

**RANCANG BANGUN ANTENA MIKROSTRIP DENGAN
PENAMBAHAN SLOT UNTUK MENINGKATKAN
*BANDWIDTH***



ROHANI CRISTYN SIANTURI

5215134372

Skripsi Ini Disusun Sebagai Salah Satu Persyaratan Untuk
Memperoleh Gelar Sarjana Pendidikan

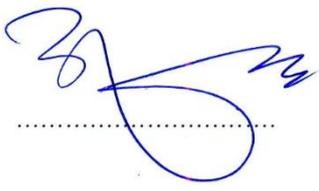
PROGRAM STUDI PENDIDIKAN VOKASIONAL TEKNIK ELEKTRONIKA

FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA

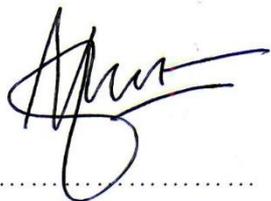
2018

LEMBAR PENGESAHAN

DOSEN PEMBIMBING

NAMA DOSEN	TANDA TANGAN	TANGGAL
Dr. Baso Maruddani., M.T (Dosen Pembimbing I)		9/2-18
Dr. Efri Sandi, M.T (Dosen Pembimbing II)		9-02-18

PANITIA UJIAN SIDANG SKRIPSI

NAMA DOSEN	TANDA TANGAN	TANGGAL
Dr. Moch. Sukardjo, M.Pd (Ketua Sidang)		7-2-2018
Drs. Wisnu Djatmiko, M.T. (Sekretaris)		9-2-2018
Drs. Mufti Ma'sum, M.Pd. (Dosen Ahli)		6/2018

Tanggal Lulus : 1 Febuari 2018

HALAMAN PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa :

1. Karya tulis skripsi saya ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik Sarjana, baik di Universitas Negeri Jakarta maupun di perguruan tinggi lain.
2. Karya tulis ini adalah murni gagasan, rumusan dan penelitian saya sendiri dengan arahan dosen pembimbing.
3. Karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademi berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya tulis ini, serta sanksi lainnya sesuai norma yang berlaku di Universitas Negeri Jakarta.

Jakarta, 1 Februari 2018

Yang membuat Pernyataan



Rohani Cristyn Sianturi

5215134372

KATA PENGANTAR

Puji dan Syukur peneliti sampaikan kepada Tuhan yang Maha Esa atas segala karunia, kasih dan Penyertaan-Nya yang telah memampukan peneliti, sehingga dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Rancang Bangun Antena Mikrostrip dengan penambahan slot untuk Meningkatkan *Bandwidth*” yang merupakan persyaratan untuk meraih gelar Sarjana Pendidikan Vokasional Teknik Elektronika pada Fakultas Teknik, Universitas Negeri Jakarta.

Peneliti menyadari adanya keterbatasan, sehingga tanpa bimbingan, bantuan, dorongan, dan saran-saran dari berbagai pihak. Maka pada kesempatan ini peneliti ingin menyampaikan ucapan terimakasih kepada :

1. Bapak Dr. Baso Maruddani, MT dan Dr. Efri Sandi, S.Pd., MT selaku dosen pembimbing saya yang penuh kesabaran membimbing, mengarahkan dan memberi dorongan kepada penulis hingga selesainya skripsi ini.
2. Bapak Drs. Pitoyo Yuliatmojo, MT selaku Ketua Program Studi Pendidikan Vokasional Teknik Elektronika, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Jakarta.
3. Orangtua, kakak dan adik saya, yang selalu memberi dorongan dan yang menjadi motivasi saya meraih gelar sarjana sehingga dapat membanggakan mereka.
4. Rekan-rekan mahasiswa/i Pendidikan Vokasional Teknik Elektronika dan Jurusan/Fakultas lainnya yang telah membantu dan memberi dukungan dalam penyusunan skripsi ini.

Peneliti menyadari bahwa skripsi ini belum sempurna, untuk itu peneliti mohon maaf apabila terdapat kekurangan dan kesalahan baik dari isi maupun tulisan. Akhir kata, semoga Tuhan Yang Maha Esa membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu penyusunan skripsi ini. Semoga skripsi ini membawa manfaat yang besar bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi.

Jakarta, 1Februari 2018

Peneliti

ABSTRAK

Rohani Cristyn Sianturi, *Rancang Bangun Antena Mikrostrip dengan Penambahan Slot untuk Meningkatkan Bandwidth*. Skripsi. Jakarta, Program Studi Pendidikan Teknik Elektronika Fakultas Teknik Universitas Negeri Jakarta. 2017. Dosen Pembimbing: Dr. Baso Maruddani, MT dan Dr. Efri Sandi MT.

Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan *Bandwidth* antena mikrostrip. Peneliti menggunakan antena mikrostrip dengan penambahan slot dengan sampel frekuensi kerja 3000 – 5500 MHz. Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Telekomunikasi Fakultas Teknik Universitas Negeri Jakarta dan Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, Bandung pada bulan Mei – Agustus 2017.

Pengujian terhadap antena mikrostrip dengan penambahan slot dilakukan dalam dua tahap, yaitu saat simulasi dan setelah fabrikasi. terdapat dua antena pada tahapannya, yaitu antena mikrostrip konvensional sebagai kriteria *Bandwidth* dan antena mikrostrip dengan penambahan slot sebagai tolak ukur peningkatan *bandwidth* dari antena mikrostrip konvensional. Simulasi dilakukan menggunakan software CST Microwave Studio Suite 2014 dan antena yang telah di fabrikasi diukur dengan bantuan *Network Analyzer* Anritsu tipe S223E.

Antena mikrostrip dengan penambahan slot ini telah berhasil diuji dengan *feed line* sebagai metode pencatunya. Dimensi antena mikrostrip diperoleh dari perhitungan dan optimasi pada simulasi CST *Microwave Studio* 2014. Fabrikasi antena mikrostrip ini menggunakan bahan FR-4 dengan konstanta dielektrik (ϵ_r) sebesar 4,3. Antena dengan dimensi 20×30 mm ini beroperasi pada frekuensi 4,25 GHz dengan nilai *Return Loss* -31,41 dB, VSWR 1,06, *Bandwidth* 1737,1 MHz pada hasil uji simulasi.

Hasil pengukuran antena mikrostrip dengan penambahan slot menunjukkan bahwa antena dapat bekerja pada frekuensi 4,25GHz dengan *Bandwidth* sebesar 2500 MHz, *Return Loss* -29,54 dB dan VSWR 1,08 dB. Penambahan slot pada antena mikrostrip memiliki pengaruh yang positif, karena slot merupakan efek kopling yang mempengaruhi faktor Q pada sebuah antena dan nilai faktor Q berbanding terbalik dengan *Bandwidth* yang dihasilkan. Sehingga antena yang dibuat mampu memenuhi kebutuhan pasar telekomunikasi dalam kapasitas yang besar dengan menggunakan perangkat antena mikrostrip.

Kata kunci: Antena Mikrostrip, Slot, *Bandwidth*, *Return Loss*, VSWR

ABSTRACT

Rohani Cristyn Sianturi, *Design Microstrip Antenna with Addition of Slots to Increase Bandwidth*. Essay. Jakarta, Electronic Engineering Education Program, Faculty of Engineering, State University of Jakarta. 2017. Supervisor: Dr. Baso Maruddani, MT dan Dr. Efri Sandi MT.

This study aims to increase the *Bandwidth* of microstrip antennas. The researchers used a microstrip antenna with the addition of a slot with a working frequency sample of 3000 - 5500 MHz. The research was conducted at Telecommunication Laboratory of Faculty of Engineering, State University of Jakarta and Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, Bandung on May - August 2017.

Testing of microstrip antenna with addition of slot is done in two stages, that is simulation and after fabrication. There are two antennas in the stage, the conventional microstrip antenna as *Bandwidth* criterion and microstrip antenna with the addition of slot as a benchmark of *bandwidth* increase from conventional microstrip antenna. The simulations were performed using CST Microwave Studio Suite 2014 software and the fabrication of the antennas was measured with the help of Anritsu Network S223E Network Analyzer.

Microstrip antenna with the addition of this slot has been successfully tested with the feed line as the method of scaffolding. The dimension of microstrip antenna is obtained from the calculation and optimization in CST Microwave Studio 2014 simulation. The fabrication of this microstrip antenna uses FR-4 material with dielectric constant (ϵ_r) of 4.3. Antenna with dimensions of 20 × 30 mm is operating at a frequency of 4.25 GHz with the value of Return Loss -31, 41 dB, VSWR 1.06, 1737.1 MHz *Bandwidth* on the simulation test results.

The result of microstrip antenna measurement with the addition of slot indicates that the antenna can work at 4.25 GHz frequency with 2500 MHz *Bandwidth*, Return Loss -29,54 dB and VSWR 1,08 dB. Addition of slots on the microstrip antenna has a positive effect, because the slot is a coupling effect that affects the Q factor on an antenna and the Q factor value is directly proportional to the *Bandwidth* generated. So that the antenna is made able to meet the needs of the telecommunications market in a large capacity by using a microstrip antenna device.

Keywords: Microstrip Antenna, Slot, *Bandwidth*, *Return Loss*, VSWR

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
LEMBAR PENGESAHAN.....	ii
HALAMAN PERNYATAAN	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
ABSTRAK.....	v
ABSTRACT	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL	xii
BAB I.....	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Identifikasi Masalah	3
1.3 Batasan Masalah.....	4
1.4 Perumusan Masalah.....	5
1.5 Tujuan Penelitian.....	5
1.6 Manfaat Penelitian.....	5
BAB II	6
LANDASAN TEORI DAN KERANGKA BERPIKIR.....	6
2.1 Definisi Rancang Bangun	6
2.2 Antena.....	6
2.3 Antena Mikrostrip.....	7
2.3.1 Struktur Antena Mikrostrip Persegi Panjang.....	8
2.3.2 Saluran mikrostrip	12
2.3.3 Teknik Pencatuan Mikrostrip	14
2.4 Parameter – Parameter Antena	17
2.4.1 Return Loss	17
2.4.2 Voltage Standing Wave Ratio (VSWR).....	18
2.4.3 Lebar pita (<i>Bandwidth</i>)	18
2.4.4 Impedansi Masukan	20

2.4.5 Gain.....	21
2.5 Antena Slot Mikrostrip	23
2.6 Mekanisme peningkatan <i>Bandwidth</i> pada Antena Slot Mikrostrip	26
2.7 Kerangka Berpikir	28
BAB III.....	31
METODOLOGI PENELITIAN.....	31
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	31
3.2 Metode Pengembangan Produk.....	31
3.2.1 Tujuan Pengembangan.....	31
3.2.2 Metode Pengembangan.....	32
3.2.3 Sasaran Produk	34
3.2.4 Instrumen	34
3.3 Prosedur Pengembangan	35
3.3.1 Tahap Penelitian dan Pengumpulan Informasi	35
3.3.2 Tahap Perencanaan	37
3.3.3 Tahap Desain Produk.....	43
3.4 Teknik Pengumpulan Data.....	53
3.5 Teknik Analisis Data	53
BAB IV	56
HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....	56
4.1 Hasil Pengembangan Produk.....	56
4.1.1 Hasil Perencanaan Desain Produk	56
4.2 Kelayakan Produk (Teoritik dan Empiris)	60
4.2.1 Hasil simulasi Akhir	61
4.3 Efektifitas Produk (Melalui Uji Coba).....	63
4.3.1 Hasil Fabrikasi Antena Mikrostrip	63
4.3.2 Hasil Pengukuran dengan <i>Network Analyzer</i>	64
4.4 Pembahasan	68
4.4.1 Analisis Hasil Simulasi dan Pengukuran Antena Mikrostrip dengan penambahan slot.....	68

4.4.2 Analisis perbandingan simulasi dan pengukuran	72
BAB V.....	75
PENUTUP	75
5.1 Kesimpulan	75
5.2 Saran.....	75
DAFTAR PUSTAKA.....	76
DAFTAR RIWAYAT HIDUP.....	79

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Struktur Antena Mikrostrip	8
Gambar 2.2 Bentuk Elemen <i>Patch</i> Mikrostrip	9
Gambar 2.3 Geometri Saluran Mikrostrip	13
Gambar 2.4 <i>Coax Line Feed</i> (Kumar & Ray, 2003:2).....	15
Gambar 2.5 <i>Mikrostrip Line Feed</i>	16
Gambar 2. 6 Rentang <i>Bandwidth</i> (lebar pita) yang ditentukan dari (a) Return Loss, dan (b) VSWR	19
Gambar 2. 7 Bentuk Dasar Antena Printed Slot.....	23
Gambar 2. 8 Geometri Antena Slot Tunggal.....	25
Gambar 2. 9 Struktur Antena Slot yang dicatu Saluran Mikrostrip	27
Gambar 2. 10 Konsep Antena Mikrostrip dengan penambahan slot yang dirancang	28
Gambar 2.11 Diagram Alir Pembuatan Antena Mikrostrip	29
Gambar 3. 1 Metode <i>Research and Development</i> (R&D) (Sugiyono, 2009: 408). 32	
Gambar 3. 2 Menghitung Impedansi Transmisi <i>Line</i>	43
Gambar 3.3 Antena Mikrostrip Konvensional (a) tampak depan, (b) tampak belakang	44
Gambar 3. 4 Hasil respon Return Loss Antena Mikrostrip Konvensional setelah dioptimasi.....	45
Gambar 3. 5 Hasil respon VSWR Antena Mikrostrip Konvensional setelah dioptimasi.....	46
Gambar 3. 6 Antena Mikrostrip dengan penambahan slot (a) tampak depan, (b) tampak belakang.....	47
Gambar 3. 7 OSL Calibration.....	50
Gambar 3. 8 Network Analyzer.....	51
Gambar 3. 9 Konfigurasi Pengukuran Antena	52
Gambar 4. 1 Antena Mikrostrip Slot (a) tampak Depan, (b) tampak Belakang	58
Gambar 4. 2 Kalkulasi Geometri pada CST 2014 : (a) Parameter List, (b) Feed, (c) Patch 1, (d) Patch 2, (e) Substrate, (f) Ground, (g) Slot	60

Gambar 4. 3 Desain Antena Mikrostrip dengan penambahan slot (a) tampak depan, (b) tampak belakang	61
Gambar 4. 4 Hasil S-Parameter Return Loss Antena Mikrostrip Slot.....	61
Gambar 4. 5 Hasil Fabrikasi Antena Mikrostrip (a) Konvensional (b) Slot	63
Gambar 4. 6 Grafik Pengukuran Return Loss (a) Antena Mikrostrip tanpa slot, dan (b) antena mikrostrip dengan slot.....	65
Gambar 4. 7 Grafik Pengukuran Return Loss (a) Antena Mikrostrip tanpa slot, dan (b) antena mikrostrip dengan slot	67
Gambar 4. 8 Grafik Peningkatan Peforma Antena pada hasil Simulasi antena konvensional & antena slot (a) Return Loss, (b) VSWR.....	70
Gambar 4. 9 Grafik Peningkatan Peforma Antena pada hasil Pengukuran antena konvensional dan antena slot, (a) Return Loss, (b) VSWR	71
Gambar 4. 10 Grafik Peningkatan Peforma <i>Bandwidth</i> pada hasil Simulasi dan Pengukuran antena konvensional dan antena slot.....	71

DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1 Frekuensi yang dialokasikan oleh ITU	1
Tabel 2. 1 Karakteristik Pencatu Antena Mikrostrip	16
Tabel 2. 2 Perbandingan Karakteristik Antena Mikrostrip Patch dan Mikrostrip Slot	24
Tabel 3.1 Spesifikasi Lenovo IdeaPad G40-45	35
Tabel 3.2 Spesifikasi Antena Mikrostrip Konvensional	37
Tabel 3. 3 Spesifikasi <i>substrate</i> yang digunakan	38
Tabel 3.4 Spesifikasi bahan pada <i>patch,ground</i> , dan slot	38
Tabel 3. 5 Perhitungan Dimensi Antena Mikrostrip Konvensional	40
Tabel 3. 6 Iterasi Dimensi Antena Mikrostrip Konvensional	41
Tabel 3. 7 Hasil Simulasi Antena Mikrostrip Konvensional	46
Tabel 3. 8 Dimensi Fabrikasi	49
Tabel 3. 9 Pengukuran Antena Fabrikasi	52
Tabel 3.10 Rangkuman Hasil simulasi dan Pengukuran Antena	54
Tabel 3. 11 Keberhasilan Simulasi & Pengukuran Terhadap Performansi.....	54
Tabel 3. 12 Error Rate Simulasi Pengukuran & Simulasi Terhadap Dimensi	55
Tabel 4. 1 Hasil Perhitungan Antena Mikrostrip dengan Slot	57
Tabel 4. 2 Hasil Iterasi Mikrostrip dengan Slot	58
Tabel 4. 3 Hasil Simulasi Antena Mikrostrip Slot.....	62
Tabel 4. 4 Dimensi Antena Fabrikasi	64
Tabel 4. 5 Hasil Pengukuran Antena Pabrikasi	67
Tabel 4. 6 Rangkuman Hasil Simulasi dan Pengukuran Antena	68
Tabel 4. 7 Tingkat Keberhasilan Performansi Antena.....	68
Tabel 4. 8 Error Rate Performansi Antena Mikrostrip konvensional dan Antena Mikrostrip dengan Slot.....	73

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Teknologi telekomunikasi saat ini terus berkembang dengan pesat, terutama sistem komunikasi *nirkabel*. Mulai dari generasi pertama hingga sekarang. Teknologi ini harus memberikan layanan yang lebih baik lagi (*High Performansi*) terutama data rate yang lebih tinggi sehingga jenis layanan yang ditawarkan lebih baik dan bervariasi. Kemajuan teknologi yang paling berkembang saat ini adalah komunikasi *nirkabel* yang mendukung terselenggaranya sistem telekomunikasi secara global.

Permasalahan dasar dalam teknologi *nirkabel* adalah adanya kebutuhan pasar telekomunikasi pada informasi dalam kapasitas yang besar. Sehingga dibutuhkan perangkat komunikasi yang bekerja dengan *Bandwidth* yang sangat lebar atau *wideband*. Menurut *International Telecommunication Union* (ITU) penggunaan frekuensi radio dengan *Bandwidth* lebih besar atau sama dengan 1 MHz merupakan kategori *wideband* khususnya untuk aplikasi sistem gelombang mikro. ITU telah merekomendasikan kebutuhan *Bandwidth* untuk frekuensi *wideband* ke dalam alokasi frekuensi, yang dapat dilihat pada Tabel 1.1.

Tabel 1. 1 Frekuensi yang dialokasikan oleh ITU

Range Frekuensi <i>Wideband</i>	<i>Bandwidth</i> yang dibutuhkan
30 MHz – 1 GHz	10 MHz
1 GHz – 3 GHz	50 MHz
3 GHz – 10 GHz	100 MHz
10 GHz – 15 GHz	250 MHz
Diatas 15 GHz	500 MHz

Sehingga saat ini muncul istilah *multi-wideband*. Konsep *multi-wideband* ditemukan dalam perancangan antena yang ditujukan agar satu antena dapat diaplikasikan pada banyak sistem komunikasi pita lebar yang menggunakan alokasi frekuensi yang berbeda-beda seperti yang telah dijelaskan sebelumnya. Untuk menunjang kebutuhan tersebut dibutuhkan antena yang mempunyai karakteristik *wideband* dan ringkas untuk mendukung komunikasi bergerak. Salah satu jenis antena yang dapat menunjang teknologi tersebut dengan beberapa keuntungan adalah antena mikrostrip.

Antena mikrostrip adalah salah satu dari banyak jenis antena yang mengikuti perkembangan telekomunikasi. Antena mikrostrip mulai berkembang sejak tahun 1970-an dan sampai saat ini masih terus dikembangkan, bahkan aplikasi komunikasi radio telah dipenuhi oleh antena mikrostrip. Jenis antena ini memiliki beberapa keunggulan terutama pada rancangan antenanya yang tipis, kecil, dan harga terjangkau. Akan tetapi antena mikrostrip juga memiliki kelemahan dan salah satu kelemahan antena tersebut adalah *Bandwidth* yang sempit.

Sebuah antena yang memiliki *Bandwidth* tinggi diperlukan untuk memenuhi permintaan tinggi terhadap layanan komunikasi *nirkabel*, sehingga cakupan layanan akan semakin luas. Namun, pada antena mikrostrip ini, nilai *Bandwidth* menjadi salah satu kelemahannya. *Bandwidth* didefinisikan sebagai luas atau lebar cakupan frekuensi yang digunakan oleh sinyal dalam medium transmisi.

Ada berbagai cara atau metode yang bisa dilakukan untuk mengatasi *Bandwidth* yang cenderung sempit pada antena mikrostrip, yaitu dengan menggunakan elemen parasitik, menambah ketebalan *substrate*, memperkecil

konstanta dielektrik, atau dengan melakukan modifikasi *patch* yaitu dengan menambahkan slot pada *patch* antenna. Bentuk slot itu pun bisa beragam, seperti antenna *U-Shaped slot*, *E-H Shaped slot*, *double cross-shaped slots* dan *rectangular slot*. Pada penelitian *U-shaped slot*, *Bandwidth* yang dihasilkan 700 MHz (Volakis, IEEE:14-17). Pada penelitian *E-H shaped slot*, *Bandwidth* yang dihasilkan 560 MHz (Kharade, IOSRJECE:35-40). Dan pada penelitian sepasang *double cross-shaped slots*, *Bandwidth* yang dihasilkan 280 MHz dengan frekuensi kerja sebesar 2,4 GHz (Li Long Cun, IEEE:18-21). Selain itu, pada penelitian lainnya dengan mengubah bentuk antenna menjadi *dual elips* untuk radar tembus tembok dengan *Bandwidth* yang dihasilkan 9,1 GHz pada rentang frekuensi 2 GHz - 14 GHz (Priyatna, 2014 [skripsi]).

Berdasarkan beberapa literatur dan penelitian sebelumnya, peneliti menetapkan penambahan slot sebagai upaya pengembangan untuk meningkatkan *bandwidth* dengan tetap mempertahankan atau meningkatkan performa antenna mikrostrip. Pemilihan slot dikarenakan desainnya mampu menghasilkan efek kopling yang mempengaruhi faktor Q yang berbanding terbalik dengan *bandwidth* antenna. Slot dapat dicetak pada *ground* atau *patch* antenna.

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang masalah yang dikemukakan diatas, peneliti mendapatkan masalah yang timbul, maka dapat diidentifikasi masalah dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Kebutuhan akan performa pada teknologi *nirkabel* yang semakin meningkat, dan dibutuhkan antena dengan bentuk fisik yang fleksibel, mudah difabrikasi serta efisien.
2. Dibutuhkan upaya pengembangan performa antena dengan penambahan slot ditentukan oleh beberapa parameter.

1.3 Batasan Masalah

Setelah meninjau latar belakang dan identifikasi masalah yang telah diuraikan, maka penelitian ini perlu dibatasi agar tidak meluas dan tetap terarah sesuai dengan judul yang telah dibuat, maka penelitian ini dibatasi pada:

1. Rancang bangun antena mikrostrip dengan penambahan slot untuk mengetahui peningkatan *Bandwidth* antena dengan membandingkan hasil simulasi dan pengukuran pada antena mikrostrip dengan penambahan slot, dimana parameter pengujian antena tersebut adalah *s*-parameter pada antena, yang meliputi frekuensi resonansi, *VSWR*, *Return Loss*, dan *Bandwidth*.
2. Bahan yang digunakan pada lapisan *Substrate* antena adalah jenis *FR-4Epoxy (Lossy)* dengan nilai konstanta dielektrik (ϵ_r) = 4,3 dan ketebalan (h) = 1,6 mm.
3. Tahap simulasi menggunakan software *CST Microwave Studio 2014* dan tahap pengukuran dilakukan di Laboratorium Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) Bandung dengan menggunakan *Network Analyzer*.

1.4 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang, identifikasi masalah dan pembatasan masalah yang telah dikemukakan sebelumnya, maka muncul pertanyaan yang mengacu pada perumusan masalah, yaitu bagaimana merancang antena mikrostrip dengan penambahan slot untuk meningkatkan *Bandwidth* pada frekuensi resonansi 4,25 GHz dengan karakteristik s-parameter *Return Loss* < -10, *VSWR* < 2 dan *Bandwidth* \pm 500 MHz ?

1.5 Tujuan Penelitian

Berdasarkan masalah yang telah dirumuskan dan diidentifikasi, penelitian dan penulisan skripsi ini bertujuan secara praktik untuk mengetahui peningkatan *Bandwidth* pada antena mikrostrip dengan penambahan slot pada frekuensi resonansi 4,25 GHz dengan karakteristik s-parameter *Return Loss* < -10, *VSWR* < 2 dan *Bandwidth* \pm 500 MHz

1.6 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat dari segi engineering dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan komunikasi nirkabel yang bekerja dengan *Bandwidth* yang lebar dalam bidang telekomunikasi, dan dalam bidang pendidikan mata kuliah antena dan propagasi gelombang.

BAB II

LANDASAN TEORI DAN KERANGKA BERPIKIR

Teori yang berhubungan dengan judul penelitian dijelaskan pada bab landasan teori dan kerangka berpikir. Pembahasan pada bab landasan teori dan kerangka berpikir menjadi pedoman untuk bab selanjutnya.

2.1 Definisi Rancang Bangun

Dalam Kamus Besar Bahasa Indonesia Definisi kata rancang adalah mengatur segala sesuatu sebelum bertindak, mengerjakan atau melakukan sesuatu dalam perencanaan. Sedangkan kata bangun adalah susunan yang merupakan suatu wujud atau struktur (Depdiknas:2014: 295).Oleh karena itu, dapat didefinisikan bahwa rancang bangun merupakan kegiatan melakukan pengaturan pada hasil analisa kedalam bentuk *software* kemudian menciptakan sistem tersebut atau memperbaiki sistem yang sudah ada.

2.2 Antena

Menurut (Balanis, 2005:1) Antena didefinisikan sebagai perangkat yang biasanya terbuat dari logam atau kawat yang berfungsi untuk memancarkan atau menerima gelombang radio. Dengan kata lain antena adalah struktur antara ruang bebas dan perangkat yang dikendalikan pada diagram alir tertentu.

Antena merupakan salah satu komponen penting dalam dunia telekomunikasi, karena sangat dibutuhkan dan memiliki peranan penting pada sistem komunikasi *nirkabel* (*wireless*) yang berfungsi sebagai pemancar dan penerima gelombang elektromagnetik, artinya mengubah gelombangruang bebas menjadi gelombang yang diarahkan dalam kabel atau menjadi sebaliknya dari

gelombang elektromagnetik yang tertuntun menjadi gelombang ruang bebas. Proses kerja dari sebuah antena didasarkan pada konsep hubungan medan listrik dan medan magnet atau yang dikenal sebagai elektromagnetik. Hubungan kedua medan tersebut dimanfaatkan untuk mengubah radiasi gelombang sebagai media komunikasi *wireless*. (Sandi& Djatmiko, 2012:8)

2.3 Antena Mikrostrip

Antena mikrostrip pertama kali diperkenalkan pada tahun 1950, dan perkembangan terhadap teknologi ini mulai serius dilakukan pada tahun 1970. Melalui beberapa dekade penelitiannya, diketahui bahwa kemampuan beroperasi antena mikrostrip diatur terutama oleh bentuk geometri dari elemen peradiasi (*Patch*) dan karakteristik material *substrate* yang digunakan.

Antena mikrostrip memiliki beberapa kelebihan jika dibandingkan dengan antena jenis lainnya. Beberapa kelebihan antena antara lain (Garg, 2003:2-3) :

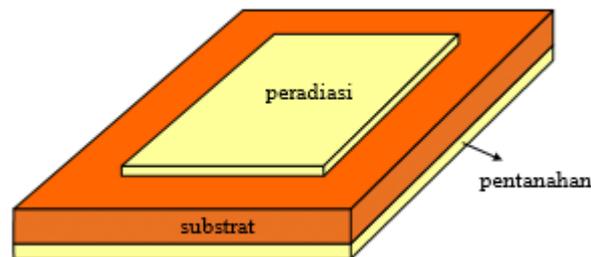
- a. *Low Profile*, yaitu memiliki dimensi yang kecil, ringan, dan dapat dibuat non-formal.
- b. Mudah difabrikasi dengan biaya yang murah
- c. Polarisasi linear ataupun melingkar dapat dihasilkan dengan menggunakan catu yang sederhana.
- d. Memungkinkan untuk dibuat *dual-frequency* dan *dual-polarization*.
- e. Dapat diintegrasikan dengan rangkaian *microwave* lainnya seperti *power amplifier*, *low noise amplifier*, filter dengan mudah.
- f. *Feed line* dan *matching network* dapat difabrikasi pada struktur antena sekaligus.

Akan tetapi, antena mikrostrip juga memiliki beberapa kekurangan, antara lain (Garg, 2003:3):

- a. Memiliki *Bandwidth* yang sempit dan gain yang rendah.
- b. Rugi-rugi *ohmic* yang tinggi pada struktur *feed* untuk bentuk antena susun (*array antenna*).
- c. Antena mikrostrip susun memerlukan struktur *feed* yang kompleks.
- d. Munculnya gelombang permukaan (*surface wave*)

2.3.1 Struktur Antena Mikrostrip Persegi Panjang

Antena mikrostrip sederhana tersusun dari tiga lapisan, yakni elemen peradiasi (*patch*), medium dielektrik (*substrate*) dan bidang pentanahan (*ground*). Struktur antena mikrostrip ditunjukkan pada Gambar 2.1.



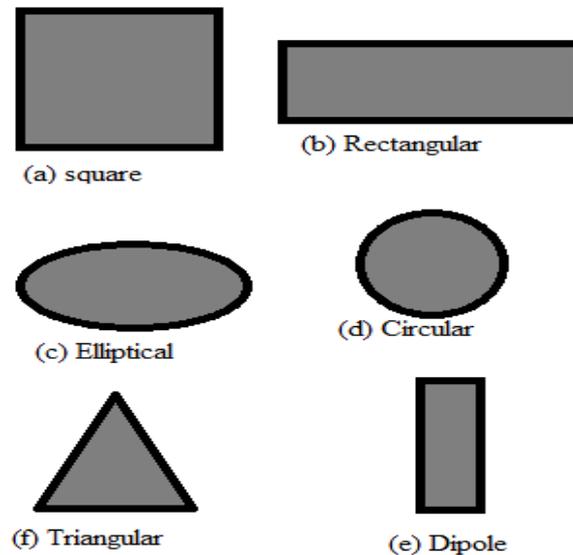
Gambar 2.1 Struktur Antena Mikrostrip

Tiap - tiap elemen antena mikrostrip memiliki fungsi yang berbeda, yaitu (Garg, 2003:4-10):

- a. Elemen peradiasi (*patch*)

Secara fisik *patch* berupa konduktor tipis yang merupakan bagian suatu panjang gelombang yang membentuk luas, yang paralel dengan bidang *ground*. Bentuk *patch* dapat berupa segiempat, lingkaran, segitiga dan sebagainya. Jenis logam yang sering digunakan adalah tembaga

(*copper*) dengan konduktivitas sebesar $5,8e+007$ [S/m]. Bentuk-bentuk *patch* antenna mikrostrip ditunjukkan oleh Gambar 2.2.



Gambar 2.2Bentuk Elemen *Patch* Mikrostrip

Patch berfungsi untuk meradiasikan gelombang elektromagnetik dimana energi elektromagnetik menyusuri tepian dari sisi *patch* kedalam *substrate*. *Patch* merupakan konduktor yang umumnya terbuat dari tembaga. Berikut beberapa perhitungan yang digunakan untuk merancang antenna mikrostrip berbentuk persegi panjang pada persamaan (2.1) – (2.7):

Menentukan lebar *patch* (W)

$$W_p = \frac{c}{2f_r \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2}}} \quad (2.1)$$

Dimana C adalah kecepatan cahaya diruang bebas sebesar 3×10^8 m/det, f_r adalah frekuensi kerja dari antenna yang diperoleh dari jumlah frekuensi tinggi f_h dengan frekuensi rendah f_l antenna dibagi dua, sehingga dirumuskan dengan persamaan 2.2 :

$$f_r = \frac{f_h + f_l}{2} \quad (2.2)$$

ϵ_r adalah konstanta dielektrik dari bahan *substrate*. Sedangkan untuk menentukan panjang *patch*(L) diperlukan parameter ΔL yang merupakan pertambahan panjang dari L akibat adanya *fringing effect*. Pertambahan panjang ΔL tersebut dirumuskan dengan sebagai berikut :

$$\Delta L = 0,412 \times h \times \left[\frac{(\epsilon_{eff} + 0,3) + \left(\frac{W_P}{h} + 0,264\right)}{(\epsilon_{eff} - 0,258) + \left(\frac{W_P}{h} + 0,8\right)} \right] \quad (2.3)$$

Dimana h merupakan tinggi *substrate*, dan ϵ_{eff} adalah konstanta dielektrik relatif yang dirumuskan sebagai berikut :

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \left[\frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(\frac{1}{\sqrt{1 + 12 \frac{h}{W_P}}} \right) \right] \quad (2.4)$$

Dengan demikian panjang *patch* (L) diberikan oleh :

$$L_P = L_{eff} - 2\Delta L \quad (2.5)$$

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

$$L_{eff} = \frac{c}{2 \times f_r \sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (2.6)$$

Frekuensi resonansi

$$f_r = \frac{c}{2 \sqrt{\epsilon_{eff}}} \left[\frac{m}{L_{eff}} \left(\frac{1}{\sqrt{1 + 12 \frac{h}{W_P}}} \right) \right] \quad (2.7)$$

b. Medium dielektrik (*substrate*)

Substrate dielektrik berfungsi sebagai media penyalur gelombang elektromagnetik dari catuan. Karakteristik *substrate* sangat berpengaruh terhadap parameter antenna. Pada antenna mikrostrip semakin besar

premitivitas *substrate*, maka ukuran *patch* akan semakin kecil, hal ini akan memperkecil daerah radiasi. Sedangkan semakin tebal *substrate* yang digunakan, *Bandwidth* antena yang dihasilkan akan lebih lebar, namun akan memicu timbulnya gelombang permukaan (*surface wave*). Elemen ini terdiri dari *loss tangent* ($\tan \delta$) yang merupakan rugi-rugi dielektrik, tebal *substrate* (h), dan permitivitas relatif (ϵ_r) adalah konstanta dielektrik, dimana konstanta dielektrik *substrate* berkisar antara $2,2 \leq \epsilon_r \leq 12$.

Penggunaan mikrostrip sebagai bahan pembuatan antena tidak lepas dari faktor komponen dielektrik pada mikrostrip tersebut. Karena faktor permitivitas relatif bahan maka panjang gelombang dibahan lebih kecil daripada panjang gelombang di udara, seperti yang dijelaskan pada persamaan(2.8):

$$\lambda = \frac{c}{f_r} \quad (2.8)$$

Dimana λ_0 adalah panjang gelombang ruang bebas pada frekuensi resonansi f_r , frekuensi dalam *GigaHertz* (GHz), Sehingga panjang gelombang dalam milimeter dirumuskan pada persamaan (2.9) sebagai berikut :

$$\lambda_g = \frac{c}{f_r \sqrt{\epsilon_r}} \quad (2.9)$$

Dimana :

λ_g = panjang gelombang pada bahan

f_r = frekuensi resonansi

c = cepat rambat gelombang di udara (m/s^2)

ϵ_r = permitivitas relatif bahan (H/m)

c. Bidang pentahanan (*Ground*)

Ground antena mikrostrip sederhana terbuat dari bahan konduktor tembaga. *ground* berfungsi sebagai reflektor, yaitu mengembalikan energi dari *substrate* menuju udara bebas. Secara ideal *ground* diasumsikan memiliki dimensi yang tak hinga, namun jika hal terbut diaplikasikan maka tidak efektif dan efisien sehingga ukurannya menjadi disesuaikan dengan nilai minimum (Rajput, 2014:210).

Pada umumnya, Ukuran Dimensi *ground* dan *substrate* pada antena mikrostrip berbentuk persegi adalah terintergrasi satu sama lain atau memiliki ukuran yang sama (Afridi, 2015:128), sehingga diperoleh dengan persamaan (2.10) dan persamaan(2.11):

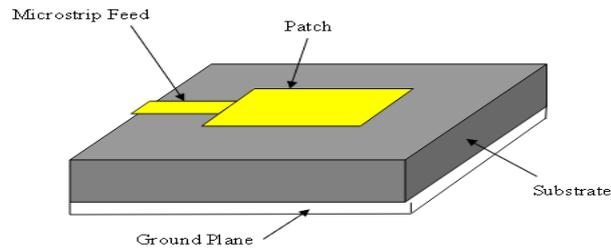
$$W_s = W_g \geq 6h + W_p \quad (2.10)$$

$$L_s = L_g \geq 6h + L_p \quad (2.11)$$

Dimana W_s adalah lebar *substrate*, W_g adalah lebar *ground*, W_p adalah lebar *patch*, L_s adalah panjang *substrate*, L_g adalah panjang *ground*, L_p adalah panjang *patch*.

2.3.2 Saluran mikrostrip

Saluran transmisi mikrostrip tersusun dari dua konduktor, yaitu sebuah strip dengan lebar dan bidang pentahanan, keduanya dipisahkan oleh suatu *substrate* yang memiliki permitivitas relatif ϵ_r dengan tinggi h seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.3 Parameter utama yang penting untuk diketahui pada suatu saluran transmisi adalah impedansi karakteristiknya Z_0 . Impedansi karakteristik Z_0 dari saluran mikrostrip ditentukan oleh lebar strip (W) dan tinggi *substrate* (h).



Gambar 2.3 Geometri Saluran Mikrostrip

1. Menentukan lebar saluran mikrostrip (W_f)

Nilai Z_0 dan ϵ_r sudah ditetapkan sebelumnya, lebar saluran mikrostrip dapat diperoleh setelah menentukan persamaan yang sesuai dengan syarat $u = \frac{W_F}{h}$ yang dirumuskan oleh Hammerstad melalui persamaan (2.12) - persamaan (2.15), dimana u adalah perbandingan lebarsaluran mikrostrip dengan ketebalan susbtrate. (Alaydrus, 2009:269) :

a. Ketikau $u = \frac{W_F}{h} \leq 2$

$$\frac{W_F}{h} = \frac{8e^A}{e^{2A}-2} \quad (2.12)$$

Sehingga,

$$A = \frac{Z_0}{60} \left[\frac{\epsilon_r+1}{2} \right]^{0,5} + \frac{\epsilon_r-1}{\epsilon_r+1} \left[0,23 + \frac{0,11}{\epsilon_r} \right] \quad (2.13)$$

b. Ketikau $u = \frac{W_F}{h} \geq 2$

$$\frac{W_F}{h} = \frac{2}{\pi} \left\{ (B-1) - \ln(2B-1) + \frac{\epsilon_r-1}{2\epsilon_r} \left[\ln(B-1) + 0,39 - \frac{0,61}{\epsilon_r} \right] \right\} \quad (2.14)$$

Sehingga,

$$B = \frac{60\pi^2}{Z_0 \sqrt{\epsilon_r}} \quad (2.15)$$

2. Menentukan konstanta dielektrik efektif (ϵ_{eff})

Nilai W_F dan h harus ditetapkan sebelumnya, dan konstanta dielektrik efektif dapat diperoleh setelah menentukan persamaan yang sesuai dengan syarat kurang atau lebih dari satumelalui persamaan (2.16) – persamaan (2.19) (Surjati, 2010:42-43) :

a. Ketika $\frac{W_F}{h} < 1$

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[\frac{1}{\sqrt{1 + 12 \frac{h}{W_F}}} + 0,04 \left(1 - \frac{W_F}{h} \right)^2 \right] \quad (2.16)$$

Maka nilai dari impedansi karakteristiknya (Z_0) adalah,

$$Z_0 = \left[\frac{60}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \ln \left(\frac{8h}{W_F} \right) \right] + \frac{W_F}{4h} \quad (2.17)$$

b. Ketika $\frac{W_F}{h} > 1$

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \left[\frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(\frac{1}{\sqrt{1 + 12 \frac{h}{W_F}}} \right) \right] \quad (2.18)$$

Maka nilai impedansi karakteristik (Z_0) adalah,

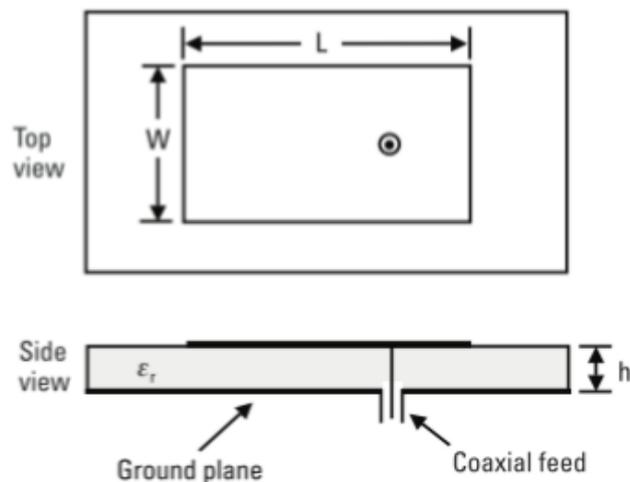
$$Z_0 = \frac{120\pi / \sqrt{\epsilon_{eff}}}{\frac{W_F}{h} + 1,393 + \left[\frac{2}{3} \ln \left(\frac{W_F}{h} + 1,44 \right) \right]} \quad (2.19)$$

2.3.3 Teknik Pencatuan Mikrostrip

Teknik pencatuan merupakan hal penting dalam menentukan proses perancangan karena catu merupakan sumber daya dari antenna tersebut. Teknik pencatuan mikrostrip terbagi menjadi dua macam, yaitu pencatuan secara langsung dan pencatuan secara tidak langsung.

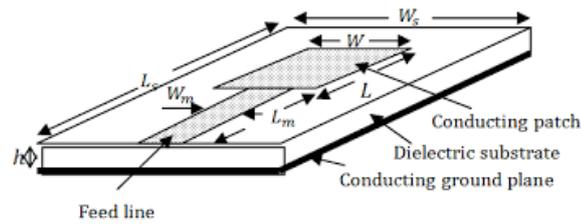
Pencatuan langsung merupakan teknik pencatuan dimana saluran pencatuan memberikan catu langsung kepada elemen peradiasi. Terdapat dua jenis teknik pencatuan secara langsung, yaitu *probe coaxial* dan saluran mikrostrip (Balanis, 1997:81).

Coax Line Feed atau Probe Koaksial umumnya digunakan dengan menghubungkan *ground* dan konduktor luar koaksial, menembus *substrate* dan terhubung dengan *patch* dan konduktor dalam koaksial. Bentuk pencatuan *coax line*, dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 *Coax Line Feed* (Kumar & Ray, 2003:2)

Pada teknik mikrostrip *line feed*, *patch* langsung dihubungkan ke saluran pencatu seperti yang terlihat pada Gambar 2.5. Teknik ini digunakan untuk mempermudah proses fabrikasi dan penyesuaian impedansi. Dalam proses *matching*-kan antenna, hal yang perlu dilakukan pada teknik ini adalah mengubah panjang dari elemen pencatu atau memberikan stub dan mengubah posisi saluran pencatu tersebut. Teknik Pencatuan yang digunakan adalah teknik pencatuan langsung dengan metode *microstrip line feed*.



Gambar 2.5 *Microstrip Line Feed*

Sedangkan pencatuan secara tidak langsung adalah memberikan catu daya kepada antenna secara tidak langsung dimana saluran pencatu tidak ditempelkan langsung dengan elemen peradiasi antenna. Terdapat tiga macam teknik pencatuan tidak langsung, yaitu *electromagnetically coupled*, *microstrip proximity coupled* dan *microstrip aperture coupled* (Balanis, 1997:66). Perbedaan karakteristik dari berbagai pencatuan antenna dapat dilihat pada Tabel 2.1. (Punit, 2004:38)

Tabel 2.1 Karakteristik Pencatu Antena Mikrostrip

Karakteristik	Pencatuan <i>Microstrip Line</i>	Pencatuan <i>Coaxial</i>	Pencatuan <i>Aperture Coupled</i>	Pencatuan <i>Proximity Coupled</i>
<i>Radiasi Feed</i>	Lebih Banyak	Lebih Banyak	Sedikit	Minimum
<i>Keandalan</i>	Lebih Baik	Buruk karena pengaruh penyolderan	Baik	Baik
<i>Fabrikasi</i>	Mudah	Dibutuhkan penyolderan & pengobatan	Cukup Rumit	Cukup Rumit
Matching Impedance	Mudah	Mudah	Mudah	Mudah
<i>Bandwidth</i>	2-5 %	2-5 %	2-5 %	13 %

2.4 Parameter – Parameter Antena

Dalam merancang antena perlu memperhatikan parameter – parameter yang dibutuhkan untuk menunjang performa dan aplikasi dari antena tersebut. Adapun parameter – parameter antena adalah sebagai berikut :

2.4.1 Return Loss

koefisien refleksi (Γ) merupakan perbandingan antara amplitudo dari gelombang yang direfleksikan (V_0^-) terhadap amplitudo gelombang yang dikirimkan (V_0^+), dan hasilnya mempengaruhi nilai *Return Loss*.

Return Loss dapat terjadi akibat adanya diskontinuitas di antara saluran transmisi (Z_0) dengan impedansi masukan beban antena (Z_L), sehingga tidak semua daya diradiasikan melainkan ada yang dipantulkan kembali. Adapun persamaan dari koefisien refleksi tegangan dapat dilihat pada persamaan (2.21): (Surjati, 2010:15-17)

$$\Gamma = \frac{V_0^-}{V_0^+} = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} \quad (2.21)$$

Dimana:

Γ = 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 dari *Return Loss* dapat dicari dengan cara memasukkan koefisien refleksi tegangan ke dalam persamaan (2.22) :

$$Return Loss = 20 \log |\Gamma| \quad (2.22)$$

Return Loss menjadi acuan utama untuk dapat melihat, rancangan yang dibuat sesuai frekuensi kerja yang diharapkan.

2.4.2 Voltage Standing Wave Ratio (VSWR)

Voltage Standing Wave Ratio (VSWR) adalah perbandingan antara amplitudo gelombang berdiri (*standing Wave*) maksimum ($|V|_{\max}$) dengan minimum ($|V|_{\min}$). Rumus yang digunakan untuk mencapai nilai VSWR atau S pada persamaan (2.23) (Surjati, 2010:15-17) :

$$S = \frac{|V|_{\max}}{|V|_{\min}} = \frac{1+|\Gamma|}{1-|\Gamma|} \quad (2.23)$$

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

$\Gamma = -1$, refleksi negatif maksimum ketika saluran terhubung singkat

$\Gamma = 0$, tidak ada refleksi ketika saluran dalam keadaan *matching* sempurna

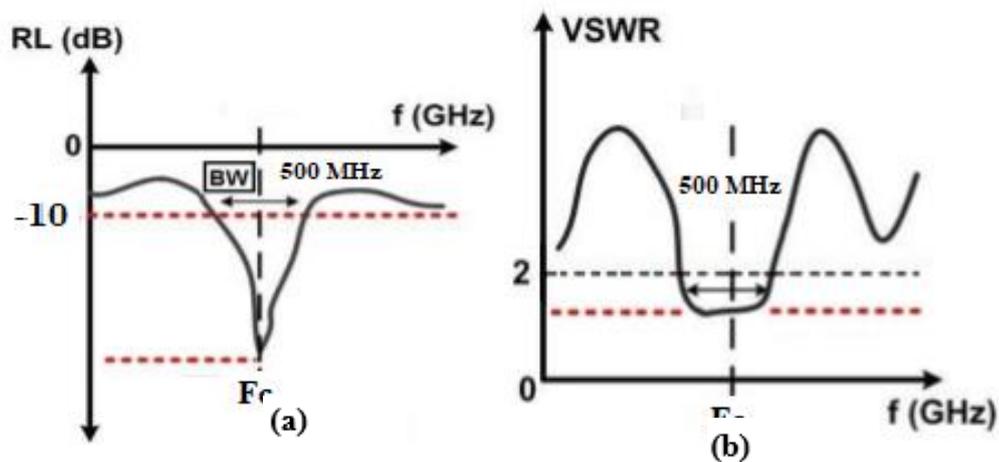
$\Gamma = +1$, refleksi positif maksimum, ketika saluran dalam rangkaian terbuka

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

2.4.3 Lebar pita (*Bandwidth*)

Bandwidth antena adalah rentang frekuensi kerja yang sesuai dengan karakteristik dan standar aplikasi penggunaan antena. Dimana pada rentang tersebut antena dapat bekerja efektif sebagai gelombang penerima. Dengan demikian sebuah antena yang memiliki spesifikasi tertentu hanya akan

memenuhi spesifikasi tersebut dalam rentang frekuensi kerja sesuai nilai *bandwidth* yang diberikan (Sandi & Djatmiko, 2012:16). Nilai *Bandwidth* dapat diketahui apabila nilai frekuensi tertinggi dan frekuensi terendah dari suatu antenna sudah diketahui pada *Return Loss* dan *VSWR*, seperti terlihat pada Gambar 2.6 dibawah ini. Frekuensi terendah adalah nilai frekuensi awal dari frekuensi akhir dari frekuensi kerja antenna. Namun demikian, pada saat perancangan dapat juga disepakati bahwa, frekuensi tertinggi atau frekuensi terendah yang merupakan frekuensi kerjadari antenna.



Gambar 2. 6 Rentang *Bandwidth* (lebar pita) yang ditentukan dari (a) Return Loss, dan (b) VSWR

Bandwidth (BW) antenna biasanya ditulis dalam bentuk presentase *Bandwidth* karena bersifat relatif lebih konstan terhadap frekuensi. Berikut adalah rumus yang dapat digunakan untuk mencari nilai *Bandwidth* adalah pada persamaan (2.24),

$$BW = \frac{f^h - f^L}{f_c} \times 100 \% \quad (2.24)$$

keterangan :

f_h : frekuensi tertinggi dalam *band* (Hz)

f_l : frekuensi terendah dalam *band* (Hz)

f_c : frekuensi tengah dalam *band* (Hz),

dimana,

$$f_c = \frac{f_h + f_l}{2} \quad (2.25)$$

ada beberapa jenis *Bandwidth* diantaranya :

1. *Impedance Bandwidth*, yaitu rentang frekuensi dimana *Patch* antena berada pada keadaan *matching* dengan saluran pencatu. Hal ini terjadi karena impedansi dari elemen antena bervariasi nilainya tergantung dari nilai frekuensi. Nilai *matching* ini dapat dilihat dari *Return Loss* dan VSWR. Pada umumnya nilai *Return Loss* dan VSWR yang masih dianggap baik masing-masing adalah kurang lebih -10dB dan 2.
2. *Pattern Bandwidth*, yaitu rentang frekuensi dimana *Bandwidth*, sidelobe, atau gain, yang bervariasi menurut frekuensi memenuhi nilai tertentu. Nilai tersebut harus ditentukan pada awal perancangan antena agar nilai *Bandwidth* dapat dicari.
3. *Polarization* atau *axial ratio Bandwidth* adalah rentang frekuensi dimana polarisasi (linear atau melingkar) masih terjadi. Nilai *axial ratio* polarisasi melingkar adalah kurang dari 3 dB.

2.4.4 Impedansi Masukan

Impedansi masukan (Z_{in}) didefinisikan sebagai perbandingan tegangan dan arus pada awal dari saluran transmisi (Alaydrus, 2009:77). Impedansi input antena merupakan Impedansi yang diberikan antena terhadap rangkaian dan saluran diluar antena. Impedansi masukan terdiri dari bagian real (R_{in}) dan imajiner (X_{in}) dan dapat dituliskan pada persamaan (2.26) :

$$Z_{in} = (R_{in} + j X_{in})\Omega \quad (2.26)$$

Dari persamaan Z_{in} tersebut di atas, komponen yang diharapkan adalah daya real yang menggambarkan banyaknya daya yang hilang melalui panas ataupun radiasi. Komponen imajiner mewakili reaktansi dari antena dan daya yang tersimpan pada medan dekat antena.

Nilai resistansi antena R_{in} terbagi menjadi dua komponen, yaitu resistansi radiasi antena R_r dan *loss resistance* R_L .

$$R_{in} = R_r + R_L \quad (2.27)$$

Resistansi radiasi adalah resistansi yang digunakan untuk meradiasikan gelombang elektromagnetik, sedangkan *loss resistance* adalah resistansi yang disebabkan oleh rugi-rugi pada antena. *loss resistance* pada antena menyebabkan berkurangnya power gelombang teradiasi akibat adanya panas. Desain antena yang baik memiliki nilai resistansi radiasi yang tinggi dan sebaliknya memiliki *loss resistance* yang rendah. Sedangkan kondisi *matching* terjadi ketika besar impedansi masukan antena sama dengan besar impedansi karakteristik saluran transmisi. Penelitian ini menggunakan impedansi masukan sebesar 50Ω , dimana hanya ada komponen *real* dari impedansi (Surjati, 2010:121).

2.4.5 Gain

Menurut Surjati (2010:21), Gain adalah perbandingan antara intensitas radiasi suatu antena pada suatu arah utama (U) dengan intensitas radiasi dari antena isotropik (U_0) yang menggunakan sumber daya masukan yang sama.

Gain antena merupakan besaran yang memperhitungkan efisiensi antena (η) dan kemampuan direksionalnya (D), seperti pada persamaan (2.28) :

$$G = D \cdot \eta \quad (2.28)$$

Directivity adalah perbandingan antara daya keluaran (output) dengan daya masukan (input), besarnya gain dapat dilihat dengan membandingkan intensitas radiasi suatu antenna pada suatu arah utama dengan intensitas radiasi dari antenna isotropik (referensi) yang menggunakan sumber daya masukan yang sama (Utomo, 2008:127).

Dimana, D adalah Direktivitas dan η disebut efisiensi antenna. Adapun jenis parameter penguatan (*gain*) yaitu *absolute gain* dan *relative gain*. *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 4π .

Absolute gain ini dapat dihitung dengan menggunakan rumus persamaan (2.29) :

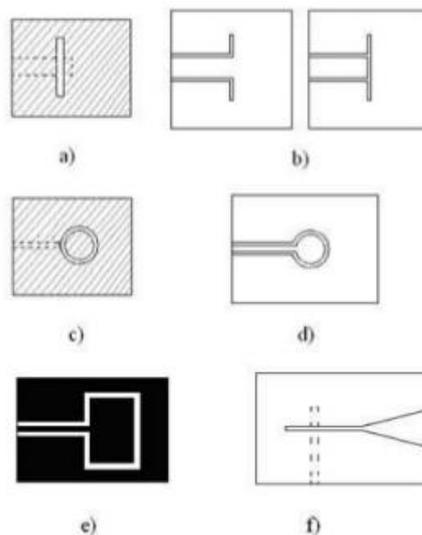
$$G = 4\pi \frac{\text{intensitas radiasi pada arah tertentu}}{\text{intensitas radiasi yang diterima}} = \frac{4\pi U(\theta, \phi)}{P_{in}} \quad (2.29)$$

Sedangkan *relative gain* didefinisikan sebagai perbandingan antara perolehan daya pada 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* ($P_{in(lossless)}$), yang dapat dirumuskan pada persamaan (2.30):

$$\text{Relative gain} = \frac{4\pi U(\theta, \phi)}{P_{in(lossless)}} \quad (2.30)$$

2.5 Antena Slot Mikrostrip

Antena slot mikrostrip berkembang dengan bentuk modifikasi dari geometri dasar antena mikrostrip *patch*. secara teoritis bentuk slot pada antena mikrostrip sama dengan bentuk segi empat dengan panjang dan lebar, dan bentuk *patch* mikrostrip dapat direalisasikan dalam bentuk slot. Seperti halnya *patch* antena mikrostrip, antena slot dapat diberikan pencatuan naik saluran mikrostrip atau *coplanar waveguide*. Beberapa bentuk dasar antena slot dapat dilihat seperti Gambar 2.7.



Gambar 2. 7Bentuk Dasar Antena Printed Slot

Keterangan :

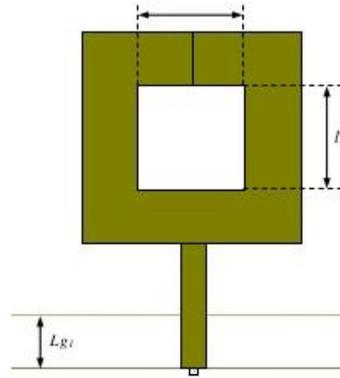
- a) *RectangularSlot with mikrostrip feed*
- b) *Rectangularslot with CPW feed*
- c) *Annularslot with mikrostrip feed*
- d) *Annularslot with CPW feed*
- e) *Rectangular ring slot*
- f) *Taperedslot*

Tabel 2.1 Menunjukkan perbandingan antara antenna mikrostrip *patch* dengan antenna mikrostrip slot. Kelebihan utama yang dimiliki oleh antenna mikrostrip slot adalah *Bandwidth* yang dihasilkan lebih lebar, dan kekurangan antenna ini adalah kemungkinan pola radiasi yang terjadi pada dua arah (*bidirectional*). Akan tetapi kekurangan ini dapat ditanggulangi dengan menambahkan metal *reflector* pada salah satu sisi slot (Iskandar, 2008:23).

Tabel 2. 2 Perbandingan Karakteristik Antena Mikrostrip Patch dan Mikrostrip Slot

No	Karakteristik	Antena Patch	Antena slot
1	Analisa dan desain	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	Unidirectional	Unidirectional & Bidirectional
7	Polarisasi	Melingkar dan linear	Melingkar dan linear
8	<i>Bandwidth</i>	Sempit	Lebar
9	Dual frekuensi	Dapat	Dapat

Slot merupakan bagian alternatif dari fungsi elemen peradiasi dan bentuk geometri dasar antenna mikrostrip terdiri dari elemen konduktor peradiasi (slot) yang dicetak pada *substrate*. Elemen peradiasi dapat dieksitasi oleh saluran transmisi koaksial, saluran mikrostrip atau elemen kopling elektromagnetik. Pada antenna mikrostrip, meliputi suatu slot yang memotong pada bidang tanah dengan saluran mikrostrip, sehingga slot akan tegak lurus dengan konduktor pada saluran mikrostrip. Bentuk antenna mikrostrip slot tunggal dapat dilihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2. 8 Geometri Antena Slot Tunggal

Antena mikrostrip slot antenna meliputi suatu slot atau celah yang berada pada lapisan *patch* dan tegak lurus dengan saluran mikrostrip, medan radiasi dihasilkan oleh saluran pencatu terhadap slot. Frekuensi kerja antena mikrostrip slot ditentukan oleh panjang slot yang diformulasikan pada persamaan (2.31) dan persamaan (2.32).

$$\frac{\lambda_a}{\lambda_0} = 1,194 - 0,24 \ln \varepsilon_r - \frac{0,621 \varepsilon_r^{0,835} \left(\frac{W}{\lambda_0}\right)^{0,48}}{1,344 + \frac{W}{h}} - 0,0617 \left[1,91 - \frac{\varepsilon_r + 2}{\varepsilon_r}\right] \ln\left(\frac{h}{\lambda_0}\right) \quad (2.31)$$

$$\frac{\Delta L}{h} = 0,412 \left[\frac{(\varepsilon_{\text{eff}} + 0,3) + \left(\frac{W_P}{h} + 0,264\right)}{(\varepsilon_{\text{eff}} - 0,258) + \left(\frac{W_P}{h} + 0,8\right)} \right] \quad (2.32)$$

Sehingga nilai panjang slot diperoleh :

$$L_a = \frac{\lambda_a}{2} - \Delta L \quad (2.33)$$

λ_a adalah panjang gelombang pada slot dan $\lambda_0 = \frac{c}{f_r}$ adalah panjang gelombang diruang bebas dengan frekuensi kerja yang diinginkan. ΔL diberikan pada persamaan (2.33) adalah panjang ekivalen yang dihubungkan dengan nilai induktansi pada ujung slot. Dimana h merupakan ketebalan pada *substrate* dan W adalah lebar slot yang ditentukan menggunakan persamaan (2.34).

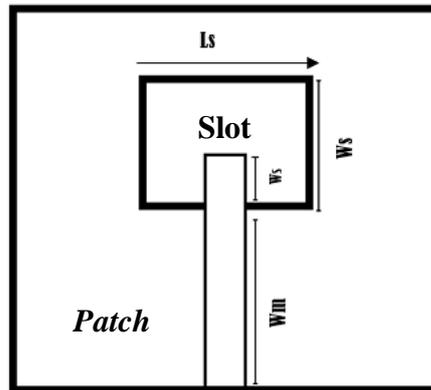
$$W_a = \frac{c}{2f_r \sqrt{\frac{\varepsilon_r + 1}{2}}} \quad (2.34)$$

Teknik pencatuan secara langsung pada umumnya adalah dengan menghubungkan tepian elemen peradiasi dengan konduktor. Pada slot (*wide slot*) teknik pencatuan tidak diganggu dengan keberadaan slot, karena slot diletakan di bagian atas *substrate* yang sejajar dengan elemen peradiasi.

2.6 Mekanisme peningkatan *Bandwidth* pada Antena Slot Mikrostrip

Mekanisme peningkatan *Bandwidth* dilakukan dengan posisi saluran transmisi berada dibawah lempengan antena dan berhimpitan (posisi *overlap*), mulai dari pinggir lempengan sampai sejauh l_m menuju ujung terbuka (*open end circuit*) dari saluran seperti terlihat pada Gambar 2.9, Medan pinggir yang terbentuk dari sirkit ujung terbuka saluran ini menghasilkan suatu mekanisme kopling utama kepada antenaslot. Lempengan antena ini mengalami efek pengkopelan secara elektromagnetik. Semakin besar efek kopling yang terjadi, akan menurunkan faktor kualitas rangkaian. Semakin menurunnya faktor kualitas rangkaian, semakin meningkatnya *Bandwidth* antena.

Efek kopling dikontrol oleh dua faktor utama, yaitu jarak penyisipan saluran dibawah elemen peradiasi dan lebar elemen peradiasi yang sebatas pada lebar W_m , dimana kopling simetris terhadap pusat elemen peradiasi dan penurunan lebar elemen peradiasi akan menaikan kopling dan pada akhirnya akan meningkatkan *bandwidth*. (Iskandar, 2008:16).



Gambar 2. 9 Struktur Antena Slot yang dicatu Saluran Mikrostrip

Resonansi pada rangkaian merupakan keadaan dimana reaktansi induktif dan reaktansi kapasitif memiliki nilai yang sama ($X_L = X_C$). Sehingga didapatkan pengaruh L dan C terhadap rekuensi resonansi seperti pada persamaan (2.12):

$$\begin{aligned}
 X_L &= X_C \\
 \omega L &= \frac{1}{\omega C} \\
 \omega^2 &= \frac{1}{LC} \\
 \omega &= \frac{1}{\sqrt{LC}} \\
 2\pi f_r &= \frac{1}{\sqrt{LC}} \\
 f_r &= \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \tag{2.35}
 \end{aligned}$$

Rangkaian ini bersifat resistif hanya pada frekuensi resonansi. Jika frekuensi berubah, maka impedansi rangkaian tidak lagi resistif dengan artian sifat reaktif induktif ($X_L < X_C$) atau kapasitif ($X_L > X_C$). Parameter yang berhubungan dengan sifat selektifitas rangkaian adalah faktor kualitas (Q), yang dirumuskan melalui persamaan (2.36) dan (2.37). faktor Q dapat mempengaruhi besar

Bandwidth, Sehingga *Bandwidth* dapat dijabarkan menggunakan formulasi seperti pada persamaan (2.38)

$$Q = \frac{R}{\omega L} \quad (2.36)$$

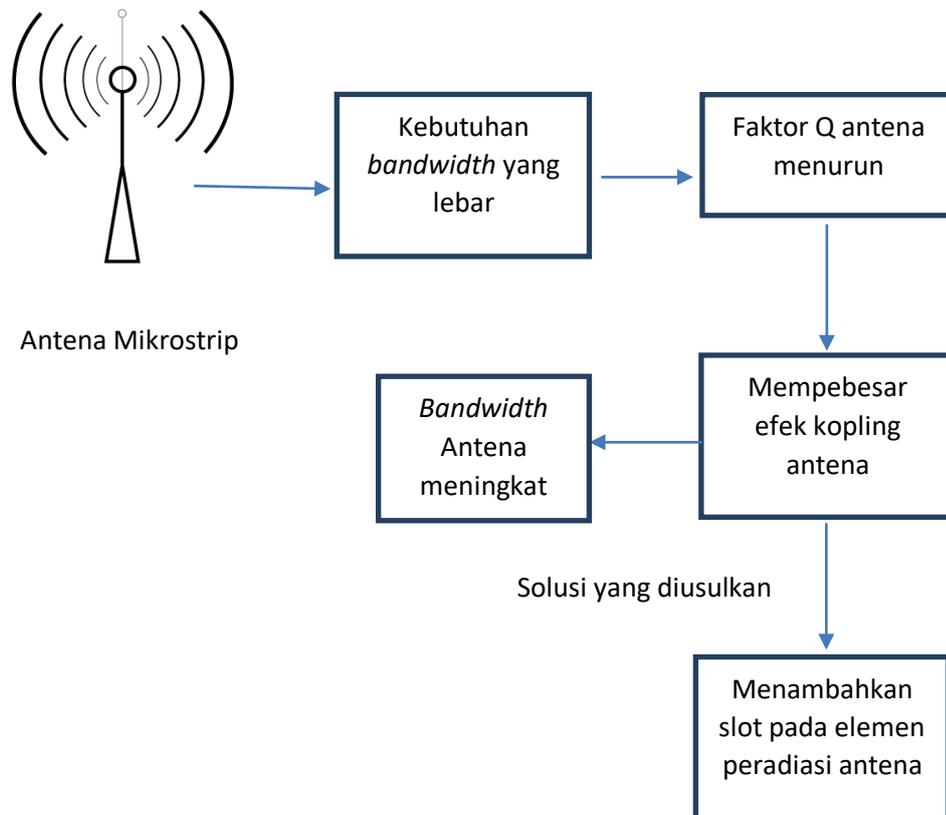
$$Q = \omega RC \quad (2.37)$$

$$BW = \frac{f_r}{Q} \quad (2.38)$$

Faktor Q yang rendah akan menghasilkan suatu *Bandwidth* yang lebar demikian juga sebaliknya. Sehingga dengan mengubah saluran mikrostrip antena akan menurunkan faktor kualitas Q . Semakin rendah faktor kualitas Q dari rangkaian akan membuat *Bandwidth* semakin lebar (Iskandar, 2008:20).

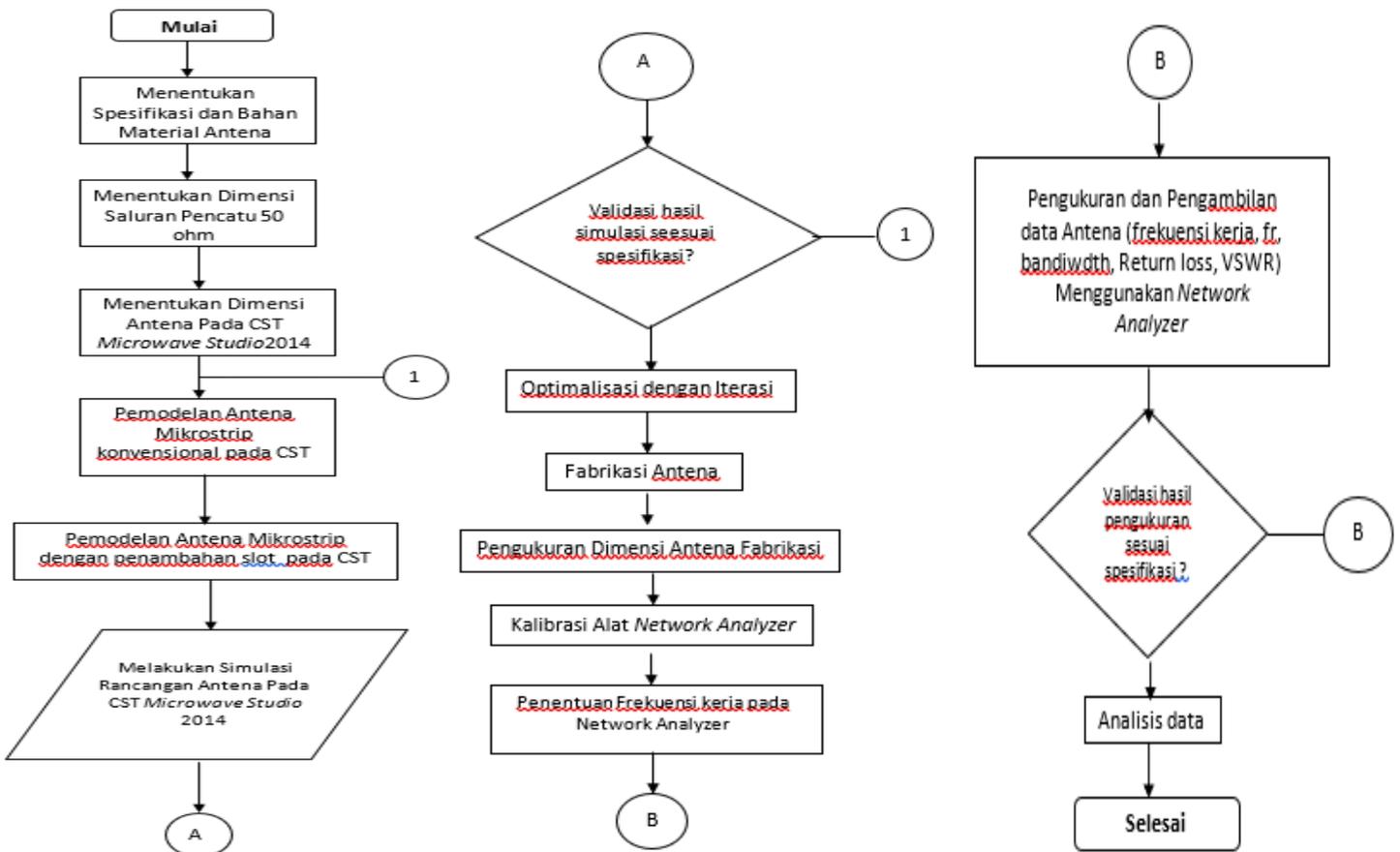
2.7 KERANGKA BERPIKIR

Antena Mikrostrip dengan penambahan slot yang dirancang



Gambar 2. 10 Konsep Antena Mikrostrip dengan penambahan slot yang dirancang

Gambar 2.10 menunjukkan konsep antenna yang diusulkan untuk menjawab perumusan masalah penelitian. *Bandwidth* merupakan rentang frekuensi kerja yang sesuai dengan karakteristik dan standar aplikasi penggunaan antenna. Besar *Bandwidth* mempengaruhi faktor Q dan efek kopling pada sebuah antenna. Semakin besar bandwidth yang diperoleh, semakin kecil faktor Q dan semakin besar efek kopling pada antenna. Begitupun sebaliknya. Pada penelitian ini berfokus untuk memperlebar *bandwidth* antenna, dengan menurunkan faktor Q dan memperbesar efek kopling pada antenna. Memperbesar efek kopling adalah membuat slot pada elemen peradiasi sehingga terjadi jarak penyisipan saluran pada elemen peradiasi antenna.



Gambar 2.11 Diagram Alir Pembuatan Antena Mikrostrip

Gambar 2.11 menunjukkan diagram alir pembuatan antenna mikrostrip. Tahapan dimulai dengan menentukan spesifikasi antenna dan bahan yang akan digunakan dalam pembuatan antenna. Setelah itu, melakukan perancangan dengan menentukan dimensi *feeding* dan dilanjutkan dengan menghitung dimensi antenna. Tahapselanjutnya diperlukan studi literatur yang komperhensif, yaitu melakukan simulasi antenna dengan menggunakan perangkat lunak simulator, yaitu CST *Microwave Studio* 2014. Proses pembuatan antenna agar sesuai dengan perhitungan dilakukan pada tahap ini dengan mendapatkan hasil simulasi. Setelah mendapatkan hasil simulasi yang sesuai. Selanjutnya dilakukan proses fabrikasi untuk mengujinya menggunakan alat ukur *Network Analyzer*. Tahap terakhir dari penelitian ini adalah menganalisis dan menyimpulkan hasil penelitian.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Kerangka berpikir pada bab II akan dijabarkan pada bab metodologi penelitian. Bab metodologi penelitian ini merupakan grand design penelitian yang akan menjadi pedoman untuk bab selanjutnya.

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Telekomunikasi Fakultas Teknik Universitas Negeri Jakarta dan Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, Bandung pada bulan Mei – Agustus 2017.

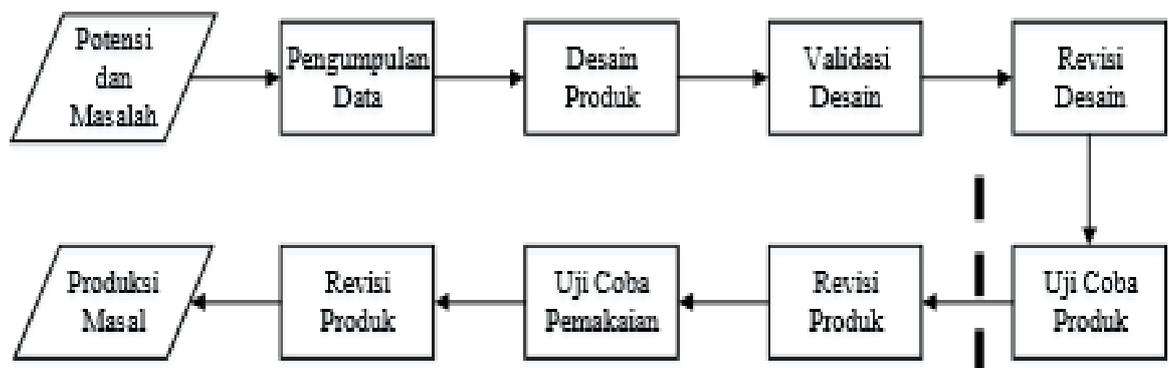
3.2 Metode Pengembangan Produk

3.2.1 Tujuan Pengembangan

Tujuan pada penelitian ini adalah membuat antenna yang memiliki *Bandwidth* yang lebar. Proses ini diawali dengan perencanaan secara matematis, melakukan pemodelan dan simulasi dengan *software CST Microwave Studio* 2014, dan melakukan pengujian dengan mengukur kinerja antenna mikrostrip yang bekerja pada frekuensi 3 - 5,5 GHz menggunakan *Network Analyzer* dengan parameter uji *Bandwidth* ± 500 MHz, $VSWR \leq 2$, dan *Return Loss* ≤ -10 dB pada antenna mikrostrip konvensional dan diharapkan dapat mengalami peningkatan yang pada antenna mikrostrip dengan penambahan slot.

3.2.2 Metode Pengembangan

Metode penelitian yang digunakan adalah Metode *Research and Development* (R&D). Menurut (Sugiyono, 2009:407) mengatakan bahwa metode penelitian dan pengembangan yang digunakan untuk menghasilkan produk tertentu dan menguji performansi produk tersebut. Penelitian mengambil beberapa langkah penelitian pengembangan, yaitu potensi dan masalah, pengumpulan informasi, dan desain produk, validasi desain, revisi desain dan uji coba produk.



Gambar 3. 1Metode *Research and Development* (R&D) (Sugiyono, 2009:408)

Berdasarkan prosedur yang ditunjukkan pada Gambar 3.1, penelitian ini hanya sampai pada tahap ke-6 yaitu tahap uji coba produk.

1. Potensi dan masalah

Potensi adalah segala sesuatu yang akan memiliki nilai tambah apabila didayagunakan, dan jika tidak didayagunakan maka bisa berkembang menjadi masalah, begitupun sebaliknya (Sugiyono, 2006: 333 & 335). Penelitian ini bermula dari adanya kebutuhan *Bandwidth* yang lebar pada antena mikrostrip untuk dapat diaplikasikan.

2. Pengumpulan data

Berbagai informasi dibutuhkan sebagai bahan untuk perencanaan produk tertentu yang diharapkan dapat lebih baik dari produk yang sudah ada. Pengumpulan data dilakukan secara berulang, (Sugiyono, 2006: 336). Begitupun dalam penelitian ini, data dibutuhkan sebagai bahan referensi untuk hasil desain antena mikrostrip slot dengan penambahan slot yang dapat meningkatkan *Bandwidth*.

3. Desain produk

Desain produk diwujudkan dalam Gambar atau bagan, sehingga dapat digunakan sebagai pedoman untuk menilai dan membuatnya. Desain sistem bersifat hipotetik (karena efektivitas belum terbukti) dan akan diketahui setelah pengujian. Desain produk meliputi bahan yang digunakan, ukuran, alat pengukur, dan prosedur kerja (Sugiyono, 2006: 338). Desain antena yang dihasilkan dalam penelitian, diperoleh dari rancangan dengan perhitungan matematis dan disimulasikan dengan menggunakan software simulasi yaitu *CST Microwave Studio 2014*.

4. Validasi desain

Validasi desain merupakan proses kegiatan menilai secara rasional apakah rancangan produk lebih baik dari yang sebelumnya atau sesuai dengan yang diharapkan (Sugiyono, 2006: 338). Dalam penelitian ini, proses validasi adalah ketika pengujian perancangan antena saat simulasi pada *CST 2014* yang berupa hasil parameter antena.

5. Revisi Desain

Kekurangan dari rancangan akan diminimalisir dengan memperbaiki desain (Sugiyono, 2006: 228). Pada penelitian ini, dilakukan proses iterasi untuk mencapai hasil yang optimal dan sesuai dengan spesifikasi awal antenna.

6. Uji coba produk

Setelah melakukan proses validasi dan revisi maka selanjutnya produk dapat dibuat dalam bentuk prototype (Sugiyono, 2006:339). Pada penelitian ini, Uji coba produk meliputi fabrikasi antenna yang akan diuji dengan alat ukur *Network Analyzer*, dimana proses fabrikasi tersebut menggunakan jasa pihak ketiga yaitu di *Spectra* Bandung. Hasil pengukuran meliputi parameter Frekuensi resonansi, VSWR, *Return Loss* dan *Bandwidth*.

3.2.3 Sasaran Produk

Sasaran produk dalam penelitian ini yakni penggunaan antenna mikrostrip dengan penambahan slot yang dapat meningkatkan *Bandwidth*.

3.2.4 Instrumen

Pada penelitian ini, instrumen yang digunakan adalah alat ukur *Network Analyzer*, bahan dan alat penunjang lainnya. Berikut alat dan bahan penunjang yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah :

- a) *Software Computer Simulation Technology Microwave Studio 2014*
- b) *Microsoft Office 2016 (Word, Powerpoint, dan Visio)*
- c) *Network Analyzer Anritsu tipe S332E*
- d) *Konektor SMA 50 Ω , solder, mistar, dan timah*
- e) *Bahan material FR-4 (epoxy dan Copper (annealed))*

- f) Laptop : Lenovo Ideapad G40-45 dengan spesifikasi pada Tabel 3.1

Tabel 3.1 Spesifikasi Lenovo IdeaPad G40-45

Prosesor	A6 – 6310 APU 2.0 GHz(up to 2,4 GHz) x64 bit OS
OS	Windows 10 Pro
Graphics	AMD Radeon R4 M330
Display	14.0 HD
RAM	6 GB
Tipe Memori	DDR3L 2 GB

3.3 Prosedur Pengembangan

3.3.1 Tahap Penelitian dan Pengumpulan Informasi

Antena slot mikrostrip menggunakan slot berbentuk persegi panjang ini merupakan modifikasi dari desain-desain antena sebelumnya untuk memperlebar *Bandwidth*. Desain antena mikrostrip sebelumnya dirancang dengan menggunakan slot pada antena dengan bentuk yang beragam, seperti antena yang berbentuk *U-Shaped slot*, *E-H Shaped slot*, *double cross-shaped slots* dan banyak bentuk lainnya.

Perancangan antena slot mikrostrip ini dilakukan melalui tahap simulasi menggunakan perangkat lunak CST *Microwave Studio* 2014 dari hasil perhitungan lalu dilakukan optimasi, pengukuran parameter-parameter antena, dan analisa kenaikan *Bandwidth* dengan pengembangan dari antena mikrostrip konvensional menjadi antena mikrostrip dengan penambahan slot berdasarkan hasil simulasi dan hasil pengukuran. Pengukuran dilakukan antena yang dirancang pada penelitian ini dilakukan di Laboratorium Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia,

Bandung. Parameter-parameter antenna yang diukur meliputi; frekuensi resonansi, *Return Loss*, VSWR, dan *Bandwidth*.

Adapun rancangan penelitian ini merupakan antenna mikrostrip dengan slot yang dicatu menggunakan saluran mikrostrip. Tahap Pertama yang harus dilakukan adalah melakukan perhitungan manual dengan perumusan yang ada untuk memperoleh nilai-nilai pada setiap dimensi antenna mikrostrip konvensional. Setelah itu menyesuaikan hasil perhitungan dengan hasil simulasi melalui iterasi, sehingga didapatkan antenna mikrostrip konvensional yang optimal, Maka dilakukan pengembangan dari antenna tersebut dengan menambahkan slot pada ukuran dimensi yang sama dengan antenna mikrostrip konvensional.

Secara umum langkah perancangan antenna mikrostrip dengan penambahan slot ini diawali dengan menentukan lebar dan panjang dimensi dari slot. Langkah berikutnya menentukan lebar saluran catu mikrostrip sebagai fungsi nilai impedansi karakteristik. Kemudian menempatkan posisi saluran catu mikrostrip terhadap panjang *patch* dimana saluran ditempatkan pada pusat dari panjang slot atau simetris, dan slot diletakan pada bagian *patch* yang mendekati saluran catu mikrostrip. Setelah dibuat geometri antenna pada *Software CST Microwave Studio2014* yang sesuai dengan dimensi-dimensi yang sudah diperoleh dari hasil perhitungan, dilakukan simulasi untuk mendapatkan parameter-parameter antenna, yaitu; frekuensi resonansi, *Return Loss*, VSWR dan *Bandwidth*. Setelah diperoleh *Bandwidth* yang paling lebar dilakukan fabrikasi antenna dengan ukuran geometri berdasarkan hasil simulasi. Tahap terakhir pada penelitian ini, dilakukan pengukuran dilaboratorium telekomunikasi untuk memperoleh parameter

frekuensi resonansi, *Return Loss*, *VSWR* dan *Bandwidth*. Secara detail dan jelasnya prosedur perancangan penelitian ini dijelaskan pada sub-bab selanjutnya.

3.3.2 Tahap Perencanaan

Tahapan perencanaan dan pembuatan antenna mikrostrip sebagai berikut :

a. Penentuan spesifikasi

Spesifikasi adalah hal utama dalam perancangan, yaitu penentuan frekuensi resonansi, *Bandwidth*, *Return Loss* dan *VSWR* yang diharapkan.

Tabel 3.2 Spesifikasi Antena Mikrostrip Konvensional

Spesifikasi Parameter	
Frekuensi kerja	3 – 5,5GHz
VSWR	≤ 2
<i>Bandwidth</i>	± 500 MHz
<i>Return Loss</i>	$\leq - 10$ dB
Konektor	SMA 50 Ω

Penentuan frekuensi kerja pada Tabel 3.2 berdasarkan alokasi dari frekuensi *wideband*, dimana pada *spectrum* frekuensi tersebut terdapat beberapa sistem komunikasi, seperti sistem komunikasi *Wimax* pada frekuensi 3,3 GHz dan 3,5 GHz, sistem komunikasi RLAN (*Radio Local Area Network*) dengan frekuensi 5,2 GHz yang dialokasikan oleh ITU. Oleh karena itu, peneliti menentukan lebar *Bandwidth* yang diperoleh pada *range* frekuensi 3 – 5,5 GHz sebesar ± 500 MHz dengan *Return Loss* $\leq - 10$ dB dan *VSWR* ≤ 2 .

b. Penentuan Jenis Bahan

Selanjutnya dilakukan perhitungan dimensi fisik dari antenna. Dimensi antenna terdiri dari beberapa elemen diantaranya panjang dan lebar antenna, lebar dan panjang *ground*. Setiap bahan yang digunakan pada *substrate* memiliki nilai konstanta dielektrik relatif (ϵ_r), dan ketebalan (h) yang berbeda-beda. sehingga dipilih *substrate* dengan bahan FR-4 epoxy (*Lossy*) dengan spesifikasi bahan pada Tabel 3.3:

Tabel 3.3 Spesifikasi *substrate* yang digunakan

Jenis <i>Substrate</i>	FR 4 epoxy (<i>Lossy</i>)
Konstanta dielektrik relatif (ϵ_r)	4,3
<i>Dielectric Loss Tangent</i> ($\tan \delta$)	0,002
Ketebalan <i>Substrate</i>	1,6 mm
Permeabilitas relatif (μ_r)	1

Dalam melakukan perancangan dan realisasi sebuah antenna mikrostrip jenis *substrate* yang dipilih dan digunakan sangat mempengaruhi beberapa parameter antenna. FR-4 adalah material untuk *substrate* yang efisien dari segi harga dan memiliki sifat mekanik yang cukup baik, sehingga sering digunakan untuk produksi produk elektronik, termasuk sistem *microwave* dan antenna (Riani, 2016: 2).

Tabel 3.4 Spesifikasi bahan pada *patch, ground, dan slot*

<i>Patch, Ground & Slot</i>	Tembaga (<i>copper</i>)
Konstanta dielektrik relatif (ϵ_r)	1
<i>Dielectric Loss Tangent</i> ($\tan \delta$)	0,999991
Ketebalan	0,035 mm

Tabel 3.4 menunjukkan jalur *patch*, *ground* dan slot menggunakan bahan tembaga (*copper*). berikut adalah karakteristik bahan yang akan digunakan dalam perancangan antenna.

c. Penentuan Dimensi Elemen Antena

Langkah perhitungan dimensi antenna mikrostrip sesuai dengan yang telah diuraikan pada bab 2 :

Menentukan nilai frekuensi tengah

$$f_r = \frac{fh+fl}{2} = \frac{5.5+3}{2} = 4.25 \text{ GHz}$$

1. Perancangan Ukuran Dimensi Patch, substrate, dan ground

Ukuran Dimensi Patch, substrate, dan ground dapat dihitung dengan persamaan (2.1) sampai dengan persamaan (2.11) sebagai berikut :

$$\lambda_0 = \frac{c}{f_0} = \frac{3 \times 10^8}{4.25 \times 10^9} = 0.0692 \text{ m} = 69.2 \text{ mm}$$

Kemudian menghitung lebar dan panjang *patch* menggunakan persamaan 2.1 – 2.7 sehingga diperoleh :

$$W_p = \frac{c}{2f_0 \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2}}} = \frac{3 \times 10^8}{2 \times 4.25 \times 10^9 \sqrt{\frac{4.3+1}{2}}} = 0.021681 \text{ m} = 21,68 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_{eff} &= \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \left[\frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(\frac{1}{\sqrt{1 + 12 \frac{h}{W_p}}} \right) \right] \\ &= \frac{4,3+1}{2} + \left[\frac{4,3-1}{2} \left(\frac{1}{\sqrt{1+12 \frac{1,6}{21,68}}} \right) \right] = 3,85 \end{aligned}$$

$$L_{eff} = \frac{c}{2 \times f_r \sqrt{\epsilon_{eff}}} = \frac{3 \times 10^8}{2 \times 4,25 \times 10^9 \sqrt{3,85}} = 0,017987 \text{ m} = 17,98 \text{ mm}$$

$$\Delta L = 0,412 \times h \times \left[\frac{(\epsilon_{\text{eff}} + 0,3) + \left(\frac{W_P}{h} + 0,264\right)}{(\epsilon_{\text{eff}} - 0,258) + \left(\frac{W_P}{h} + 0,8\right)} \right]$$

$$= 0,412 \times 1,6 \times \left[\frac{(3,85+0,3)+\left(\frac{21,68}{1,6}+0,264\right)}{(3,85-0,258)+\left(\frac{21,68}{1,6}+0,8\right)} \right] = 0,66 \times \left(\frac{89,82}{89,71}\right) = 0,66$$

$$L_P = L_{\text{eff}} - 2\Delta L = 17,98 - (2 \times 0,66) = 16,65 \text{ mm}$$

Dimensi *ground* dan *substrate* terintegrasi satu sama lain (ukurannya sama). Untuk perhitungan ukuran panjang dan lebar diperoleh dari persamaan 2.10 dan 2.11 sehingga diperoleh :

$$W_s = W_g \geq 6h + W_p = 6(1,6) + 21,68 = 31,28 \text{ mm}$$

$$L_s = L_g \geq 6h + L_p = 6(1,6) + 16,65 = 26,25 \text{ mm}$$

Berdasarkan desain perhitungan sebelumnya maka rangkuman hasil perhitungan dari antena mikrostrip konvensional dirangkum seperti pada Tabel 3.5.

Tabel 3. 5 Perhitungan Dimensi Antena Mikrostrip Konvensional

Elemen	Dimensi (mm)	
	W	L
<i>Patch</i>	21,68	16,65
<i>Ground</i>	31,28	26,25
<i>Substrate</i>	31,28	26,25
Feed	12,97	3,137

Antena mikrostrip konvensional menjadi kriteria dalam pembuatan antena mikrostrip dengan penambahan slot berikutnya. Pada tahap ini, hasil respon parameter antena masih belum memenuhi spesifikasi yang diinginkan. Sehingga, perlu dilakukan modifikasi dan optimasi dengan cara iterasi agar mendapatkan hasil simulasi yang sesuai

dengan spesifikasi. Tabel 3.6 merupakan hasil desain iterasi dan pengoptimalan antenna mikrostrip konvensional.

Tabel 3. 6 Iterasi Dimensi Antena Mikrostrip Konvensional

Elemen	Dimensi (mm)	
	W	L
<i>Patch 1</i>	16	7
<i>Patch 2</i>	12	3,5
<i>Ground</i>	20	15
<i>Substrate</i>	20	30
Feed	2	15.5

2. Perancangan Ukuran Saluran Pencatuan Antena

Penelitian ini menggunakan saluran pencatuan antenna mikrostrip line, dimana *substrate* atas terdiri dari *patch* dan bagian bawah terdiri dari *ground*. Dalam mikrostrip ini menggunakan pencatuan langsung yaitu sebesar 50 ohm. Pencatuan tersebut dihubungkan konektor SMA 50 ohm dengan saluran transmisi yang impedansi input 50 ohm. Pada penelitian ini, saluran pencatu 50 Ω akan terhubung dengan konektor dan *patch*. Oleh sebab itu, untuk memperoleh panjang dan lebar saluran pencatuan menggunakan persamaan (2.12) – persamaan (2.15).

Ketentuan nilai u yang sesuai untuk impedansi sebesar (Z_0) 50 Ω adalah $u = \frac{W_F}{h} \leq 2$, maka :

$$A = \frac{Z_0}{60} \left[\frac{\epsilon_r + 1}{2} \right]^{0,5} + \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1} \left[0,23 + \frac{0,11}{\epsilon_r} \right]$$

$$A = \frac{50}{60} \left[\frac{4,3 + 1}{2} \right]^{0,5} + \frac{4,3 - 1}{4,3 + 1} \left[0,23 + \frac{0,11}{4,3} \right]$$

$$= (0,833 \times 1,627) + (0,622 \times 0,255) = 1,513$$

$$\frac{W_F}{h} = \frac{8e^A}{e^{2A}-2}$$

$$= \frac{8e^A}{e^{2A}-2} = \frac{8e^{1,513}}{e^{2(1,513)}-2}$$

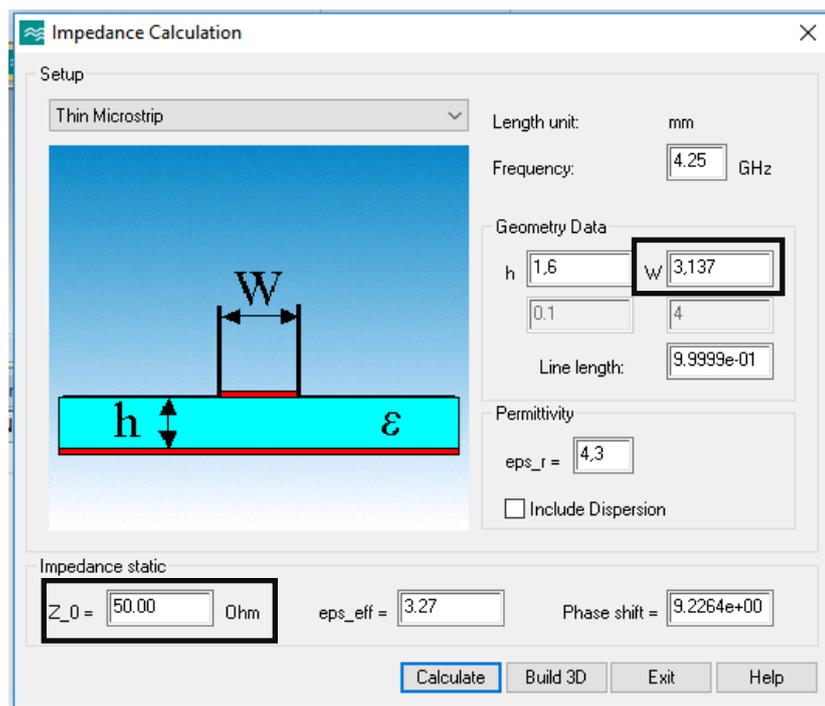
$$= \frac{36,322}{18,614} = 1,951$$

Sehingga,

$$W_F = 1,051 \times h$$

$$= 1,951 \times 1,6 = 3,121 \text{ mm}$$

Dan hasil menggunakan CST 2014 adalah 3,137 mm, seperti terlihat pada Gambar3.2.



Gambar 3. 2Menghitung Impedansi Transmisi *Line*

Hasil perhitungan panjang *line feed* secara otomatis yang dilakukan oleh software CST *Microwave Studio* 2014 adalah 3,137 mm, hal ini membuktikan bahwa hasil perhitungan secara matematis dengan hasil perhitungan pada *software* tidak begitu jauh perbedaan antara perhitungan matematis dengan perhitungan pada *software*, yang hanya sekitar 0,016 mm.

3. Penentuan Teknik Pencatuan

Dalam desain antena mikrostrip menggunakan *software CST Microwave Studio* 2014, menentukan jenis pencatuan dipengaruhi frekuensi kerja antena, jenis material antena yang digunakan, dan impedansi input. Perancangan ini, peneliti menggunakan jenis pencatuan langsung dimana diharapkan jenis pencatutan ini dapat menghasilkan nilai *Bandwidth* yang mengalami peningkatan pada antena mikrostrip dengan penambahan slot.

3.3.3 Tahap Desain Produk

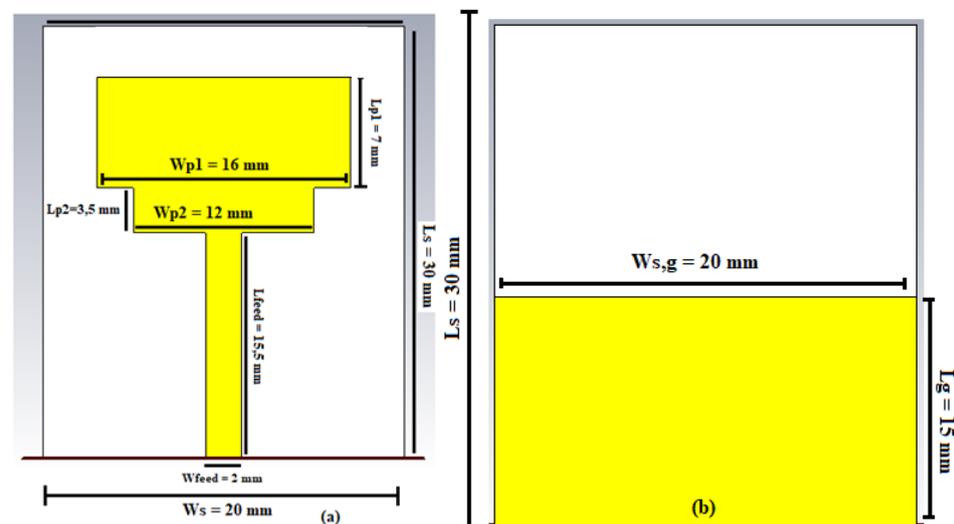
Ketika hasil simulasi tidak sesuai dengan yang diharapkan (setelah validasi), maka dilakukan upaya pengoptimalisasi kinerja antena atau disebut iterasi. Semua perhitungan dimuat dalam sebuah *grandesign* yang akan dijabarkan pada tahap ini.

3.3.3.1 Desain antena mikrostrip dengan CST

Setelah melakukan perhitungan beberapa parameter untuk merancang sebuah antena mikrostrip konvensional dan pengembangan dengan penambahan

slot, langkah selanjutnya adalah melakukan desain dan simulasi menggunakan software *CST Microwave Studio 2014*. Visualisasi berupa Gambar tiga dimensi dengan spesifikasi ukuran, jenis bahan dan letak pencatutan yang sesuai agar bisa disimulasikan. jenis bahan sesuai spesifikasi, seperti tembaga (*copper*) untuk *patch* dan *ground* serta FR4 (*epoxy*) untuk *Substrate*. Hasil dari simulasi yang dilakukan pada *CST Microwave Studio 2014* berupa parameter-parameter antenna seperti *VSWR*, *Bandwidth*, dan *Return Loss* yang ditampilkan dalam bentuk grafik atau Gambar. Parameter - parameter inilah yang selanjutnya dianalisis untuk mengetahui karakteristik dan kinerja antenna.

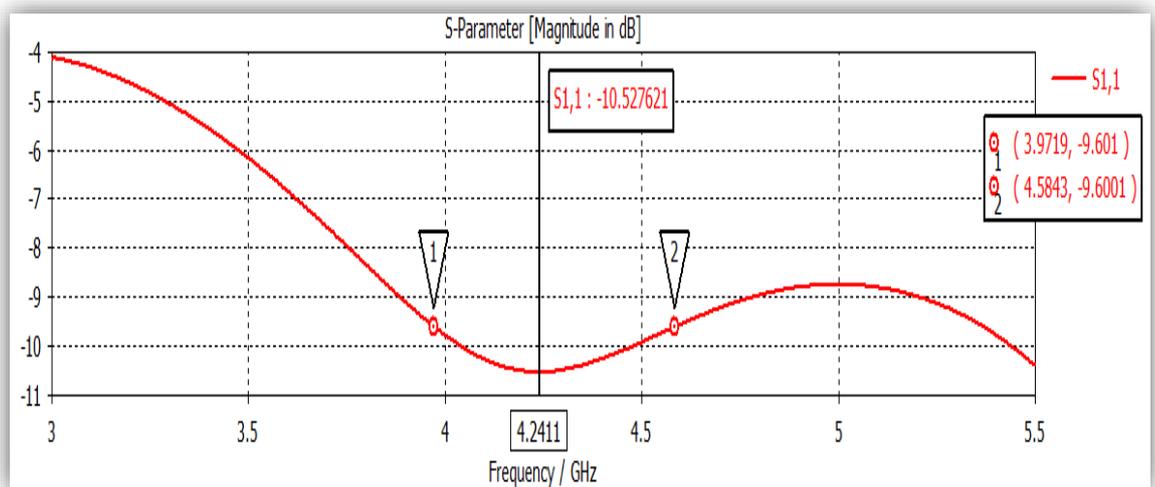
Dalam perancangan antenna mikrostrip, membuat antenna mikrostrip konvensionalialah untuk mendapatkan kriteria standar *Bandwidth* yang dihasilkan dari hasil respon S-Parameter antenna mikrostrip yang sesuai dengan spesifikasi awal yang ditunjukkan pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3Antena Mikrostrip Konvensional (a) tampak depan, (b) tampak belakang

3.3.3.2 Validasi Desain Antena

Validasi desain antenna dilakukan pada simulasi bantuan dengan menggunakan software *CST Microwave Studio 2014*. Hal ini bertujuan mengetahui dimensi optimal suatu antenna. Optimalisasi akan dilakukan jika hasil running berdasarkan dimensi awal hitungan tidak sesuai dengan cara mengubah bentuk, mengubah besaran parameter. Simulasi ini bertujuan sebagai perancangan fabrikasi antenna serta untuk memperoleh spesifikasi yang telah ditentukan. Sehingga dapat dilihat pada Gambar 3.4 dan 3.5 Hasil respon dari setiap parameter yang diperoleh dari *CST Microwave Studio 2014* pada antenna mikrostrip konvensional.

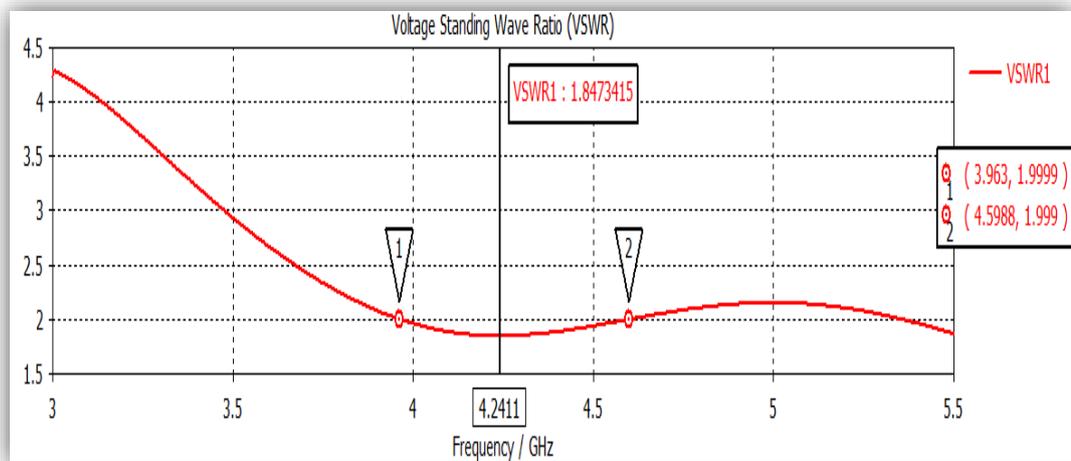


Gambar 3. 4 Hasil respon Return Loss Antena Mikrostrip Konvensional setelah dioptimasi

Dari grafik *Return Loss* dapat pula dicari nilai frekuensi resonansi (*cut off*) dan *Bandwidth*. Untuk f_r dari antenna mikrostrip konvensional adalah pada titik minimum 4,2411 GHz, dan nilai *Return Loss* yang diperoleh adalah $-10,52$ dB. Nilai *Bandwidth* yang diperoleh berdasarkan pengamatan pada posisi *marker 1* dan *marker 2*, dapat dihitung dengan persamaan (2.24).

$$\begin{aligned}
 BW &= \frac{f_h - f_L}{f_c} \times 100 \% \\
 &= \frac{4,5988 - 3,963}{4,2411} \times 100\% \\
 &= 0,14969 \% \text{ (635,8 MHz)}
 \end{aligned}$$

Selain *Return Loss*, frekuensi resonansi, dan *Bandwidth*, hasil simulasi performansi antenna juga terdiri dari nilai *VSWR* sebagai parameter terwujudnya matching antar saluran transmisi. Grafik *VSWR* dapat dilihat pada Gambar3.5.



Gambar 3. 5 Hasil respon VSWR Antena Mikrostrip Konvensional setelah dioptimasi

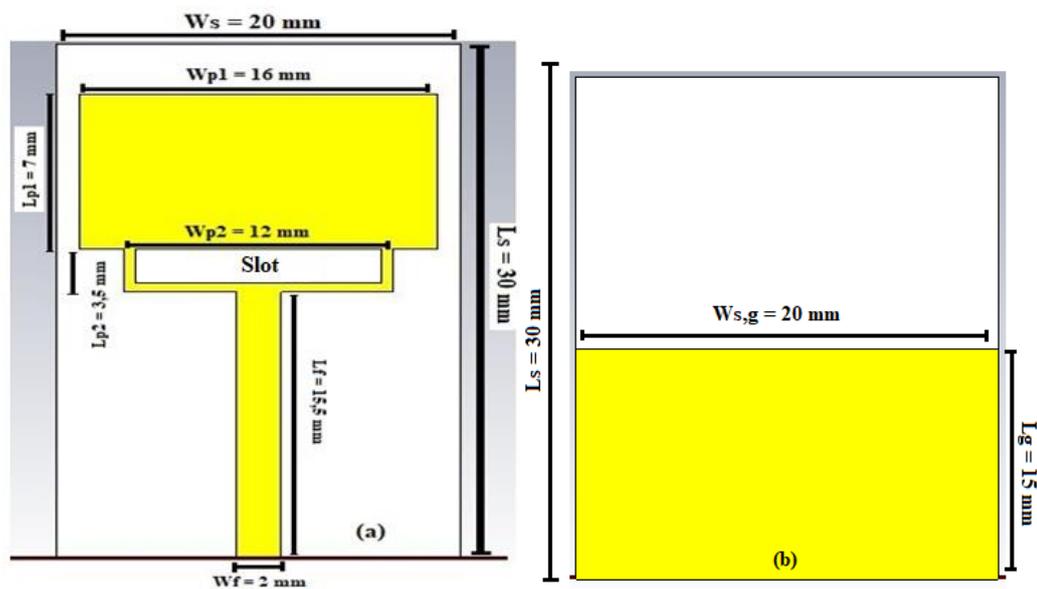
Dengan demikian, hasil simulasi antenna mikrostrip konvensional telah memenuhi spesifikasi yang diinginkan (spesifikasi awal lebar *Bandwidth* > 500 MHz). Sehingga dapat dirangkum hasil respon simulasi antenna mikrostrip konvensional melalui Tabel3.7.

Tabel 3. 7 Hasil Simulasi Antena Mikrostrip Konvensional

Frekuensi resonansi (f_r)	4,2411 GHz
Frekuensi atas (f_h)	4,5988 GHz
Frekuensi bawah (f_l)	3,963 GHz
<i>Return Loss</i>	- 10,52 dB
VSWR	1,84

<i>Bandwidth</i>	635,8 MHz
------------------	-----------

Langkah selanjutnya adalah merancang desain antenna mikrostrip dengan penambahan slot yang dapat meningkatkan $Bandwidth > 635,6$ MHz yang diperoleh dari antenna mikrostrip konvensional pada simulator CST *microwave studio* 2014. Slot akan didesain dengan bentuk persegi panjang dan diletakan pada bagian *patch*, seperti pada Gambar 3.6.



Gambar 3. 6 Antena Mikrostrip dengan penambahan slot (a) tampak depan, (b) tampak belakang

Penelitian ini mengembangkan desain antenna mikrostrip konvensional dengan menambahkan slot pada bagian patch antenna. Dimana hasil simulasi pada antenna konvensional dapat menghasilkan $Bandwidth$ sebesar 635,8 MHz, $Return Loss$ -10,52 dB, dan $VSWR$ 1,84, diharapkan antenna mikrostrip dengan penambahan slot dapat meningkatkan lebar $Bandwidth$ dengan ukuran dimensi antenna yang sama.

3.3.3.3 Uji Coba Produk Penelitian dan Pengembangan

Efektifitas penelitian berupa uji coba produk dengan mengukur antenna fabrikasi, dimana proses tersebut menjadi tolak ukur kelayakan antenna. Proses analisis akan dilakukan untuk mengetahui apakah terdapat kesenjangan antara hasil pengukuran dengan hasil simulasi.

a. Fabrikasi antenna

Fabrikasi merupakan proses realisasi model simulasi kedalam bentuk riil antenna. Fabrikasi dilakukan melalui *fotocutting* oleh pihak yang berpengalaman, karena keakuratan dimensi menjadi faktor penting keberhasilan untuk mencapai spesifikasi yang diinginkan. Dalam teknologi perancangan antenna mikrostrip, karakteristik bahan, teknik dan letak pencatutan, serta ketelitian dalam pembuatan harus diperhatikan agar karakteristik antenna yang diinginkan bisa tercapai. Berikut langkah – langkah mengkonversi bentuk *.vsd* menjadi bentuk *.dxf* yaitu :

1. Untuk mencetak bagian depan antenna, arahkan “WCS” pada koordinat *Z* antara *patch* dan *substrate*.
2. Aktifkan komponen *patch*
3. Gunakan “*pick Face center*” untuk membuat WCS di tengah *face* bagian depan *patch*.
4. Klik toolbar “*align WCS*” atau WCS menu > align WCS.
5. Ubah “*predefined view*” menjadi tampak depan/”front”
6. Klik menu, lalu *export*, lalu klik *.dxf*
7. Akan muncul pesan “klik enter untuk konfirmasi” lalu klik enter
8. Save file *dxf* dan berikan nama pada file dengan memberi keterangan “top layer.dxf”

9. Begitu juga dengan bagian belakang antena, komponen yang diaktifkan adalah *gound*, lalu langkah selanjutnya sama dengan point 3 sampai point 8.
10. Buka aplikasi Coreldraw, lalu open file .dxf menggunakan coreldraw
11. Pilih scalling “1:1” agar ukuran dimensi antena yang telah di export dari CST sama saat di buka di coreldraw.
12. Zoom hingga bentuk antena proposional
13. Pilih toolbox “smart fill tool” pilih warna hitam untuk bagian *patch* dan *feedline*
14. Save dalam bentuk file “.pdf” lalu klik menu “file” dan “save as” sebagai PDF.
15. Hal yang sama dilakukan untuk bagian belakang antena seperti pada point 11-14 dengan memberi warna hitam pada *ground*.

b. Pengukuran Dimensi Antena Hasil Fabrikasi

Langkah selanjutnya setelah antena telah selesai di fabrikasi adalah mengukur desain antena mikrostrip pada *softwareCST Microwave Studio* 2014 dengan hasil fabrikasi. Mengukur dimensi antena yang telah difabrikasi dengan menggunakan ukuran antena, dan mirkometer sekrup untuk pengukuran ketebalan *Substrate*. Hasil pengukuran dimensi antena akan dirangkum seperti Tabel 3.8.

Tabel 3. 8 Dimensi Fabrikasi

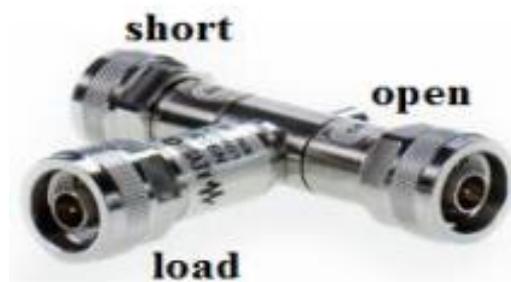
Elemen	Dimensi ($W \times L$)		Error rate (%)
	Simulasi	Fabrikasi	
<i>Patch</i>			
<i>Substrate</i>			

Tabel 3.8 menunjukkan hasil pengukuran dimensi antenna yang telah difabrikasi dibandingkan dengan dimensi antenna pada CST *Microwave Studio* 2014, lalu menghitung presentase keberhasilan setiap dimensi antenna mikrostrip dengan menggunakan persamaan (3.1).

$$\text{Error rate (\%)} = \frac{\text{selisih dimensi antenna}}{\text{selisih desain antenna}} \times 100 \% \quad (3.1)$$

c. Pengukuran Parameter Antena dengan *Network Analyzer*

Pengukuran antenna dilakukan di Laboratorium Telekomunikasi Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia Bandung dengan menggunakan *Network Analyzer*. hal pertama yang perlu dilakukan sebelum pengukuran adalah melakukan kalibrasi. Teknik kalibrasi yang digunakan adalah dengan *Open Short Load (OSL Calibration)*. OSL terlihat pada Gambar 3. dan Alat ukur *Network Analyzer* ada pada Gambar 3.8

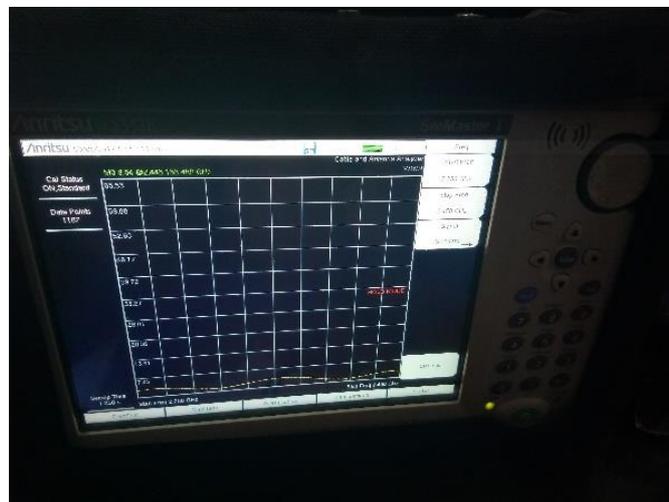


Gambar 3. 7 OSL Calibration

Adapun tahapan pada saat melakukan kalibrasi pada *Network Analyzer*, yaitu sebagai berikut :

1. Tekan tombol On/Off pada *Network Analyzer* untuk menghidupkan.

2. Tekan freq/Dist pada tombol menu dan masukan *range* frekuensi antena yang akan diukur
3. Tekan *start cal* lalu ikuti petunjuk yang muncul pada layar dengan :
 - a. Menyambungkan “open ke RF Out lalu tekan tombol enter
 - b. Setelah itu, sambungkan “short” ke RF out lalu tekan enter
 - c. Yang terakhir, sambungkan “load” ke RF out dan tekan enter.
4. Maka akan muncul tampilan dilayar yang menunjukkan *Spectrum Network Analyzer* telah dikalibrasi dan siap untuk digunakan.



Gambar 3. 8 Network Analyzer

Adapun prosedur pengukuran antena dengan *Spectrum Network Analyzer* adalah :

1. Setelah *Spectrum Network Analyzer* dikalibrasikan sesuai dengan petunjuk sebelumnya, hubungkan kedua *port* antena pada *portNetwork Analyzer*. Gambar 3.9 memperlihatkan konfigurasi pengukuran antena yang akan diukur terhubung melalui kabel konektor 50 Ω pada *portNetwork Analyzer*.

3.4 Teknik Pengumpulan Data

Pada penelitian ini, teknik pengumpulan data yang digunakan berupa metode observasi meliputi pencarian sumber literatur dan data hasil pengujian lapangan, diantaranya perancangan, simulasi, dan pengukuran kemudian melakukan pengumpulan dan mengolah data hasil uji coba. Adapun data – data yang digunakan dalam menyusun skripsi ini, yaitu berupa data primer dan sekunder.

1) Data Primer

Data primer adalah data yang diperoleh dan dikumpulkan secara langsung, atau dengan kata lain data primer adalah data yang didapatkan dari hasil simulasi menggunakan perangkat lunak *CST Microwave Studio 2014*, pengukuran dengan *Network Analyzer* di Laboratorium Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, Bandung. Data tersebut adalah S-parameter yang meliputi Frekuensi resonansi, *VSWR*, *Return Loss* dan *Bandwidth*.

2) Data Sekunder

Data sekunder adalah data yang diperoleh dan dikumpulkan tidak secara langsung menggunakan berbagai sumber literatur yang sudah ada seperti buku, jurnal dan sebagainya. Data tersebut meliputi perancangan dan perealisasi antena mikrostrip slot yang optimal beserta data pendukung dalam penelitian.

3.5 Teknik Analisis Data

Analisis data adalah kegiatan mengubah hasil penelitian menjadi informasi yang dapat digunakan untuk mengambil sebuah kesimpulan dalam suatu penelitian. Analisis data pada penelitian ini dimulai dari sebelum simulasi (data sekunder), saat simulasi (optimalisasi), dan sesudah simulasi (pengumpulan data

setelah fabrikasi). Untuk mempermudah analisis, maka data akan di rangkum pada Tabel 3.10.

Tabel 3.10 Rangkuman Hasil simulasi dan Pengukuran Antena

Antena	Dimensi Antena										Hasil Parameter			
	Subs		Patch		Ground		Feed		Slot		f_r	RL	VS	BW
Mikrotrip slot	W	L	W	L	W	L	W	L	W	L	(Hz)	(dB)	WR	(MHz)
Simulasi														
Pengukuran														
Konvensional														
Simulasi														
Pengukuran														

Perbandingan hasil respon pada parameter-parameter yang ditentukan pada antena mikrostrip konvensional dengan antena mikrostrip dengan penambahan slot dilakukan untuk mengetahui peningkatan *Bandwidth*, dan performansi lainnya melalui parameter-parameter lainnya seperti VSWR dan *Return Loss*, baik saat simulasi ataupun pengukuran. Peningkatan *Bandwidth* dan performansi dapat dilihat dalam bentuk presentase yang diperoleh dari persamaan (3.2).

$$Keberhasilan = \left| \frac{\text{Data tanpa slot} - \text{Data dengan slot}}{\text{Data tanpa slot}} \right| \times 100\% \quad (3.2)$$

Kesenjangan antara hasil pengukuran dan simulasi untuk dimensi dan performansi dirangkum seperti Tabel 3.11 - 3.12.

Tabel 3. 11 Keberhasilan Simulasi & Pengukuran Terhadap Performansi

Antena	Keberhasilan (%)			
	f_r	RL	VSWR	<i>Bandwidth</i>
Mikrostrip Slot				
Simulasi				
Pengukuran				

Tabel 3. 12 Error Rate Simulasi Pengukuran & Simulasi Terhadap Dimensi

Antena Mikrostrip Slot	Dimensi Elemen (L_P+L_S)	Error Rate (%)
Simulasi		
Pengukuran		

Dengan kata lain, peneliti menguji hasil pengukuran antena mikrostrip dengan menambahkan slot untuk menghasilkan S-parameter yang sesuai dengan kriteria standar pada antena mikrostrip konvensional. Langkah terakhir adalah menganalisa sebab akibat adanya perbedaan antara hasil simulasi dengan hasil pengukuran.

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengembangan Produk

Hasil penelitian ini berupa antenna mikrostrip dengan penambahan slot yang diuji pada tahap simulasi dengan CST 2014 dan pengukuran dengan *Network Analyzer*.

4.1.1 Hasil Perencanaan Desain Produk

Pada bab ini akan dibahas proses perancangan dan realisasi antenna mikrostrip dengan penambahan slot, yaitu mulai dari perhitungan matematis, perancangan ukuran, dan desain antenna slot sesuai dengan spesifikasi yang telah diinginkan. Dari teori tersebut akan didapat sebuah rancangan dan dimensi dari antenna slot yang akan dibuat, kemudian desain tersebut disimulasikan menggunakan software *CST Microwave Studio2014* untuk mendapat Gambaran bentuk respon frekuensi dari antenna yang akan dibuat. Selanjutnya pada tahap akhir akan dilakukan fabrikasi rancangan antenna dan melakukan pengukuran.

a. Hasil Perancangan Ukuran Slot

Pada penelitian ini akan dirancang antenna mikrostrip elemen tunggal yang memiliki panjang dan lebar slot yang diperoleh dari persamaan (2.31) – persamaan (2.34), yaitu;

$$\lambda_a = 1,194 - 0,24 \ln 4.3 - \frac{0,621 \varepsilon_r^{0,835} \left(\frac{W}{\lambda_0}\right)^{0,48}}{1,344 + \frac{W}{h}} - 0,0617 \left[1,91 - \frac{\varepsilon_r + 2}{\varepsilon_r} \right] \ln \left(\frac{h}{\lambda_0} \right) \cdot (\lambda_0)$$

$$\begin{aligned}
&= 1,194 - 0,24 \ln \varepsilon_r - \frac{0,621 \cdot 4,3^{0,835} \left(\frac{21,28}{69,2}\right)^{0,48}}{1,344 + \frac{21,28}{1,6}} - 0,0617 \left[1,91 - \right. \\
&\quad \left. \frac{4,3+2}{4,3} \right] \ln\left(\frac{1,6}{69,2}\right) \cdot (69,2) \\
&= 0,417 - 0,080 - (-0,103) \times (69,2) \\
&= (0,417 - 0,080 + 0,103) \times (69,2) \\
&= 0,44 \times 69,2 = 30,448 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$L_a = \frac{\lambda_a}{2} - \Delta L = \frac{30,448}{2} - 0,659 = 14,565 \text{ mm}$$

Dan,

$$W_a = \frac{C}{2f_r \sqrt{\varepsilon_r + 1}} = \frac{3 \times 10^8}{2 \cdot 4,33 \times 10^9 \sqrt{4,3 + 1}} = 2,12 \text{ mm}$$

1.1.2. Hasil Pemodelan dan Simulasi

a. Dimensi Antena Mikrostrip dengan penambahan Slot

Berdasarkan desain perhitungan antena mikrostrip konvensional maka rangkuman hasil perhitungan dari antena mikrostrip dengan slot dirangkum seperti pada Tabel 4.1.

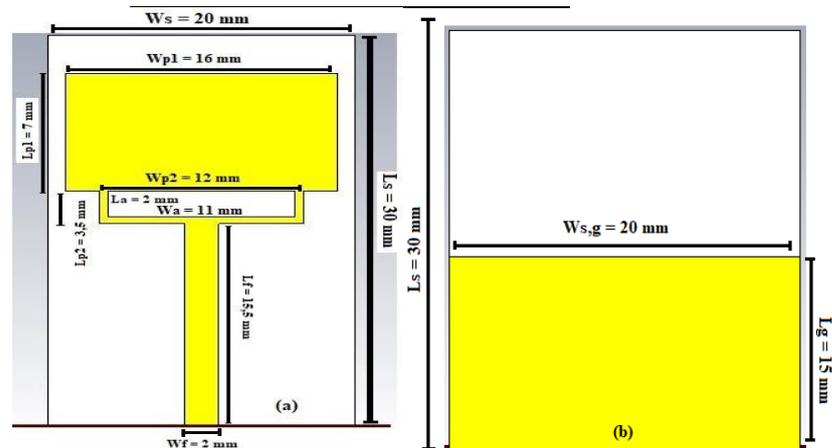
Tabel 4.1 Hasil Perhitungan Antena Mikrostrip dengan Slot

Elemen	Dimensi (mm)	
	W	L
<i>Patch</i>	21,68	16,65
<i>Ground</i>	31,28	26,25
<i>Substrate</i>	31,28	26,25
Feed	12,97	3,137
Slot	14,565	2,12

Setelah mendapatkan hasil yang optimal pada antenna mikrostrip konvensional, maka langkah selanjutnya adalah mendesain antenna mikrostrip dengan penambahan slot pada lapisan *Patch* dengan ukuran dimensi yang sama seperti antenna mikrostrip konvensional. Pada perhitungan, panjang slot yang diperoleh adalah 14,565 mm dengan lebar sebesar 2,12 mm. Tetapi setelah dimensi *patch* dioptimasi, panjang dan slot dengan *patch* tidak sesuai. oleh karena itu, perlu dilakukan perubahan nilai pada panjang dan lebar slot. Spesifikasi dimensi optimal dan bentuk antenna mikrostrip dengan penambahan slot dapat ditunjukkan pada Tabel 4.2 dan Gambar 4.1.

Tabel 4. 2 Hasil Iterasi Mikrostrip dengan Slot

Elemen	Dimensi (mm)	
	W	L
<i>Patch 1</i>	16	7
<i>Patch 2</i>	12	3,5
<i>Ground</i>	20	15
<i>Substrate</i>	20	30
Feed	2	15.5
Slot	11	2



Gambar 4. 1 Antena Mikrostrip Slot (a) tampak Depan, (b) tampak Belakang

Kalkulasi yang dilakukan pada CST 2014 dapat dilihat pada Gambar 4.2

Parameter List (a)			Brick (b)	
N /	Value	Description		
hp	0.035	tebal patch	Name: feed	
hs	1.6	tebal substrate	Umin: -wf Umax: wf	
la	1	length slot	Vmin: -lf Vmax: lf/(lf*2)	
lf	15	length feed	Wmin: 0 Wmax: hp	
lg	15	length ground	Component: component1	
lp1	3	length patch 1	Material: Copper (annealed)	
lp2	0.5	length patch 2		
ls	15	length substrate		
wa	5.5	width slot		
wf	1	width feed		
wg	9	width ground		
wp1	8	width patch 1		
wp2	6	width patch 2		
ws	9	width substrate		

Brick (c)		Brick (d)	
Name:	patch 1	Name:	patch 2
Umin:	-wp1	Umin:	-wp2
Umax:	wp1	Umax:	wp2
Vmin:	lp1	Vmin:	lp2
Vmax:	lp1*4	Vmax:	lp2*6
Wmin:	0	Wmin:	0
Wmax:	hp	Wmax:	hp
Component:	component1	Component:	component1
Material:	Copper (annealed)	Material:	Copper (annealed)

Brick (e)		Brick (f)	
Name:	sub	Name:	ground
Xmin:	-ws	Umin:	-wg
Xmax:	ws	Umax:	wg
Ymin:	-ls	Vmin:	-lg/-lg
Ymax:	ls	Vmax:	lg
Zmin:	0	Wmin:	0
Zmax:	hs	Wmax:	hp
Component:	component1	Component:	component1
Material:	FR-4 (lossy)	Material:	Copper (annealed)

Brick (g)	
Name:	slot
Umin:	-wa
Umax:	wa
Vmin:	la
Vmax:	la*3
Wmin:	0
Wmax:	hp
Component:	component1
Material:	Copper (annealed)

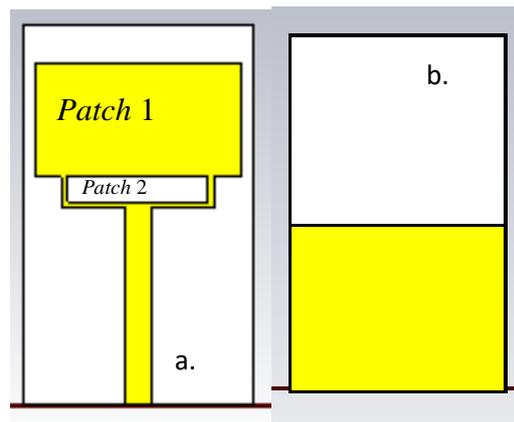
Gambar 4. 2 Kalkulasi Geometri pada CST 2014 : (a) Parameter List, (b) Feed, (c) Patch 1, (d) Patch 2, (e) Substrate, (f) Ground, (g) Slot

4.2 Kelayakan Produk (Teoritik dan Empiris)

Sesuai dengan konsep penelitian, bahwa terdapat dua tahap penelitian, yaitu saat simulasi dan pengukuran pada antena mikrostrip dengan penambahan slot.

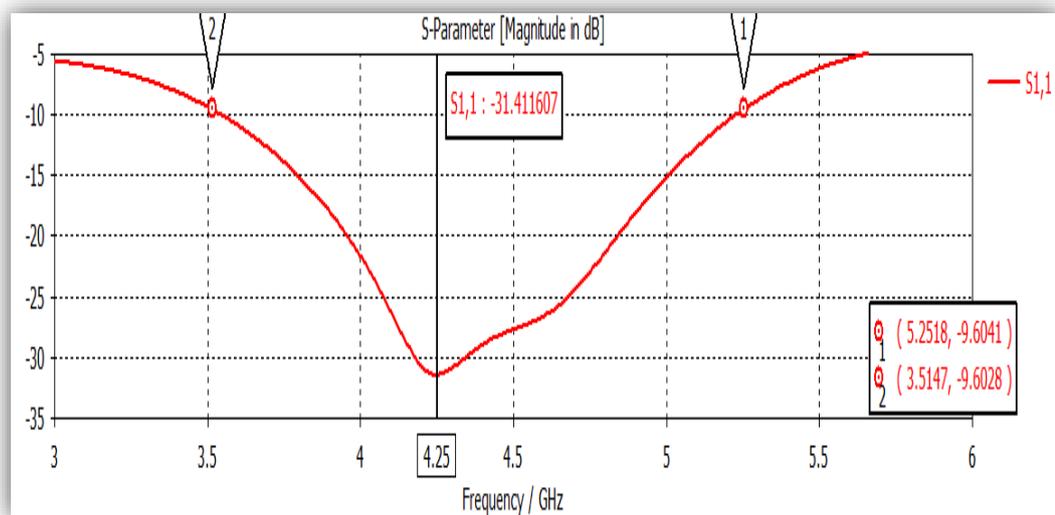
4.2.1 Hasil simulasi Akhir

Melalui spesifikasi yang telah ditentukan untuk mendesain antena mikrostrip dengan penambahan slot, maka simulasi dapat dilakukan dengan menggunakan *CST Microwave Studio 2014*. Gambar 4.3 menunjukkan desain perancangan antena mikrostrip dengan penambahan slot.



Gambar 4. 3 Desain Antena Mikrostrip dengan penambahan slot (a) tampak depan, (b) tampak belakang

adapun hasil dari pengukuran dan bentuk desain slot pada antena ini dapat terlihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4. 4 Hasil S-Parameter Return Loss Antena Mikrostrip Slot

Pada antenna slot ini, frekuensi resonansi berada pada 4,25 GHz, nilai RL sebesar -31,41 dB, VSWR 1,05. Nilai *Bandwidth* yang diperoleh berdasarkan pengamatan pada posisi *marker 1* dan *marker 2*, dapat dihitung dengan persamaan (2.24).

$$\begin{aligned}
 BW &= \frac{f_h - f_L}{f_c} \times 100 \% \\
 &= \frac{5,2518 - 3,5147}{4,25} \times 100\% \\
 &= 0,40 \% (1737,1\text{MHz})
 \end{aligned}$$

Sehingga dapat dirangkum bentuk dan hasil respon simulasi antenna mikrostrip dengan penambahan slot melalui Tabel 4.3.

Tabel 4. 3 Hasil Simulasi Antena Mikrostrip Slot

Frekuensi resonansi (f_r)	4,25 GHz
Frekuensi atas (f_h)	5,2518GHz
Frekuensi bawah (f_l)	3,5147GHz
<i>Return Loss</i>	- 31,41 dB
VSWR	1,05
<i>Bandwidth</i>	1737,1 MHz

Antena mikrostrip dengan penambahan slot pada ukuran dimensi panjang slot 2 mm, lebar sebesar 11 mm dengan peletakan pada bagian *patch-2* yang menghasilkan *Bandwidth* lebih lebar dari antenna mikrostrip konvensional, yaitu sebesar 1737,1 MHz, yang menghasilkan frekuensi resonansi yang sesuai dengan spesifikasi (yaitu 4, 25 GHz), dan VSWR juga *Return Loss* yang lebih optimal.

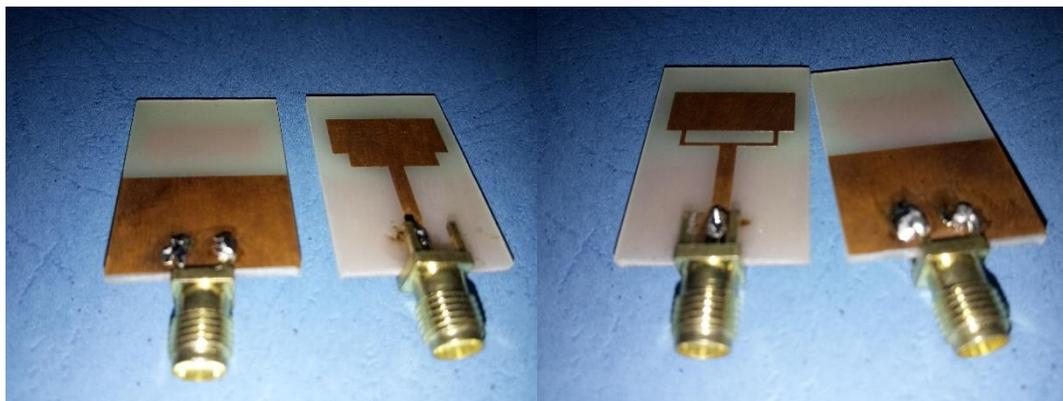
Oleh karena itu, melalui tahap simulasi dapat disimpulkan bahwa peletakan dan ukuran slot pada antenna sangat mempengaruhi lebar *Bandwidth*, pergeseran frekuensi resonansi, *Return Loss* dan VSWR antenna tersebut. Faktor

yang mempengaruhi kenaikan *Bandwidth* adalah ukuran dimensi *patch* yang terpotong oleh slot sehingga memperbesar bagian *substrate* tanpa mengubah ukuran dimensi pada *substrate* tersebut.

4.3 Efektifitas Produk (Melalui Uji Coba)

4.3.1 Hasil Fabrikasi Antena Mikrostrip

Setelah hasil simulasi yang ditampilkan pada S-parameter yang diperoleh telah sesuai dengan tujuan penelitian ini, maka tahap selanjutnya adalah fabrikasi. bentuk dari hasil antena fabrikasi dapat dilihat pada Gambar 4.5.



(a)

(b)

Gambar 4. 5 Hasil Fabrikasi Antena Mikrostrip (a) Konvensional (b) Slot

Jika hasil nilai dimensi antena dengan penambahan slot sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan, maka fabrikasi antena mikrostrip dengan penambahan slot dapat direalisasikan. Dimensi antena hasil fabrikasi dihitung dengan menggunakan mistar, dan hasil pengukurannya dirangkum seperti Tabel 4.4.

Tabel 4. 4 Dimensi Antena Fabrikasi

Dimensi Elemen	Hasil Ukuran Dimensi (W×L)	
	Simulasi (mm)	Fabrikasi (mm)
<i>Substrate</i>	30×20	29,7×20,1
<i>Patch</i>	28×10,5	28,2×10,5
<i>Ground</i>	15×20	15,1×20,1
Feed	15.5×2	15,5 x 2,2
Slot	11×2	11×2,1
Konstanta dielektrik	4,3	4,6

4.3.2 Hasil Pengukuran dengan *Network Analyzer*

Pengukuran antena mikrostrip dilakukan setelah antena tersebut dirancang menggunakan *software* CST *Microwave Studio*2014 dan direalisasikan menggunakan *Substrate* FR-4 secara fisik. Pengukuran dilakukan untuk mengetahui karakteristik antena yang telah direalisasikan pada hasil simulasi, sehingga dapat diketahui parameter-parameter antena tersebut untuk dijadikan tolak ukur kelayakan serta bahan perbandingan dengan hasil simulasi *software* dengan pengukuran. Pengukuran dilakukan pada antena mikrostrip konvensional dan antena mikrostrip dengan penambahan slot. Hasil pengukuran dapat dilihat pada Gambar 4.6 dan Gambar 4.7.



(a)



(b)

Gambar 4. 6 Grafik Pengukuran Return Loss (a) Antena Mikrostrip tanpa slot, dan (b) antena mikrostrip dengan slot

Nilai *Bandwidth* diperoleh dari persamaan (2.24). untuk antenna mikrostrip tanpa slot dapat dilihat berdasarkan grafik pada Gambar 4.13(a) adalah :

$$\begin{aligned} BW &= \frac{f^h - f^L}{f_c} \times 100 \% \\ &= \frac{4,548 - 3,9}{4,256} \times 100\% \\ &= 0,15 \% \text{ (648 MHz)} \end{aligned}$$

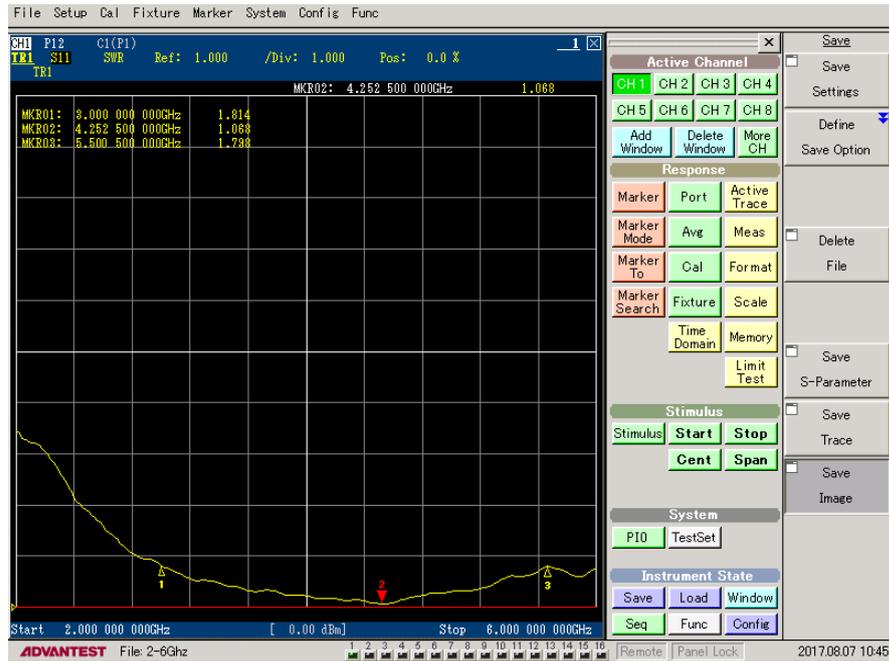
Nilai *Bandwidth* untuk antenna mikrostrip dengan penambahan slot berdasarkan grafik pada Gambar 4.13 (b) adalah :

$$\begin{aligned} BW &= \frac{f^h - f^L}{f_c} \times 100 \% \\ &= \frac{5,552 - 3}{4,252} \times 100\% \\ &= 0,60 \% \text{ (2500MHz)} \end{aligned}$$

Selain *Return Loss*, frekuensi resonansi, dan *Bandwidth*, hasil simulasi performansi antenna juga terdiri dari nilai VSWR sebagai parameter terwujudnya matching antar saluran transmisi. Grafik VSWR dapat dilihat pada Gambar 4.14



(a)



(b)

Gambar 4. 7 Grafik Pengukuran Return Loss (a) Antena Mikrostrip tanpa slot, dan (b) antena mikrostrip dengan slot

Sehingga dapat dirangkum hasil pengukuran secara keseluruhan pada Tabel 4.5.

Tabel 4. 5 Hasil Pengukuran Antena Pabrikasi

Parameter	Antena mikrostrip tanpa slot	Antena mikrostrip slot
Frekuensi kerja (GHz)	3,9 - 4,548	3,0 – 5,5
f_r (GHz)	4,256	4,252
Return Loss (dB)	-13,97	-29,54
VSWR	1,5	1,08
Bandwidth (MHz)	648	2500

4.4 Pembahasan

4.4.1 Analisis Hasil Simulasi dan Pengukuran Antena Mikrostrip dengan penambahan slot

Untuk mempermudah analisis hasil simulasi dan pengukuran, data dapat disajikan seperti Tabel 4.6

Tabel 4. 6Rangkuman Hasil Simulasi dan Pengukuran Antena

Antena	Dimensi Antena										Hasil Parameter				
	Subs		Patch		Ground		Feed		Slot		f_r (Hz)	RL (dB)	VS WR	BW (MHz)	
	W	L	W	L	W	L	W	L	W	L					
Mikrotrip slot															
Simulasi	30	20	28	10,5	15	20	15,5	2	11	10,8	4,25	-31,41	1,05	1737,1	
Pengukuran	29,7	20,1	28,2	10,5	15,1	20,1	15,5	2,2	2	2,1	4,252	-29,54	1,08	2500	
Konvensional															
Simulasi	30	20	28	10,5	15	20	15,5	2	11	10,8	4,24	-10,52	1,84	635,8	
Pengukuran	29,7	20,1	28,2	10,5	15,1	20,1	15,5	2,2	2	2,1	4,256	-13,97	1,5	638	

Keberhasilan peningkatan performansi (*Bandwidth*, *Return Loss*, dan VSWR) antena mikrostrip dengan slot dapat dihitung menggunakan kalkulasi (3.2) dan bisa dilihat pada Tabel 4.7 sebagai hasil akhirnya.

Tabel 4. 7 Tingkat Keberhasilan Performansi Antena

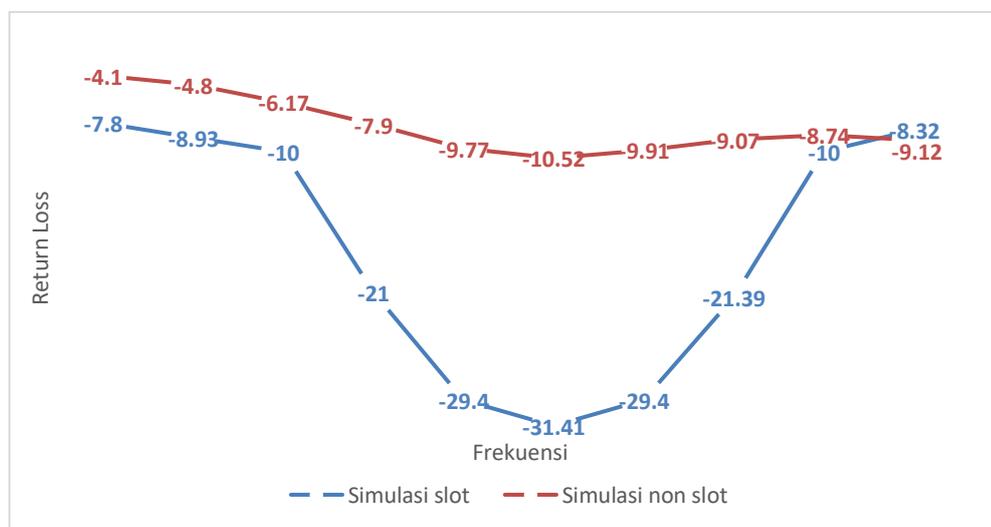
Antena	Keberhasilan (%)			
	f_r (GHz)	BW (MHz)	RL (dB)	VSWR
Simulasi	2,09	17,3	19,8	4,2
Pengukuran	0,09	29,3	11,1	2,8

Pada Tabel 4.7 dapat disimpulkan bahwa antena mikrostrip dengan penambahan slot dapat meningkatkan *Bandwidth* dan memiliki performa yang baik. Oleh karena itu antena mikrostrip dengan penambahan slot dapat dikatakan

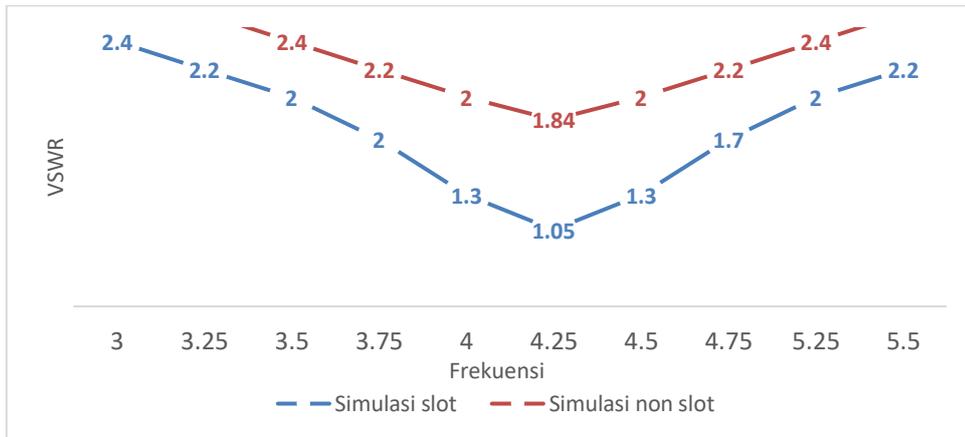
telah memenuhi syarat spesifikasi, baik saat simulasi ataupun pengukuran yang bekerja pada range 3 – 5,5 GHz.

Perbedaan terlihat, dimana performansi antenna mikrostrip slot dapat dikatakan lebih unggul daripada antenna mikrostrip konvensional (konvensional). Untuk *Bandwidth* antenna mikrostrip slot mengalami peningkatan daripada antenna mikrostrip konvensional sebesar 17,3% dari hasil simulasi dan 29,3% dari hasil pengukuran. Selain itu, *Return Loss* antenna mikrostrip slot yang lebih tajam sekitar 19,8% dari hasil simulasi dan 11,1% dari hasil pengukuran, artinya semakin minim gelombang yang dipantulkannya daripada antenna mikrostrip konvensional (konvensional). Sehingga dapat disimpulkan, bahwa penambahan slot pada antenna mikrostrip dapat meningkatkan *Bandwidth* dan performansi secara keseluruhan.

Antena teruji dengan spesifikasi *Return Loss* dan VSWR yang semakin baik, dan *Bandwidth* yang melebar. Grafik Peningkatan performansi Antena dengan penambahan slot saat simulasi dan pengukuran dapat dilihat pada Gambar 4.8 sampai Gambar 4.10.

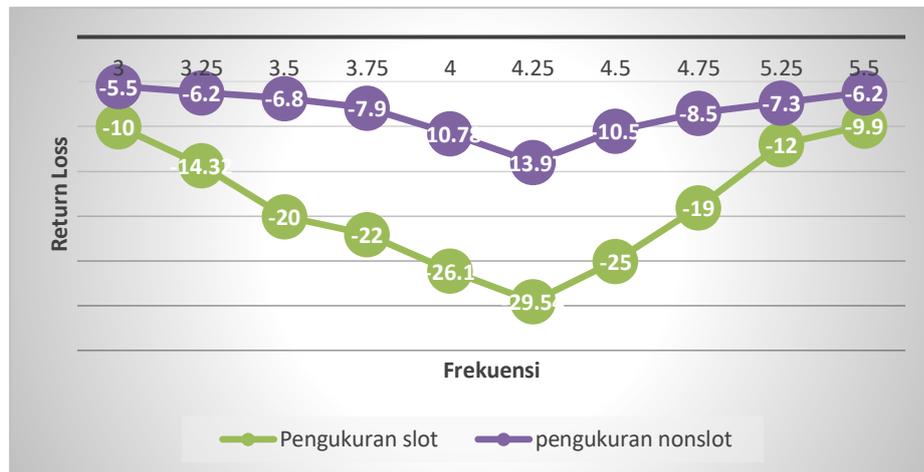


(a)

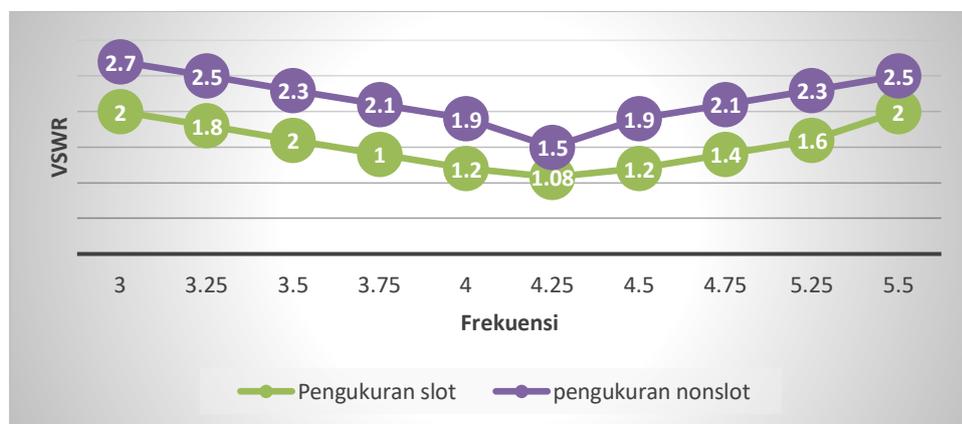


(b)

Gambar 4. 8 Grafik Peningkatan Peforma Antena pada hasil Simulasi antena konvensional & antena slot (a) Return Loss, (b) VSWR



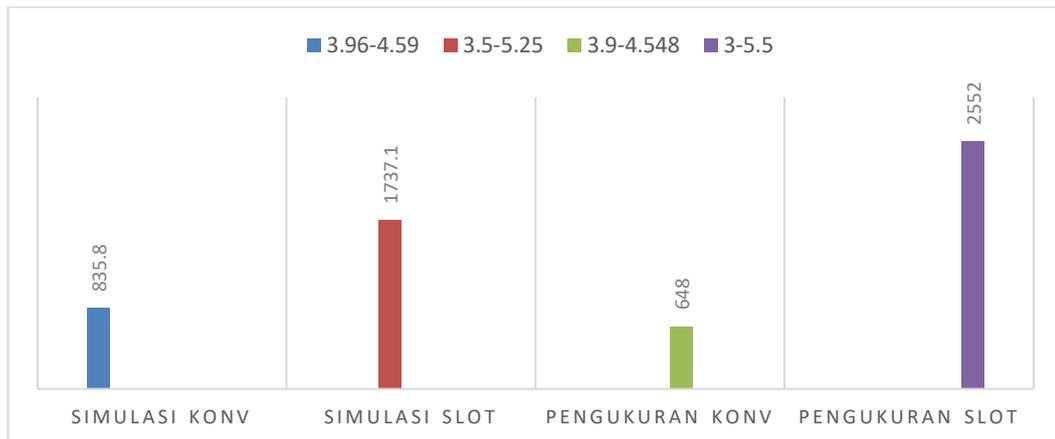
(a)



(b)

Gambar 4. 9 Grafik Peningkatan Peforma Antena pada hasil Pengukuran antena konvensional dan antena slot, (a) Return Loss, (b) VSWR

Return Loss dan *VSWR* semakin baik karena faktor tingkat *matching*. Slot memiliki kelebihan *low loss* pada antena. Sehingga penggunaannya dapat menurunkan koefisien refleksi (gelombang pantul).



Gambar 4. 10 Grafik Peningkatan Peforma *Bandwidth* pada hasil Simulasi dan Pengukuran antena konvensional dan antena slot

Pemberian slot pada *patch* memberikan pengaruh terhadap *Bandwidth*. Gambar 4.9 terlihat hasil *Bandwidth* antena mikrostrip slot mengalami peningkatan. Hal ini disebabkan adanya efek kopling secara elektromagnetik yang terjadi pada lempengan antena saat posisi saluran mikrostrip line berhimpitan (posisi overlap). Semakin besar efek kopling yang terjadi, akan menurunkan faktor *Q* pada sebuah rangkaian antena. Semakin menurunnya faktor kualitas rangkaian, semakin meningkatnya *Bandwidth* antena. Pada persamaan (2.35) dan persamaan (2.36) terdapat hubungan berbanding terbalik antara *Q* dan *Bandwidth*, dimana *L* dan *C* adalah bagian dari faktor *Q* rangkaian.

$$Q = \frac{R}{\omega L}$$

$$Q = \omega RC,$$

$$BW = \frac{f_r}{Q}$$

Dimensi mampu tereduksi karena dimensi memiliki hubungan dengan f_r seperti pada persamaan (2.1) dan (2.6).

$$W_p = \frac{C}{2f_r \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2}}}$$

$$L_{eff} = \frac{c}{2 \times f_r \sqrt{\epsilon_{eff}}}$$

f_r memiliki hubungan dengan rangkaian induksi dan kapasitif, seperti yang dijabarkan pada persamaan (2.35)

$$X_L = X_C$$

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Pada slot, ketika nilai L diperkecil dan C diperbesar atau sebaliknya, maka f_r akan mengecil (bergeser ke kiri dari titik tengah). Sehingga diperlukan iterasi untuk mengembalikan f_r kembali ke posisi tengah yang sesuai dengan cara memperbesar frekuensi, dan juga dapat dilakukan dengan melakukan pengurangan nilai dimensi, sehingga antena menjadi tereduksi.

4.4.2 Analisis perbandingan simulasi dan pengukuran

Selain membahas keberhasilan dimensi dan performansi antara dua antena mikrostrip, dilakukan juga tahap analisis error rate atau kesenjangan yang terjadi antara simulasi dan fabrikasi. *Error Rate* performansi (*Bandwidth*, *Return Loss*, dan *VSWR*) antena mikrostrip dengan slot dapat dihitung menggunakan kalkulasi

dibawah dan bisa dilihat pada Tabel 4.7 sebagai hasil akhirnya, Tabel 4.8 menunjukkan selisih hasil simulasi dan hasil pengukuran.

$$Error\ rate = \left| \frac{Data\ Simulasi - data\ pengukuran}{data\ simulasi} \right| \times 100\%$$

Tabel 4. 8 Error Rate Performansi Antena Mikrostrip konvensional dan Antena Mikrostrip dengan Slot

Antena Mikrostrip		Parameter Antena			
		f_r (GHz)	BW (MHz)	RL (dB)	VSWR
Konvensional	Simulasi	4,24	635,8	-10,52	1,84
	Pengukuran	4,256	648	-13,97	1,5
Dengan slot	Simulasi	4,25	1737,1	-31,41	1,05
	Pengukuran	4,252	2500	-29,54	1,08
Antena		Keberhasilan (%)			
		f_r (GHz)	BW (MHz)	RL (dB)	VSWR
Konv	Simulasi	0,35	1,9	32,79	18,4
	Pengukuran				
Dengan slot	Simulasi	0,047	46,9	5,95	2,8
	Pengukuran				

Pada Tabel 4.15 terlihat bahwa terdapat kesenjangan antara hasil simulasi dan pengukuran terhadap performansi antena. Kesenjangan yang terjadi ada yang membaik ataupun mengalami penurunan, hal ini dikarenakan pengukuran dilakukan pada daerah *fresnel* yang memiliki distribusi medan radiasi yang kurang stabil.

Pengukuran tidak termasuk mengukur gain dan pola radiasi, hanya mengukur parameter internal antena (parameter S11) sehingga tidak membutuhkan pengukuran medan jauh (*far field*). Pengukuran juga tidak membutuhkan antena referensi seperti *dipole*, *horn*, *array*, atau antena lain yang

telah diketahui spesifikasinya. Sehingga, tujuan melakukan pengukuran adalah untuk mengetahui standar antenna terutama dalam hal *matching*. Hasil simulasi hanya sebagai tolak ukur, karena tahap simulasi mengabaikan rugi-rugi, seperti rugi konduktor, konektor, kabel, dielektrik, ataupun rugi karena radiasi lingkungan sekitar. Sedangkan hasil pengukuran mengalami trial yang berulang sampai diperoleh hasil yang diinginkan.

Kesenjangan dari perhitungan dan hasil kalkulasi pada simulasi, yang terdapat pada pengukuran panjang gelombang, impedansi, panjang atau lebar, pembulatan angka atau aproksimasi, juga bisa mempengaruhi perbedaan hasil. Proses fabrikasi merupakan pihak ketiga juga menjadi salah satu faktornya, mulai dari bahan *substrate* yang tidak memiliki akurasi yang valid dalam hal tebal dan besar nilai ϵ_r pada *spectra* berbeda 0,3 dengan standar FR-4 pada aplikasi CST.

Dimensi juga sangat mempengaruhi performansi antenna. Faktor dari fabrikasi dimensi yang kurang presisi juga mempengaruhi pengukuran, karena ukuran dari antenanya dalam skala milimeter (mm) sehingga cukup sulit untuk valid dengan ukuran yang telah disimulasikan.

Pada penelitian ini dapat disimpulkan bahwa penambahan slot pada antenna mikrostrip dapat memberi pengaruh pada peningkatan *Bandwidth*, peningkatan yang diperoleh dari hasil simulasi adalah sebesar 1101,3 MHz. Dan pada hasil pengukuran peningkatan terjadi sebesar 1852 MHz dari antenna mikrostrip konvensional dengan antenna mikrostrip dengan penambahan slot. Kesenjangan yang terjadi dapat ditoleransi karena masih dalam range spesifikasi yang diinginkan, dan hasil dapat membuktikan bahwa penambahan slot memberi pengaruh bagi peningkatan *Bandwidth* performansi antenna mikrostrip.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dalam serangkaian aktivitas yang peneliti lakukan, mulai dari pemahaman literatur, desain, fabrikasi, dan analisis, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Penambahan slot pada Antena Mikrostrip memiliki pengaruh yang positif. Pada penelitian ini telah dibuktikan bahwa efektivitas antena mikrostrip slot mampu meningkatkan *bandwidth* antena.
2. Antena mikrostrip dengan penambahan slot sebesar 11×2 mm yang bekerja pada frekuensi 3000 – 5500 MHz dapat meningkatkan *bandwidth* sebesar 2500 MHz, *return loss*– 29,54 dB, dan VSWR sebesar 1,08 pada frekuensi 4,252 GHz.

5.2 Saran

Agar penelitian selanjutnya dapat memperoleh performansi antena lebih baik, ada beberapa saran yang dapat dipertimbangkan, antara lain :

1. Untuk pengamatan selanjutnya, dapat dilakukan dengan mengubah bentuk slot dengan bentuk lainnya, seperti slot lingkaran dan bentuk lainnya.
2. Untuk meningkatkan *bandwidth* antena dapat juga dilakukan dengan menggunakan elemen *parasitic*.
3. Untuk mendapatkan hasil pengukuran yang lebih akurat, pengukuran dapat dilakukan pada ruang *Anechoic Chamber*.

DAFTAR PUSTAKA

- Afridi. (2015). Microstrip Patch Antena Designing at 2,4 Frequency. *Biological and Chemical Research*, 15:128-132.
- Alaydrus, M. (2011). Antena Prinsip dan Aplikasi. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Balanis, Constantine, A., (1997). *Antenna Theory: Analysis and Design, Third Edition*. New York: Wiley Interscience.
- Depdiknas. (2014). Kamus Besar Bahasa Indonesia. Jakarta: Pusat Bahasa
- Fauzi Achmad, 2010. Antena Mikrostrip Slot Lingkaran untuk memperlebar *Bandwidth* dengan Teknik Pencatu *Coplanar Waveguide* pada Frekuensi 2,3 GHz. [Skripsi]. Depok: Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.
- Garg, Ramesh Prakash Bhartia. & Inder Bahl. (2001). *Microstrip Antenna Design Handbook*. Artech House: Norwood.
- Hwang, S.H., Kwak, W.L., Moon, J.L., Park, S.O. (2015). *An Internal Dual-Band Printed Antenna for CDMA/PCS Handsets*. *Microwave and Optical Technology Letters*, 45:6 <http://ijttl.sicet.org/issue6/Hwang.Vol45.Iss6.pdf>. Diakses 12, 4, 2017.
- Iskandar, Fitri. (2008). [Disertasi]. *Studi Karakteristik pancaran antena mikrostrip slot array dengan pencatutan model garpu untuk memperlebar Bandwidth*. Depok: Fakultas Teknik, Universitas Indonesia
- Kharade, R. A. (2012). Enhancement of Gain of Rectangular Microstrip Antenna Using Multilayer Multidielectric Structure. *IOSRJECE*: 35-40.
- Kraus, J. D. & Ronald, M.J. (1988). *Antennas For All Application*. New York: Mac-Hill Book Company.
- Listyorini, D Melinda. (2013). Analisis dan Realisasi Antena Mikrostrip Dengan Sepasang *Double Cross-Shaped* Slot Pada Frekuensi 2,3 GHz - 2,5 GHz Untuk Wi-Fi. [Skripsi]. Bandung: Fakultas Teknik, Telkom University.

- Long, Li Cun, *et al.* (2010). Analysis And Design Of Broadband Microstrip Patch Antenna With A Pair Of Double Cross Shapepd Slots. *IEEE*. 18-21.
- Patar, Raja Silitonga, Heroe Wijanto, Yuyu Wahyu. (2013). Perancangan Dan Realisasi Antena Mikrostrip Rektangular Bercelah Untuk *Triple Band* (900 MHz, 1800 MHz, 2400 MHz). [skripsi]. Bandung: Fakultas Teknik, Telkom University.
- Peixeiro, Custodio. 2011. Microstrip Patch Antena: “An Historical Perspective of Development”, Portugal: Technical University of Lisbon.
- Pozar, David M. 1996. “A Review of Aperture Coupled Microstrip Antennas: History, Operation, Development and Applications”. Amherst: University of Massachusetts.
- Priyatna, Adino. 2014. Design and Realization an Ultra Wideband (UWB) Dual Ellipticsl Microstrip antenna for Trought Wall Radar. [Skripsi]. Bandung: Fakultas Teknik, Telkom University.
- Rajput. (2014). Enchancement *Bandwidth*& Gain of Hexagonal Patch Antena at 1.8 GHz. *International Journal of Advanced Research in Computer Engineering & Technology (IJARCET)*. 3: 2100-2105.
- Riani. (2016). Perancangan Simulasi Antena Mikrostrip dengan *slot Butterfly* untuk Aplikasi Wifi pada frekuensi kerja 5,8 GHz menggunakan CST Microwave Studio. [skripsi]. Bandung: Universitas Telkom.
- Sandi, E., & Djatmiko, W. (2012). *Antena dan Propagasi Gelombang*, Jakarta: Fakultas Teknik Universitas Negeri Jakarta.
- Sugiyono. (2006). Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan R&D. Bandung: Penerbit Alfabeta.
- Sumanta, Suryana (2013). Analisa Bentuk Patch pada antena mikrostrip untuk teknologi *Ultrawideband* rentang frekuensi 3,1-10,6 GHz. Universitas Telkom. <http://digilib.itelkom.ac.id>. diakses 20 Juli 2017.

Surjati, Indra. (2010). *Antena Mikrostrip: Konsep dan Aplikasinya*. Jakarta: Penerbit Universitas Trisakti.

Tim Penyusun FT UNJ. (2015). *Buku Panduan Skripsi dan Non Skripsi*. Jakarta: Fakultas Teknik, Universitas Negeri Jakarta.

Utomo, P. (2008). *Teknik Telekomunikasi* (1st ed.) Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan.

Volakis, J. L. (2007). *Antenna Engineering Handbook*. Houston: MacGraw-Hill.

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



Rohani Cristyn Sianturi, lahir di Bekasi pada tanggal 28 November 1995 dari pasangan Bapak Abdond Rommel Sianturi dan Ibu Lampita Situmorang sebagai anak kedua dari empat bersaudara. Memiliki nama panggilan Hani. Bertempat tinggal di Jl. Penggilingan RT 02 RW 03 Kelurahan Harapan Baru, Kecamatan Bekasi Utara, Kota Bekasi (17123). Riwayat Pendidikan formal yang sudah ditempuh peneliti dimulai dari Pendidikan Sekolah Dasar di SDN Harapan Baru IV Bekasi (2001-2007), Pendidikan Sekolah Menengah Pertama di SMPN 18 Bekasi (2007-2010), Pendidikan Sekolah Menengah Atas di SMAN 1 Babelan (2010-2013). Hingga akhirnya, pada tahun 2013 peneliti melanjutkan pendidikan formal ke jenjang Perguruan Tinggi di Universitas Negeri Jakarta, Fakultas Teknik, Program Studi Pendidikan Vokasional Teknik Elektronika, Konsentrasi Peminatan Telekomunikasi.

Peneliti diterima sebagai mahasiswi melalui jalur SBMPTN. Selama menjadi mahasiswi, peneliti pernah aktif di Himpunan Mahasiswa Jurusan Teknik ElektroHMJTE (2013-2014), Kelompok Peneliti Muda Universitas Negeri Jakarta KPM UNJ (2013-2017) dan Persekutuan Mahasiswa Kristen (PMK). Peneliti berhasil lulus menjadi sarjana di tahun 2018.