



TUGAS AKHIR - EE 184801

**METODE PELEBARAN PITA FREKUENSI ANTENA
MIKROSTRIP DENGAN MENGGUNAKAN KOMBINASI U-
SLOT
DAN ELEMEN PARASITIK PADA FREKUENSI 2,6 GHZ**

Muhammad Fauzan
NRP 0711164000083

Dosen Pembimbing
Eko Setijadi, ST., MT., Ph.D.
Dr. Ir. Puji Handayani, MT.

DEPATERMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020



TUGAS AKHIR - EE 184801

**METODE PELEBARAN PITA FREKUENSI ANTENA
MIKROSTRIP DENGAN MENGGUNAKAN KOMBINASI U-
SLOT
DAN ELEMEN PARASITIK PADA FREKUENSI 2,6 GHZ**

Muhammad Fauzan
NRP 0711164000083

Dosen Pembimbing
Eko Setijadi, ST., MT., Ph.D.
Dr. Ir. Puji Handayani, MT.

DEPATERMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

[Halaman ini sengaja dikosongkan]



FINAL PROJECT - EE 184801

***BANDWIDTH ENCHANCEMENT OF MICROSTRIP
ANTENNA USING U-SLOT AND PARASITIC ELEMENT
ON 2.6 GHZ FREQUENCY***

Muhammad Fauzan
NRP 0711164000083

Supervisor(s)
Eko Setijadi, ST., MT., Ph.D.
Dr. Ir. Puji Handayani, MT.

ELECTRICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Electrical Technology and Intelligent Informatics
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul “**Metode Pelebaran Pita Frekuensi Antena Mikrostrip dengan Menggunakan Kombinasi U-Slot dan Elemen Parasitik pada Frekuensi 2,6 GHz**” adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Juli 2020



Muhammad Fauzan
NRP. 0711 16 4000 0083

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

**METODE PELEBARAN PITA FREKUENSI ANTENA
MIKROSTRIP DENGAN MENGGUNAKAN
KOMBINASI U-SLOT
DAN ELEMEN PARASITIK PADA FREKUENSI 2,6
GHZ**

TUGAS AKHIR

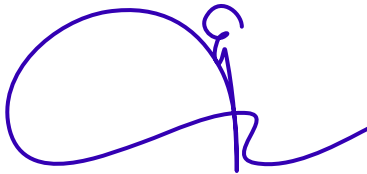
Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Pada

Bidang Studi Telekomunikasi Multimedia
Departemen Teknik Elektro
Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Menyetujui :

Dosen Pembimbing I



Eko Setijadi, ST., MT., Ph.D.
NIP. 197210012003121002

**SURABAYA
JULI, 2020**

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

**METODE PELEBARAN PITA FREKUENSI ANTENA
MIKROSTRIP DENGAN MENGGUNAKAN
KOMBINASI U-SLOT
DAN ELEMEN PARASITIK PADA FREKUENSI 2,6
GHZ**

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Pada

Bidang Studi Telekomunikasi Multimedia
Departemen Teknik Elektro
Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Menyetujui :

Dosen Pembimbing II

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'Puji Handayani', written over a light blue grid background.

Dr. Ir. Puji Handayani, MT.
NIP. 196605101992032002

**SURABAYA
JULI, 2020**

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

METODE PELEBARAN PITA FREKUENSI ANTENA MIKROSTRIP DENGAN MENGGUNAKAN KOMBINASI U-SLOT DAN ELEMEN PARASITIK PADA FREKUENSI 2,6 GHZ

Muhammad Fauzan
0711164000083

Dosen Pembimbing I : Eko Setijadi, ST., MT., Ph.D.
Dosen Pembimbing II : Dr. Ir. Puji Handayani, MT.

ABSTRAK

Pengembangan sistem komunikasi saat ini sudah mencapai era 5G dan salah satu bentuk antena yang dapat digunakan pada 5G adalah antena mikrostrip. Antena mikrostrip memiliki beberapa kelebihan yaitu dimensi yang kecil dan mudahnya fabrikasi. Namun umumnya antena mikrostrip memiliki *bandwidth* yang sempit, dan sudah terdapat banyak upaya untuk memperlebar *bandwidth*. Pada Tugas Akhir ini akan dibahas pelebaran *bandwidth* dengan teknik multiresonator, yaitu teknik *u-slot* dan parasitik. Teknik multiresonator ini menambah frekuensi resonan baru sehingga dapat disesuaikan dengan frekuensi resonan utama untuk memperlebar *bandwidth*. Antena disimulasikan dengan *software* CST sampai sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan lalu difabrikasi. Setelah difabrikasi maka akan dilakukan pengukuran. Saat simulasi, *u-slot* dan parasitik tidak memiliki pengaruh yang signifikan pada *bandwidth*, namun ketika diberi celah udara, antena dengan *u-slot* saja dapat dirancang dan dioptimasi hingga mencapai kondisi *wideband*. Saat realisasi, peningkatan *bandwidth* antenanya yang didapat sebesar 837,5% dari 2,97% ke 28,5%.

Kata Kunci: Antena Mikrostrip, Multiresonator, U-slot, Elemen Parasitik, Peningkatan Bandwidth

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

BANDWIDTH ENCHANCEMENT OF MICROSTRIP ANTENNA USING U-SLOT AND PARASITIC ELEMENT ON 2,6 GHZ FREQUENCY

Muhammad Fauzan
0711164000083

Supervisot I : Eko Setijadi, ST., MT., Ph.D.
Supervisor II : Dr. Ir. Puji Handayani, MT.

ABSTRACT

The development of communication system now has reached 5G era and one type of the antena that can be used for it is microstrip antenna. It has many advantage, such as low profile, and easy to fabricate. But a common microstrip antenna has narrow bandwidth, and there are already many effort to broaden its bandwidth. In this Final Project, bandwidth enhancement with multiresonator technique, that is u-slot and parasitic will be discussed. Multiresonator techinque can broaden the bandwidth by adding a new resonant frequency so it will be adjustable and make the bandwidth wider. The antenna is simulated with CST software until it meets the desirable requirements so it can be fabricated and measured later. In simulation, u-slot and parasitic do not have a significant effect to bandwidth, but when it modified with air vacuum, antena with u-slot can be optimized until it reach wideband condition. From the measurement, bandwidth enhancement is 837.5% from 2.97% to 28.5%.

Kata Kunci: Microstrip Antenna, Multiresonator, U-slot, Parasitic Element, Bandwidth Enhancement

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT serta tak lupa shalawat dan salam diucapkan kepada Nabi Muhammad SAW, keluarga, sahabat dan pengikut beliau hingga akhir zaman. Karena atas rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan penulisan buku Tugas Akhir yang berjudul “**Metode Pelebaran Pita Frekuensi Antena Mikrostrip dengan Menggunakan Kombinasi U-Slot dan Elemen Parasitik pada Frekuensi 2,6 GHz**” yang digunakan sebagai persyaratan menempuh sidang Tugas Akhir pada program Sarjana Teknik Elektro, Fakultas Teknik Elektro dan Informatika Cerdas, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya. Penulis menyadari bahwa dalam penulisan Tugas Akhir ini banyak mengalami kendala, namun berkat bantuan, bimbingan dan kerjasama dari berbagai pihak, segala kendala dapat teratasi. Untuk itu penulis menyampaikan banyak terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua, kakak dan adik yang selalu memberikan dukungan, semangat, dan doa kepada penulis.
2. Bapak Eko Setijadi, ST., MT., Ph.D. dan Ibu Dr. Ir. Puji Handayani, MT. selaku dosen pembimbing atas segala bantuan, perhatian, dan arahan.
3. Bapak dan Ibu dosen bidang studi Telekomunikasi Multimedia, Teknik Elektro ITS.
4. Teman-teman dekat yang selalu ada baik dalam suka maupun duka.
5. Teman-teman TMM dan lab yang saling menginspirasi di laboratorium B306.
6. Rekan-rekan e54, e55, S2, S3, dan LJ atas informasi yang diberikan untuk menyelesaikan buku ini.

Surabaya, Juni 2020

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK	xiii
ABSTRACT	xv
KATA PENGANTAR	xvii
DAFTAR ISI.....	xviii
DAFTAR GAMBAR.....	xx
DAFTAR TABEL	xxii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	1
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan dan Manfaat.....	2
1.5 Metodologi Penelitian	2
1.6 Sistematika Penulisan.....	3
BAB II DASAR TEORI	5
2.1 Antena	5
2.2 Antena Mikrostrip	5
2.2.1 Dimensi <i>Patch Rectangular</i> Antena Mikrostrip.....	6
2.2.2 Teknik Pencatuan Antena Mikrostrip	7
2.3 Parameter Dasar Antena	9
2.3.1 <i>Bandwidth</i>	9
2.3.2 Direktivitas dan <i>Gain</i>	10
2.3.4 <i>VSWR</i> dan <i>Return Loss</i>	11
2.3.5 Pola Radiasi	11
2.3.6 Polarisasi	12
2.4 Teknik <i>U-Slot</i>	14
2.5 Teknik Parasitik.....	16
BAB III PERANCANGAN ANTENA.....	19
3.1 Alur Perancangan Antena.....	19
3.2 Penentuan Spesifikasi Antena Mikrostrip	21
3.3 Perancangan Antena tanpa <i>U-Slot</i> dan Parasitik	21
3.4 Perancangan Antena dengan <i>U-Slot</i>	22
BAB IV HASIL SIMULASI DAN PENGUKURAN	25
4.1 Hasil Simulasi Antena tanpa <i>U-Slot</i>	25
4.1.1 Hasil <i>S-Parameter</i> Antena	25
4.1.2 Hasil <i>VSWR</i> Antena	25

4.1.3 Hasil Pola Radiasi Antena	26
4.1.4 Hasil <i>Surface Current</i> Antena	27
4.2 Hasil Simulasi Antena dengan U- <i>Slot</i>	27
4.3 Penambahan Parasitik pada Antena dengan U- <i>Slot</i>	29
4.4 Optimasi Antena U- <i>Slot</i> dengan Celah Udara	32
4.5 Hasil Simulasi Akhir Antena U- <i>Slot</i> dengan Celah Udara	37
4.6 Realisasi Antena	40
4.7 Pengukuran dan Alat Ukur yang Digunakan	41
4.8 Pengukuran VSWR dan <i>Return Loss</i>	41
4.8.1 Prosedur Pengukuran VSWR dan <i>Return Loss</i>	42
4.8.2 Hasil Pengukuran Antena tanpa U- <i>Slot</i>	43
4.8.2 Hasil Pengukuran Antena dengan U- <i>Slot</i>	44
4.9 Pengukuran Pola Radiasi	47
4.9.1 Prosedur Pengukuran.....	47
4.9.2 Hasil Pengukuran Pola Radiasi tanpa U- <i>Slot</i>	48
4.9.3 Hasil Pengukuran Pola Radiasi dengan U- <i>Slot</i>	50
4.10 Perbandingan <i>Bandwidth</i> Hasil Simulasi dan Pengukuran.....	51
BAB V PENUTUP	53
5.1 Kesimpulan	53
5.2 Saran	53
LAMPIRAN	55
A. Pengukuran Pola Radiasi dan Polarisasi	55
B. Realisasi Antena	57
C. Hasil Pengukuran Antena	59
DAFTAR PUSTAKA	61
RIWAYAT PENULIS	62

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Struktur Antena Mikrostrip [3].....	6
Gambar 2.2	Berbagai bentuk <i>patch</i> antena mikrostrip [3]	6
Gambar 2.3	Macam-macam metode pencatuan a) microstrip line b) coaxial probe c) aperture coupling d) proximity coupled [4]	8
Gambar 2.4	<i>Bandwidth</i> Antena	9
Gambar 2.5	Bagian-Bagian dari Pola Radiasi Antena [3]	12
Gambar 2.6	Jenis-jenis polarisasi [6]	13
Gambar 2.7	Skema <i>U-slot</i> pada Antena Mikrostrip [4]	15
Gambar 2.8	<i>Patch</i> parasitik yang terhubung dengan garis mikrostrip [8]	16
Gambar 2.9	(a) Parasitik pada sisi meradiasi, (b) Parasitik pada sisi tidak meradiasi, (c) Parasitik pada kedua sisi [8]	17
Gambar 3.1	Diagram Alur Perancangan Antena Mikrostrip dengan <i>U-Slot</i> dan Parasitik	20
Gambar 3.2	Dimensi Antena Mikrostrip	22
Gambar 3.3	Desain Awal Antena dengan <i>U-Slot</i>	23
Gambar 4.1	Hasil <i>S-Parameter</i> dari Simulasi Antena	25
Gambar 4.2	Hasil <i>VSWR</i> dari Simulasi Antena	26
Gambar 4.3	Hasil Plot 3D Pola Radiasi Antena	26
Gambar 4.4	Hasil Plot Polar Pola Radiasi Antena	27
Gambar 4.5	Hasil <i>Surface Current</i> Antena	27
Gambar 4.6	Hasil <i>S-Parameter</i> Antena dengan <i>U-Slot</i>	28
Gambar 4.7	Parameterisasi Panjang <i>U-Slot</i> (C)	28
Gambar 4.8	Parameterisasi Lebar <i>U-Slot</i> (D)	28
Gambar 4.9	Parameterisasi Tebal <i>U-Slot</i> (E)	29
Gambar 4.10	Parameterisasi Jarak ke <i>U-Slot</i> (Xh)	29
Gambar 4.11	Desain Awal Antena dengan Parasitik	30
Gambar 4.12	Hasil <i>S-Parameter</i> Antena dengan Parasitik	30
Gambar 4.13	Parameterisasi Gap Parasitik (Gp)	31
Gambar 4.14	Parameterisasi Lebar Parasitik (Wps)	31
Gambar 4.15	Parameterisasi Panjang Parasitik (Lps)	31
Gambar 4.16	Skema Ukuran <i>U-Slot</i> dan Parasitik Mendekati Ukuran <i>Patch</i> Utama	32
Gambar 4.17	Hasil Simulasi dengan Ukuran <i>U-Slot</i> dan Parasitik Mendekati Ukuran <i>Patch</i> Utama	32
Gambar 4.18	Skema Antena <i>U-Slot</i> dengan Celah Udara.....	33

Gambar 4.19 Hasil <i>S-Parameter</i> Antena dengan <i>U-Slot</i>	31
Gambar 4.20 Parameterisasi Panjang <i>Patch</i> (<i>L</i>)	32
Gambar 4.21 Parameterisasi Lebar <i>Patch</i> (<i>W</i>)	32
Gambar 4.22 Parameterisasi Jarak ke <i>U-Slot</i> (<i>Xh</i>)	33
Gambar 4.23 Parameterisasi Tebal <i>U-Slot</i> (<i>E</i>)	33
Gambar 4.24 Parameterisasi Lebar Substrat (<i>Ws</i>)	33
Gambar 4.25 Parameterisasi Panjang Substrat (<i>Ls</i>)	34
Gambar 4.26 Parameterisasi Lebar <i>U-Slot</i> (<i>D</i>)	34
Gambar 4.27 Parameterisasi Panjang <i>U-Slot</i> dan Titik <i>Feeding</i> (<i>C</i> dan <i>Xf</i>).....	34
Gambar 4.28 Simulasi Antena dengan Celah Udara tanpa <i>U-Slot</i>	35
Gambar 4.29 Hasil <i>S-Parameter</i> dari Simulasi Antena	36
Gambar 4.30 Hasil <i>VSWR</i> dari Simulasi Antena	36
Gambar 4.31 Hasil Plot 3D Pola Radiasi Antena	37
Gambar 4.32 Hasil Plot Polar Pola Radiasi Antena	37
Gambar 4.33 Hasil <i>Surface Current</i> Antena	37
Gambar 4.34 Hasil Fabrikasi Antena	39
Gambar 4.35 Diagram Pengukuran dan Pengukuran <i>VSWR</i> dan <i>Return Loss</i> menggunakan <i>Network Analyzer</i>	41
Gambar 4.36 Hasil Pengukuran <i>VSWR</i> pada Antena tanpa <i>U-Slot</i>	41
Gambar 4.37 Hasil Pengukuran <i>Return Loss</i> pada Antena <i>U-Slot</i>	43
Gambar 4.38 Hasil Pengukuran <i>VSWR</i> pada Antena <i>U-Slot</i>	43
Gambar 4.39 Busur Acuan Pengukuran Pola Radiasi dan Kabel yang Digunakan	46
Gambar 4.40 Penyangga Non Metal untuk Menyangga Antena Referensi dan Antena Uji	46
Gambar 4.41 Hasil Simulasi Pola Radiasi Antena tanpa <i>U-Slot</i>	47
Gambar 4.42 Hasil Pengukuran Pola Radiasi Antena tanpa <i>U-Slot</i>	47
Gambar 4.43 Hasil Simulasi Pola Radiasi Antena tanpa <i>U-Slot</i>	48
Gambar 4.44 Hasil Pengukuran Pola Radiasi Antena dengan <i>U-Slot</i>	48

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Parameter Antena Mikrostrip yang Diinginkan	21
Tabel 3.2	Spesifikasi Substrat dan <i>Patch</i> Antena	21
Tabel 3.3	Dimensi Antena Mikrostrip Sebelum dan Setelah Dioptimasi	22
Tabel 3.4	Dimensi Awal Antena dengan <i>U-Slot</i>	23
Tabel 4.1	Dimensi Awal Antena dengan <i>U-Slot</i> dan Parasitik	30
Tabel 4.2	Dimensi Awal Antena dengan <i>U-Slot</i> dengan Celah Udara.....	33
Tabel 4.3	Dimensi Akhir Antena <i>U-Slot</i> dengan Celah Udara	37
Tabel 4.4	Perbandingan Hasil Simulasi	40
Tabel 4.5	Perbandingan Hasil Simulasi dan Pengukuran Antena tanpa <i>U-Slot</i>	44
Tabel 4.6	Perbandingan Hasil Pengukuran Antena tanpa dan dengan <i>U-Slot</i>	46
Tabel 4.7	Perbandingan Hasil Simulasi dan Pengukuran Antena dengan <i>U-Slot</i>	46
Tabel 4.8	Perbandingan <i>Bandwidth</i> Seluruh Hasil Simulasi dan Pengukuran	49

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Antena mikrostrip adalah salah satu jenis antena yang banyak digunakan pada sistem telekomunikasi, seperti komunikasi radar, komunikasi seluler, dan lainnya. Umumnya antena mikrostrip terdiri dari 3 bagian, yaitu peradiasi (*patch*), bahan dielektrik yang disebut substrat, dan *groundplane* yang berupa tembaga.

Antena mikrostrip memiliki berbagai kelebihan yaitu ukurannya yang kecil, harga yang murah, dan mudahnya fabrikasi. Selain itu, antena mikrostrip dapat menggunakan berbagai teknik pencatutan, seperti melalui *feed line*, atau dieksitasi langsung melalui *probe coaxial*. Namun, antena mikrostrip memiliki berbagai kekurangan seperti *bandwidth* yang sempit dan *gain* yang rendah. Dikarenakan sistem komunikasi umumnya membutuhkan *bandwidth* yang lebar, maka telah dilakukan berbagai penelitian untuk memperlebar *bandwidth* dari antena mikrostrip tersebut.

Salah satu teknik memperlebar *bandwidth* antena mikrostrip yaitu dengan menambahkan u-slot dan elemen parasitik yang termasuk dalam teknik *multiresonator*, dikarenakan menggunakan banyak frekuensi resonan. Berdasarkan penelitian yang sudah ada, u-slot dapat memperlebar *bandwidth* antena dari 10% [1] dan elemen parasitik dapat memperlebar *bandwidth* antena dari 2-10% [2].

Penelitian ini mendesain sebuah antena mikrostrip *wideband* yang bekerja pada frekuensi 2,6 GHz, dimana kondisi *wideband* adalah kondisi dimana lebar *bandwidth* antena lebih dari 20%. Dikarenakan hasil penelitian mungkin tidak akurat dengan penelitian yang sudah ada, maka pelebaran *bandwidth* akan direalisasikan dengan kombinasi slot dan elemen parasitik agar mencapai kondisi *wideband*, dimana kombinasinya memungkinkan dapat saling menambah *bandwidth* antena.

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang akan dibahas dalam tugas akhir ini adalah:

1. Bagaimana merancang antena mikrostrip dengan u-slot dan parasitik agar mencapai kondisi *wideband*?
2. Bagaimana hasil pengujian parameter-parameter antena mikrostrip yang telah dirancang pada saat simulasi dengan *software* CST?

3. Bagaimana perbandingan performansi antenna hasil simulasi dengan pengukuran langsung?
4. Bagaimana perbandingan performansi antenna tanpa dan dengan metode *u-slot* atau parasitik yang digunakan?

1.3 Batasan Masalah

Pada tugas akhir ini akan dibatasi permasalahannya pada beberapa hal sebagai berikut:

1. Antena yang digunakan pada penelitian ini adalah antena mikrostrip yang akan bekerja pada frekuensi 2,6 GHz.
2. Antena dirancang dan disimulasikan menggunakan *software CST*.
3. Antena yang dirancang berbahan FR-4 yang memiliki ketebalan 1,6 mm dengan konstanta dielektrik 4,3.
4. Bentuk *patch* antena adalah *patch* segiempat dan berbahan tembaga.
5. Parameter antena yang akan diuji yaitu *gain*, *bandwidth*, *return loss*, *VSWR*, distribusi arus listrik dan pola radiasi.
6. Teknik pencatuan yang digunakan adalah pencatuan koaksial.
7. Pengukuran antena dilakukan pada ruangan terbuka atau *outdoor*.

1.4 Tujuan dan Manfaat

Tujuan dari penelitian tugas akhir ini adalah untuk merancang, mensimulasikan, mendapatkan hasil fabrikasi, dan menguji antena mikrostrip yang telah dirancang sebagai upaya untuk memperlebar *bandwidth* hingga antena mencapai kondisi *wideband* yaitu lebar *bandwidth* diatas 20%. Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai salah satu cara untuk menanggulangi kekurangan pada antena mikrostrip yaitu *bandwidth* yang terbatas dan ikut berkontribusi pada perancangan antena mikrostrip di frekuensi 2,6 GHz.

1.5 Metodologi Penelitian

Tugas akhir ini dilakukan dengan menggunakan metode penelitian sebagai berikut:

a. Studi Literatur

Mempelajari teori dasar sebagai dalam pengerjaan tugas akhir, termasuk mempelajari berbagai referensi baik jurnal maupun buku yang terkait untuk diterapkan pada penelitian tentang antena mikrostrip yang akan dibuat.

b. Perancangan dan Simulasi

Setelah melakukan studi literatur, kemudian dilanjutkan dengan

proses perancangan dan simulasi dengan menggunakan software CST mengacu pada studi literatur yang berisi teori-teori dalam mendesain antena.

c. Realisasi dan Pengukuran

Setelah simulasi dilakukan, berikutnya dilakukan fabrikasi antena dan dilanjutkan dengan proses pengukuran parameter-parameter yang telah ditentukan sebelumnya pada tahap perancangan. Pengukuran parameter-parameter tersebut menggunakan alat *Network Analyzer*. Lalu dilakukan analisa dengan membandingkan hasil pengukuran dengan hasil simulasi yang dilakukan sebelumnya.

d. Analisa dan Evaluasi

Dari hasil pengukuran yang diperoleh, maka akan didapatkan data yang kemudian bisa dianalisa hasil, perbandingan, dan apakah sesuai dengan spesifikasi pada saat perancangan sehingga dapat diambil kesimpulan dalam penelitian tugas akhir ini.

e. Bimbingan dan Penyusunan Laporan

Melakukan konsultasi dengan dosen pembimbing mengenai penelitian tugas akhir ini serta menyusun laporan sebagai bentuk pertanggungjawaban secara tertulis atas tugas akhir yang telah dibuat.

1.6 Sistematika Penulisan

Pembahasan tugas akhir ini akan dibagi menjadi lima Bab dengan susunan sebagai berikut:

Bab I: Pendahuluan

Pada bab ini akan diuraikan mengenai latar belakang, permasalahan, batasan masalah, tujuan dan manfaat, metode penelitian, serta sistematika penulisan.

Bab II: Dasar Teori

Bab ini berisi dasar-dasar teori dari perancangan antena mikrostrip, penggunaan u-slot dan parasitik sebagai upaya memperlebar *bandwidth* antena, serta teori dasar tentang parameter yang akan diuji.

Bab III: Perancangan Antena

Bab ini menjelaskan tentang metode perancangan antena mikrostrip, serta realisasinya.

Bab IV: Analisa Hasil Simulasi dan Pengukuran

Bab ini berisi analisa dari hasil simulasi, optimasi, dan pengukuran dari parameter-parameter yang diukur serta dilakukan perbandingan hasil simulasi dan hasil pengukuran.

Bab V: Penutup

Bab ini membahas mengenai kesimpulan serta saran yang dapat diambil dari penelitian tugas akhir ini dan kemungkinan pengembangan yang dapat dilakukan lebih lanjut.

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Antena

Antena merupakan suatu perangkat metal baik berbentuk balok atau kawat, yang digunakan untuk memancarkan atau menerima gelombang radio melalui saluran transmisi. Saluran transmisi bisa berupa kabel koaksial atau gelombang pembimbing (*waveguide*) dan digunakan untuk membawa sinyal elektromagnetik baik dari pemancar ke penerima, atau dari penerima ke pemancar. Maka dari itu terdapat antena pemancar dan antena penerima. Ada berbagai macam antena diantaranya antena *wire*, antena *aperture*, antena reflektor, antena mikrostrip, antena *array*, dan antena *lens* [3].

2.2 Antena Mikrostrip

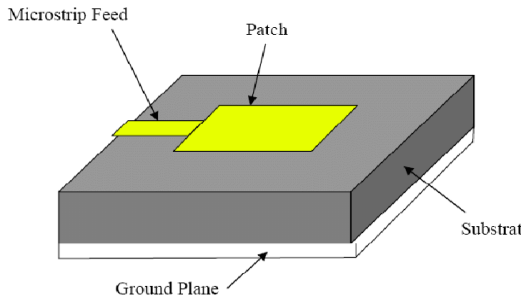
Antena mikrostrip adalah salah satu antena yang banyak digunakan karena bentuknya berupa kepingan yang berukuran kecil. Antena mikrostrip memiliki beberapa kelebihan, yaitu [3]:

1. Mempunyai ukuran yang kecil dan praktis
2. Biaya fabrikasi yang relatif rendah
3. Bisa diintegrasikan dengan rangkaian lainnya
4. Bisa dirancang sesuai parameter-parameter seperti frekuensi, polarisasi yang diinginkan

Namun ada beberapa kekurangan dari antena mikrostrip diantaranya:

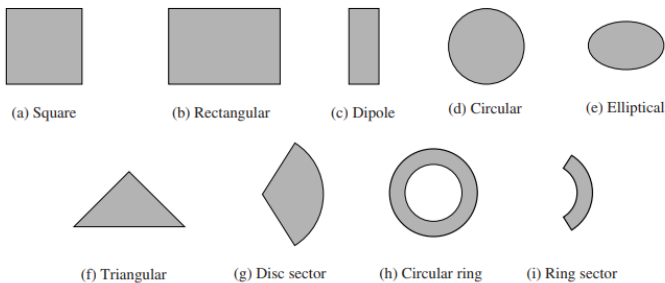
1. *Bandwidth* yang sempit
2. Efisiensi dan gain yang rendah
3. Daya yang dapat diradiasikan rendah
4. Butuh ketelitian yang tinggi dalam perancangan dan fabrikasinya

Antena mikrostrip mempunyai 4 bagian dasar, yaitu patch, substrat dielektrik, saluran transmisi (*feed*), dan *ground plane*. Struktur antena mikrostrip adalah sebagai berikut.



Gambar 2.1 Struktur Antena Mikrostrip [3]

Patch yaitu elemen peradiasi untuk memancarkan gelombang elektromagnetik yang terbuat dari konduktor seperti tembaga. Bentuk dari *patch* bervariasi yang ditunjukkan pada Gambar 2.2. Bentuk persegi, persegi panjang, *dipole*, dan lingkaran umum digunakan karena mudah dalam analisis dan fabrikasi, dan karakteristik radiasi yang lebih baik. Substrat adalah bahan dielektrik yang diletakkan diantara *patch* dan *ground plane*. Semakin tebal substrat, maka *bandwidth* yang diperoleh lebih lebar dan efisiensinya lebih tinggi. Sedangkan *ground plane* adalah elemen yang berfungsi sebagai *reflector*, yang terbuat dari konduktor seperti tembaga [3].



Gambar 2.2 Berbagai bentuk *patch* antena mikrostrip [3]

2.2.1 Dimensi *Patch Rectangular* Antena Mikrostrip

Salah satu bentuk *patch* antena mikrostrip yang sering digunakan adalah *patch rectangular* dan *circular*. Bentuk *patch* ini bisa dirancang

sedemikian rupa sehingga memenuhi spesifikasi yang diinginkan. Parameter-parameter yang perlu diperhatikan dalam merancang *patch rectangular* adalah konstanta dielektrik (ϵ_r), ketebalan substrat (h), dan frekuensi resonansi. Berikut perhitungan dalam merancang *patch rectangular* pada antena mikrostrip [3]:

1. Menentukan lebar *patch* (W):

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

2. Menghitung konstanta dielektrik efektif (ϵ_{reff}):

$$\epsilon_{reff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[1 + 10 \frac{h}{W} \right]^{-1/2} \quad (2.2)$$

3. Menghitung pertambahan panjang *patch* (ΔL):

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

4. Menentukan panjang *patch* (L):

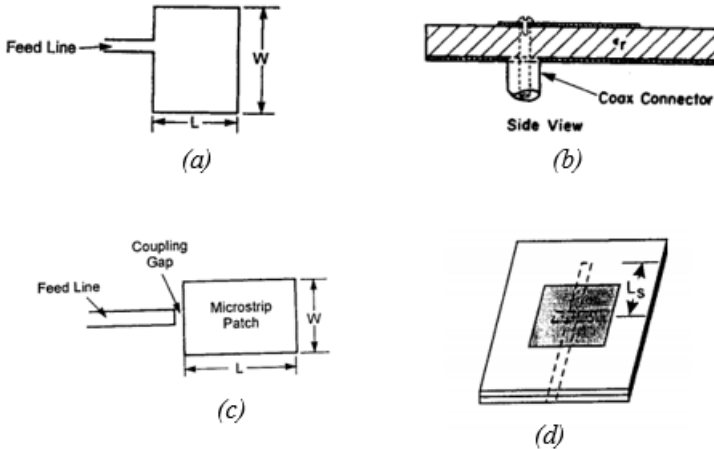
$$L = \frac{1}{2f_r \sqrt{\epsilon_{reff}} \sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} - 2\Delta L \quad (2.4)$$

Dengan:

- f_r = frekuensi resonan yang diinginkan
- ϵ_r = konstanta dielektrik
- c = kecepatan cahaya di ruang bebas (3×10^8)
- h = tebal atau ketinggian substrat

2.2.2 Teknik Pencatuan Antena Mikrostrip

Ada beberapa macam metode pencatuan untuk antena mikrostrip, diantaranya *microstrip line*, *coaxial probe*, *aperture coupling*, *proximity coupled* yang ditunjukkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Macam-macam metode pencatuan a) *microstrip line* b) *coaxial probe* c) *aperture coupling* d) *proximity coupled* [4]

Pencatuan dengan *microstrip line* langsung terhubung dengan patch dan banyak digunakan karena fabrikasi yang mudah. Metode pencatuan koaksial dimana konduktor koaksial terhubung dengan patch dan bidang dasar juga banyak digunakan karena mudahnya fabrikasi, namun *bandwidth* yang didapat cukup sempit. Pada metode *aperture coupling*, garis pencatuan mikrostrip dipisahkan oleh bidang dasar dan substratnya. Penghubung antara bidang dasar dan garis penyambungan dibuat melalui slot atau celah pada bidang dasar. Metode ini sulit difabrikasi dan memiliki *bandwidth* yang cukup sempit juga. Metode *proximity coupled* yang juga disebut dengan kopleng elektromagnetik adalah metode pencatuan yang memiliki *bandwidth* paling lebar, namun sulit difabrikasi [3].

Pada tugas akhir ini akan digunakan metode pencatuan koaksial, karena fabrikasinya yang mudah serta desainnya tidak bertabrakan dengan u-slot yang akan dirancang. Berikut perhitungan untuk lokasi titik *feeding* dari koaksial [5]:

$$Xf = \frac{L}{2\sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (2.5)$$

$$Yf = \frac{W}{2} \quad (2.6)$$

Dengan:

Xf = Titik *feeding* pada sumbu y dari ujung sisi atas patch (mm)

Yf = Titik *feeding* pada sumbu x (mm)

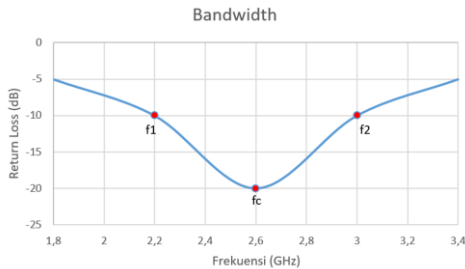
ϵ_{eff} = Konstanta dielektrik efektif

2.3 Parameter Dasar Antena

Dalam perancangan antena perlu diketahui kinerja dari antena tersebut agar nantinya antena sesuai dengan kebutuhan yang diinginkan, dimana kinerja suatu antena dapat diketahui melalui parameter-parameter antena, yaitu *bandwidth*, *gain*, *return loss*, dan sebagainya.

2.3.1 Bandwidth

Bandwidth yang dimaksud disini adalah *bandwidth* impedansi. *Bandwidth* adalah rentang frekuensi dimana kinerja suatu antena masih dapat digunakan. Untuk menghitung *bandwidth* pada antena mikrostrip, dapat dilihat dimana frekuensi kerja berada di kondisi *return loss* kurang dari -10 dB atau $VSWR < 2$. Semakin besar *bandwidth*, semakin besar kapasitas data yang dikirimkan, maka dari itu *bandwidth* pada antena mikrostrip perlu ditingkatkan. Untuk menghitung *bandwidth*, digunakan perhitungan sebagai berikut [3]:



Gambar 2.4 *Bandwidth* Antena

$$Bandwidth = \frac{f2 - f1}{f_c} \times 100\% \quad (2.7)$$

Dengan:

f_l = frekuensi bawah (Hz)

f_h = frekuensi atas (Hz)

f_c = frekuensi tengah (Hz)

2.3.2 Direktivitas dan *Gain*

Direktivitas adalah perbandingan antara intensitas radiasi dari arah yang diberikan oleh antenna terhadap intensitas radiasi rata-rata pada semua arah. Intensitas radiasi rata-rata sama dengan total daya yang diradiasikan antenna dibagi dengan 4π . Jika arah tidak ditentukan, maka arah yang dimaksud adalah arah pada intensitas radiasi maksimum [3].

$$D = \frac{U}{U_o} = \frac{4\pi}{P_r} \quad (2.8)$$

Dengan:

D = Direktivitas maksimum

U = Intensitas radiasi

U_o = Intensitas radiasi pada arah isotropik

P_r = Daya total yang diradiasikan (W)

Gain didefinisikan sebagai perbandingan intensitas radiasi suatu arah terhadap intensitas radiasi yang diperoleh jika daya yang diterima antenna diradiasikan secara isotropik.

$$G = 4\pi \frac{U(\theta, \phi)}{P_r} \quad (2.9)$$

Terdapat juga *relative gain* yang didefinisikan sebagai perbandingan perolehan daya pada suatu arah yang terhadap daya dari antenna referensi. *Gain* antenna ini juga bergantung pada direktivitas dan efisiensi antenna [3].

Ketika mengukur *gain*, maka nilai yang didapat adalah nilai *gain* maksimum. Pengukuran *gain* maksimum ini dapat dilakukan dengan menggunakan antenna referensi dengan *gain* yang sudah diketahui dan dapat diperoleh dari:

$$G_T(dB) = P_T(dB) - P_S(dB) + G_S(dB) \quad (2.10)$$

Dengan:

P_T = Daya *output* maksimum antenna yang diukur

P_T = Daya *output* maksimum antenna referensi

P_T = *Gain* maksimum antenna yang diukur

P_T = *Gain* maksimum antenna referensi

2.3.4 VSWR dan Return Loss

VSWR adalah rasio perbandingan antara amplitudo gelombang berdiri (*standing wave*) maksimum dengan minimum. VSWR merupakan parameter penentu dalam *matching* antara antenna dengan saluran transmisi. Nilai minimum dari VSWR adalah 1, dimana tidak ada daya yang dipantulkan dari antenna dan bisa disebut ideal. Namun, pada prakteknya nilai VSWR dibawah 2 sudah cukup bagus. VSWR adalah fungsi dari koefisien refleksi (Γ), yaitu daya yang dipantulkan oleh antenna, dan dapat dirumuskan sebagai berikut [3]:

$$VSWR = \frac{V_{max}}{V_{min}} = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \quad (2.11)$$

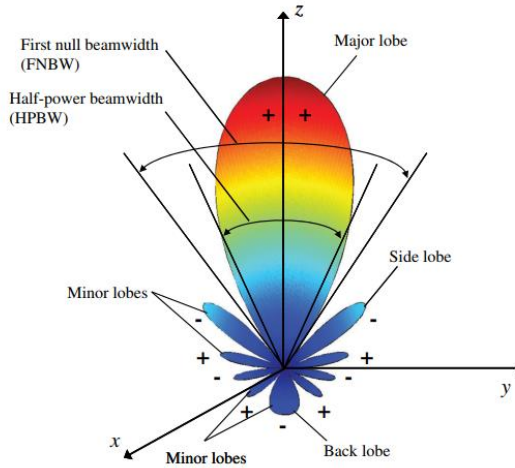
Return loss didefinisikan sebagai perbandingan antara amplitudo dari gelombang yang dipantulkan terhadap amplitudo gelombang yang dikirimkan. *Return loss* juga dapat diartikan sebagai rugi-rugi pada transmisi, yang dapat terjadi karena adanya ketidaksesuaian antara impedansi saluran transmisi dengan impedansi masukan beban. *Return loss* dapat diperoleh dengan persamaan [3]:

$$Return Loss (dB) = 20 \log |\Gamma| \quad (2.12)$$

2.3.5 Pola Radiasi

Pola radiasi antenna adalah representasi grafik dari pancaran energi antenna sebagai fungsi dalam koordinasi ruang. Pola radiasi antenna mempunyai beberapa parameter seperti pada Gambar 2.5, yaitu [3]:

1. *Major lobe*, bagian pola radiasi pada arah tertentu yang memiliki nilai radiasi maksimum.
2. *Minor lobe*, yang terdiri dari side lobe dan back lobe, yaitu bagian pola radiasi yang tidak diinginkan.
3. *Beamwidth*, yang terdiri dari HFBW (*Half Power Beamwidth*) dan FNBW (*First Null Beamwidth*) yaitu lebar berkas diantara sisi-sisi *major lobe*.



Gambar 2.5 Bagian-Bagian dari Pola Radiasi Antena [3]

Berdasarkan pola radiasinya, antena dikelompokkan menjadi 3, yaitu [3]:

1. Antena isotropis, yaitu antena yang memancarkan atau menerima radiasi ke semua arah dengan sama besar.
2. Antena *directional*, yaitu antena yang memancarkan atau menerima radiasi hanya ke arah tertentu saja.
3. Antena *omnidirectional*, yaitu antena yang memancarkan atau menerima radiasi sama besar hanya ke beberapa bidang saja.

Pada pengukuran pola radiasi, jarak antara antena dan antena referensi harus memenuhi jarak minimum medan jauh, yaitu:

$$r_{min} > \frac{2D^2}{\lambda} \quad (2.13)$$

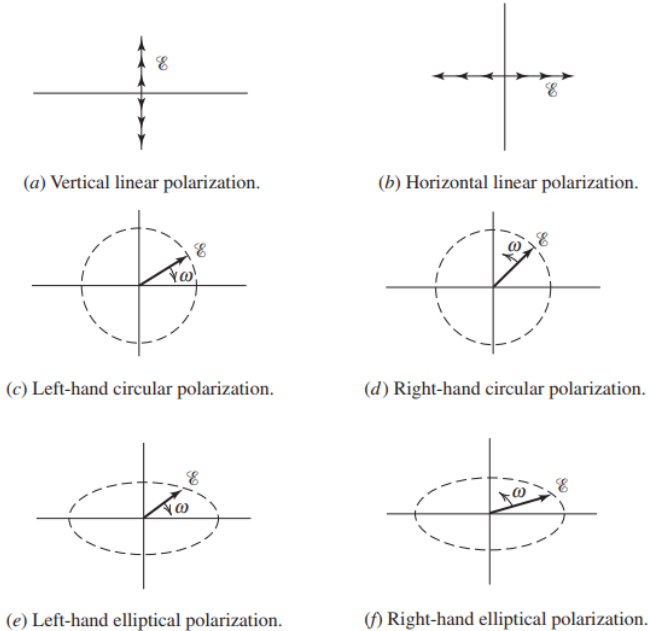
Dimana:

- r_{min} = Jarak minimum medan jauh
- D = Panjang diagonal dimensi antena
- λ = Panjang gelombang antena

2.3.6 Polarisasi

Polarisasi dari gelombang yang teradiasi didefinisikan sebagai suatu keadaan gelombang elektromagnetik yang menggambarkan arah

dan magnitudo vektor medan listrik yang bervariasi menurut waktu. Polarisasi dapat diklarifikasikan sebagai linier, melingkar dan elips yang ditunjukkan pada Gambar 2.6 [3].



Gambar 2.6 Jenis-jenis polarisasi [6]

a. Polarisasi Linier

Polarisasi linier terjadi jika suatu gelombang yang berubah menurut waktu ruang memiliki vektor medan elektrik pada titik tersebut selalu berorientasi pada garis lurus yang sama pada setiap waktu. Polarisasi linier terjadi jika vektor medan hanya memiliki satu komponen [3].

b. Polarisasi Melingkar

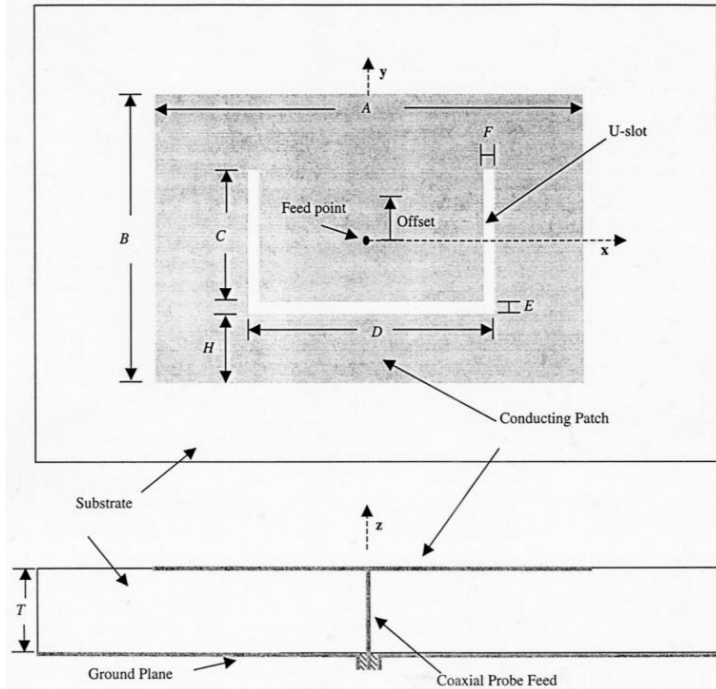
Polarisasi melingkar terjadi jika gelombang yang berubah menurut waktu memiliki vektor medan listrik berada pada jalur lingkaran sebagai fungsi dari waktu. Polarisasi melingkar dibagi menjadi dua yaitu *left-hand circular polarization* (LHCP) dan *right-hand circular polarization* (RHCP) [3].

c. Polarisasi Elips

Polarisasi elips terjadi jika gelombang yang berubah menurut waktu memiliki vektor medan listrik berada pada jalur elips sebagai fungsi dari waktu. Polarisasi melingkar dibagi menjadi dua yaitu *left-hand elliptical polarization* (LHEP) dan *right-hand elliptical polarization* (RHEP) [3].

2.4 Teknik *U-Slot*

Salah satu teknik untuk memperlebar *bandwidth* adalah membuat *slot* atau celah pada *patch* utama. Bentuk *slot* ini bisa bermacam-macam, dan salah satunya berbentuk huruf U. Ada beberapa alasan *u-slot* dapat memperlebar *bandwidth* dari antena mikrostrip, yaitu *u-slot* memiliki kapasitansi yang mengurangi induktansi yang ada pada *feed*, dan *u-slot* menambah frekuensi resonan yang baru sehingga jika dikombinasikan dengan frekuensi resonan *patch* akan memperlebar *bandwidth*. Oleh karena itu, teknik *u-slot* ini multifungsi, bisa digunakan untuk memperoleh kondisi *wideband*, *dual band*, dan *triple band* [7].



Gambar 2.7 Skema U-slot pada Antena Mikrostrip [4]

Teknik *u-slot* dapat memperlebar *bandwidth* antena mikrostrip dari 10% hingga 40% tergantung bagaimana konfigurasi. Gambar 2.7 menunjukkan skema *u-slot* pada antena mikrostrip dan berikut adalah perhitungan untuk perancangan *u-slot* dari penelitian yang sudah ada [1]:

1. Menghitung tebal *u-slot* (E):

$$E = \frac{\lambda_{res}}{60} \quad (2.14)$$

2. Menghitung lebar *u-slot* (D):

$$D = \frac{v_0}{\sqrt{\epsilon_{reffl}}} - 2(L + 2\Delta L - E) \quad (2.15)$$

3. Menentukan panjang *u-slot* (C):

$$\frac{C}{D} \geq 0.75 \quad (2.16)$$

4. Menghitung jarak u-slot (H):

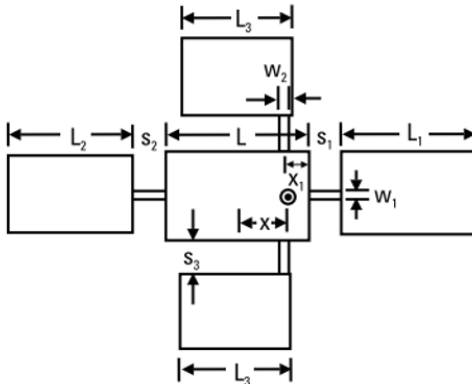
$$\epsilon_{reff(pp)} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[1 + \frac{12h}{D - 2E} \right]^{-1/2} \quad (2.67)$$

$$H = L - E + 2\Delta L - \frac{1}{\epsilon_{reff(pp)}} \left(\frac{v_0}{fu} - (2C + D) \right) \quad (2.18)$$

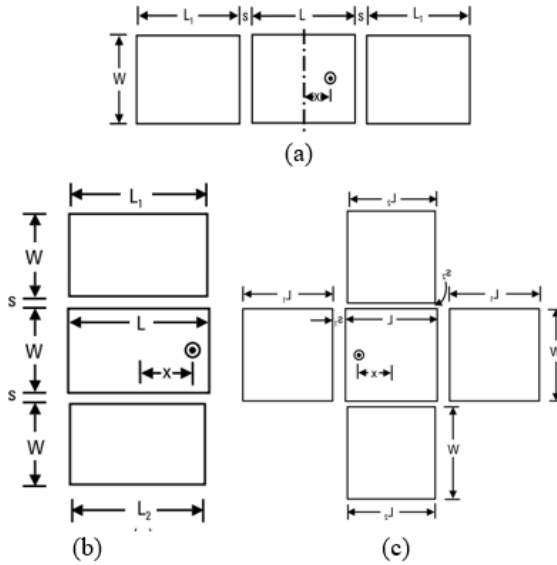
5. Mengecek apakah C+E+H kurang dari B. Jika tidak maka mengubah nilai C sesuai rasio pada persamaan 2.16 hingga desainnya dapat terealisasi secara fisik.

2.5 Teknik Parasitik

Teknik parasitik yaitu teknik yang digunakan untuk meningkatkan *bandwidth* suatu antenna mikrostrip dengan menambahkan *patch* tambahan. *Patch* utama pada antenna mikrostrip memiliki dua sisi, yaitu sisi yang meradiasi (sisi pada lebar W) dan sisi yang tidak meradiasi (sisi pada panjang L). *Patch* parasitik ini bisa ditambahkan di satu jenis sisi atau keduanya, dimana Gambar 2.8 dan 2.9 menunjukkan beberapa contoh konfigurasi *patch* parasitik [8].



Gambar 2.8 *Patch* parasitik yang terhubung dengan garis mikrostrip [8]



Gambar 2.9 (a) Parasitik pada sisi meradiasi, (b) Parasitik pada sisi tidak meradiasi, (c) Parasitik pada kedua sisi [8]

Dengan adanya *patch* parasitik, *bandwidth* dari antenna mikrostrip bisa meningkat karena frekuensi resonan dari *patch* utama dan *patch* parasitik saling berdekatan. Salah satu kelebihan adalah tidak menambah ketebalan dari antenna mikrostrip itu sendiri, namun dimensi dari antenna mikrostrip itu semakin besar [8].

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

BAB III

PERANCANGAN ANTENA

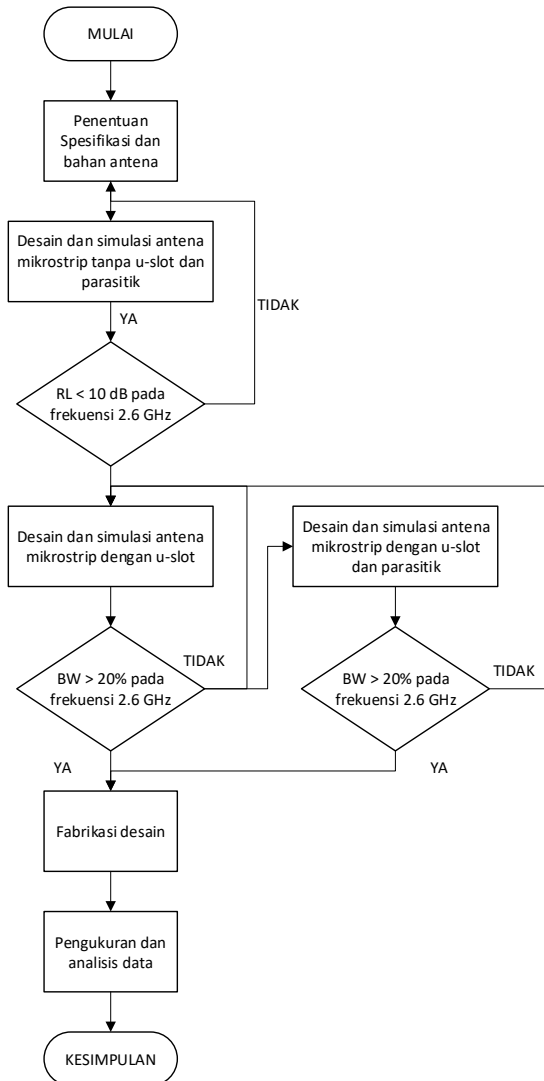
3.1 Alur Perancangan Antena

Dalam bab ini akan dibahas mengenai perancangan dan realisasi dari antena mikrostrip dengan *u-slot* dan parasitik *wideband* yang bekerja pada frekuensi 2,6 GHz. Tahapan-tahapan yang dilakukan ditampilkan dalam bentuk diagram alur pada Gambar 3.1.

Proses pengerjaan dimulai dengan menentukan kinerja antena yang diinginkan dan menentukan spesifikasi bahan antena yang digunakan. Setelah mengetahui spesifikasi yang diinginkan maka dilanjutkan dengan perancangan antena. Pada tahap perancangan antena terbagi menjadi tiga bagian yaitu perancangan antena mikrostrip tanpa *u-slot* dan parasitik, antena mikrostrip dengan *u-slot*, serta penambahan parasitik jika antena belum memenuhi kriteria yang diinginkan. Simulasi antena dilakukan di *software CST Studio Suite 2019*.

Pada tahap perancangan antena mikrostrip tanpa *u-slot* dan parasitik ditentukan desainnya melalui perhitungan yang sudah ada dan dilakukan simulasi untuk melihat kinerja antena mikrostrip tersebut. Jika kinerja antena mikrostrip tidak sesuai dengan yang diinginkan maka dilakukan optimasi dimensi antena mikrostrip. Setelah antena mikrostrip tanpa *u-slot* dan parasitik sesuai spesifikasi, maka dilakukan perancangan antena mikrostrip dengan *u-slot* terlebih dahulu. Perancangan *u-slot* dilakukan melalui perhitungan yang sudah ada dan dilakukan simulasi. Jika antena mikrostrip dengan *u-slot* belum sesuai spesifikasi yang diinginkan, maka dilakukan 2 cara, mengoptimasi desain antena dengan *u-slot*, atau menambahkan *patch* parasitik beserta *u-slot*, lalu diambil desain yang paling optimal. Jika antena mikrostrip dengan *u-slot* sudah sesuai spesifikasi yang diinginkan, maka tidak perlu ditambahkan dengan metode parasitik dan dapat dilanjutkan ke tahap realisasi.

Tahapan selanjutnya adalah realisasi antena yang berupa fabrikasi yang dilakukan di tempat khusus pembuatan antena mikrostrip. Setelah proses fabrikasi, dilanjutkan dengan pengukuran kinerja antena mikrostrip untuk melihat kinerja sesungguhnya. Data hasil pengukuran dibandingkan dengan hasil simulasi dan dilakukan analisa. Tahap terakhir adalah pembuatan laporan penelitian tugas akhir berdasarkan data-data penelitian yang telah diperoleh.



Gambar 3.1 Diagram Alur Perancangan Antena Mikrostrip dengan U-Slot dan Parasitik

3.2 Penentuan Spesifikasi Antena Mikrostrip

Perancangan antena mikrostrip ini dimulai dengan menentukan parameter dan nilai parameter dari antena yang diinginkan sebelum disimulasikan menggunakan *software CST STUDIO SUITE 2019*. Parameter yang dibutuhkan antara lain *Return Loss*, *VSWR*, *Bandwidth*, dan *Gain*. Nilai dari parameter untuk antena mikrostrip pada frekuensi 2,6 GHz tersebut dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Parameter Antena Mikrostrip yang Diinginkan

Parameter	Nilai yang Diinginkan
<i>Return Loss</i>	< -10 dB
<i>VSWR</i>	< 2
<i>Bandwidth</i>	> 20%
<i>Gain</i>	> 3 dB

Selain menentukan kriterianya, pada perancangan ini juga harus ditentukan spesifikasi dari substrat dan *patch* yang akan digunakan dalam perancangan maupun realisasi antena. Spesifikasi substrat dan *patch* antena dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Spesifikasi Substrat dan *Patch* Antena

Parameter	Nilai
Frekuensi	2,6 GHz
Jenis Substrat	FR-4 <i>Epoxy</i>
Jenis <i>Patch</i>	Tembaga
Konstanta Dielektrik	4.3
Tebal Substrat	1,6 mm
Metode Pencatuan	Koaksial
Diameter Pin Koaksial	1,3 mm

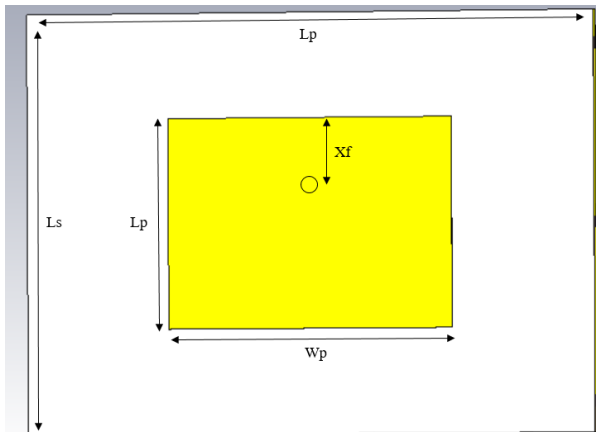
3.3 Perancangan Antena tanpa U-Slot dan Parasitik

Setelah ditentukan spesifikasi dan kriteria dari antena mikrostrip, maka dapat dilakukan perancangan antena mikrostrip tanpa u-slot dan parasitik. Dengan menggunakan Persamaan 2.1 sampai 2.6, didapat panjang dan lebar dari *patch* pada antena mikrostrip. Lalu dilakukan optimasi dengan *parameter sweep* yaitu mengubah parameter-parameter tertentu sehingga mencapai spesifikasi yang diinginkan yaitu frekuensi resonan di 2,6 GHz. Hasil dimensi antena sebelum dan setelah optimasi

dapat dilihat pada Tabel 3.3 dan Gambar 3.2.

Tabel 3.3 Dimensi Antena Mikrostrip Sebelum dan Setelah Dipotimasi

Variabel	Nilai Perhitungan (mm)	Nilai Setelah Optimasi (mm)	Keterangan
h	1,6	1,6	Tebal Substrat
Wp	35,4	35	Lebar Patch
Lp	27,4	25,7	Panjang Patch
Xf	6,87	6,87	Feeding Point
Ws	70,8	70	Lebar Substrat
Ls	54,8	51,4	Panjang Substrat



Gambar 3.2 Dimensi Antena Mikrostrip

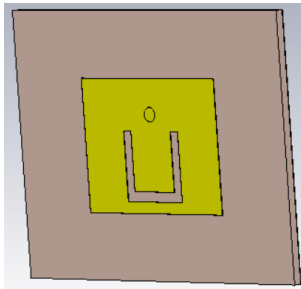
3.4 Perancangan Antena dengan U-Slot

Perancangan antena ini dilakukan melalui perhitungan yang sudah ada dan dilakukan simulasi. Jika antena mikrostrip dengan u-slot belum sesuai spesifikasi yang diinginkan khususnya *bandwidth* diatas 20%, maka dilakukan 2 cara, mengoptimasi desain u-slot, atau menambahkan *patch* parasitik beserta u-slot. Lalu akan direalisasikan desain yang sudah memenuhi kriteria. Pada tahap ini dilakukan perhitungan dari Persamaan 2.14 – 2.18 untuk mendapatkan dimensi u-slot dan mengikuti skema u-slot yang ada pada Gambar 2.6. Tabel 3.4 menunjukkan parameter yang didapat dari perhitungan dan Gambar 3.3 menunjukkan desain awal

antena dengan u-slot.

Tabel 3.4 Dimensi Awal Antena dengan U-Slot

Variabel	Nilai Perhitungan (mm)	Keterangan
h	1,6	Tebal Substrat
W _p	35	Lebar Patch
L _p	25,7	Panjang Patch
X _f	6,87	Feeding Point
W _s	70	Lebar Substrat
L _s	51,4	Panjang Substrat
C	11,5	Panjang U-Slot
D	14,3	Lebar U-Slot
E	1,9	Tebal U-Slot
X _h	2,23	Jarak dari bawah ke U-Slot



Gambar 3.3 Desain Awal Antena dengan U-Slot

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

BAB IV

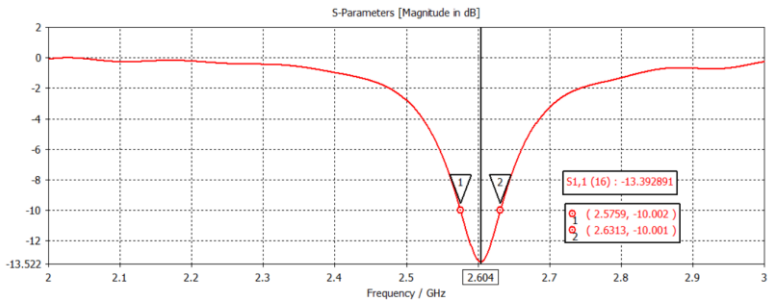
HASIL SIMULASI DAN PENGUKURAN

4.1 Hasil Simulasi Antena tanpa U-Slot

Berikut hasil simulasi antena tanpa u-slot yang telah dirancang, yaitu *s-parameter*, VSWR, pola radiasi, dan *surface current* beserta analisisnya.

4.1.1 Hasil S-Parameter Antena

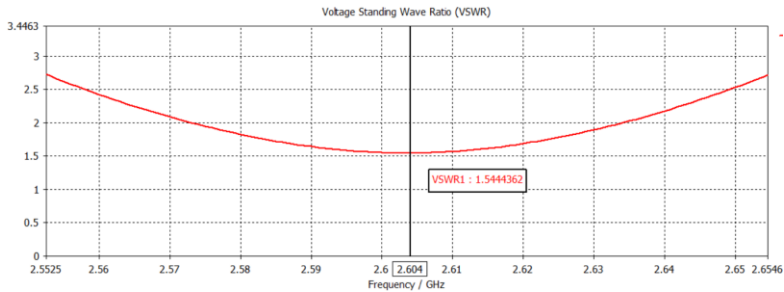
Simulasi *s-parameter* dilakukan untuk mendapatkan rentang frekuensi kerja antena agar sesuai dengan kebutuhan. Dari grafik *s-parameter*, dapat dilihat besar *return loss* dan *bandwidth*-nya. Gambar 4.1 merupakan hasil simulasi antena yang dirancang untuk dapat bekerja pada frekuensi 2,6 GHz. Dalam perancangan tersebut didapat nilai *return loss* sebesar -13,39 dB pada frekuensi 2,6 GHz. *Return loss* yang rendah menandakan daya yang dipantulkan sangat kecil dibanding dengan daya yang diterima oleh antena. Untuk menentukan *bandwidth* dari antena mikrostrip, dapat dihitung dari rentang frekuensi yang *return loss*-nya dibawah -10 dB. Sehingga antena yang disimulasikan memiliki *bandwidth* sebesar 60 MHz atau 2,3%.



Gambar 4.1 Hasil S-Parameter dari Simulasi Antena

4.1.2 Hasil VSWR Antena

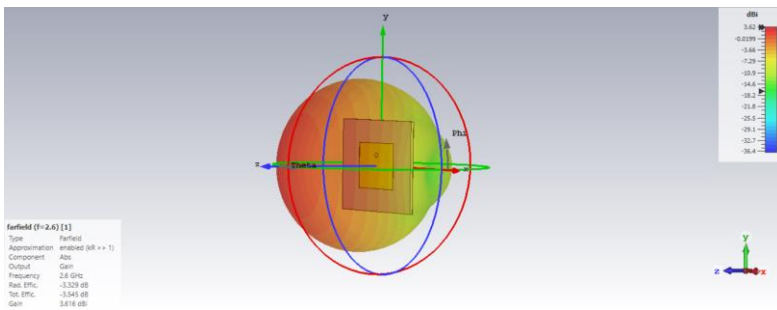
Pada Gambar 4.2 menunjukkan nilai VSWR dari antena mikrostrip yang disimulasikan yaitu 1,54. Nilai ini sudah masuk kriteria VSWR < 2, namun hanya di rentang frekuensi 2,57-2,63 GHz.



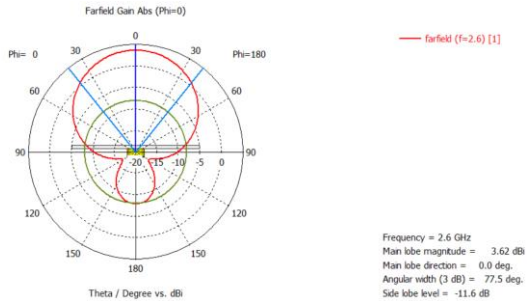
Gambar 4.2 Hasil *VSWR* dari Simulasi Antena

4.1.3 Hasil Pola Radiasi Antena

Gambar 4.3 merupakan plot 3D pola radiasi antena mikrostrip dan Gambar 4.4 merupakan plot polar pola radiasi antena mikrostrip. Dari pola radiasi tersebut dapat diketahui *gain* maksimum yang berada pada medan jauh antena ditandai dengan warna merah. *Gain* yang didapat adalah 3,62 dB, dan pada plot polar, dapat diketahui *Side Lobe Level* (SLL) dari antena mikrostrip adalah -11,6 dB dan memiliki *Half Power Beam Width* (HPBW) pada $77,5^\circ$.



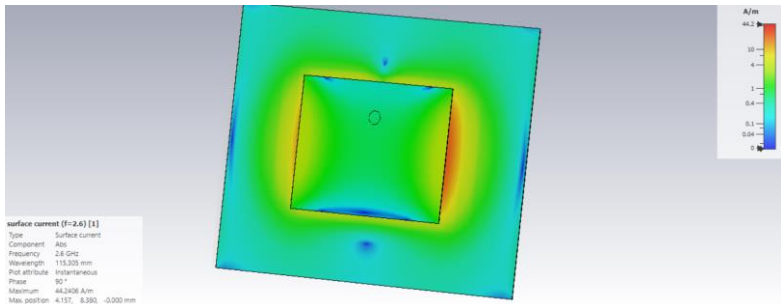
Gambar 4.3 Hasil Plot 3D Pola Radiasi Antena



Gambar 4.4 Hasil Plot Polar Pola Radiasi Antena

4.1.4 Hasil *Surface Current* Antena

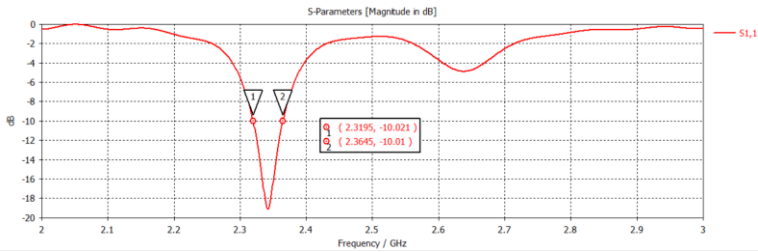
Surface current pada Gambar 4.5 merupakan hasil simulasi yang menunjukkan distribusi arus listrik pada permukaan antena dimana warna merah menunjukkan tingkat densitas arus yang tinggi dan warna biru menunjukkan tingkat densitas arus yang rendah.



Gambar 4.5 Hasil *Surface Current* Antena

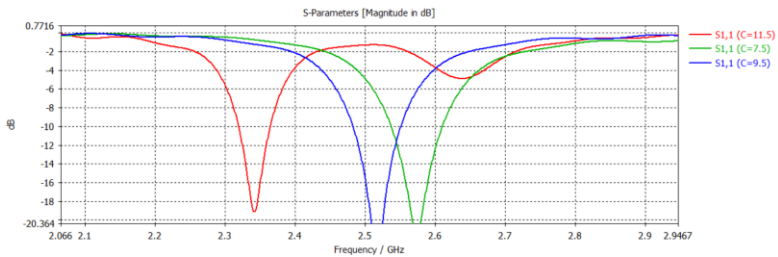
4.2 Hasil Simulasi Antena dengan *U-Slot*

Pada Tugas Akhir ini, jika antena dengan *u-slot* belum mencapai tujuan, maka dilakukan 2 cara, yaitu menambahkan parasitik pada antena dengan *u-slot*, atau menambahkan celah udara pada antena dengan *u-slot*, lalu diambil desain yang optimal. Seluruh perbandingan simulasi yang telah dilakukan akan ditampilkan pada akhir Bab 4. Berikut hasil simulasi antena dengan *u-slot* yang telah dirancang, yaitu *s-parameter*, VSWR, pola radiasi, dan *surface current* beserta analisisnya.

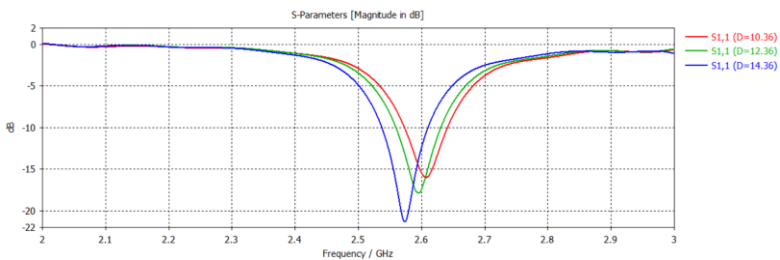


Gambar 4.6 Hasil *S-Parameter* Antena dengan *U-Slot*

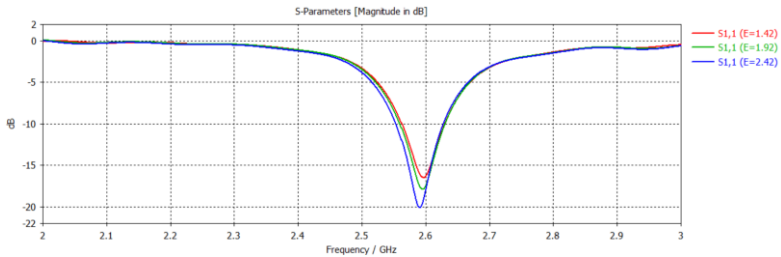
Pada Gambar 4.6 menunjukkan *bandwidth* yang didapat dari simulasi awal adalah 2,14%, sehingga belum memenuhi kondisi *wideband*. Lalu dilakukan simulasi untuk mengetahui perubahan-perubahan hasil jika variabel yang diubah adalah dimensi *u-slot*.



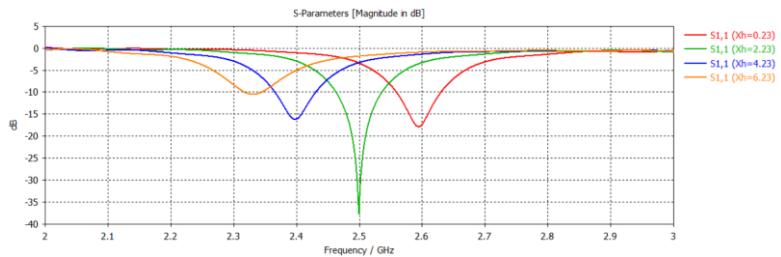
Gambar 4.7 Parameterisasi Panjang *U-Slot* (C)



Gambar 4.8 Parameterisasi Lebar *U-Slot* (D)



Gambar 4.9 Parameterisasi Tebal U-Slot (E)



Gambar 4.10 Parameterisasi Jarak ke U-Slot (Xh)

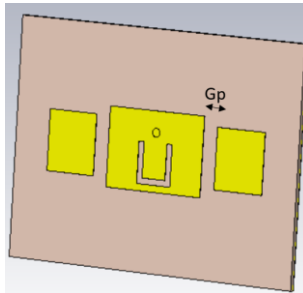
Pada Gambar 4.7 sampai Gambar 4.10 telah dilakukan parameterisasi lebar u-slot, tebal u-slot, dan jarak u-slot, namun tidak ada perubahan signifikan pada *bandwidth*. *Bandwidth* antenna u-slot yang didapat pada simulasi awal adalah 2,14% dan tidak ada penambahan dari *bandwidth* antenna tanpa u-slot yaitu 2,3%. Selanjutnya dilakukan penambahan elemen parasitik sebagai upaya untuk lebih meningkatkan *bandwidth*.

4.3 Penambahan Parasitik pada Antena dengan U-Slot

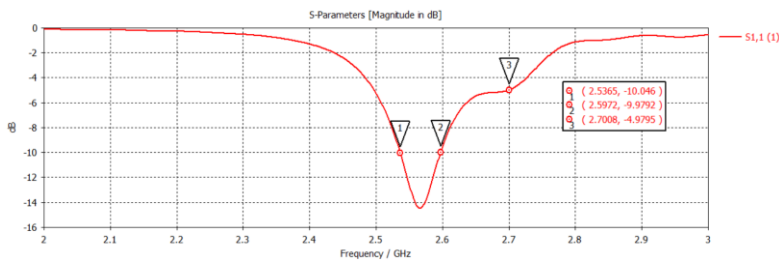
Dengan melanjutkan dimensi yang ada pada desain sebelumnya, maka pada tahap ini dilakukan penambahan parasitik pada sisi *patch* yang meradiasi dan dilakukan simulasi. Pada Tabel 4.1 dan Gambar 4.11 menunjukkan dimensi dari *patch* parasitik.

Tabel 4.1 Dimensi Awal Antena dengan U-Slot dan Parasitik

Variabel	Nilai (mm)	Keterangan
Gp	5	Jarak Patch ke Patch Parasitik (Gap)
Wps	17,5	Lebar Patch Parasitik
Lps	25,7	Panjang Patch Parasitik
Ws	105	Lebar Substrat
Ls	51,4	Panjang Substrat

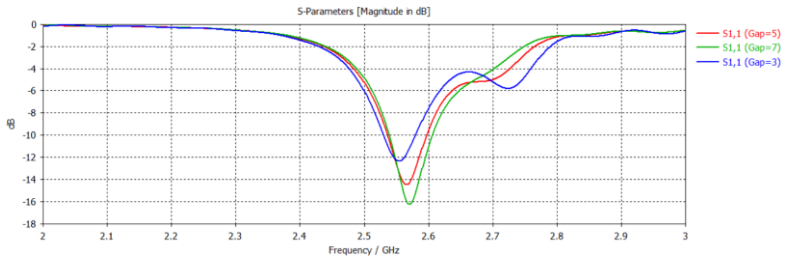


Gambar 4.11 Desain Awal Antena dengan Parasitik

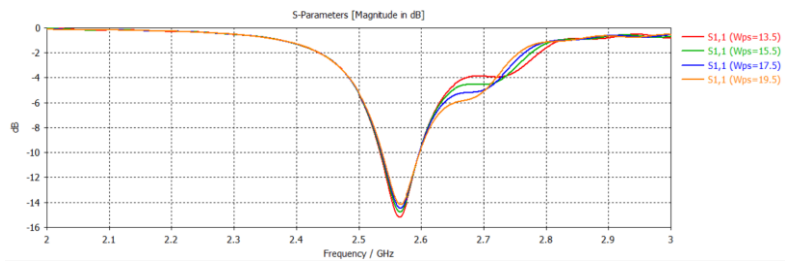


Gambar 4.12 Hasil S-Parameter Antena dengan Parasitik

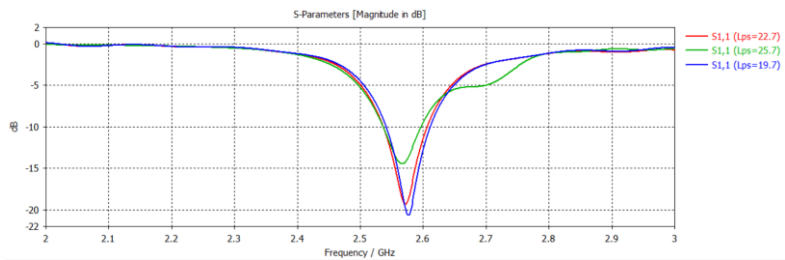
Pada Gambar 4.12 menunjukkan *bandwidth* yang didapat dari simulasi awal adalah 2,34% sehingga belum memenuhi kondisi wideband. Lalu dilakukan simulasi untuk mengetahui perubahan-perubahan hasil jika variabel yang diubah adalah dimensi *patch* parasitik.



Gambar 4.13 Parameterisasi Gap Parasitik (G_p)

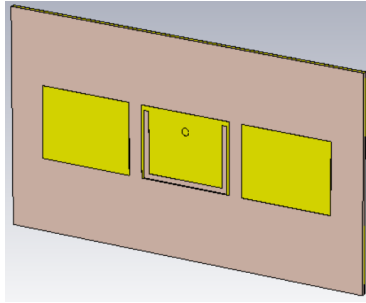


Gambar 4.14 Parameterisasi Lebar Parasitik (W_{ps})

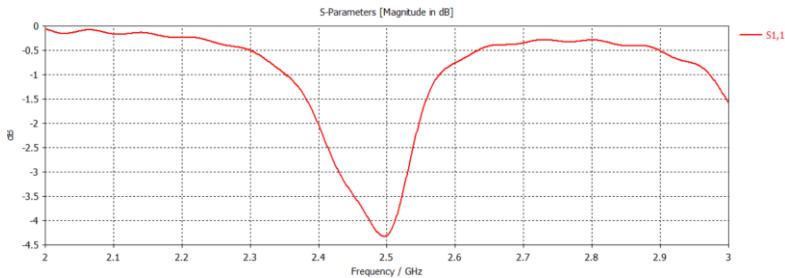


Gambar 4.15 Parameterisasi Panjang Parasitik (L_{ps})

Pada Gambar 4.13 sampai Gambar 4.15 dilakukan parameterisasi variabel parasitik yaitu gap, lebar *patch* parasitik, dan panjang *patch* parasitik. Hasilnya menunjukkan bahwa perubahan parameter-parameter pada elemen parasitik tidak juga berpengaruh signifikan pada *bandwidth*. Setelah dilakukan parameterisasi, *bandwidth* cenderung konstan dan tidak memenuhi kondisi *wideband*.



Gambar 4.16 Skema Ukuran U-Slot dan Parasitik Mendekati Ukuran Patch Utama



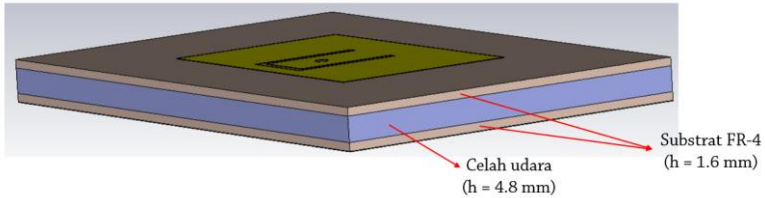
Gambar 4.17 Hasil Simulasi dengan Ukuran U-Slot dan Parasitik Mendekati Ukuran Patch Utama

Pada Gambar 4.17 dicoba simulasi dengan ukuran parasitik yang sama dengan ukuran *patch* utama dan ukuran *u-slot* mendekati ukuran *patch* utama yang ditunjukkan pada Gambar 4.16. Hasil yang didapat adalah *return loss* tidak mencapai -10 dB sehingga tidak ada *bandwidth*. *Bandwidth* yang didapat dari simulasi awal adalah 2,34% dan hanya ada sedikit penambahan dari *bandwidth* antenna tanpa *u-slot* dengan *bandwidth* 2,3%. Maka selanjutnya dilakukan optimasi antenna dengan *u-slot* saja.

4.4 Optimasi Antena U-Slot dengan Celah Udara

Pada penelitian yang sudah ada [1], ada pengaruh *u-slot* pada *bandwidth* jika tebal substrat sebesar 0,07 lambda, dimana pada frekuensi 2,6 GHz nilainya adalah 8 mm. Karena tidak memungkinkan untuk merealisasi substrat FR-4 dengan tebal 8 mm, maka dibuat desain dengan susunan substrat dengan *ground plane*, celah udara, dan substrat dengan

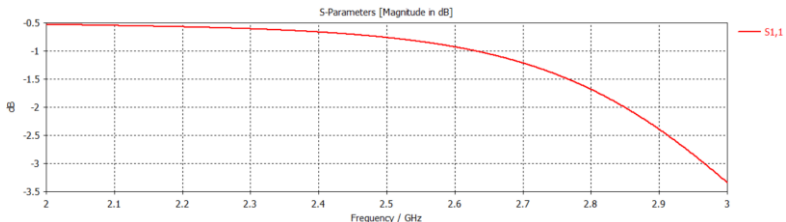
patch seperti pada Gambar 4.18. Realisasi celah udara tersebut dapat ditopang dengan busa dikarenakan memiliki konstanta dielektrik yang hampir sama yaitu 1 untuk udara dan 1,6 untuk busa. Pada desain ini dilakukan perhitungan dimensi lagi dikarenakan tebal substratnya berbeda. Tabel 4.2 menunjukkan hasil perhitungan tersebut.



Gambar 4.18 Skema Antena *U-Slot* dengan Celah Udara

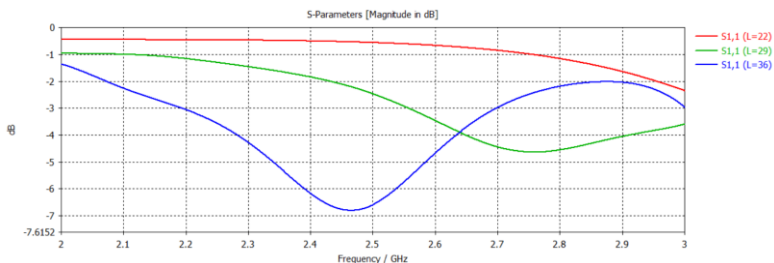
Tabel 4.2 Dimensi Awal Antena *U-Slot* dengan Celah Udara

Variabel	Nilai Perhitungan (mm)	Keterangan
h	1,6	Tebal Substrat
Wp	35,4	Lebar <i>Patch</i>
Lp	23,8	Panjang <i>Patch</i>
Xf	6,4	<i>Feeding Point</i>
Ws	70,8	Lebar Substrat
Ls	47,6	Panjang Substrat
C	12	Panjang <i>U-Slot</i>
D	15	Lebar <i>U-Slot</i>
E	1,9	Tebal <i>U-Slot</i>

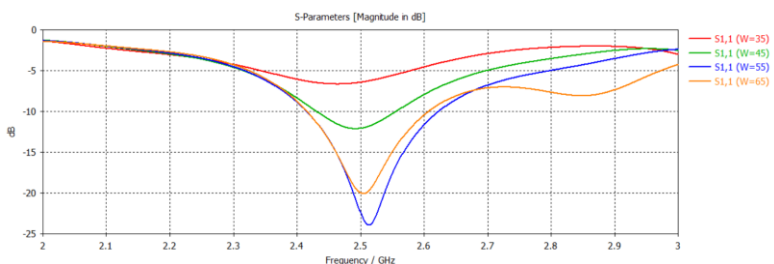


Gambar 4.19 Hasil *S-Parameter* Antena dengan *U-Slot*

Pada Gambar 4.19 menunjukkan hasil *S-Parameter*nya, namun hasilnya terlalu melenceng dari target maka dilakukan optimasi parameter-parameternya.

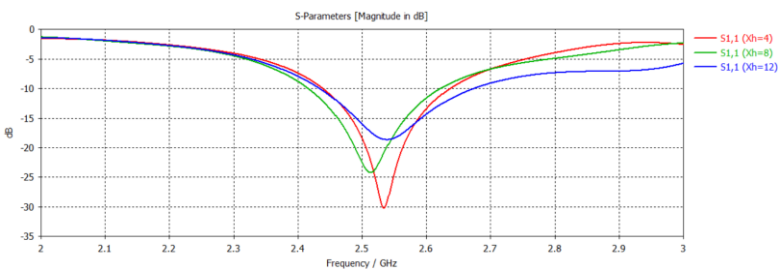


Gambar 4.20 Parameterisasi Panjang *Patch* (L)

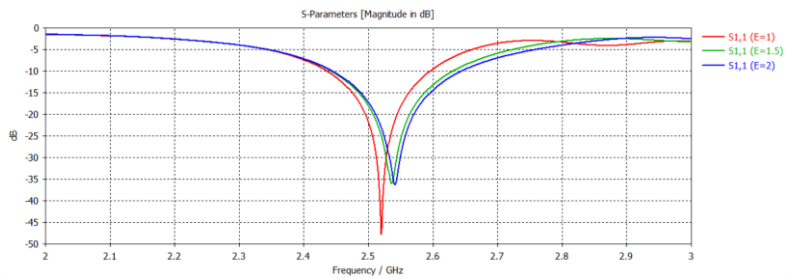


Gambar 4.21 Parameterisasi Lebar *Patch* (W)

Pada Gambar 4.20 dan Gambar 4.21 dilakukan parameterisasi panjang *patch* dan lebar *patch*, dimana pengaruh perubahan panjang dan lebarnya cukup signifikan. Lalu digunakan hasil yang mendekati tujuan yaitu $L = 36$ mm dan $W = 55$ untuk parameterisasi selanjutnya.

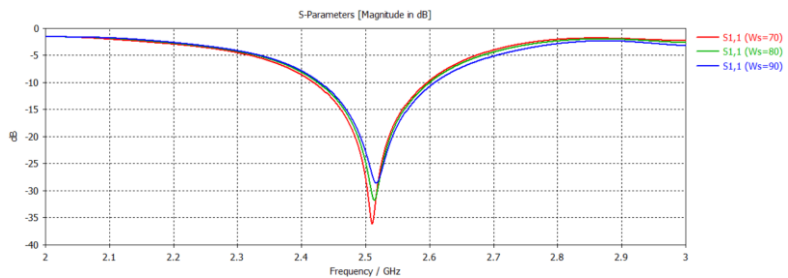


Gambar 4.22 Parameterisasi Jarak ke U-Slot (X_h)

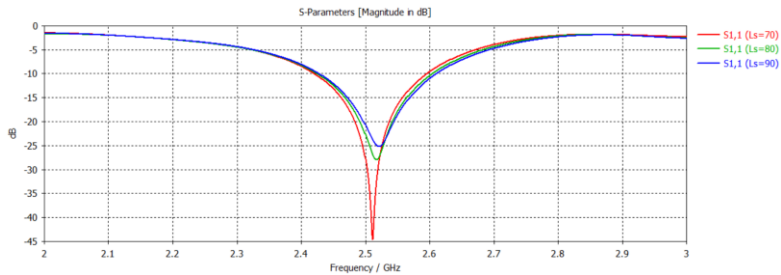


Gambar 4.23 Parameterisasi Tebal U-Slot (E)

Pada Gambar 4.22 dilakukan parameterisasi jarak ke u-slot, dimana ada sedikit pengaruh dari perubahan jarak tersebut, dan diambil nilai terbaik yaitu $X_h = 4$ mm untuk parameterisasi jarak u-slot. Dengan parameterisasi tebal u-slot pada Gambar 4.22, pengaruh dari perubahan variabel tebal u-slot cukup sedikit, sehingga diambil $E = 1,5$ mm untuk parameterisasi selanjutnya.

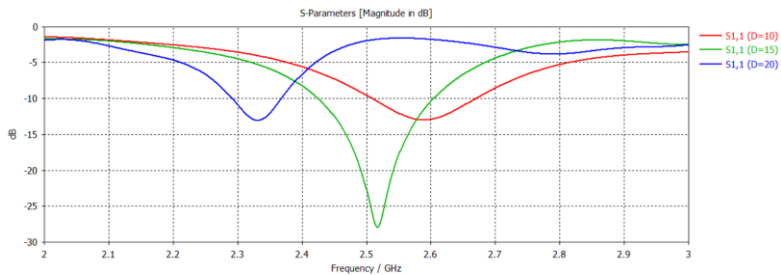


Gambar 4.24 Parameterisasi Lebar Substrat (W_s)

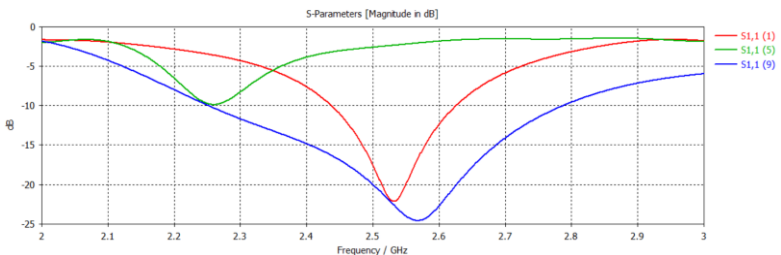


Gambar 4.25 Parameterisasi Panjang Substrat (L_s)

Pada Gambar 4.24 dan Gambar 4.25 dilakukan parameterisasi lebar dan panjang substrat, dimana hanya ada sedikit pengaruh dari parameterisasi kedua variabel tersebut. Lalu dipilih $W_s = 80$ mm dan $L_s = 70$ mm sebagai nilai yang terbaik. Selain itu, semakin kecil dimensinya maka semakin efisien dalam fabrikasinya.

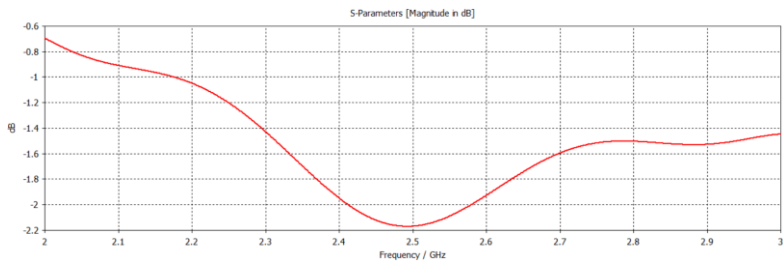


Gambar 4.26 Parameterisasi Lebar U-Slot (D)



Gambar 4.27 Parameterisasi Panjang U-Slot dan Titik Feeding (C dan X_f)

Pada Gambar 4.26 dilakukan parameterisasi lebar *u-slot*, dimana perubahan lebar *u-slot* cukup berpengaruh. Nilai yang diambil tetap yaitu $D = 15$ mm untuk parameterisasi selanjutnya, dikarenakan *bandwidth*-nya mendekati tujuan. Lalu dilakukan parameterisasi panjang *u-slot* dan titik feeding yang ditunjukkan pada Gambar 4.27. Didapat nilai terbaiknya yaitu $C = 21,5$ mm dan $X_f = 22$ mm. *Bandwidth* yang diperoleh adalah 21.07% sehingga sudah memenuhi kondisi *wideband*. Untuk perbandingan maka dilakukan simulasi antenna dengan celah udara tanpa *u-slot* dengan dimensi yang didapat dari hasil parameterisasi tadi. Hasil simulasi tersebut ditunjukkan pada Gambar 4.28. Namun hasilnya tidak mencapai *return loss* sampai -10 dB, sehingga tidak memiliki *bandwidth*.



Gambar 4.28 Simulasi Antena dengan Celah Udara tanpa *U-Slot*

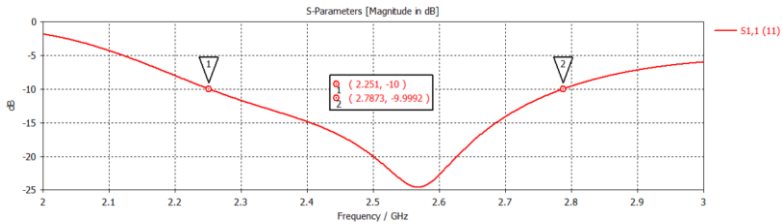
4.5 Hasil Simulasi Akhir Antena *U-Slot* dengan Celah Udara

Tabel 4.3 menunjukkan dimensi akhir dari antenna dengan *u-slot* dan Gambar 4.26 sampai Gambar 4.30 menunjukkan hasil-hasil dari simulasi akhir antenna.

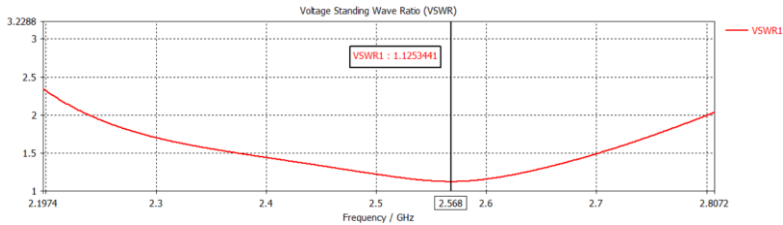
Tabel 4.3 Dimensi Akhir Antena *U-Slot* dengan Celah Udara

Variabel	Nilai (mm)	Keterangan
h	1,6	Tebal Substrat
h_{air}	4.8	Tebal Celah Udara
W_p	55	Lebar <i>Patch</i>
L_p	36	Panjang <i>Patch</i>
X_f	22	<i>Feeding Point</i>
W_s	70	Lebar Substrat
L_s	80	Panjang Substrat

Variabel	Nilai (mm)	Keterangan
C	21,5	Panjang U-Slot
D	15	Lebar U-Slot
E	1,5	Tebal U-Slot
Xh	4	Jarak dari bawah ke U-Slot

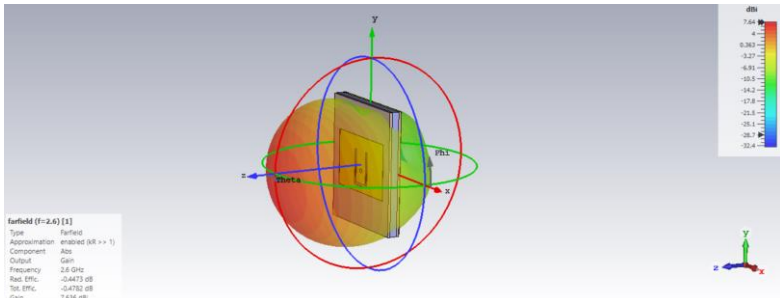


Gambar 4.29 Hasil S-Parameter dari Simulasi Antena

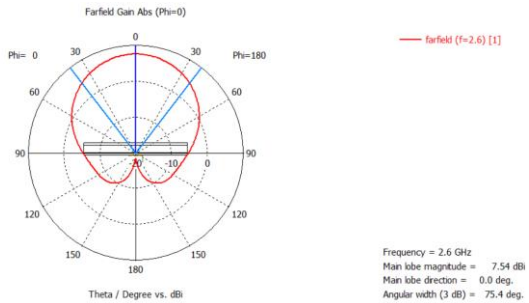


Gambar 4.30 Hasil $VSWR$ dari Simulasi Antena

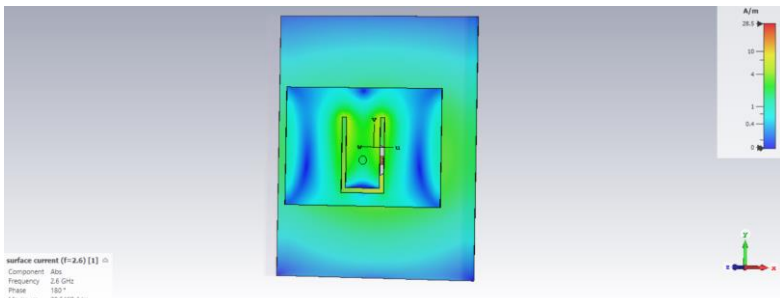
Pada Gambar 4.29 dan Gambar 4.30 menunjukkan hasil s -parameter dan $VSWR$ dari antena dengan u -slot. Untuk menentukan $bandwidth$, diambil rentang frekuensi ketika nilai $return\ loss$ dibawah -10 dB. Sehingga $bandwidth$ nya adalah 530 MHz yaitu pada rentang 2,25 GHz sampai 2,78 GHz. Nilai $VSWR$ yang diinginkan yaitu < 2 , juga berlaku pada rentang frekuensi yang sama.



Gambar 4.31 Hasil Plot 3D Pola Radiasi Antena



Gambar 4.32 Hasil Plot Polar Pola Radiasi Antena



Gambar 4.33 Hasil *Surface Current* Antena

Pada Gambar 4.31 dan Gambar 4.32 merupakan plot 3D dan plot polar dari pola radiasi antena dengan *u-slot*. Pada hasil plot 3D, *gain* maksimum yang disimulasikan sebesar 7,64 dBi dan pada plot polar

didapat HPBWnya adalah 75,4⁰. Pada Gambar 4.33 menunjukkan *surface current* atau distribusi arus listrik dari antenna dengan *u-slot* tersebut dimana densitas arus listrik maksimum yang didapat yaitu 28,5 A/m.

Tabel 4.4 Perbandingan Hasil Simulasi

Parameter	Antena tanpa U-Slot	Antena dengan U-Slot
Frekuensi Kerja (<i>Return Loss</i> < -10dB)	2,57-2,63 GHz	2,25 – 2,78 GHz
Frekuensi Tengah	2,6 GHz	2,51 GHz
<i>Return Loss</i> Minimum	-13,39 dB	-24,5 dB
<i>Bandwidth</i>	2,3%	21,07%
<i>VSWR</i> Minimum	1,54	1,12
<i>Gain</i>	3,62 dBi	7,64 dBi
<i>Directivity</i>	6,95 dBi	8,08 dBi
Densitas Arus Listrik Maksimum	44,2 A/m	28,5 A/m

Perbedaan hasil simulasi dari antenna tanpa *u-slot* dan antenna dengan *u-slot* ditunjukkan pada Tabel 4.4. Selain *bandwidth* yang meningkat dari 2,3% ke 21,07%, *return loss* pada 2,6 GHz lebih kecil yaitu dari -13,3 dB ke -24,5 dB. Parameter lainnya yang bertambah adalah *gain* dan *directivity*, hal tersebut dapat terjadi dikarenakan *gain* berbanding lurus dengan dimensi antenna, sehingga semakin besar dimensi antenna maka akan semakin besar pula *gain* yang dihasilkan. Besar *bandwidth* pada antenna dengan *u-slot* meningkat dengan drastis, dari yang semula 60 MHz menjadi 530 MHz. Maka kenaikan *bandwidth*nya menjadi sebesar:

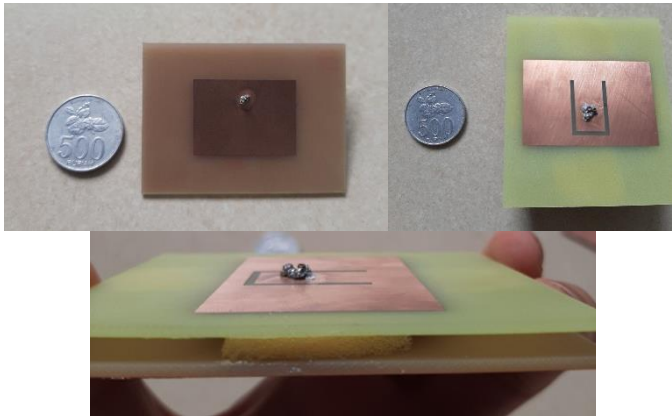
$$\frac{530 - 60}{60} \times 100\% = 783,3\%$$

Sehingga dapat dilihat bahwa dengan metode *u-slot*, *bandwidth* yang didapat mengalami peningkatan sebesar 783,3% dari 2,3% ke 21,07%.

4.6 Realisasi Antena

Desain akhir antenna mikrostrip tanpa *u-slot* dan dengan *u-slot* direalisasikan berdasarkan desain pada simulasi akhir dimana semua parameter yang diinginkan telah sesuai. Antena mikrostrip tersebut direalisasikan dengan bahan PCB FR-4 Epoxy yang memiliki konstanta

dielektrik sekitar 4,3. Pada pencatuan koaksialnya digunakan konektor SMA *female* dengan impedansi sebesar 50 ohm. Pada antenna mikrostrip dengan *u-slot* celah udara diganti oleh busa untuk menopang dikarenakan udara dan busa memiliki konstanta dielektrik yang hampir sama yaitu 1 untuk udara dan 1,6 untuk busa. Realisasi antenna mikrostrip tanpa *u-slot* dan dengan *u-slot* ditunjukkan pada Gambar 4.34.



Gambar 4.34 Hasil Fabrikasi Antena

4.7 Pengukuran dan Alat Ukur yang Digunakan

Setelah dilakukan fabrikasi terhadap antenna yang dirancang, maka yang selanjutnya dilakukan adalah pengukuran terhadap antenna tersebut. Pengukuran dilakukan untuk membandingkan hasil fabrikasi dengan hasil simulasi yang diperoleh sebelumnya untuk kemudian dianalisa. Pengukuran karakteristik antenna yang dilakukan adalah pengukuran VSWR, *bandwidth*, pola radiasi, dan *return loss*. Dalam Tugas Akhir ini alat ukur yang digunakan adalah *Vector Network Analyzer* (VNA). Alat ukur ini digunakan dalam pengukuran VSWR, dan *return loss* antenna. VNA akan menampilkan grafik hasil ukur berupa VSWR dan parameter S11 fungsi frekuensi. VNA juga dapat digunakan untuk pengukuran pola radiasi antenna. Pengukuran antenna ini diwakilkan oleh teman saya Wellfrid karena keterbatasan kondisi dan dilakukan di lapangan parkir Departemen Teknik Elektro pada hari Rabu, 3 Juni 2020.

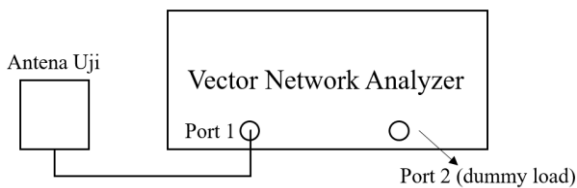
4.8 Pengukuran VSWR dan *Return Loss*

Pengukuran VSWR dan *return loss* menggunakan VNA yaitu dengan membaca parameter S11 yang merepresentasikan perbandingan daya yang dikirim ke beban dengan daya yang dipantulkan kembali. Nilai VSWR adalah 1 sampai ∞ . Semakin tinggi nilai VSWR maka semakin tinggi *mismatch* dan semakin rendah nilai VSWR maka semakin *matching* antara saluran dan beban. Sedangkan pengukuran *return loss* bertujuan untuk mengetahui seberapa banyak daya yang hilang pada beban.

4.8.1 Prosedur Pengukuran VSWR dan *Return Loss*

Berikut adalah prosedur pengukuran VSWR dan *return loss* antena:

1. Menghubungkan antena yang akan diukur dengan *port* yang terpasang pada VNA dan *dummy load* pada port lainnya.
2. Memasukkan frekuensi kerja yang diinginkan, tekan START untuk frekuensi awal dan tekan STOP untuk frekuensi akhir.
3. Menampilkan masing-masing parameter yang diinginkan melalui tombol FORMAT, kemudian grafik hasil pengukuran tersebut dicatat.
4. Memilih parameter satu persatu, tekan tombol SWR untuk menampilkan grafik SWR terhadap frekuensi kerjanya, dan tombol *log mat* untuk menampilkan grafik *return loss*.
5. Menekan tombol *marker* untuk melihat *bandwidth* pada grafik SWR untuk mengetahui nilai tepat SWR pada satu frekuensi yang ditunjukkan oleh *marker*.
6. Menyimpan data dalam bentuk gambar dan CSV.

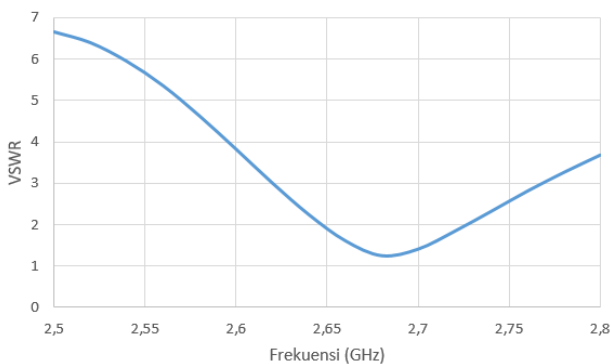




Gambar 4.35 Diagram Pengukuran dan Pengukuran VSWR dan *Return Loss* Menggunakan *Network Analyzer*

4.8.2 Hasil Pengukuran Antena tanpa U-Slot

Berikut adalah hasil pengukuran VSWR pada antena mikrostrip tanpa u-slot untuk mengetahui rentang frekuensi kerja antenanya.



Gambar 4.36 Hasil Pengukuran VSWR pada Antena tanpa U-Slot

Untuk mengetahui *return loss* dapat diketahui dari nilai VSWR dimana *return loss* sama dengan nilai 2 pada VSWR. Sehingga untuk mengetahui frekuensi kerja dapat dilihat dari nilai $VSWR < 2$. Pada Gambar 4.36 ditunjukkan rentang frekuensi yaitu 2,65 – 2,73 GHz

dengan nilai VSWR minimumnya adalah 1,25 pada frekuensi 2,68 GHz. Sehingga dapat diketahui *return loss* minimumnya adalah

$$RL = -20 \log \left(\frac{VSWR-1}{VSWR+1} \right) \quad (4.1)$$

$$RL = -20 \log \left(\frac{1,25-1}{1,25+1} \right)$$

$$RL = -20 \log \frac{1}{9}$$

RL minimum = -19,08 pada frekuensi 2,68 GHz

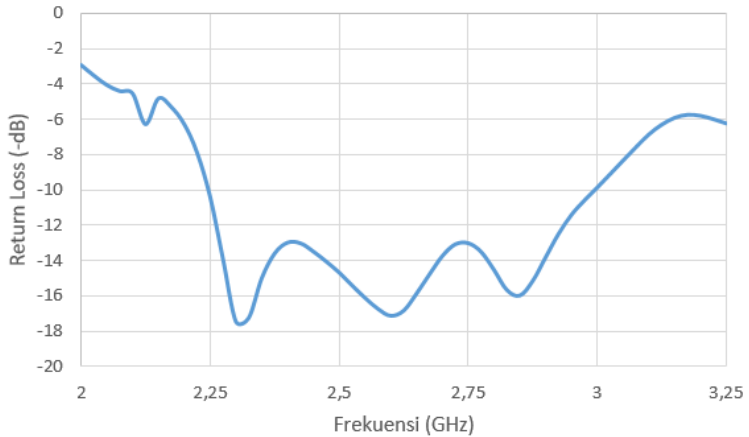
Tabel 4.5 Perbandingan Hasil Simulasi dan Pengukuran Antena tanpa U-Slot

Parameter	Hasil Simulasi	Hasil Pengukuran
Frekuensi Kerja	2,57 – 2,63 GHz	2,65 – 2,73 GHz
Frekuensi Tengah	2,6 GHz	2,69 GHz
<i>Return Loss</i> Minimum	-13,39 dB	-19,08 dB
<i>Bandwidth</i>	2,3 %	2,97 %
<i>VSWR</i> Minimum	1,54	1,25

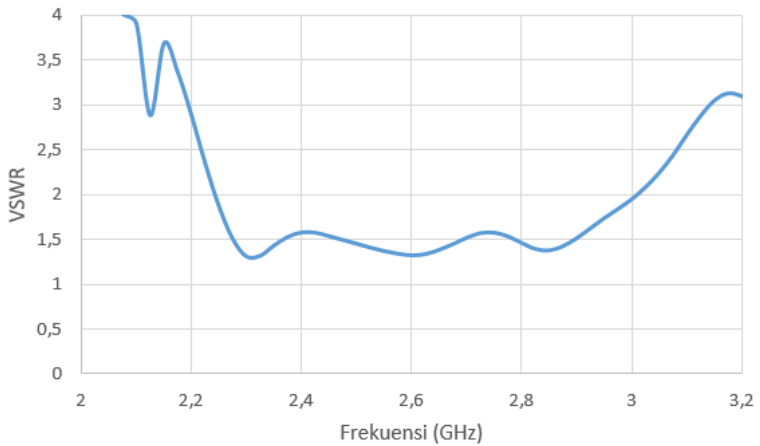
Terdapat sedikit perbedaan pada hasil simulasi dan pengukuran, dimana pada pengukuran frekuensi kerja yang didapat lebih tinggi. Terdapat perbedaan -5,69 dB pada *return loss*, namun ada perbedaan kecil pada *bandwidth* dan *VSWR* minimum. Antena yang diukur tidak dapat bekerja pada frekuensi 2,6 GHz yang mungkin dikarenakan kurang idealnya substrat dan kurang presisinya fabrikasi.

4.8.2 Hasil Pengukuran Antena dengan U-Slot

Berikut adalah hasil pengukuran *return loss* dan *VSWR* pada antena mikrostrip dengan u-slot.



Gambar 4.37 Hasil Pengukuran *Return Loss* pada Antena *U-Slot*



Gambar 4.38 Hasil Pengukuran VSWR pada Antena *U-Slot*

Pada Gambar 4.37 dapat dilihat bahwa rentang frekuensi untuk return loss kurang dari -10 dB sekitar dari 2,25 – 3,0 GHz. Pada frekuensi 2,6 GHz, *return loss* yang didapat sebesar -17,1 dB dan *return loss* minimumnya adalah -17,42 dB pada frekuensi 2,3 GHz. Pada Gambar

4.38 Ditunjukkan rentang frekuensi untuk pembacaan VSWR < 2 yaitu 2,25 -3,0 GHz dan nilai VSWR minimumnya adalah 1,31 pada frekuensi 2,3 GHz. Berikut perbandingan dari hasil simulasi dan hasil pengukuran antenna dengan *u-slot* dan perbandingan hasil pengukuran antenna tanpa *u-slot* dan dengan *u-slot*.

Tabel 4.6 Perbandingan Hasil Simulasi dan Pengukuran dengan U-Slot

Parameter	Hasil Simulasi	Hasil Pengukuran
Frekuensi Kerja	2,25 – 2,78 GHz	2,25 – 3,0 GHz
Frekuensi Tengah	2.51 GHz	2,625 GHz
<i>Return Loss</i> Minimum	-24,58 dB	-17,42 dB
<i>Bandwidth</i>	21,07%	28,5%
<i>VSWR</i> Minimum	1,12	1,31

Terdapat perbedaan pada frekuensi atas pada hasil simulasi dan pengukuran dimana pada hasil pengukuran frekuensi atas yang didapat lebih tinggi, yaitu 3,0 GHz. Sehingga *bandwidth* yang dihasilkan pun berbeda dari hasil simulasi, yaitu terdapat selisih 7,43%. *Return loss* minimum yang didapat pun agak berbeda, dimana selisihnya 7,16 dB. Perbedaan hasil simulasi dan pengukuran ini mungkin terjadi dikarenakan kurang idealnya substrat dan kurang presisinya fabrikasi, terutama saat memfabrikasi celah udara. Dari hasil pengukuran, meskipun terdapat perbedaan dengan hasil simulasi, tetapi antenna dengan *u-slot* ini sudah menunjukkan dapat memperlebar *bandwidth*.

Tabel 4.7 Perbandingan Hasil Pengukuran Antena tanpa U-Slot dan Antena dengan U-Slot

Parameter	Antena tanpa U-Slot	Antena dengan U-Slot
Frekuensi Kerja	2,65 – 2,73 GHz	2,25 – 3,0 GHz
Frekuensi Tengah	2,69 GHz	2,625 GHz
<i>Return Loss</i> Minimum	-13,39 dB	-17,42 dB
<i>Bandwidth</i>	2,97%	28,5%
<i>VSWR</i> Minimum	1,54	1,31

Pada perbandingan hasil pengukuran antenna tanpa *u-slot* dan antenna dengan *u-slot*, terdapat perbedaan baik dari frekuensi kerja, *return loss* minimum, dan VSWR minimum. Sehingga, kenaikan *bandwidth*nya

yang didapatkan pada saat pengukuran antenna sebesar

$$\frac{750 - 80}{80} \times 100\% = 837,5\%$$

Sehingga dapat dilihat bahwa dengan *u-slot*, *bandwidth* yang didapat mengalami peningkatan sebesar 837,5% dari 2,97% ke 28,5%.

4.9 Pengukuran Pola Radiasi

Pola radiasi dari suatu antenna merupakan gambaran dari intensitas pancaran antenna sebagai fungsi dari parameter koordinat bola (θ, ϕ). Pengukuran pola radiasi antenna bertujuan untuk mengetahui gambaran grafis dari intensitas pancaran antenna atau untuk mengetahui arah pancar antenna. Pengukuran pola radiasi merupakan pengukuran outdoor karena dilakukan di luar ruangan. Pengukuran pola radiasi antenna dilakukan menggunakan *Vector Network Analyzer*.

4.9.1 Prosedur Pengukuran

Berikut adalah prosedur pengukuran pola radiasi antenna:

1. Menghubungkan antenna yang akan diukur dengan *port* 1 yang terpasang pada VNA dan antenna referensi pada port 2 VNA.
2. Menghitung jarak antara antenna dan antenna referensi (antenna *horn*) sampai memenuhi jarak minimum medan jauh dari Persamaan 2.13
3. Antenna yang diukur harus menghadap 0^0 pada pengukuran pertama.
4. Memasukkan frekuensi bawah dan atas yang diinginkan.
5. Menampilkan data pada layar *display* dengan menekan S21.
6. Menyimpan data dalam bentuk gambar dan CSV.
7. Memutar antenna tiap 10^0 hingga posisi antenna kembali ke 0^0 .



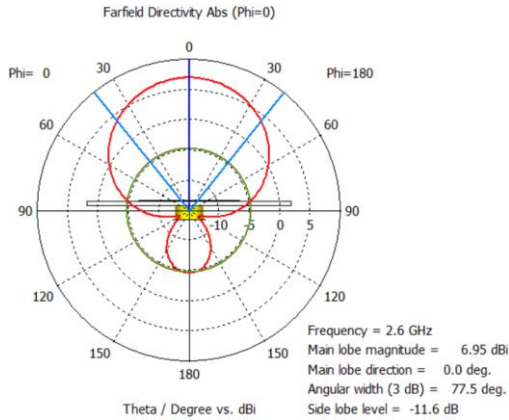
Gambar 4.39 Busur Acuan Pengukuran Pola Radiasi dan Kabel yang Digunakan



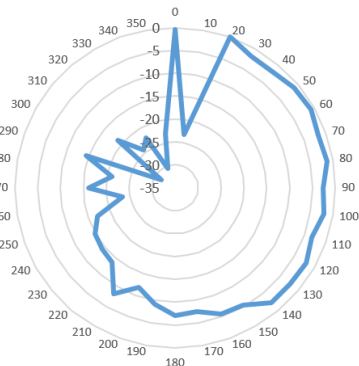
Gambar 4.40 Penyangga Non Metal untuk Menyangga Antena Referensi dan Antena Uji

4.9.2 Hasil Pengukuran Pola Radiasi tanpa U-Slot

Berikut adalah hasil pengukuran pola radiasi pada antena tanpa *u-slot* dan perbandingannya dengan hasil simulasi.



Gambar 4.41 Hasil Simulasi Pola Radiasi Antena tanpa U-Slot

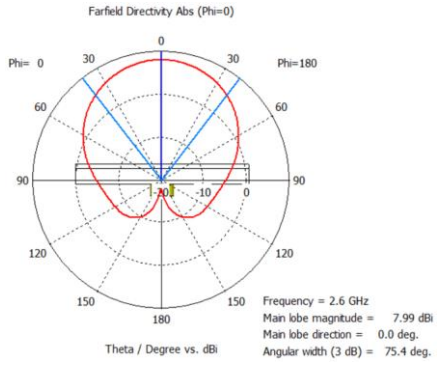


Gambar 4.42 Hasil Pengukuran Pola Radiasi Antena tanpa U-Slot

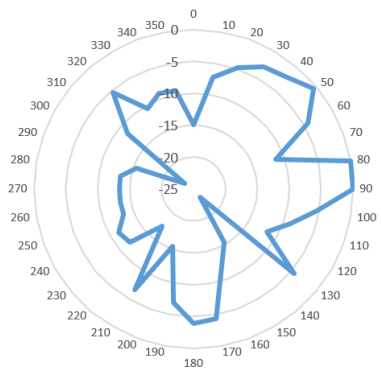
Pada hasil pengukuran pola radiasi dapat dilihat bahwa antena tersebut memiliki *main lobe* sekitar dari 20⁰ sampai 140⁰. Namun jika dibandingkan dengan hasil pola radiasi saat simulasi terdapat perbedaan pada arah pola radiasi namun memiliki HPBW yang hampir sama yaitu 77⁰ saat simulasi dan sekitar 60⁰ saat pengukuran. Hal ini dikarenakan pada saat pengukuran posisi antena kemungkinan tidak tegak lurus dengan bidang datar.

4.9.3 Hasil Pengukuran Pola Radiasi dengan U-Slot

Berikut adalah hasil pengukuran pola radiasi pada antenna dengan u-slot dan perbandingannya dengan hasil simulasi.



Gambar 4.43 Hasil Simulasi Pola Radiasi Antena tanpa U-Slot



Gambar 4.44 Hasil Pengukuran Pola Radiasi Antena dengan U-Slot

Pada hasil pengukuran pola radiasi dapat dilihat bahwa antenna tersebut memiliki *main lobe* dari 20⁰ sampai 90⁰ dan 170⁰ sampai 190⁰. Namun jika dibandingkan dengan hasil pola radiasi saat simulasi terdapat banyak perbedaan. Hal ini dikarenakan pada saat pengukuran posisi antenna kemungkinan tidak tegak lurus dengan bidang datar. Faktor perbedaan terbesar adalah karena ketika melakukan pengukuran data berubah-ubah seiring waktu, sehingga data yang dihentikan menjadi data acak dan tidak

dapat disesuaikan dengan satu sama lain.

4.10 Perbandingan *Bandwidth* Seluruh Hasil Simulasi dan Pengukuran

Setelah dilakukan simulasi beberapa konfigurasi antena, desain optimal yang didapat yaitu antena *u-slot* dengan celah udara. Perbandingan yang dilakukan hanya sebatas *bandwidth*, karena tujuan utama simulasi berbagai konfigurasi antena agar mencapai kondisi *bandwidth* diatas 20%. Tabel 4.8 menunjukkan perbandingan *bandwidth* seluruh hasil simulasi dan pengukuran yang telah dilakukan, dengan bermacam-macam konfigurasi yaitu:

1. Antena dengan dan tanpa *u-slot*
2. Antena dengan *u-slot* dan parasitik
3. Antena dengan celah udara dengan dan tanpa *u-slot*

Tabel 4.8 Perbandingan *Bandwidth* Seluruh Hasil Simulasi dan Pengukuran

Konfigurasi Antena	<i>Bandwidth</i>	
	Simulasi	Pengukuran
Antena tanpa U- <i>Slot</i>	2,3%	2,97%
Antena dengan U- <i>Slot</i>	2,14%	-
Antena dengan U- <i>Slot</i> dan Parasitik	3,7 %	-
Antena dengan Celah Udara tanpa U- <i>Slot</i>	Tidak ada <i>Bandwidth</i>	-
Antena dengan Celah Udara dengan U- <i>Slot</i>	21,07%	28,5%

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari seluruh proses perancangan, simulasi, dan realisasi antenna mikrostrip adalah sebagai berikut:

1. Tidak ada penambahan signifikan terhadap *bandwidth* dengan menggunakan metode *u-slot* tanpa celah udara pada antenna mikrostrip dengan frekuensi 2,6 GHz.
2. Penambahan parasitik pada antenna *u-slot* tanpa celah udara tidak meningkatkan *bandwidth* hingga kondisi *wideband* pada frekuensi 2,6 GHz.
3. Metode *u-slot* dengan celah udara dapat meningkatkan *bandwidth* ketika ada penambahan celah udara diantara 2 substrat yang dimungkinkan karena *u-slot* dapat berpengaruh ketika tinggi substrat adalah 0,07 lambda.
4. Pada simulasi, dimensi *u-slot* yang didapat dari perhitungan tidak memenuhi kriteria yang diinginkan, sehingga perlu dilakukan optimasi dengan *parameter sweep* seluruh variabel.
5. Pada hasil simulasi, peningkatan *bandwidth* yang didapat sebesar 783,3% dari 2,3% ke 21,07%, dan terdapat perbedaan dengan hasil pengukuran yaitu sebesar 837,5% dari 2,97% ke 28,5%.
6. Perbedaan *bandwidth* antenna dengan *u-slot* dari hasil simulasi yaitu sebesar 21,07% dan pengukuran yaitu sebesar 28,5% yang mungkin dikarenakan kurangnya presisi dalam proses fabrikasi.
7. Baik pada hasil simulasi dan pengukuran, antenna dengan *u-slot* telah memenuhi kondisi *wideband*, dengan *bandwidth* hasil simulasi dan pengukuran masing-masing 21,07% dan 28,5%.
8. Terdapat banyak perbedaan pola radiasi antara hasil simulasi dan pengukuran yang disebabkan kurang idealnya pengukuran antenna.

5.2 Saran

Agar didapatkan hasil yang maksimal untuk pengembangan antenna dengan *u-slot* selanjutnya, maka ada beberapa hal yang perlu diperhatikan untuk kedepannya yaitu:

1. Menambahkan elemen parasitik pada antena dengan *u-slot* dan celah udara untuk membuktikan apakah parasitik dapat lebih meningkatkan *bandwidth* lagi atau tidak.
2. Dalam proses fabrikasi, dapat dilakukan lebih presisi agar hasil pengukuran mendekati dengan hasil simulasi.
3. Pengukuran sebaiknya dilakukan di tempat yang bebas dari benda-benda yang dapat mempengaruhi hasil pengukuran dan sebaiknya pengukuran dilakukan di ruangan *anechoic chamber*.

LAMPIRAN

A. Pengukuran Pola Radiasi dan Polarisasi

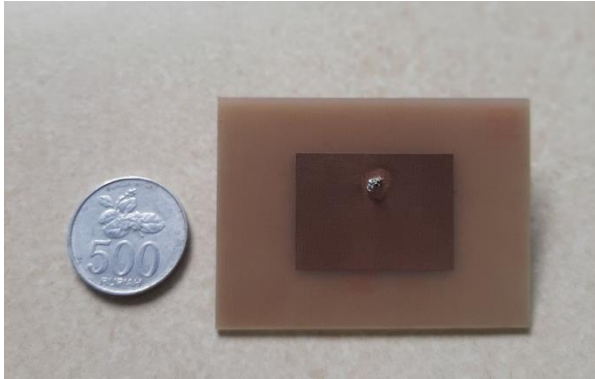
Tabel A.1 Pengukuran Pola Radiasi Antena tanpa U-Slot

Sudut	Level Terima (dbm)	Normalisasi	Sudut	Level Terima (dbm)	Normalisasi
0	-56,85	-0,37	180	-63,55	-7,07
10	-79,73	-23,25	190	-65,67	-9,19
20	-56,48	0	200	-68,31	-11,83
30	-58,4	-1,92	210	-64,68	-8,2
40	-58,46	-1,98	220	-70,2	-13,72
50	-57,54	-1,06	230	-70,66	-14,18
60	-57,28	-0,8	240	-71,3	-14,82
70	-58,18	-1,7	250	-73,54	-17,06
80	-57,84	-1,36	260	-79,85	-23,37
90	-59,12	-2,64	270	-72,63	-16,15
100	-58,51	-2,03	280	-77,6	-21,12
110	-59,62	-3,14	290	-70,82	-14,34
120	-58,44	-1,96	300	-88,06	-31,58
130	-58,65	-2,17	310	-75,22	-18,74
140	-58,65	-2,17	320	-80,74	-24,26
150	-61,94	-5,46	330	-78,85	-22,37
160	-62,12	-5,64	340	-87,08	-30,6
170	-64,04	-7,56	350	-79,49	-23,01

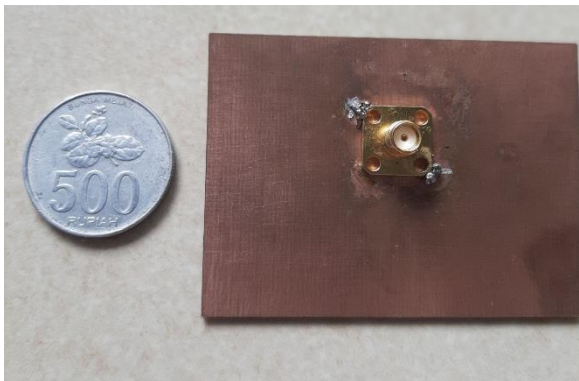
Tabel A.2 Pengukuran Pola Radiasi Antena dengan U-Slot

Sudut	Level Terima (dbm)	Normalisasi	Sudut	Level Terima (dbm)	Normalisasi
0	-85,78	-14,95	180	-74,8	-3,97
10	-78	-7,17	190	-77,71	-6,88
20	-75,56	-4,73	200	-86,31	-15,48
30	-73,75	-2,92	210	-77,55	-6,72
40	-73,04	-2,21	220	-88,17	-17,34
50	-71,31	-0,48	230	-82,9	-12,07
60	-75,1	-4,27	240	-82,23	-11,4
70	-82,13	-11,3	250	-84,17	-13,34
80	-70,83	0	260	-84,18	-13,35
90	-70,83	0	270	-84,18	-13,35
100	-76,28	-5,45	280	-84,18	-13,35
110	-79,76	-8,93	290	-86,29	-15,46
120	-82,5	-11,67	300	-94,24	-23,41
130	-75,2	-4,37	310	-82,31	-11,48
140	-94,2	-23,37	320	-76,14	-5,31
150	-86,13	-15,3	330	-81,36	-10,53
160	-83,05	-12,22	340	-79,89	-9,06
170	-75,17	-4,34	350	-80,19	-9,36

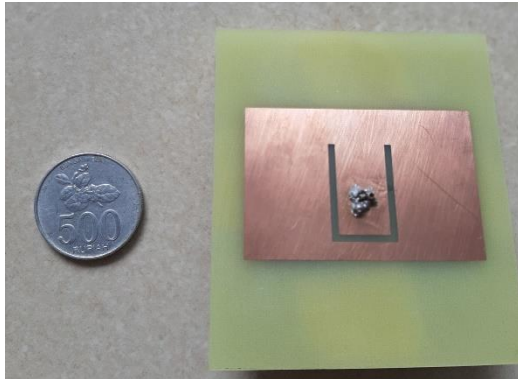
B. Realisasi Antena



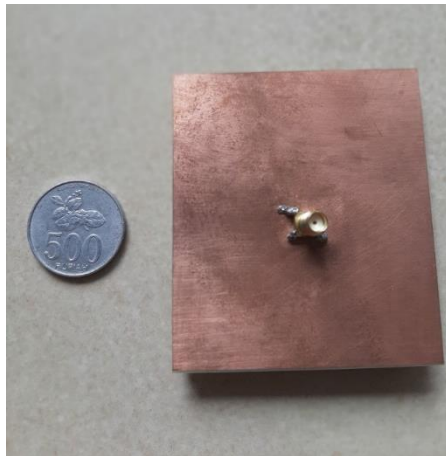
B.1 Antena Tanpa U-Slot Tampak Depan



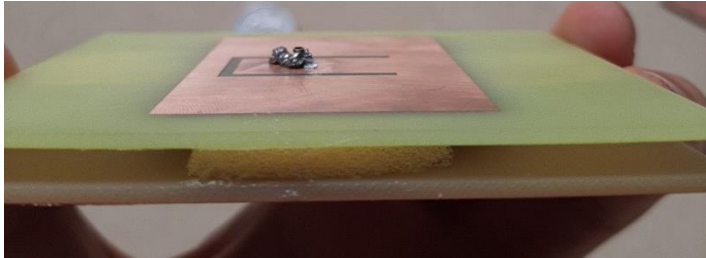
B.2 Antena Tanpa U-Slot Tampak Belakang



B.3 Antena Dengan U-Slot Tampak Depan

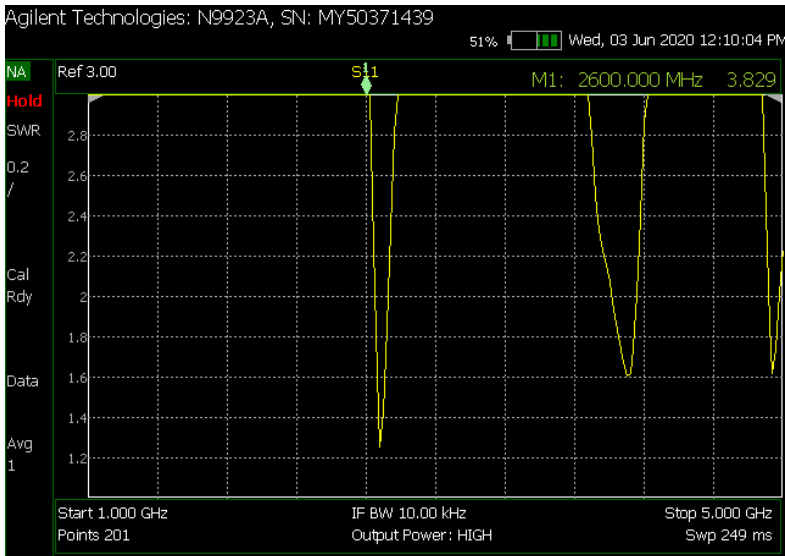


B.3 Antena Dengan U-Slot Tampak Belakang

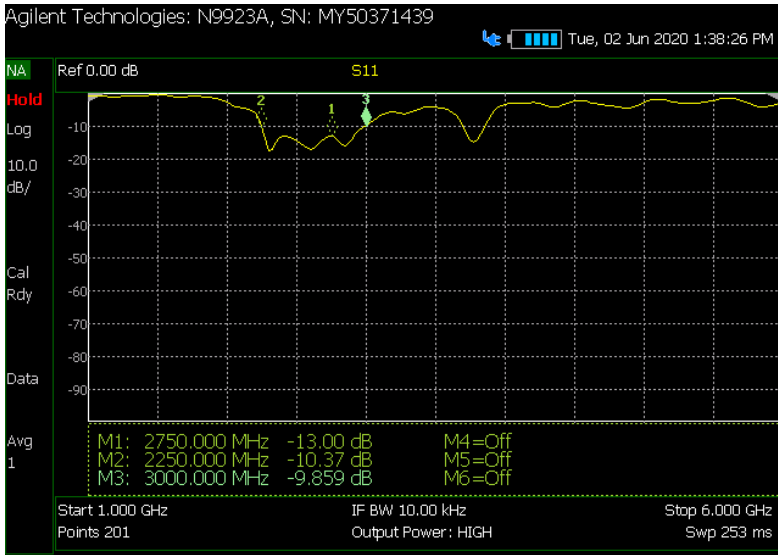


B.4. Antena Dengan U-Slot Tampak Samping

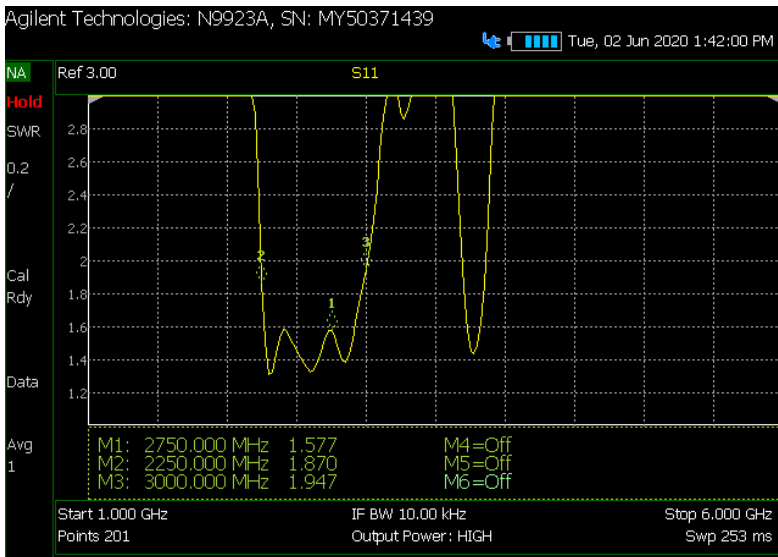
C. Hasil Pengukuran Antena



C.1 Hasil Pengukuran VSWR Antena tanpa U-Slot



C.2 Hasil Pengukuran *Return Loss* Antena dengan U-Slot



C.3 Hasil Pengukuran VSWR Antena dengan U-Slot

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S.Weigand, G.Huff, K.Pan, and J.Bernhard, "Analysis and design of broad-band single-layer rectangular u-slot microstrip patch antennas," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 51, no. 3, p. 457–468, 2003.
- [2] P. B. Parmar, B. J. Makwana, and M. A. Jajal, "Bandwidth Enhancement of Microstrip Patch Antenna Using Parasitic Patch Configuration," in *International Conference on Communication Systems and Network Technologies*, 2012.
- [3] C. Balanis, *Antenna Theory, Analysis and Design* 4th Ed, Wiley, 2016.
- [4] R. Garg, *Microstrip Antenna Design Handbook*, Artech House, 2001.
- [5] S. E Jasim, M. A. Jusoh, M. H. Mazwir and S. N. S. Mahmud, "Finding The Best Feeding Point Location Of Patch Antenna Using HFSS," *ARPJN Journal of Engineering and Applied Sciences*, vol. 10, no. 23, 2015.
- [6] Warren L. Stutzman, Gary A. Thiele, *Antenna Theory and Design*, Wiley, 2013.
- [7] Kai Fang Lee, Shing Lung Steven Yang, Ahmed A. Kishk, and Kwai Man Lu, "The Versatile U-Slot Patch Antenna," *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, vol. 52, no. 1, 2010.
- [8] Girish Kumar and K. P. Ray, *Broadband Microstrip Antennas*, Artech House, 2003.

RIWAYAT PENULIS



Penulis buku tugas akhir yang berjudul “**METODE PELEBARAN PITA FREKUENSI ANTENA MIKROSTRIP DENGAN MENGGUNAKAN KOMBINASI U-SLOT DAN ELEMEN PARASITIK PADA FREKUENSI 2,6 GHZ**”

bernama lengkap Muhammad Fauzan. Kelahiran Bandung, 20 Agustus 1998. Penulis menempuh pendidikan di SMAN 1 Garut dan melanjutkan pendidikan di Teknik Elektro ITS. Penulis merupakan fans Chelsea, tepatnya semenjak 2009

saat wasit memberi banyak keuntungan pada pihak lawan, yaitu Barcelona. Penulis aktif dalam organisasi mahasiswa dan kepanitiaan event-event semasa kuliah. Penulis selalu ingin menerapkan filosofi Yin Yang yaitu keseimbangan dalam hidup.