georgia, Mc Graw-hill Inc.1993