

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Teknologi komunikasi *wireless* yang berkembang pesat dan kebutuhan komunikasi bergerak dengan medium gelombang mikro yang semakin luas menjadikan bertambahnya popularitas sistem *wireless* untuk pengembangan antena. Antena merupakan bagian penting dari sistem nirkabel apa pun, antena didefinisikan sebagai alat untuk memancarkan atau menerima gelombang radio. Antena tekstil saat ini sedang dikembangkan dan cukup populer karena antena tersebut memiliki keunggulan dengan ukuran yang kecil, ringan serta fleksibel sehingga memungkinkan antena dapat dipasang pada bagian tubuh manusia dan pakaian dalam berbagai aplikasi.

Antena mikrostrip merupakan salah satu teknologi yang ada dalam sistem *wireless*. Antena mikrostrip banyak digunakan karena kelebihanannya seperti ukuran kecil, *low profile*, ringan dan biaya fabrikasi yang rendah. Terdiri dari tiga bagian utama yaitu, patch (elemen peradiasi), substrat (bahan dielektrik), dan groundplane (pentanahan). Substrat yang merupakan bagian penting dari antena mikrostrip harus dibentuk oleh material yang menghasilkan efisiensi tinggi dan bandwidth. Sebagai mana pada penelitian ini dipilih bahan tekstil dari tipe kain cordura fabric yang bertujuan untuk memperoleh kekokohan, fleksibilitas dan antena tekstil ringan.

Pada Proyek Akhir ini dirancang antena tekstil pada frekuensi 900 – 1800 MHz dengan menggunakan full substrat berbahan tekstil dan direalisasikan antena mikrostrip patch rectangular dengan menggunakan aluminium foil tape sebagai bahan peradiasi patch dan groundplane. Karena aluminium foil tape dapat dikategorikan sebagai konduktor yang baik dan termasuk bahan yang ringan dan fleksibel sehingga sangat cocok untuk digabungkan dengan substrat tekstil, agar dapat menjadi *wearable antenna* yang dapat bekerja dengan baik bahkan pada saat terjadi *bending* ketika antena dipasang pada daerah tubuh manusia. Pemilihan bahan substrat cordura fabric dikarenakan bahan tersebut termasuk mudah di dapatkan serta ketebalannya yang konstan, memiliki ketahanan yang tinggi, dan ringan.

## 1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dari Proyek Akhir ini, sebagai berikut:

1. Bagaimana menentukan dimensi yang sesuai untuk antena tekstil cordura berbasis aluminium foil tape untuk memenuhi persyaratan VSWR, *gain*, pola radiasi dan *return loss*?
2. Apakah dengan penggunaan bahan aluminium foil tape sebagai peradiasi dan ground plane bisa mendapatkan nilai parameter yang sesuai dengan standar?
3. Menguji fleksibilitas antena tekstil berbasis aluminium foil tape jika dibuat melengkung sebesar pergelangan tangan manusia dan mengamati pengaruh lengkungan tersebut terhadap spesifikasi antena.

## 1.3 Tujuan

Adapun tujuan dari Proyek Akhir ini, sebagai berikut:

1. Dapat merancang dan merealisasikan antena tekstil cordura dengan bahan patch dan ground plane menggunakan aluminium foil tape yang dapat dipakai pada bagian tubuh manusia.
2. Dengan menggunakan desain antena mikrostrip rektanguler dengan teknik pencatuan *microstrip line feed*.
3. Membandingkan dan menganalisis parameter-parameter antena tekstil dan penggunaan aluminium foil tape sebagai peradiasinya.

## 1.4 Batasan Masalah

Dalam Proyek Akhir ini, dilakukan pembatasan masalah sebagai berikut:

1. Perancangan dan realisasi antena berbasis aluminium foil tape dengan bahan tekstil pada substratnya pada penggunaan GPS dan GSM frekuensi 900 – 1800 MHz.
2. Perancangan antena menggunakan desain *microstrip rectangular* dengan teknik pencatuan *microstrip line feed*.
3. Penelitian ini hanya menampilkan hasil VSWR, return loss, gain dan pola radiasi dari antena yang telah dirancang.

4. Penelitian tidak membahas resiko jangka panjang yang ditimbulkan antenna tekstil berbasis aluminium foil tape jika di gunakan pada bagian tubuh manusia.
5. Penelitian ini tidak membahas pengaruh antenna pada berbagai ukuran tubuh manusia serta jenis kelamin manusia yang berbeda-beda.
6. Hasil dari penelitian ini tidak sampai dengan implementasi yang akan dipasang pada pakaian manusia.

## 1.5 Metodologi

Metodologi pada penelitian ini, sebagai berikut:

### 1. Studi Literatur

Studi literatur yang dilakukan penulis merupakan pembelajaran dari sumber bacaan yang mendukung pengerjaan pada proyek akhir ini. Adapun referensi yang digunakan meliputi buku, jurnal, paper, open library Tel-U, laporan penelitian sebelumnya yang terkait dengan *wearable antenna*, antenna tekstil, patch aluminium foil, serta antenna mikrostrip.

### 2. Perancangan dan Simulasi

Perancangan yang akan dilakukan pada penelitian ini melalui beberapa tahap yaitu melakukan perhitungan berdasarkan teori kemudian dilakukan proses simulasi dan optimasi parameter antenna tekstil menggunakan *software CST Microwave Studio*.

### 3. Pabrikasi

Proses pabrikasi akan dilakukan dengan memotong bahan substrat tekstil tipe kain cordura sesuai dengan perhitungan dimensi antenna yang dirancang kemudian menempelkan aluminium foil tape pada substrat sebagai patchnya yang telah diukur juga sebelumnya.

### 4. Pengukuran

Pengukuran dilakukan dengan menggunakan *network analyzer* untuk mengukur parameter-parameter antenna mikrostrip (VSWR, *return loss*, impedansi input, dan *bandwidth*). Untuk mengukur pola radiasi, polarisasi, dan Gain dilakukan menggunakan *spectrum analyzer*.

## 5. Analisis

Setelah dilakukannya proses perancangan, realisasi dan pengukuran analisis dilakukan untuk membandingkan hasil pengukuran dengan teori dan hasil simulasi. Jika terdapat penyimpangan pada hasil teori dengan hasil simulasi maka akan dianalisis dan bagaimana cara mengatasi masalah tersebut.

## 6. Pembuatan laporan

Pada tahap ini merupakan tahapan akhir dari penelitian yang dilakukan dengan pembuatan laporan tugas akhir dan mengikuti sidang tugas akhir.

### 1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang digunakan pada Proyek Akhir ini yaitu sebagai berikut:

#### 1. Bab I Pendahuluan

Berisi latar belakang, persamaan masalah, tujuan, batasan masalah, metodologi, dan sistematika penulisan.

#### 2. Bab II Dasar Teori

Bab ini membahas dasar-dasar teori yang melandasi permasalahan yang dibahas.

#### 3. Bab III Perancangan dan Simulasi

Berisi tentang spesifikasi antena, perhitungan dimensi antena serta simulasi dengan *software* untuk melihat hasil kerja dari antena melalui simulasi.

#### 4. Bab IV Pengukuran dan Analisis

Berisi pembahasan tentang hasil pengukuran yaitu *VSWR*, *gain*, *return loss*, impedansi, pola radiasi dan polarisasi.

#### 5. Bab V Penutup

Berisi kesimpulan dan saran membangun yang diharapkan dapat membantu penelitian selanjutnya.

## BAB II

### DASAR TEORI

#### 2.1 Antena Tekstil

Antena tekstil yang dapat dipakai menjadi bahasan yang menarik sejak perkembangan dari komunikasi *wireless wearable antenna* karena memungkinkan antena dapat dipasang pada pakaian manusia. *Wearable antenna* merupakan salah satu jenis aplikasi dari komunikasi *Wireless Body Area Network (WBAN)* pada bagian *off body communication*. *Wearable antenna* adalah sebuah antena yang di desain untuk diintegrasikan menempel pada bagian dari pakaian ataupun tubuh manusia. Antena dan radio pada pakaian lebih praktis dibandingkan antena dan radio tradisional. Untuk dapat digunakan pada bagian tubuh manusia maka diperlukan karakteristik dari bahan yang akan mempengaruhi kinerja antena. Dengan menggunakan jenis kain cordura fabric sebagai substrat diharapkan bisa bekerja pada UWB untuk frekuensi 900 – 1800 MHz. Karena berbahan dasar tekstil maka dirancang pula desain antena berbentuk persegi karena memudahkan dalam analisis dan proses fabrikasinya.

Pada penelitian sebelumnya antena tekstil dirancang pada pakaian tim pemadam kebakaran yang membutuhkan antena untuk komunikasi kontinu saat proses penyelamatan korban. Seperti pengujian sebelumnya yang diaplikasikan pada baju pemadam kebakaran dengan frekuensi 2.54 GHz dan menggunakan bahan 4 lapis kain *armid fabric* dengan ketebalan 1.76 mm[8]. Adapun hasil dari pengujian simulasi dan pengukuran yang didapat sebagai berikut :

**Table 2.1 Hasil penelitian sebelumnya**

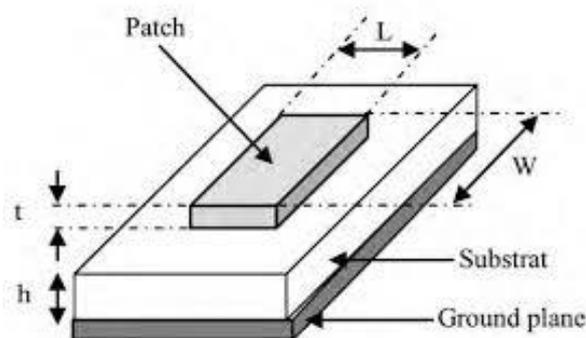
Kondisi	VSWR	Bandwidth	Impedansi
Simulasi	1.383	1045 MHz	$68.288 + j5.028$
Free space	1.381	247 MHz	$68.288 + j5.028$
Di baju	1.191	429 MHz	$47.05 - j7.677$

## 2.2 Definisi Antena

Antena merupakan transducer yang mengubah arus listrik menjadi gelombang elektromagnetik yang dipancarkan ke udara atau sebaliknya. Dalam sistem komunikasi radio, gelombang elektromagnetik berjalan dari pemancar ke penerima melalui udara. Standar definisi IEEE untuk istilah antena (IEEE Std 145-1983) sebagai sarana untuk memancarkan atau menerima gelombang radio. Dengan kata lain antena adalah struktur transisi antara ruang bebas dan perangkat terbimbing<sup>[2]</sup>.

## 2.3 Antena Mikrostrip

Antena Mikrostrip adalah salah satu jenis antena yang berbentuk papan tipis dan mampu bekerja pada frekuensi yang sangat tinggi. Bentuk dan ukurannya yang dapat dirancang seminimal mungkin, menyebabkan antena jenis ini sangat cocok digunakan pada aplikasi perangkat telekomunikasi masa kini. Antena *microstrip* memiliki tiga lapisan bahan, yaitu lapisan *patch*, substrat / dielektrik, dan *groundplane*. Pada lapisan *patch* dan *groundplane* terbuat dari bahan konduktor.



**Gambar 2.1 Struktur antena mikrostrip**

Lapisan-lapisan pada antena mikrostrip adalah sebagai berikut :

1. Elemen peradiasi (*patch*), berfungsi sebagai pemancar (radiator), patch dan pencatunya biasanya terletak pada bagian paling atas pada sebuah antena mikrostrip.
2. Elemen substrat (*substrate*), terbuat dari bahan-bahan dielektrik. Substrat berfungsi sebagai media penyalur gelombang elektromagnetik dari catuan menuju daerah dibawah patch. Untuk perfoma antena yang baik, umumnya pada substrat dibuat dengan material dielektrik yang tebal dan mempunyai nilai konstanta dielektrik yang rendah. Dengan menggunakan spesifikasi

substrat tersebut, akan dihasilkan nilai efisiensi dan radiasi yang lebih baik, serta bandwidth yang lebih lebar pula.

3. Elemen pentanahan (ground) adalah lapisan paling bawah dari sebuah antena mikrostrip. Ground plane ini biasanya terbuat dari bahan konduktor yang berfungsi untuk memantulkan sinyal yang tidak diinginkan.

### 2.3.1 Antena Mikrostrip-Patch Rectangular

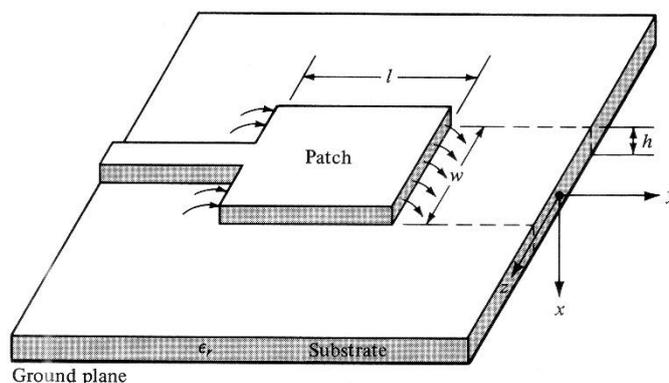
Antena mikrostrip-patch rectangular adalah salah satu antena mikrostrip yang paling mudah dan paling banyak digunakan dalam perancangan suatu antena. Karena ketebalan substrat jauh lebih tipis dari panjang gelombang, maka patch persegi panjang dianggap suatu bidang planar untuk memudahkan dalam analisa. Untuk perhitungan mencari besar dari dimensi antena dapat dilihat pada BAB III.

### 2.3.2 Teknik Pencatuan Antena

Teknik pencatuan pada antena mikrostrip merupakan teknik untuk mentransmisikan energi elektromagnetik ke antena mikrostrip. Setiap teknik pencatuan tersebut memiliki karakteristik serta keuntungan dan kelemahan. Secara umum, metoda pencatuan antena pada mikrostrip dapat dibedakan menjadi:

1. Teknik Pencatuan Microstrip Line Feed

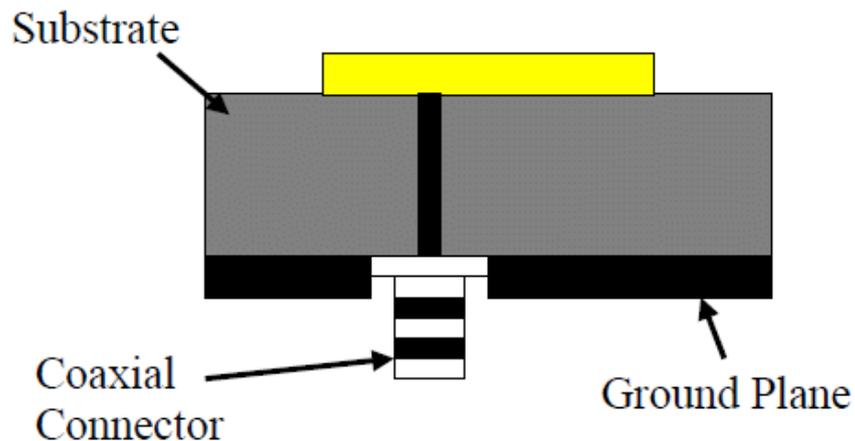
Teknik ini dilakukan dengan cara menghubungkan saluran transmisi dengan patch dimana patch dan saluran transmisi menggunakan bahan yang sama. Pada teknik ini, tidak terjadi *matching impedance* seperti yang diharapkan dan akan muncul radiasi yang tidak diinginkan dari feedernya. Metode *matching impedance* yang digunakan biasanya menggunakan transformator  $\lambda/4$ .



Gambar 2.2 Microstrip Line Feed

## 2. Teknik Pencatuan Probe Coaxial

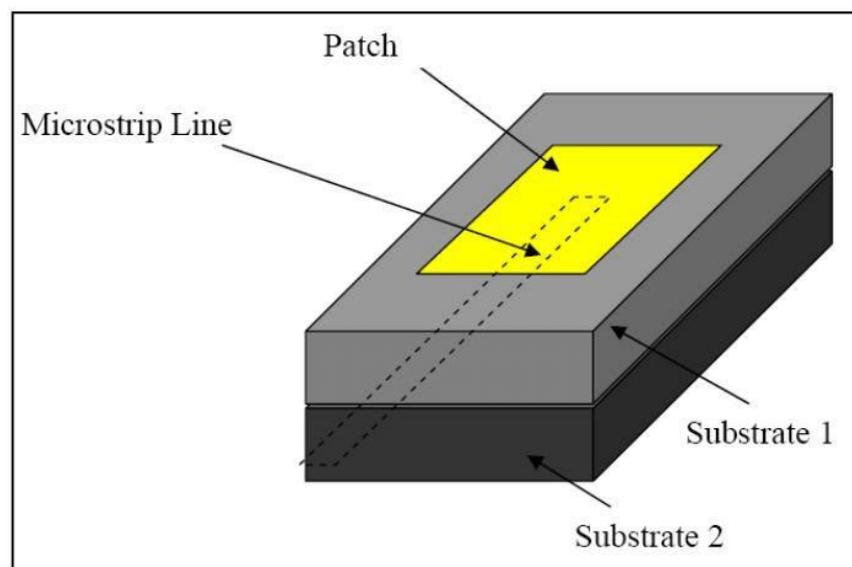
Pada teknik ini, pencatuan dilakukan dengan cara melubangi patch untuk dihubungkan dengan elemen pencatu (konektor) seperti yang terlihat pada Gambar 2.4. Penentuan letak titik catu yang tepat menyebabkan antenna ini tidak membutuhkan rangkaian penyepadanan dalam pengaplikasiannya. Keuntungan teknik ini adalah penempatan konektor bisa dimana saja pada patch, tidak diperlukannya rangkaian penyepadanan karena impedansi antenna matching.



Gambar 2.3 Teknik Pencatuan Probe Coaxial

## 3. Teknik Pencatuan Electromagnetically Coupled (EMC)

Pada teknik ini digunakan dua lapis substrat dengan *microstrip line* pada substrat bagian bawah dan patch pada substrat bagian atas. Pencatuan pada patch dilakukan dengan cara kopling elektromagnetik.



Gambar 2.4 Teknik Pencatuan EMC

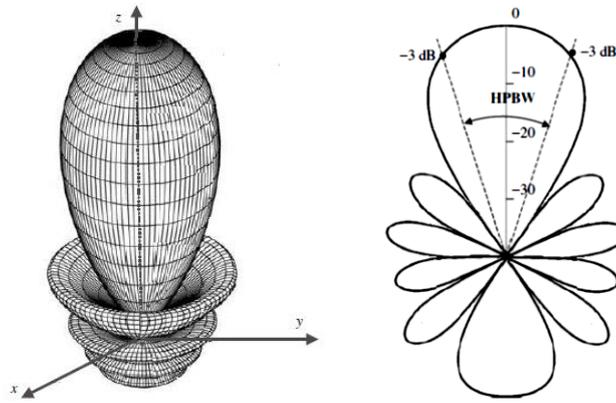
Saluran mikrostrip seperti pada Gambar 2.4 yang *proximity* pada patch yang terletak pada lapisan di atas saluran. Dengan posisi saluran itu di atas patch, maka saluran tersebut dapat di bawa ke bagian bawah antenna, sehingga ada dua substrat yang digunakan pada teknik ini yang berada di atas bidang pentanahan dengan menghilangkan bidang pentanahan pada substrat yang berada di atas. Keuntungan menggunakan teknik pencatutan ini adalah mampu menghasilkan bandwidth yang tinggi karena meningkatkan ketebalan dari patch mikrostrip[9].

## 2.4 Parameter Antena

Untuk menggambarkan cara kerja suatu antenna, sangat penting untuk memahami parameter-parameter antenna. Beberapa parameter saling berhubungan dan tidak semua perlu ditentukan untuk gambaran keseluruhan dari kinerja antenna. Jenis parameter-parameter antenna menurut *IEEE Standard Definition of Terms for Antennas*, yaitu Pola radiasi, keterarahan (*directivity*), penguatan (*gain*), lebar pita (*bandwidth*), polarisasi, dan impedansi input. Parameter lain yang turut menentukan keberhasilan cara kerja antenna yaitu *Voltage Standing Wave Ratio* (VSWR) dan *Return loss*.

### 2.4.1 Pola Radiasi

Pola radiasi (*radiation pattern*) adalah fungsi matematika atau representasi grafik dari sifat radiasi antenna sebagai fungsi ruang. Sifat radiasi tersebut meliputi kerapatan *flux*, intensitas radiasi, kuat medan, atau polarisasi<sup>[2]</sup>. Biasanya sifat dari radiasi yang sangat dipentingkan adalah penyebaran secara tiga dimensi atau dua dimensi dari energi yang diradiasikan antenna, seperti yang terlihat pada gambar 2.5



**Gambar 2.5 Pola Radiasi (a) Tiga Dimensi dan (b) Dua Dimensi**

Sebuah pola radiasi memiliki beberapa bagian yaitu *main lobe* (berkas pancaran utama), *side lobe* (berkas pancaran pada sisi-sisi) dan *back lobe* (berkas pancaran ke arah belakang). Seperti yang terlihat pada gambar 2.2 besar arah pancaran radiasi maksimum dari sebuah antenna dinyatakan sebagai HPBW (*half power beamwidth*) yaitu sudut di antara titik setengah daya (atau  $-3\text{dB}$ ) dari *main lobe*<sup>[2]</sup>.

### 2.3.1 Polarisasi

Polarisasi dari gelombang yang teradiasi didefinisikan sebagai suatu keadaan gelombang elektromagnetik yang menggambarkan arah dan magnitudo vektor medan elektrik yang bervariasi menurut waktu.

### 2.3.2 Gain

Secara umum, *gain* merupakan perbandingan intensitas radiasi maksimum suatu antenna dengan intensitas radiasi maksimum antenna referensi yang daya inputnya sama. Hal ini dapat dituliskan dengan rumus :

$$G = \frac{U_m}{U_{mr}} \quad (2.1)$$

Keterangan :

$G = \text{gain}$

$U_m = \text{intensitas radiasi maksimum suatu antenna}$

$U_{mr} = \text{intensitas radiasi maksimum antenna referensi dengan daya input yang sama.}$

### 2.3.3 Bandwidth Antena

*Bandwidth* didefinisikan sebagai rentang frekuensi kerja dari suatu antena. Nilai *bandwidth* dapat diketahui apabila nilai frekuensi bawah dan frekuensi atas sudah diketahui. Frekuensi bawah ( $f_L$ ) adalah nilai frekuensi awal dari frekuensi kerja antena, sedangkan frekuensi atas ( $f_H$ ) merupakan nilai frekuensi akhir dari frekuensi kerja antena. *Bandwidth* secara umum dapat dinyatakan sebagai <sup>[3]</sup>

$$BW = f_H - f_L \quad (2.2)$$

$$BW \text{ (in \%)} = \left( \frac{f_H - f_L}{f_C} \right) \cdot 100 \quad (2.3)$$

Keterangan  $BW = \text{Bandwidth}$   
 $f_L = \text{Batas frekuensi bawah (Hz)}$   
 $f_H = \text{Batas frekuensi atas (Hz)}$   
 $f_C = \text{Pusat frekuensi (Hz)}$

### 2.3.5 Impedansi Input

Impedansi *input* adalah merupakan impedansi pada terminal atau rasio tegangan terhadap arus pada terminal *input* atau perbandingan komponen-komponen bersesuaian dari medan elektrik terhadap medan magnetik pada sebuah titik. Impedansi masukan dituliskan sebagai berikut<sup>[2]</sup> :

$$Z_A = R_A + jX_A \quad (2.4)$$

Keterangan :

$Z_A = \text{Impedansi antena (ohms)}$

$R_A = \text{Resistansi antena (ohms)}$

$jX_A = \text{Reaktansi antena (ohms)}$

### 2.3.6 VSWR (*Voltage Standing Wave Ratio*)

VSWR atau *Voltage Standing Wave Ratio* adalah perbandingan antara tegangan maksimum dan minimum pada suatu gelombang berdiri akibat adanya pantulan gelombang yang disebabkan oleh tidak *matching*-nya impedansi input antena dengan impedansi saluran atau *feeder*. Pada umumnya nilai VSWR yang dianggap masih baik adalah  $VSWR \leq 2$ . VSWR dapat dihitung menggunakan persamaan (2.5) dibawah ini :

$$VSWR = \frac{V_{max}}{V_{min}} = \frac{1+|\Gamma(z)|}{1-|\Gamma(z)|} \quad (2.5)$$

$$\Gamma = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} \quad (2.6)$$

Dimana :

$\Gamma$  = Koefisien pantul

$Z_L$  = Impedansi beban

$Z_0$  = Impedansi karakteristik,

### 2.3.7 Return Loss

*Return loss* merupakan koefisien refleksi dalam bentuk logaritmik yang menunjukkan daya yang hilang karena beban dan saluran transmisi tidak *matching*. *Return loss* dapat terjadi akibat adanya diskontinuitas diantara impedansi saluran transmisi dengan impedansi masukan beban. Sehingga tidak semua daya dapat diradiasikan dan terdapat daya yang dipantulkan balik. *Return loss* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan<sup>[5]</sup>:

$$Return\ loss = -20 \log |\Gamma| \text{ (dB)} \quad (2.6)$$

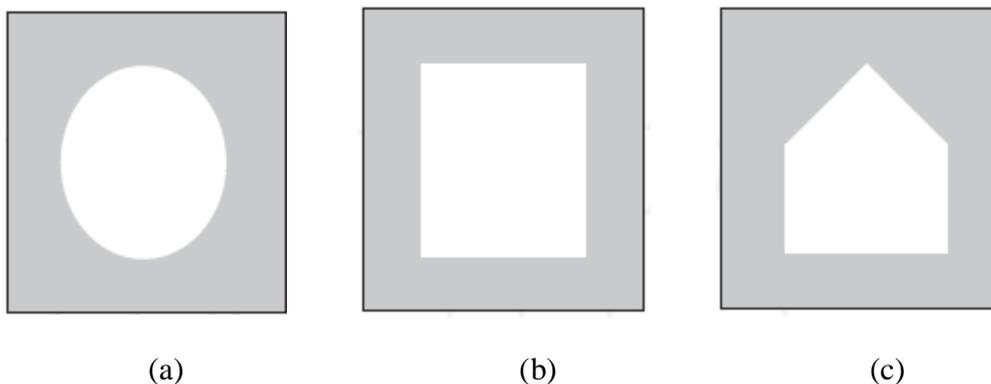
### 2.4 DGS (Defected Groundplane Structure)

Propagasi gelombang permukaan merupakan masalah yang serius antena mikrostrip. Gelombang permukaan mereduksi efisiensi *gain*, membatasi *bandwidth*, meningkatkan radiasi *end-fire*, meningkatkan *cross-polarization*, serta meningkatkan *mutual coupling* pada antena *array*. Dengan kata lain, terdapat halangan untuk memperkecil dimensi antena mikrostrip dengan integrasinya dengan rangkaian mikrostrip lainnya karena untuk mencapai keadaan itu dibutuhkan konstanta dielektrik yang sangat besar dan beresiko terhadap timbulnya gelombang permukaan<sup>[11]</sup>.

Dua solusi yang dapat ditawarkan untuk mengatasi permasalahan ini, yaitu teknologi *micromachining* di mana substrat di bawah elemen peradiasi dihilangkan untuk memperkecil nilai efektif konstanta dielektrik dan *photonic bandgap* (PGB) yaitu suatu metode dimana substrat diberi beban secara periodik sehingga pancaran gelombang permukaan membentuk rentang frekuensi terlarang di sekitar frekuensi operasi antena. Oleh karena gelombang permukaan tidak dapat berpropagasi sepanjang substrat, sejumlah besar daya yang teradiasi

saling menggandeng ke udara. Juga, gandengan gelombang permukaan lain seperti *mutual coupling* antara elemen *array* sekarang tidak ada lagi. PBG merupakan salah tau teknik pengembangan dari *Electromangnetik Bandgap* (EBG)<sup>[11]</sup>.

Salah satu teknik pengembangan dari EBG (*Electromangnetik Bandgap*) yang telah banyak diteliti adalah *Defected Ground Structure* (DGS). DGS telah diaplikasikan untuk menekan radiasi *cross-polarized* dari *patch* antena, menekan harmonisasi, dan sebagainya. *Defected Ground Structure* (DGS) merupakan salah satu cara EBG untuk menekan gelombang permukaan yang sering dipakai pada antena mikrostrip. Teknik DGS dilakukan dengan cara meng-*etch* daerah *ground* pada substrat. Teknik ini mempunyai keunggulan dibandingkan dengan teknik PBG, yaitu DGS tidak memerlukan pembuatan lubang pada substrat dan cukup dengan meng-*etch* bagian *ground* saja. Dengan kata lain, di bagian *ground* dari antena mikrostrip dibuat *slot*. Hal ini tentu saja mempermudah fabrikasi<sup>[11]</sup>. Gambar 2.7 merupakan contoh dari bentuk dari DGS :



**Gambar 2.6 DGS Berbentuk (a) Lingkaran, (b) Persegi dan (c) Thepered**

Untuk DGS berbentuk lingkaran akan menghasilkan frekuensi kerja *wideband* dan *gain* yang tinggi apabila menggunakan *patch* lingkaran. DGS berbentuk lingkaran menghasilkan pola radiasi bidireksional<sup>[17]</sup>. Untuk DGS persegi menggunakan *patch* persegi panjang menghasilkan *bandwidth* yang lebar namun menghasilkan dua frekuensi kerja<sup>[12]</sup>. Untuk bentuk DGS *thepered* merupakan gabungan dari bentuk persegi dan segitiga. Bentuk ini mengurangi *cross-polarization* sehingga dapat menghasilkan *bandwidth* yang lebih lebar dan cocok untuk *patch* persegi panjang<sup>[12]</sup>.

## 2.5 SAR (*Specific Absorption Rate*)

*Specific Absorption Rate* adalah suatu standar atau ukuran dari penetrasi gelombang elektromagnetik yang diserap dalam jaringan tubuh manusia pada saat tubuh terkena dampak medan elektromagnetik dari suatu frekuensi radio (RF) . Satuan standar untuk SAR adalah watt per kilogram (W/kg)[13].

Batas SAR untuk seluler telepon dan perangkat serupa diatur dan ditentukan berdasarkan standar internasional. Batas SAR maksimum yang ditentukan menurut Amerika Serikat mengikuti standar Federal Communications Commission (FCC) adalah dibawah 1.6 W/kg untuk 1 g jaringan yang paling banyak menyerap sinyal[14]. Sedangkan Eropa mengikuti standar IEC untuk ponsel dan perangkat genggam lainnya batas SAR adalah 2 W/kg atau setara dengan 10 g jaringan yang menyerap paling banyak sinyal[14].

## **2.6 GPS (Global Positioning System)**

Global Positioning System (GPS) merupakan sebuah alat atau sistem yang dapat digunakan untuk menginformasikan penggunanya dimana dia berada (secara global) dipermukaan bumi yang berbasis satelit. Data dikirim dari satelit berupa sinyal radio dengan data digital.

GPS (Global Positioning System) adalah sistem navigasi yang berbasiskan satelit yang saling berhubungan yang berada di orbitnya. Satelit-satelit itu milik Departemen Pertahanan (Departemen of Defense) Amerika Serikat yang pertama kali diperkenalkan mulai tahun 1978 dan pada tahun 1994 sudah memakai 24 satelit. Untuk dapat mengetahui posisi seseorang maka diperlukan alat yang diberi nama GPS receiver yang berfungsi untuk menerima sinyal yang dikirim dari satelit GPS. Posisi diubah menjadi titik yang dikenal dengan nama Way-point nantinya akan berupa titik-titik koordinat lintang dan bujur dari posisi seseorang atau suatu lokasi kemudian di layar pada peta elektronik.

## **2.7 GSM (Global Positioning System)**

GSM merupakan sebuah teknologi komunikasi selular yang bersifat digital, memiliki rincian modulasi dan arsitektur di tingkat jaringan serta layanan pada frekuensi 900 MHz dan 1800 MHz. Teknologi GSM banyak diterapkan pada komunikasi bergerak, khususnya telepon genggam. GSM berbeda banyak dengan teknologi sebelumnya dalam pensinyalan dan “channel” pembicaraan adalah digital, yang berarti sebagai sistem telepon genggam generasi kedua (2G). GSM merupakan sebuah standar terbuka yang sekarang ini dikembangkan oleh 3GPP. Pemantauan kualitas panggilan telepon pada frekuensi 900 MHz

dan 1800 MHz salah satunya dapat dilihat dari nilai Rx Level yang diterima MS. Lemahnya sinyal terima yang diterima oleh MS, memungkinkan akan terjadinya kegagalan panggilan seperti blocking call ataupun drop call. Nilai Rx Lev dinyatakan dalam satuan decibel

## **2.8 Alumunium Foil Tape**

Aluminium adalah sejenis logam yang telah melalui beberapa proses, disusun menjadai beberapa lapisan tipis degan ketebalan kurang dari 0,2 mm. Alumunium foil mengandung 99.4% aluminium. Aluminium foil memiliki beberapa sifat istimewa seperti ringan, tahan lama, tidak mudah terbakar, konduktor yang baik, penghantar panas dan cukup ekonomis [25].

Karena sifatnya yang termasuk konduktor yang baik maka aluminium foil tape sangat cocok dijadikan patch atau peradiasi pada antena, dan juga karna memiliki sifat yang lentur dan ringan juga cocok dipadupadankan pada substrat tekstil yang memiliki sifat yang serupa yaitu fleksibel dan mudah dibentuk .



Gambar 2.8 *Aluminium Foil Tape* [25]

## BAB III

### PERANCANGAN DAN SIMULASI

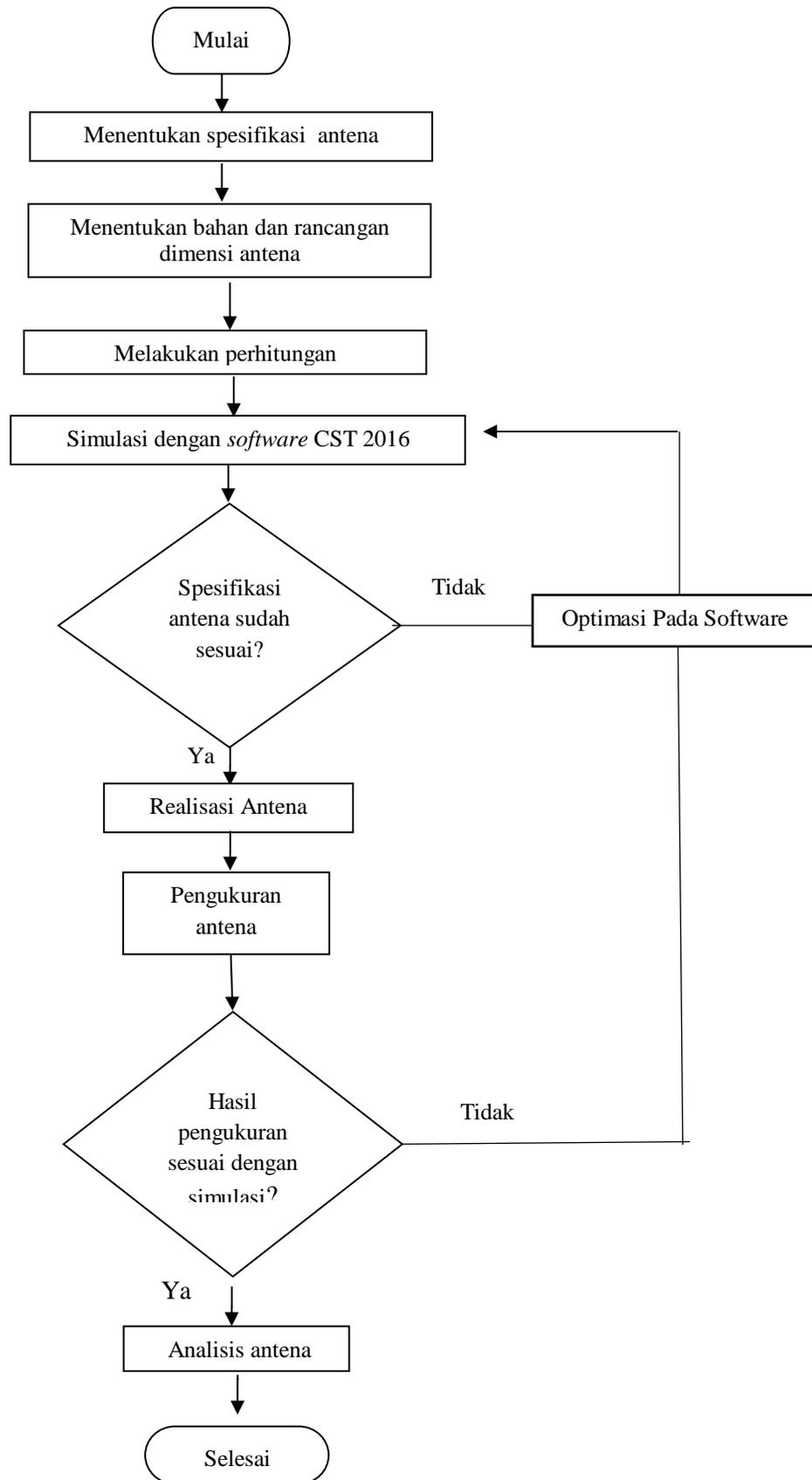
#### 3.1 Perancangan Antena

Pada perancangan antena tekstil di proyek akhir ini menggunakan bahan substrat dengan jenis kain cordura fabric kemudian pada patchnya digunakan aluminium foil tape. Untuk pengaplikasiannya sendiri diharapkan bisa bekerja pada rentang frekuensi 900 – 1800 MHz. Desain antena tekstil berbasis aluminium foil tape yaitu dengan mikrostrip patch rectangular menggunakan teknik pencatutan mikrostrip line feed. Untuk membuat perancangan antena dibutuhkan beberapa tahap yaitu, pada tahap pertama menentukan spesifikasi antena, tahap kedua dengan menentukan bahan dan perhitungan dimensi antena tekstil berbasis aluminium foil tape. Tahap ketiga yaitu perancangan dan simulasi menggunakan software CST Studio Suite 2017. Setelah melakukan simulasi kemudian hasilnya sudah sesuai dengan spesifikasi barulah tahap terakhir yaitu realisasi antena dan analisisnya. Adapun flowchart atau tahapan pengerjaan antena tekstil berbasis aluminium foil tape dapat dilihat pada Gambar 3.1.

#### 3.2 Spesifikasi Antena

Yang dilakukan pada tahap pertama dalam perancangan antena ini adalah menentukan spesifikasi antena dan pemilihan bahan tekstil yang akan digunakan. Adapun spesifikasi antena tekstil berbasis aluminium foil tape sebagai berikut:

1. *Bandwidth* :  $\geq 800$  MHz
2. *VSWR* :  $\leq 2$
3. *Gain* :  $\geq 3$  dBi
4. *Return Loss* :  $\leq -10$  dB
5. Impedansi :  $50 \Omega$
6. Pola Radiasi : Bidireksional



**Gambar 3.1 Flowchart**

### 3.3 Jenis Bahan Substrat Antena

Ada beberapa parameter yang dianggap penting dalam pemilihan substrat yang tepat adalah ketebalan dan *loss tangent* dielektrik substrat. Jenis substrat yang digunakan termasuk salah satu yang dapat mempengaruhi performansi antena. Untuk medium substrat dengan konstanta dielektrik kecil, sering digunakan dalam perancangan untuk mendapatkan bandwidth yang lebar, akan tetapi dengan konsekuensi antena yang dirancang nantinya menjadi lebih besar. Bahan yang digunakan dalam perancangan antena ini adalah aluminium foil tape (*aluminum*) pada bagian *groundplane*, *patch* dan *microstrip-line* dan kain tekstil jenis *cordura fabric* pada bagian substrat. Pemilihan jenis kain *cordura fabric* dikarenakan bahan ini dapat didapatkan dengan mudah dipasaran. Adapun spesifikasi antena tekstil berbasis aluminium foil tape sebagai berikut :

1. Patch dan *groundplane* (aluminium tape) :
  - Permittivitas *relative* ( $\epsilon_r$ ) : 1
  - *Permealibilitas relative* : 1
  - Ketebalan : 0.033 mm
2. Substrat 4 lapis *cordura fabric* :
  - Permittivitas *relative* ( $\epsilon_r$ ) : 1,9
  - *Loss tangent* : 0.0098
  - Ketebalan dielektrik : 1.124 mm

### 3.4 Perhitungan Dimensi Antena *Single Patch*

Dalam perhitungan dimensi antena sangat dipengaruhi oleh frekuensi kerja dan jenis bahan. Antena mikrostrip yang dibuat bekerja pada frekuensi *ultrawideband* 900 MHz – 1800 MHz maka frekuensi yang dipakai dalam perhitungan adalah frekuensi tengahnya yaitu 1350 MHz. Sebelum dilakukan teknik perancangan menggunakan DGS, terlebih dahulu dibuat antena *single patch* yang disimulasi hingga memenuhi spesifikasi kemudian baru disusun menjadi antena menggunakan teknik DGS. Perhitungan dimensi antena *single patch* berdasarkan persamaan sebagai berikut :

1. Persamaan lebar *patch* persegi panjang ( $W_p$ ) :

$$W = \frac{c}{2f_r} \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2}} = 0.09227 \text{ m} = 92.27 \text{ mm} \quad (2.7)$$

Keterangan,  $c$  = kecepatan cahaya di udara =  $3 \times 10^8$

$f_r$  = frekuensi kerja/frekuensi tengah = 1350 MHz =  $1350 \times 10^6$  Hz

$\epsilon_r$  = permittivitas *relative* substrat (*Cordura Fabric*) = 1.9

2. Persamaan panjang *patch* ( $L_p$ ) :

$$\Delta L_p = 0,412h \cdot \frac{\epsilon_e + 0,300}{\epsilon_e - 0,258} \cdot \frac{(\frac{w}{h} + 0,264)}{(\frac{w}{h} + 0,8)} = 0.6192 \text{ mm} \quad (2.8)$$

Keterangan,  $h$  = ketebalan dielektrik (*Cordura Fabric*) = 1.124 mm

$\epsilon_e$  = adalah konstanta dielektrik *relative*, dihitung dengan persamaan :

$$\epsilon_e = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(1 + 12 \frac{h}{w}\right)^{-\frac{1}{2}} = 1.870 \quad (2.9)$$

$W = W_p$  = lebar *patch*

Sehingga panjang *patch* ( $L_p$ ) :

$$L = \frac{c}{2fr\sqrt{\epsilon_e}} - 2\Delta L = 80.01 \text{ mm} \quad (2.10)$$

3. Persamaan panjang *groundplane* ( $L_g$ ) :

$$L_g = 6h + L_p = 86.75 \text{ mm} \quad (2.11)$$

4. Persamaan lebar *groundplane* ( $W_g$ ) :

$$W_g = 6h + W_p = 99.014 \text{ mm} \quad (2.12)$$

5. Persamaan panjang *feedline* ( $L_f$ ) :

- Mencari panjang gelombang *groundplane* ( $\lambda_g$ ) dengan persamaan :

$$\lambda_o = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8}{1350 \times 10^6} = 222.2 \text{ mm} \quad (2.13)$$

$$\lambda_g = \frac{\lambda_o}{\sqrt{\epsilon_e}} = \frac{222.2}{1.2887} = 172.42 \text{ mm} \quad (2.14)$$

$$- L_f = \frac{\lambda_g}{4} = \frac{172.42}{4} = 43.10 \text{ mm} \quad (2.15)$$

6. Persamaan lebar *feedline* ( $W_f$ ) dengan  $z_o = 50\Omega$  :

$$B = \frac{60\pi^2}{z_o \sqrt{\epsilon_r}} = \frac{60\pi^2}{50 \sqrt{1.9}} = 8.592$$

$$W_f = \frac{2}{\pi} \left[ B - 1 - \ln(3B - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} \left\{ \ln(B - 1) + 0.39 - \frac{0.61}{\epsilon_r} \right\} \right] \quad (2.16)$$

$$W_f = 3.790 \text{ mm}$$

Berikut hasil akhir perhitungan dimensi antenna *single patch* disajikan pada Tabel 3.1:

**Tabel 3.1 Dimensi Antena *Single Patch* Hasil Perhitungan**

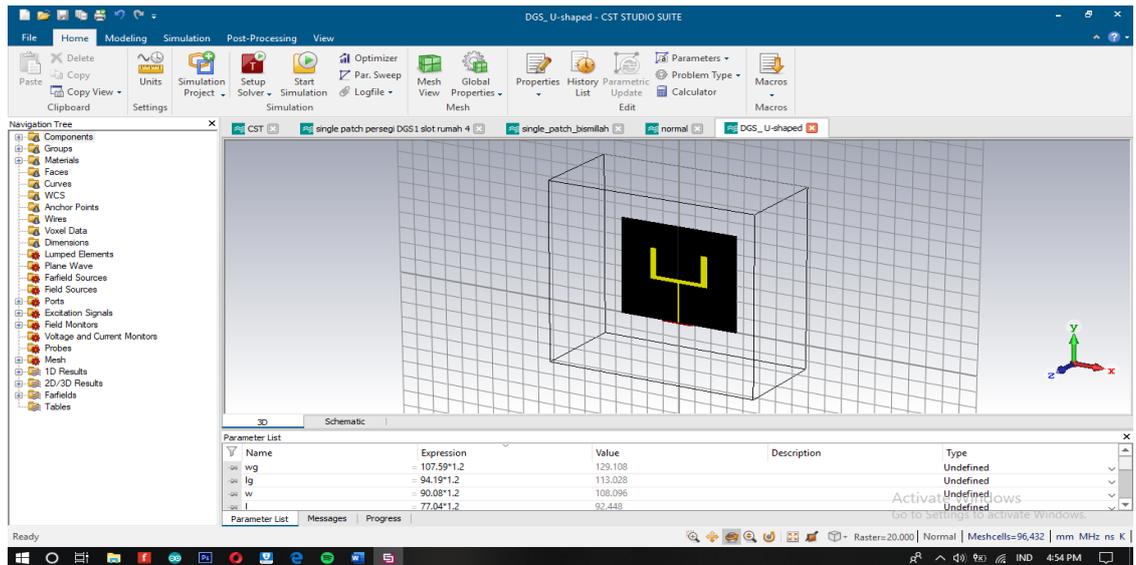
Parameter		Ukuran (mm)
Wp	Lebar <i>Patch</i>	92.27
Lp	Panjang <i>Patch</i>	81.25
Wg	Lebar <i>Gorundplane</i>	99.01
Lg	Panjang <i>Groundplane</i>	86.75
Wf	Lebar <i>Feedline</i>	3.790
Lf	Panjang <i>Feedline</i>	43.10

### **3.5 Teknik Pencatuan**

Teknik pencatuan antena menggunakan *microstrip line (direct feed)* yaitu pencatuan dilakukan dengan cara menghubungkan *line* pencatuan dengan *patch* secara langsung pada substrat yang sama.

### **3.6 Simulasi Antena Menggunakan *Software CST 2018***

Perancangan menggunakan CST 2018 sebagai simulator. Perancangan antena menggunakan simulasi diperlukan untuk melakukan percobaan sekaligus melakukan optimasi hingga mendapatkan dimensi yang sesuai dengan spesifikasi awal. Berikut Gambar 3.2 merupakan *workspace* dari CST 2018.



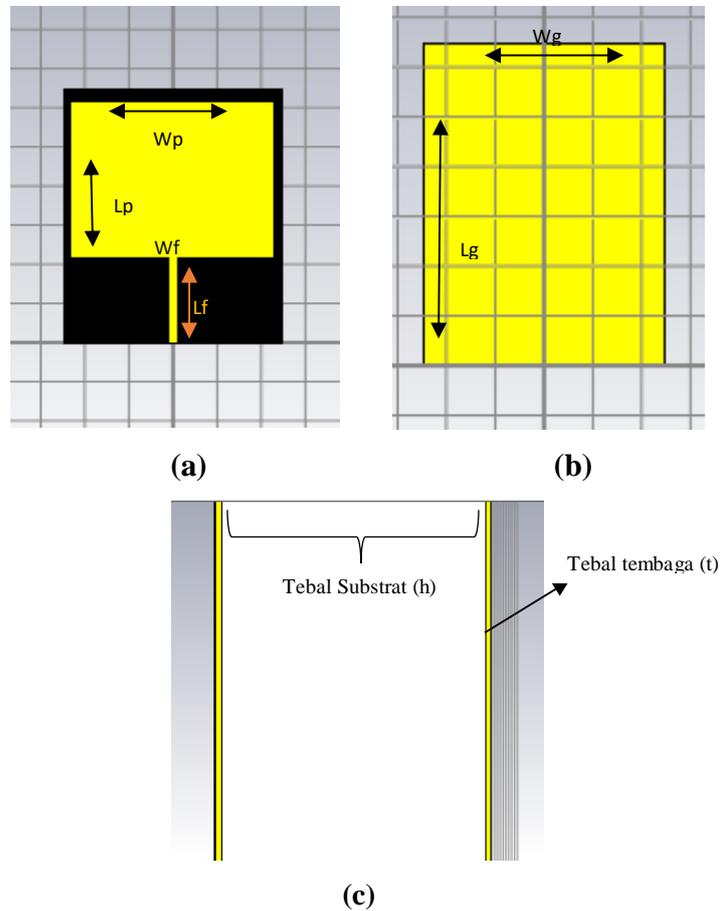
**Gambar 3.2 Simulator CST 2018**

Sebelum merancang, terlebih dahulu mengatur frekuensi pada simulator. Frekuensi yang diatur dalam simulator yaitu 600 MHz – 2100 MHz. Kemudian memasukkan nilai dimensi yang telah dihitung sebelumnya kemudian disimulasikan. Berikut Tabel 3.2 merupakan parameter antenna *single patch* yang dimasukkan dalam *simulator* CST 2018 :

**Tabel 3.2 Parameter-Parameter Antena *Single Patch* pada CST 2018**

<i>Parameter</i>	<i>Deskripsi</i>	<i>Ukuran (mm)</i>
Wp	Lebar <i>Patch</i>	92.27
Lp	Panjang <i>Patch</i>	81.25
Wg	Lebar <i>Gorundplane</i>	99.01
Lg	Panjang <i>Groundplane</i>	86.75
Wf	Lebar <i>Feedline</i>	3.790
Lf	Panjang <i>Feedline</i>	43.10
h	Tebal Substrat	1.124
t	Tebal Tembaga	0.033

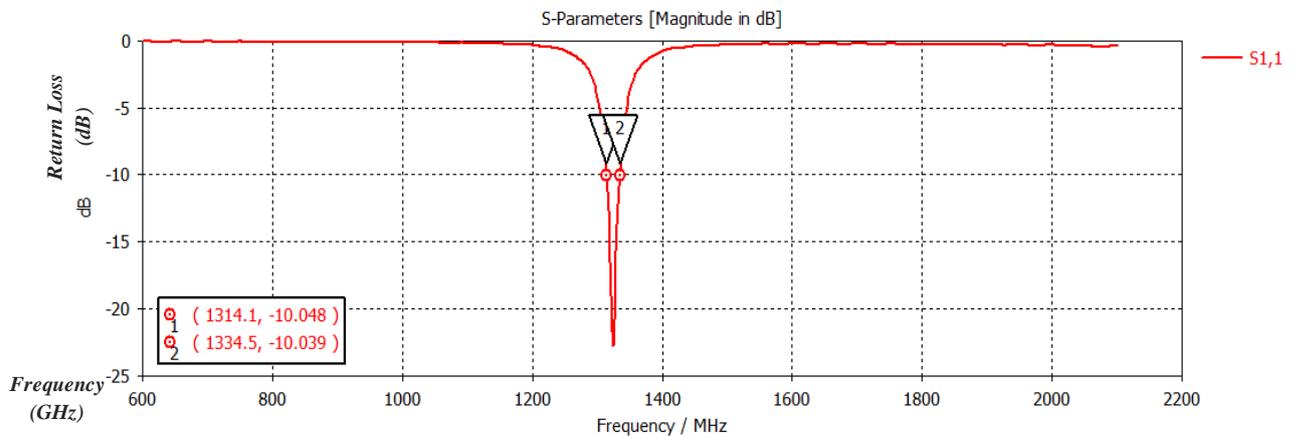
Setelah memasukkan parameter-parameter kemudian mengatur koordinat letak dimensi lalu akan muncul bentuk 3D (Tiga Dimensi) dari *parameter* tersebut. Berikut Gambar 3.3 hasil 3D perancangan antenna *single patch* pada CST 2018.



**Gambar 3.3 Antena *Single Patch* (a) Tampak Depan (b) Tampak Belakang dan (c) Tampak Samping yang Diperbesar**

### 3.6.1 Hasil Simulasi Antena *Single Patch* Hasil Perhitungan

Berikut Gambar 3.4 hasil simulasi *Return Loss* antena *single patch* hasil perhitungan:



Gambar 3.4 Nilai *Return Loss* Antena *Single Patch* Hasil Perhitungan

Berdasarkan hasil simulasi *Return Loss*, didapatkan frekuensi kerja yaitu pada 1314 MHz – 1334 MHz. Sehingga dapat dihitung nilai *bandwidth* antena *single patch* menggunakan persamaan :

$$\begin{aligned} BW &= f_H - f_L \\ &= 1334 \text{ MHz} - 1314 \text{ MHz} \\ &= 20 \text{ MHz} \end{aligned} \quad (2.2)$$

*Bandwidth* tersebut belum memenuhi spesifikasi untuk antena *ultra wideband* maka perlu ditambahkan suatu teknik untuk melebarkan *bandwidth*.

### 3.7 Simulasi *Single Patch* Menggunakan DGS (*Defected Groundplane Structure*)

Karena hasil simulasi antena *single patch* belum memenuhi kebutuhan *bandwidth* sehingga diperlukan suatu teknik untuk melebarkan *bandwidth*. Dalam Proyek Akhir ini dilakukan percobaan dengan menggunakan teknik DGS (*Defected Groundplane Structure*) yaitu dengan menambahkan *slot* pada *groundplane*.

Pada jurnal “PERANCANGAN DAN REALISASI ANTENA MIKROSTRIP UNTUK SISTEM *ELECTROMAGNETIC ENERGY HARVESTING* PADA BAND FREKUENSI 900 MHz – 2,4 GHz”. Untuk ukuran dimensi antena *single patch* menggunakan teknik DGS dihitung menggunakan perbandingan skala panjang gelombang ( $\lambda$ ) antara frekuensi tengah antena pada jurnal tersebut dengan frekuensi tengah antena pada Proyek Akhir ini. Antena pada jurnal tersebut memiliki frekuensi kerja dari 900 MHz – 2,4 GHz dan memiliki frekuensi tengah 1,65 GHz sedangkan antena yang dirancang pada Proyek Akhir ini

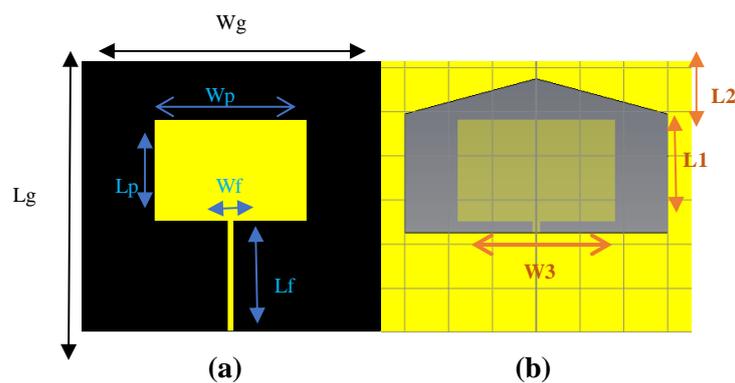
memiliki frekuensi kerja 900 MHz – 1800 MHz dan memiliki frekuensi tengah 1350 MHz. Berikut perbandingan nilai  $\lambda$ -nya:

$$\begin{aligned} \lambda_1 &= \frac{c}{f} & \lambda_2 &= \frac{c}{f} & (2.12) \\ &= \frac{3 \times 10^8}{1.65 \times 10^9} & &= \frac{3 \times 10^8}{1350 \times 10^6} \\ &= 0.18181 \text{ m} = 181.1 \text{ mm} & &= 0.22222 \text{ m} = 222.2 \text{ mm} \end{aligned}$$

$\lambda_1$  merupakan panjang gelombang dari antenna pada jurnal “PERANCANGAN DAN REALISASI ANTENA MIKROSTRIP UNTUK SISTEM *ELECTROMAGNETIC ENERGY HARVESTING* PADA *BAND* FREKUENSI 900 MHz – 2,4 GHz” sedangkan  $\lambda_2$  merupakan panjang gelombang antenna pada Proyek Akhir ini. Jika dibandingkan :

$$\frac{\lambda_2}{\lambda_1} = \frac{222.2}{181.1} = 1.2$$

Sehingga dari perbandingan diatas dapat diketahui bahwa  $\lambda_2 = 1.2$  kali lebih besar daripada  $\lambda_1$ . Gambar 3.5 merupakan desain antenna mikrostrip *single patch* dengan DGS. Bentuk DGS yang dipilih adalah berbentuk *thepered* yang merupakan perpaduan dari bentuk persegi dan segitiga. Berdasarkan teori bentuk tersebut menghasilkan *bandwidth* yang paling lebar<sup>[12]</sup>.



Gambar 3.5 (a) Tampak Depan dan (b) Belakang Antena Mikrostrip *Single Patch* dengan DGS

Berikut Tabel 3.3 dimensi antenna pada jurnal “PERANCANGAN DAN REALISASI ANTENA MIKROSTRIP UNTUK SISTEM *ELECTROMAGNETIC ENERGY HARVESTING* PADA BAND FREKUENSI 900 MHZ – 2,4 GHZ”.

**Tabel 3.3 Dimensi Antena Mikrostrip pada jurnal “PERANCANGAN DAN REALISASI ANTENA MIKROSTRIP UNTUK SISTEM *ELECTROMAGNETIC ENERGY HARVESTING* PADA BAND FREKUENSI 900 MHZ – 2,4 GHZ”**

<i>Parameter</i>	<b>Nilai (mm)</b>
Lebar <i>Groundplane</i> (Wg)	92.6
Panjang <i>Groundplane</i> (Lg)	103.2
Lebar <i>Patch</i> (Wp)	55.9
Panjang <i>Patch</i> (Lp)	30.1
Lebar Persegi Panjang (W3)	47.3
Tinggi Persegi Panjang (L1)	46.225
Jarak Bentuk <i>Thepered</i> dengan Tepi Atas (L2)	30.1
Lebar <i>Feedline</i> (Wf)	3
Panjang <i>Feedline</i> (Lf)	43

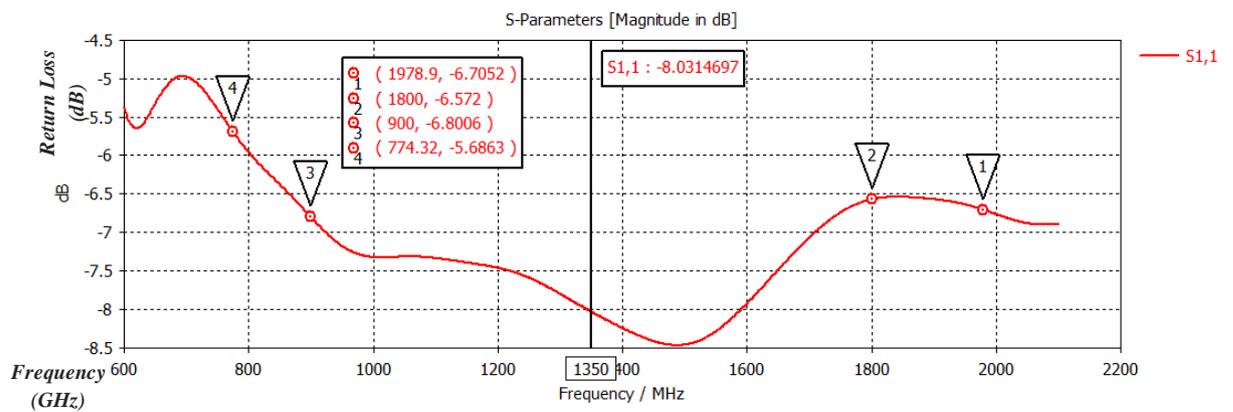
### 3.7.1 Hasil simulasi Antena dengan Perbesaran 1.2 Kali Berdasarkan Perhitungan

Berikut Tabel 3.4 merupakan dimensi antenna *single patch* dengan perbesaran skala 1.2 kali :

**Tabel 3.4 Dimensi Antena *Single Patch* dengan DGS Perbesaran 1.2 Kali**

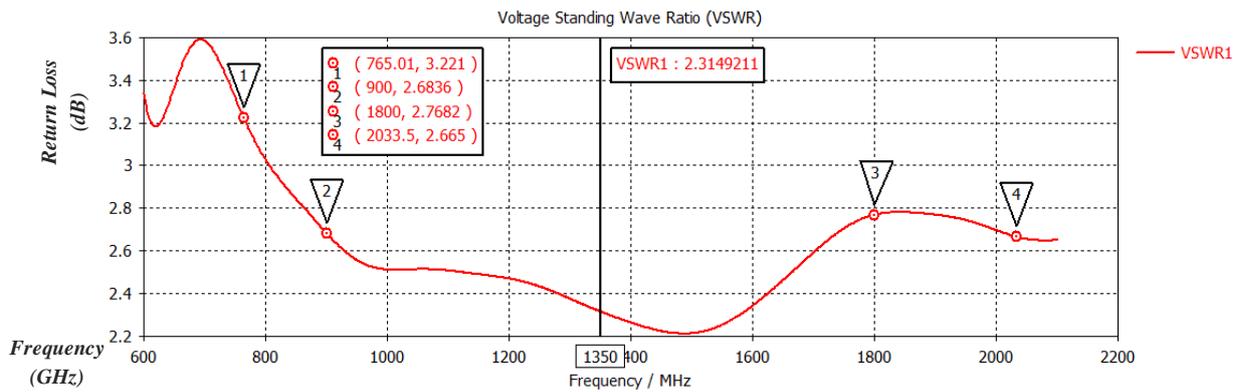
<i>Parameter</i>	Nilai (mm)	1.2 kali
Lebar <i>Groundplane</i> ( $W_g$ )	92.6	111.12
Panjang <i>Groundplane</i> ( $L_g$ )	103.2	123.84
Lebar <i>Patch</i> ( $W_p$ )	55.9	67.08
Panjang <i>Patch</i> ( $L_p$ )	30.1	36.12
Lebar Persegi Panjang ( $W_3$ )	47.3	56.76
Tinggi Persegi Panjang ( $L_1$ )	46.225	55.47
Jarak Bentuk <i>Thepered</i> ( $L_2$ )	30.1	36.12
Lebar <i>Feedline</i> ( $W_f$ )	3	3
Panjang <i>Feedline</i> ( $L_f$ )	43	51.6

Berikut Gambar 3.6 merupakan hasil *Return Loss* dari perbesaran skala 1.2 :



**Gambar 3.6 *Return Loss* *Single Patch* dengan DGS pada Perbesaran 1.2 Kali**

Dari grafik hasil simulasi *Return Loss* berdasarkan perhitungan diatas didapatkan pada perbesaran skala 1.2 kali belum mendapatkan frekuensi kerja yang diinginkan. Sehingga antenna dengan hasil perhitungan awal tidak layak untuk direalisasikan karena masih jauh dari nilai spesifikasi yang ditentukan. Maka dari itu dibutuhkan optimasi pada antenna dengan cara menambahkan atau mengurangi ukuran dari dimensi antenna tersebut. Adapun grafik VSWR yang didapatkan dari simulasi tersebut :



**Gambar 3.7 VSWR Single Patch dengan DGS pada Perbesaran 1.2 Kali**

Dapat pula dilihat hasil VSWR dari simulasi menunjukkan nilai yang tidak baik karena dari frekuensi kerja yang diinginkan yaitu dari 900 – 1800 MHz mendapat nilai VSWR yang rata-rata  $>2$  sedangkan nilai VSWR yang baik yaitu  $\leq 2$ .

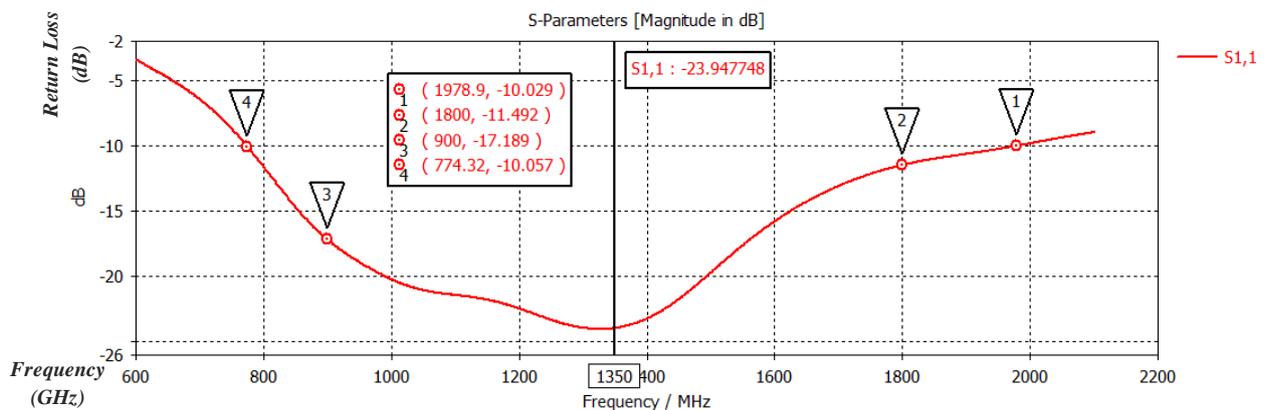
### 3.7.1 Optimasi Dimensi Antena

Optimasi dimensi antenna dilakukan agar spesifikasi antenna yang telah ditentukan dapat tercapai. Optimasi dilakukan dengan mengubah ukuran patch dan groundplane antenna dengan tujuan menggeser frekuensi kerja antenna yang diinginkan. Sedangkan untuk mendapat nilai VSWR yang baik, maka dilakukan penyesuaian terhadap panjang dan lebar *feedline*. Sedangkan untuk memperbesar nilai *gain* dapat dilakukan dengan menambahkan ketebalan substrat dengan menumpuk kain. Dibawah ini merupakan hasil dimensi antenna sebelum dan sesudah optimasi:

**Tabel 3.5. Dimensi Antena *Single Patch* dengan DGS Sebelum dan Sesudah Optimasi Perbesaran 1.2 Kali**

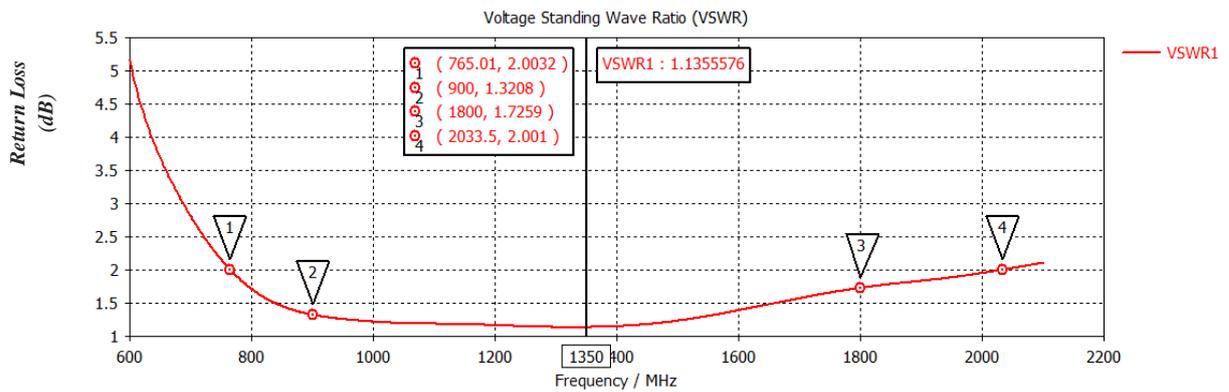
<i>Parameter</i>	<b>Sebelum Optimasi(mm)</b>	<b>Sesudah Optimasi(mm)</b>
Lebar <i>Groundplane</i> ( $W_g$ )	111.12	130
Panjang <i>Groundplane</i> ( $L_g$ )	123.84	110
Lebar <i>Patch</i> ( $W_p$ )	67.08	69
Panjang <i>Patch</i> ( $L_p$ )	36.12	44
Lebar Persegi Panjang ( $W_3$ )	56.76	110
Tinggi Persegi Panjang ( $L_1$ )	55.47	50
Jarak Bentuk <i>Thepered</i> ( $L_2$ )	36.12	23
Lebar <i>Feedline</i> ( $W_f$ )	3	3.2
Panjang <i>Feedline</i> ( $L_f$ )	51.6	45

Berikut Gambar 3.8 merupakan hasil *Return Loss* setelah optimasi dari perbesaran skala 1.2 :



**Gambar 3.8 *Return Loss* *Single Patch* dengan DGS setelah optimasi**

Dapat dilihat hasil grafik dari simulasi setelah optimasi mendapatkan frekuensi kerja mulai dari 774 MHz -1978 MHz. Dimana bandwidth antenna yang diharapkan sudah sesuai spesifikasi awal dan juga nilai *return loss* yang bagus yaitu pada frekuensi tengah 1350 MHz -23.94, 900 MHz -17.189, dan pada frekuensi 1800 -11.492. Sehingga hasil yang didapatkan sudah layak untuk di realisasikan. Untuk melihat hasil VSWR simulasi dapat dilihat pada Gambar 3.9 .

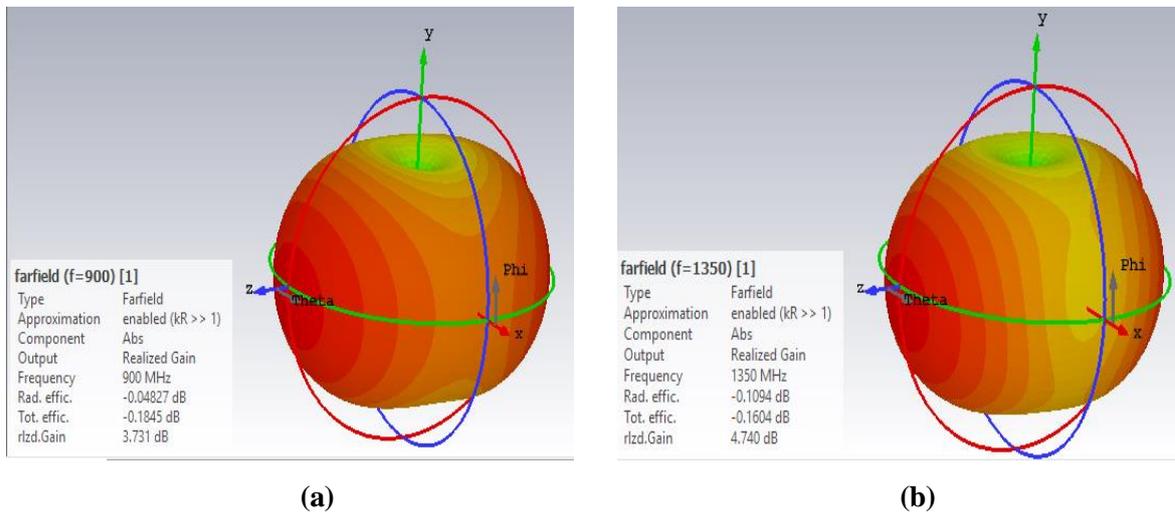


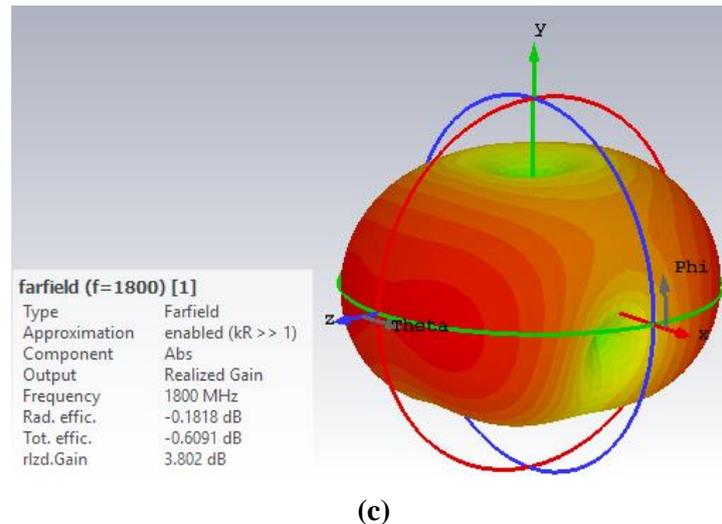
Frequency  
(GHz)

Gambar 3.9 VSWR Single Patch dengan DGS setelah optimasi

### 3.7.2 Hasil Simulasi *Gain* Antena *Single Patch* Perbesaran 1.2 Kali Setelah Optimasi

Berikut Gambar 3.8 merupakan *gain* hasil simulasi pada frekuensi 0.9 GHz, 1.65 GHz, 1.8 GHz, 2.1 GHz, dan 2.4 GHz.





Gambar 3.10 Gain Hasil Simulasi pada Frekuensi (a) 900 MHz, (b) 1350 MHz, (c) 1800 MHz

Berikut Tabel 3.6 merupakan gain hasil simulasi dari antenna *single patch* :

Tabel 3.6 Gain Hasil Simulasi Antena *Single Patch*

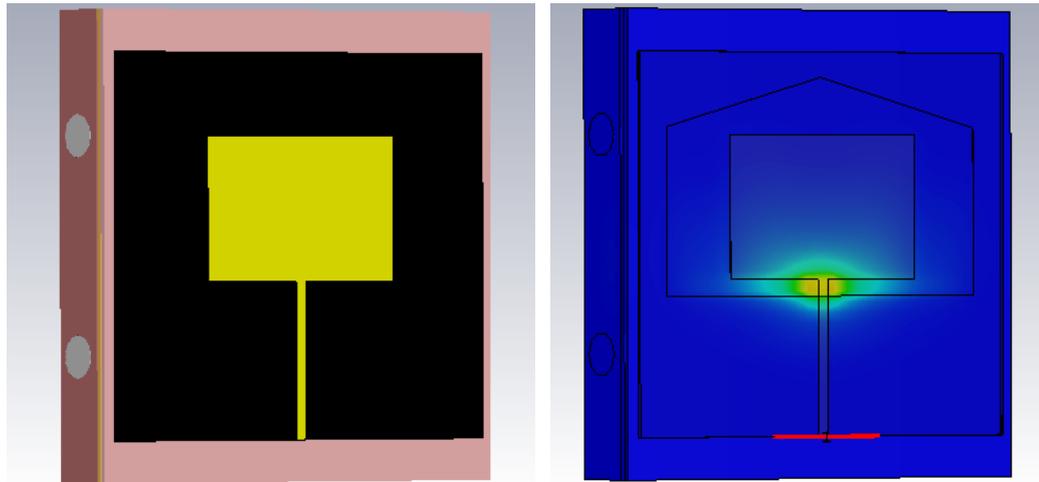
Frekuensi (MHz)	Gain (dBi)
900	3.731
1350	4.740
1800	3.802

Spesifikasi *gain* antenna yang dirancang adalah  $\geq 3$  dBi. Dari hasil simulasi *gain* yang memenuhi spesifikasi yaitu pada frekuensi tengah 1350 MHz yaitu sebesar 4.740 dBi. Sedangkan nilai *gain* pada frekuensi 900 MHz dan 1800 MHz berturut-turut adalah 3.731 dBi, 3.802 dBi.

### 3.7 Simulasi SAR

Simulasi SAR pada CST ditambahkan agar dapat diketahui apakah antenna tekstil yang nantinya akan di pasang pada bagian tubuh manusia masih aman atau tidak. Nilai maksimum SAR sudah dijelaskan pada Bab 2 sebelumnya. Untuk simulasi SAR sendiri dilakukan pada penambahan lapisan *phantom* yang tersusun pada bagian lengan terdiri dari *skin* (kulit), *fat* (lemak), *muscle* (otot), dan *bone* ( tulang). Pada simulasi hanya memperlihatkan hasil dari nilai SAR saja dengan menggunakan jarak antenna yang

disimulasikan sebesar 0 mm, 5 mm dan 10 mm. Ketebalan *phantom* mulai dari kulit yaitu 2 mm, lemak 2 mm, otot 20 mm, jari-jari tulang 7 mm[2].



Gambar 3.11 Simulasi SAR pada *phantom*

Tabel 3.7 Hasil Sismulasi SAR

Frekuensi	Simulasi SAR		
	Tanpa GAP	GAP 5 mm	GAP 10 mm
900 MHz	0.0398 W/kg	0.0126 W/kg	0.0097 W/kg
1350 MHz	0.0675 W/kg	0.0108 W/kg	0.0052 W/kg
1800 MHz	0.0928 W/kg	0.0092 W/kg	0.0043 W/kg

Dapat dilihat pada table hasil simulasi SAR pada rentang frekuensi kerja nilai SAR yang didapatkan dari frekuensi rendah 900 MHz ke frekuensi tinggi 1800 MHz mengalami peningkatan nilai SAR dikarenakan semakin tinggi frekuensi kerja pada antenna maka daya yang diserap tubuh pada gelombang elektromagnetik juga semakin besar. Nilai SAR yang didapatkan sudah termasuk kedalam spesifikasi yaitu  $\leq 1.6$  W/kg sehingga antenna masih aman digunakan pada saat kondisi didekatkan didaerah tubuh manusia.

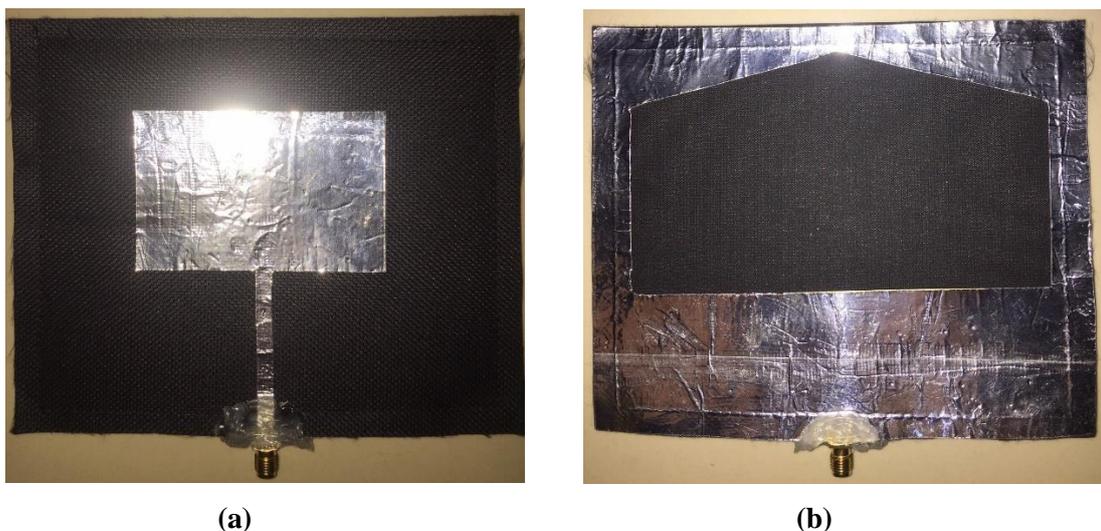
## BAB IV

### PENGUKURAN DAN ANALISIS

Setelah dilakukan proses simulasi, antenna mikrostrip dengan menggunakan teknik DGS direalisasikan karena lebih memenuhi spesifikasi. Kemudian *parameter-parameter* antenna di ukur yang kemudian dibandingkan hasilnya dengan spesifikasi serta simulasi. Pengukuran yang dilakukan terhadap antenna terdiri dari 2 macam yaitu pengukuran medan dekat (*near field*) dan medan jauh (*far field*). Pengukuran medan dekat meliputi VSWR, *Return Loss*, dan impedansi. Sedangkan pengukuran medan jauh meliputi pola radiasi dan *gain*. Pengukuran medan dekat antenna dilakukan di Laboratorium Antena dan Komunikasi Nirkabel Fakultas Ilmu Terapan, Universitas Telkom. Dan pengukuran medan jauh antenna dilakukan diruangan tanpa gema (*Anechoic chamber*) Laboratorium Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, Bandung.

#### 4.1 Realisasi Antena

Setelah dilakukan perancangan antenna melalui simulasi dan memperoleh hasil yang sesuai dengan spesifikasi, kemudian dilanjutkan dengan proses fabrikasi antenna. Antena yang telah di fabrikasi akan di pasangkan sebuah konektor. Konektor yang digunakan adalah konektor SMA *Female*. Selanjutnya dilakukan proses pengukuran terhadap antenna. Gambar dari hasil realisasi antenna mikrostrip persegi panjang dapat di lihat pada gambar 4.1.



Gambar 4.1 Realisasi Antena Mikrostrip (a) Tampak Depan dan (b) Tampak Belakang

## 4.2 Pengukuran *Return Loss*, *VSWR*, dan *Bandwidth*

### 4.2.1 Prosedur Pengukuran

Pengukuran antenna Pada Proyek Akhir ini, dilakukan pengukuran medan dekat antenna yang terdiri dari *return loss*, *VSWR*, dan *bandwidth* antenna menggunakan *Network Analyzer*. Pengukuran tersebut dilakukan di Laboratorium Radar Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia. Adapun skema pengukuran antenna adalah sebagai berikut:



**Gambar 4.2 Konfigurasi Pengukuran Medan Dekat**

Pengukuran *return loss*, *VSWR*, dan *bandwidth* antenna dilakukan pada dua kondisi, yaitu pada saat kondisi biasa dan kondisi antenna ditempelkan langsung pada permukaan lengan. Berikut ini merupakan prosedur pengukuran yang dilakukan :

1. Lakukan kalibrasi *Network Analyzer*.
2. Kemudian atur frekuensi *start* dan *stop* dengan frekuensi tengah di 1.575 GHz.
3. Setelah itu, hubungkan antenna yang akan diukur ke port 1 *Network Analyzer*.
4. Kemudian lihat hasil *return loss*, *VSWR*, dan *bandwidth* yang ditampilkan pada layar
5. Simpan hasil pengukuran

## 4.2.2 Hasil Pengukuran *Return Loss*, *VSWR* dan *Bandwidth*

### 1. Hasil Pengukuran Pada Kondisi Biasa



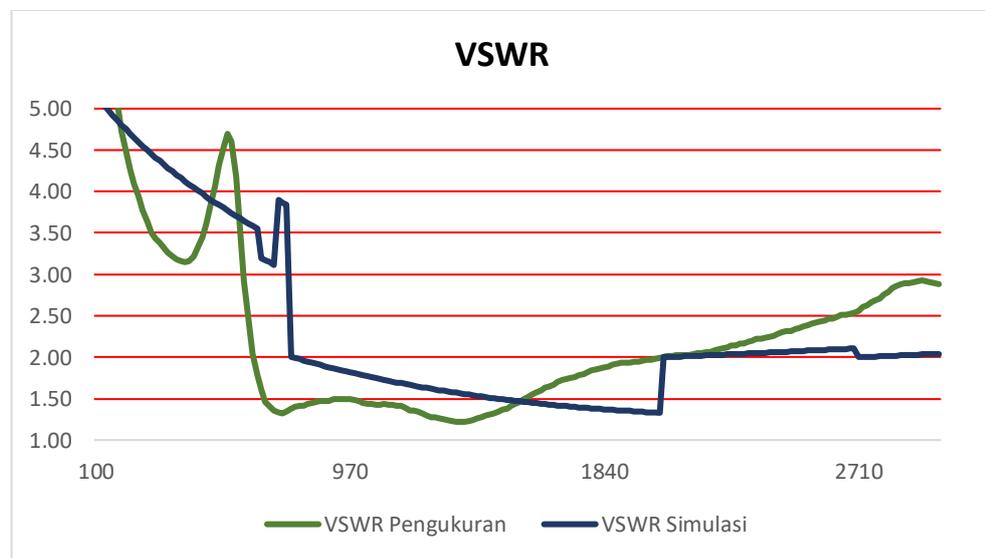
Gambar 4.3 Hasil *return loss* Pengukuran Antena Kondisi Biasa

Pada Gambar 4.3 ditunjukkan bahwa ketika antenna diukur pada kondisi biasa, antenna dapat bekerja dengan baik pada frekuensi 900 - 1800 MHz. Hal tersebut dibuktikan dengan hasil pengukuran yang sudah memenuhi karakteristik yang telah ditentukan. Berdasarkan pengukuran diperoleh nilai *return loss* pada frekuensi tengah sebesar -20.117 dengan *VSWR* 1.2189, sedangkan hasil simulasi yang didapatkan memiliki nilai *return loss* sebesar -23.947 dengan *VSWR* bernilai 1.135. Adanya perbedaan hasil simulasi dan pengukuran dikarenakan pabrikan antenna yang dilakukan manual sehingga terdapat nilai dimensi antenna yang tidak sesuai dengan hasil optimasi. Selain itu, dikarenakan konektor yang tidak dapat terpasang dengan kuat pada antenna maka terjadi *mismatch loss* yang menyebabkan sebagian daya yang dikirim mengalami pemantulan. Hal ini yang menyebabkan naiknya nilai *return loss* dan *VSWR*. Persentase *bandwidth* yang diperoleh berdasarkan hasil pengukuran adalah 92.59 % dan bernilai lebih besar dibandingkan dengan simulasi yang memiliki persentase *bandwidth* 89.18 %.

Perbandingan hasil VSWR pengukuran dan simulasi disajikan pada Tabel 4.1 sebagai berikut :

**Tabel 4.1 Perbandingan Hasil Simulasi dan Pengukuran VSWR**

Frekuensi	VSWR	
	Simulasi	Pengukuran
900 MHz	1.32	1.47
1350 MHz	1.13	1.21
1800 MHz	1.82	1.84



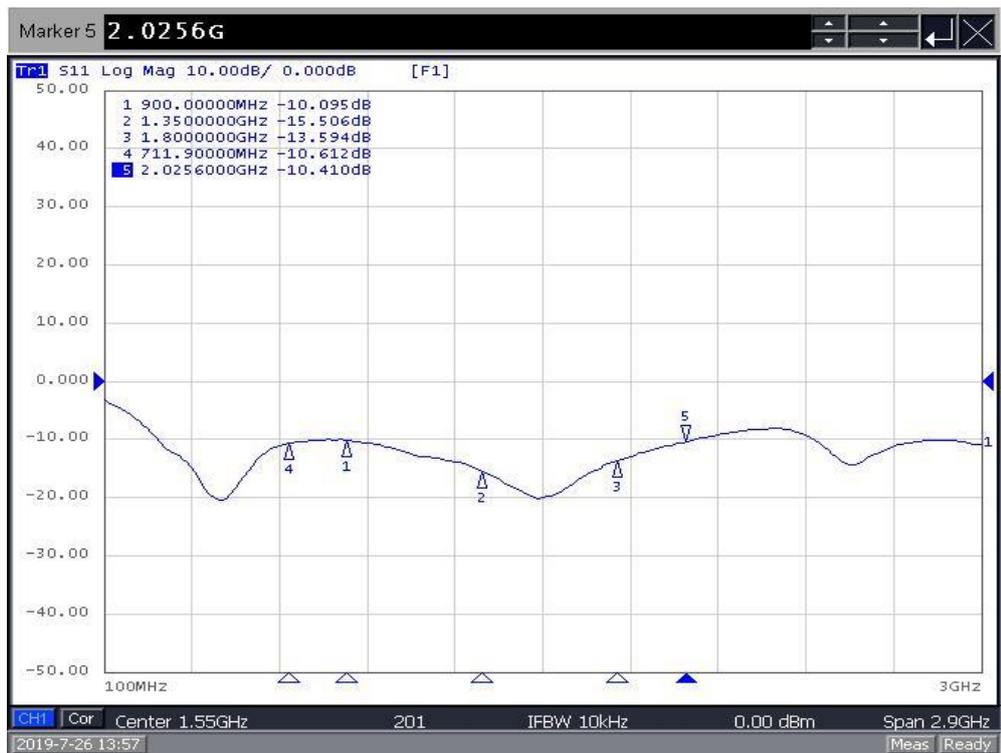
**Gambar 4.4 Grafik hasil simulasi dan pengukuran**

## 2. Hasil Pengukuran On Body

- Lengan



Gambar 4.5 Pengukuran On Body (Lengan)



Gambar 4.6 Hasil Pengukuran On Body (Lengan)

- Dada



Gambar 4.7 Pengukuran On Body (Dada)



Gambar 4.8 Hasil Pengukuran On Body (Dada)

- Punggung



Gambar 4.9 Pengukuran On Body (Punggung)

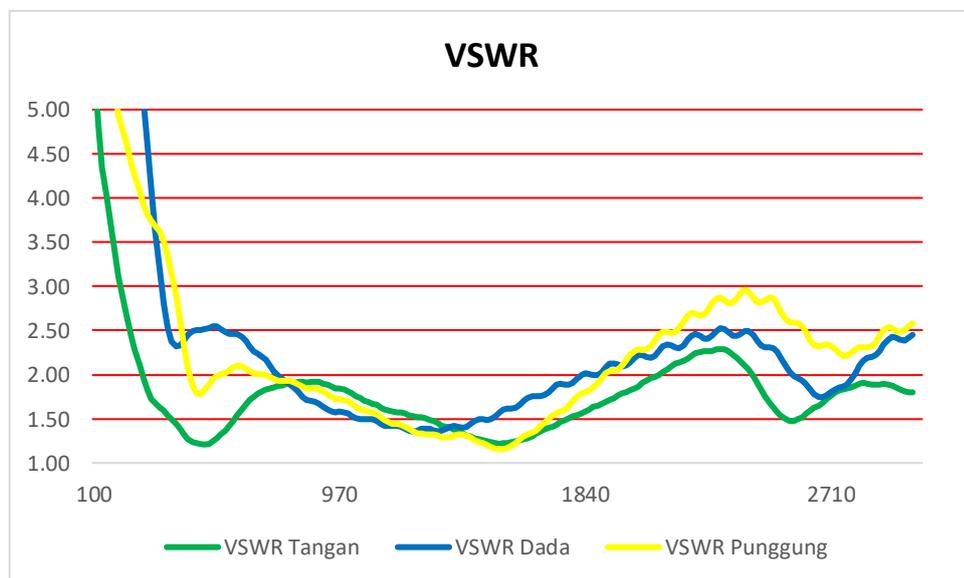


Gambar 4.10 Hasil Pengukuran On Body (Punggung)

Perbandingan hasil VSWR pengukuran dan simulasi disajikan pada Tabel 4.1 sebagai berikut :

**Tabel 4.2 Perbandingan Hasil Pengukuran On Body VSWR**

Frekuensi	VSWR		
	Lengan	Punggung	Dada
900 MHz	1.91	1.82	1.6
1350 MHz	1.4	1.28	1.39
1800 MHz	1.52	1.71	1.92



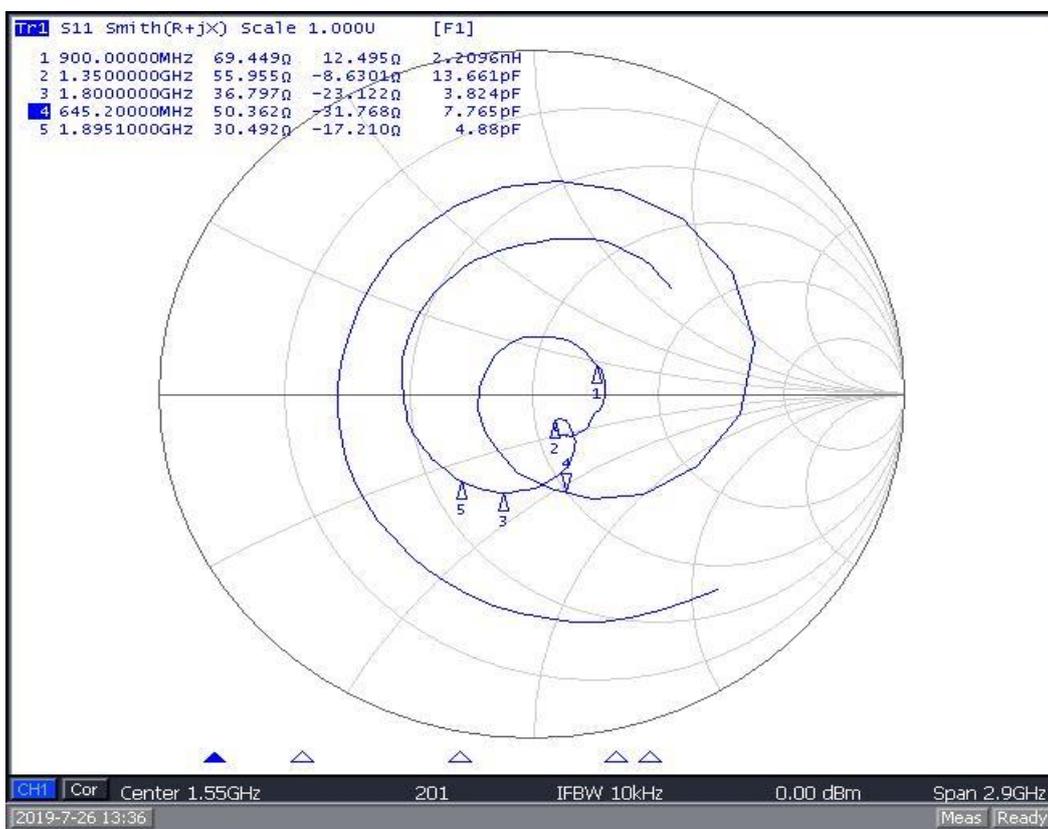
**Gambar 4.11 Grafik Pengukuran On Body**

Gambar 4.11 menunjukkan hasil grafik pengukuran pada saat antenna ditempelkan pada bagian tubuh manusia yaitu pada tangan, dada dan punggung. Melalui pengukuran tersebut, antenna dapat bekerja pada rentang frekuensi berbeda beda, pada pengukuran lengan dapat bekerja pada frekuensi 711 -2025 MHz, kemudian pada pengukuran dada dapat bekerja pada frekuensi 781 – 1800 MHz dan pada pengukuran punggung dapat bekerja pada frekuensi 804 – 1886 MHz. Dimana dapat kita lihat pada grafik penurunan lebar bandwidth ketika antenna diletakkan pada posisi hampir datar seperti dada dan punggung, sedangkan pada posisi sedikit melengkung pada lengan bandwidth yang di dapatkan sedikit lebih lebar . Persentase *bandwidth* yang dihasilkan saat kondisi *on-body* secara berturut-turut adalah 83.3%, 80.14%, dan 75.48%,. Sedangkan untuk hasil VSWR jika dilihat pada frekuensi rendah yaitu 900 MHz terdapat penurunan nilai VSWR dikarenakan peletakkan antenna pada

lengan pun mengubah pendistribusian medan dekat antenna sehingga mempengaruhi impedansi input antenna. Nilai impedansi input yang tidak stabil menyebabkan terjadinya *mismatch* pada saluran transmisi sehingga akan berpengaruh pada nilai VSWR. Begitupun pada frekuensi tengah dan tinggi yaitu 1350 MHz dan 1800 MHz dimana terjadi peningkatan nilai VSWR yang signifikan.

#### 4.3.4 Hasil dan Analisis Pengukuran Impedansi

Impedansi disini menunjukkan seberapa cocok atau *match* antara antenna dengan saluran. Berikut Gambar 4.12 merupakan impedansi hasil pengukuran :



**Gambar 4.12 Hasil pengukuran impedansi dalam bentuk *smithchart***

Berdasarkan hasil pengukuran menggunakan *Network Analyzer*, nilai impedansi antenna yang didapatkan yaitu :

- 900 MHz adalah sebesar  $69.449 - j12.495 \Omega$
- 1350 MHz adalah sebesar  $55.955 - j8.6301 \Omega$
- 1800 MHz adalah sebesar  $36.797 - j23.122 \Omega$
- 645 MHz adalah sebesar  $50.362 - j31.768 \Omega$
- 2.4 GHz adalah sebesar  $30.492 - j17.210 \Omega$

Nilai impedansi antena yang ideal adalah  $50 \Omega$  dimana pada kondisi tersebut nilai  $VSWR = 1$  yang artinya terjadi pantulan daya yang sangat kecil. Kondisi yang tidak *match* antara antena dengan saluran transmisi dapat mempengaruhi koefisien pantul dan  $VSWR$ . Semakin tidak sepadan atau *match* antara impedansi antena dengan impedansi saluran transmisinya, maka nilai koefisien pantul akan semakin besar dan menyebabkan nilai  $VSWR$  juga semakin besar. Kondisi tidak *matching* dapat menyebabkan daya yang diterima akan dipantulkan kembali.

#### 4.4 Pengukuran Medan Jauh (*Far Field*)

##### 4.4.1 Prosedur Pengukuran

Pengukuran medan jauh berupa pola radiasi, polarisasi, dan *gain*. Alat ukur yang digunakan untuk pengukuran medan adalah sebagai berikut :

a) *Keysight Spectrum Analyzer*

*Keysight Spectrum Analyzer* merupakan alat yang digunakan untuk mengetahui besar dari level daya terima dari antena yang kita ukur..

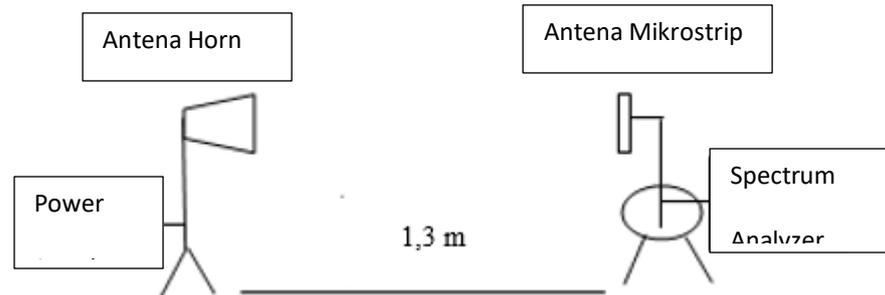
b) *Signal Generator* tipe GA1484B (9 KHz – 40 GHz)

Alat ukur ini digunakan sebagai sumber sinyal *generator* yaitu alat yang dapat menghasilkan atau membangkitkan gelombang. *Signal generator* dihubungkan dengan antena *horn* yang berfungsi sebagai peradiasi.

Langkah-langkah dalam pengukuran pola radiasi dan polarisasi antara lain :

7. Antena pemancar dihubungkan ke *signal generator*, kemudian *Antenna Under Test* (AUT) dihubungkan ke *Keysight Spectrum Analyzers* yang akan menampilkan hasil pengukuran.
8. AUT diletakkan pada jarak 1,3 m dari antena pemancar.
9. *Signal generator* dinyalakan pada frekuensi kerja AUT dan amplitudonya 0,0 dBm serta pada *Keysight Spectrum Analyzers* di *setting* pada frekuensi yang sama dengan AUT.
10. Untuk pengukuran pola radiasi AUT diputar secara Azimut ( $0^0$ ) per  $10^0$  sampai  $360^0$  dan kemudian AUT diputar secara elevasi ( $90^0$ ) per  $10^0$  sampai  $360^0$  sedangkan pengukuran polarisasi hanya AUT diputar secara Azimut ( $0^0$ ) per  $10^0$  sampai  $360^0$

11. Dilakukan pencatatan level daya terima yang terbaca pada *Keysight Spectrum Analyzers*.



**Gambar 4.13 Konfigurasi pengukuran medan jauh antenna**

Sedangkan untuk pengukuran *gain* langkah-langkahnya sebagai berikut:

- Antena uji ditempatkan sebagai penerima dihubungkan dengan *Keysight Spectrum Analyzers* yang akan menerima daya pancaran dari antenna pemancar yang dihubungkan dengan *signal generator*.
- Jarak antara antenna uji dengan antenna pemancar 1,3 m. Antena pemancar yang digunakan adalah antenna *horn* dengan frekuensi kerja 700 MHz – 18 GHz.
- Atur frekuensi pada *signal generator* dan *Keysight Spectrum Analyzers* sesuai frekuensi kerja antenna uji. Kemudian catat daya terima antenna uji.
- Hitung gain antenna hasil pengukuran dengan persamaan berikut :

dimana:

$G_{AUT(dBi)}$  : gain antenna yang dikur

$P_{AUT(dBm)}$  : level daya terima AUT

$P_{REF(dBm)}$  : level daya terima antenna referensi

#### 4.5 Pengukuran *Gain*

*Gain* antenna didefinisikan sebagai perbandingan antara intensitas radiasi maksimum suatu antenna terhadap intensitas radiasi maksimum antenna referensi dengan daya input sama. Pada pengukuran *gain* penulis menggunakan metode tiga buah antenna. Antenna yang digunakan adalah antenna dua buah antenna referensi *Horn* dan antenna uji mikrostrip.

Berikut *gain* hasil pengukuran pada frekuensi kerja dari 900 -1800 MHz dengan kondisi normal (*off body*) :



**Gambar 4.14** Pengukuran medan jauh antena

1. *Gain* 900 MHz

Tabel 4.1 Hasil Pengukuran *Gain* 900 MHz

<b>Pengukuran ke-</b>	<b>Level Daya (-dBm)</b>
<b>1</b>	33.12
<b>2</b>	33.15
<b>3</b>	34.28
<b>4</b>	34.33
<b>5</b>	33.40
<b>Rata-rata</b>	33.65
<b><i>Gain</i> (dBi)</b>	1.34

## 2. Gain 1350 MHz

Tabel 4.2 Hasil Pengukuran *Gain 1350 MHz*

Pengukuran ke-	Level Daya (-dBm)
1	33.90
2	33.50
3	33.42
4	34.85
5	34.01
<b>Rata-rata</b>	33.93
<b>Gain (dBi)</b>	4.06

## 3. Gain 1800 MHz

Tabel 4.3 Hasil Pengukuran *Gain 1800 MHz*

Pengukuran ke-	Level Daya (-dBm)
1	33.02
2	34.14
3	34.74
4	34.88
5	35.33
<b>Rata-rata</b>	34.42
<b>Gain (dBi)</b>	1.87

Berikut Tabel 4.4 menyajikan *gain* hasil simulasi dan pengukuran, sebagai berikut

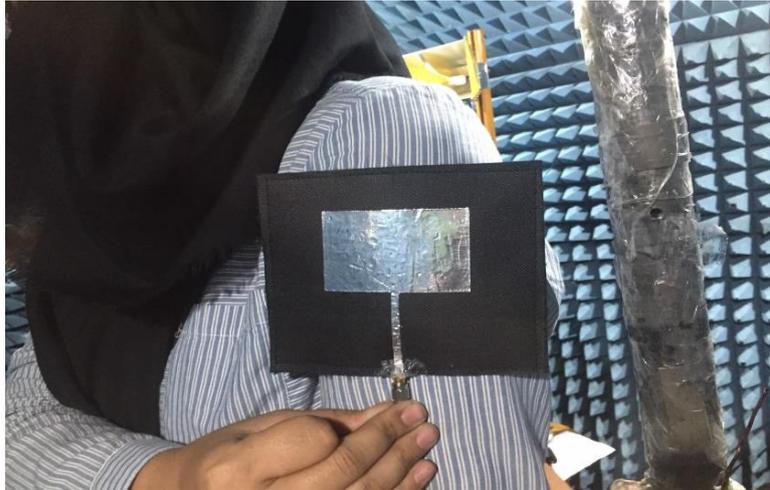
**Tabel 4.4 Perbandingan Hasil Simulasi dan Pengukuran *Gain***

Frekuensi (MHz)	<i>Gain</i> (dBi)	
	Simulasi	Pengukuran
900	3.73	1.34
1350	4.74	4.06
1800	3.80	1.87

Dari Tabel 4.4. dapat dilihat bahwa *gain* yang dihasilkan pada simulasi memiliki perbedaan dengan *gain* hasil dari pengukuran realisasi antenna. Hal ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor diantaranya adalah :

1. Kondisi antena referensi yang kurang ideal
2. Fabrikasi antena yang tidak se-ideal dibandingkan dengan yang disimulasikan, serta pemasangan konektor yang kurang kuat.
3. Kondisi pengukuran yang kurang ideal.

Berikut *gain* hasil pengukuran pada frekuensi kerja dari 900 -1800 MHz dengan kondisi normal (*On body*) :



**Gambar 4.15** Pengukuran *gain On body* lengan

#### 4. *Gain* 900 MHz

Tabel 4.1 Hasil Pengukuran *Gain 900 MHz*

<b>Pengukuran ke-</b>	<b>Level Daya (-dBm)</b>
<b>1</b>	30.64
<b>2</b>	32.70
<b>3</b>	34.96
<b>4</b>	35.20
<b>5</b>	35.90
<b>Rata-rata</b>	34.08
<b><i>Gain</i> (dBi)</b>	0.91

## 5. Gain 1350 MHz

Tabel 4.2 Hasil Pengukuran Gain 1350 MHz

Pengukuran ke-	Level Daya (-dBm)
1	33.21
2	34.14
3	34.70
4	34.67
5	34.09
<b>Rata-rata</b>	34.16
<b>Gain (dBi)</b>	3.83

## 6. Gain 1800 MHz

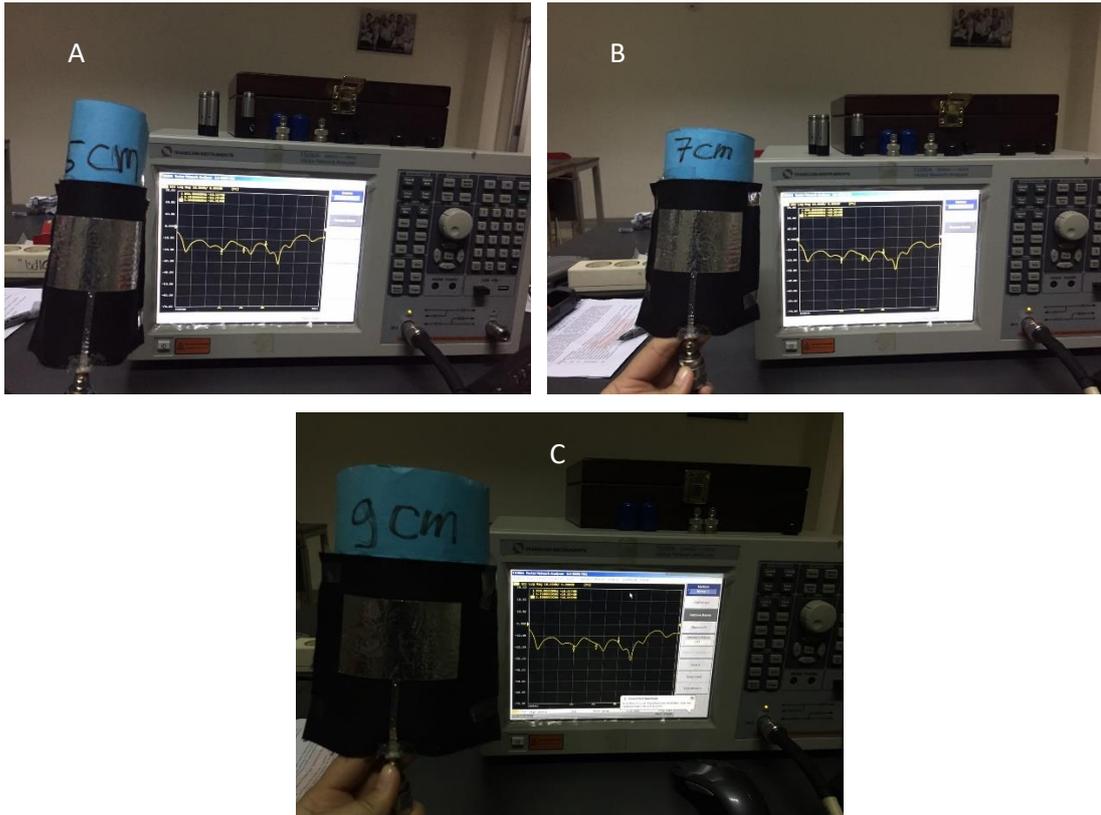
Tabel 4.3 Hasil Pengukuran Gain 1800 MHz

Pengukuran ke-	Level Daya (-dBm)
1	33.32
2	34.78
3	34.25
4	34.90
5	35.22
<b>Rata-rata</b>	34.49
<b>Gain (dBi)</b>	1.8

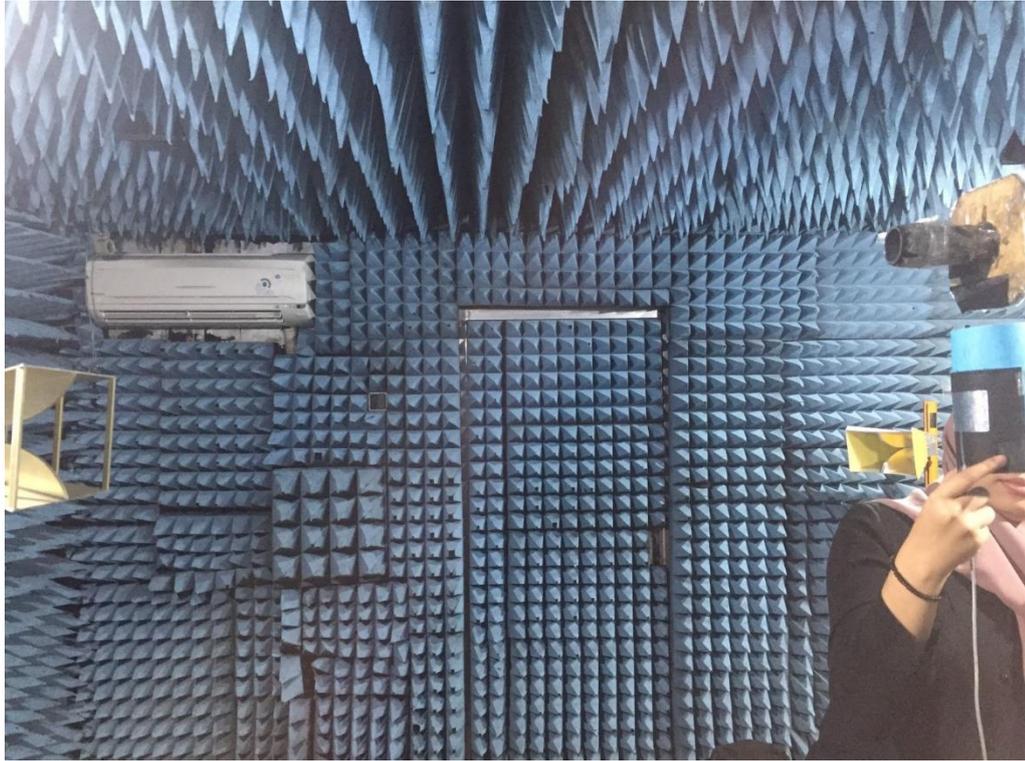
Berdasarkan hasil pengukuran gain pada kondisi *on body* lengan pada frekuensi 900 MHz, diperoleh nilai gain sebesar 0.91 dBi, frekuensi 1350 diperoleh 3.83 dBi serta pada frekuensi 1800 diperoleh gain sebesar 1.8 dBi. Hasil pengukuran tersebut mengalami penurunan secara bereturut-turut sebesar 0.43 dB, 0.23 dB dan 0.07 dB dari nilai gain pada kondisi biasa. Adanya penurunan nilai gain dibandingkan dengan pengukuran pada saat kondisi biasa dikarenakan terganggunya pendistribusian medan dekat pada saat antenna diletakkan pada lengan sehingga terjadi mismatch pada impedansi input dan menyebabkan loss daya yang lebih besar. Selain itu, adanya sebagian daya yang diserap oleh tubuh pun menyebabkan daya yang seharusnya diterima antenna semakin berkurang. Hal ini mengakibatkan efisiensi kerja antenna menurun, sehingga nilai gain yang dihasilkan pun ikut menurun karena nilai efisiensi berbanding lurus dengan nilai gain.

#### 4.6 Pengujian Fleksibilitas Antena

Antena tekstil memiliki sifat fleksibel, sehingga dapat ditekuk. Untuk membuktikan fleksibilitas antena, pada Proyek Akhir ini diukur nilai medan dekat dan medan jauh antena saat ditempelkan pada tabung yang dibuat dari bahan karton dengan ukuran diameter 5 cm, 7 cm, dan 9 cm. Pemilihan ukuran tabung berdasarkan ukuran lengan manusia [16]. Pada Gambar 4.15 dan Gambar 4.16 ditunjukkan mekanisme pengukuran yang dilakukan pada saat medan dekat dan medan jauh antena .



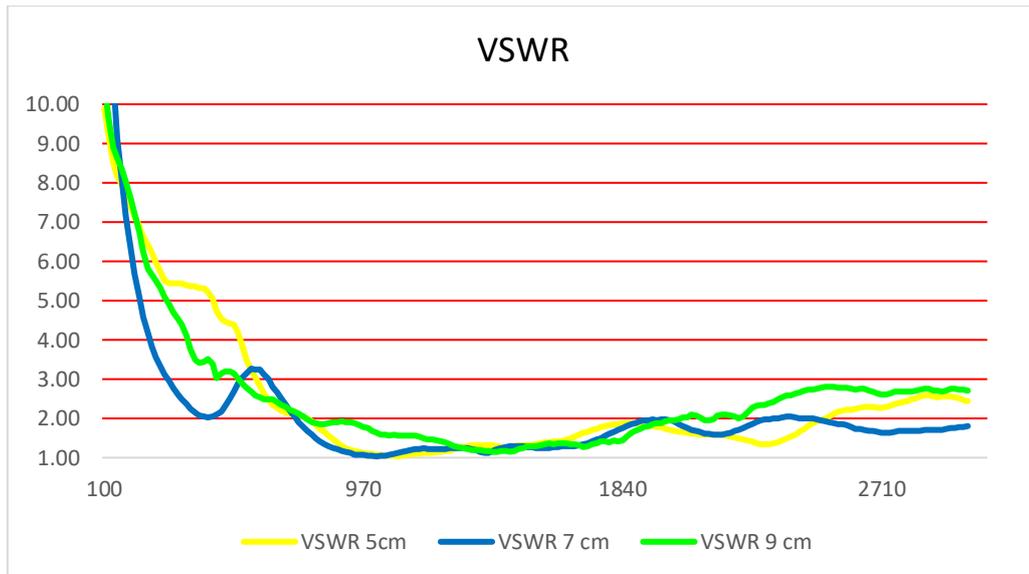
Gambar 4.15 Pengukuran Medan Dekat Antena Tekstil (a) 5cm (b) 7cm (c) 9cm



**Gambar 4.16 Pengukuran Fleksibilitas Medan Jauh Antena Tekstil**

**Tabel 4.7 Hasil Pengujian Fleksibilitas Antena**

Parameter	PENGUKURAN BENDING								
	5 CM			7 CM			9 CM		
	900 MHz	1350 Mhz	1800 Mhz	900 MHz	1350 Mhz	1800 Mhz	900 MHz	1350 Mhz	1800 MHz
RL	-17.937	-17.071	-10.607	-20.423	-21.677	-12.456	-10.061	-20.721	-15.6
VSWR	1.29	1.32	1.83	1.16	1.18	1.62	1.91	1.2	1.39
Gain	1.32 dB	3.34 dB	1.34 dB	4.35 dB	4.37 dB	2.02 dB	4.57 dB	5.49 dB	3.05 dB
Bandwidth	1080 MHz			1117 MHz			1143 MHz		



**Gambar 4.17 Perbandingan VSWR pada saat bending**

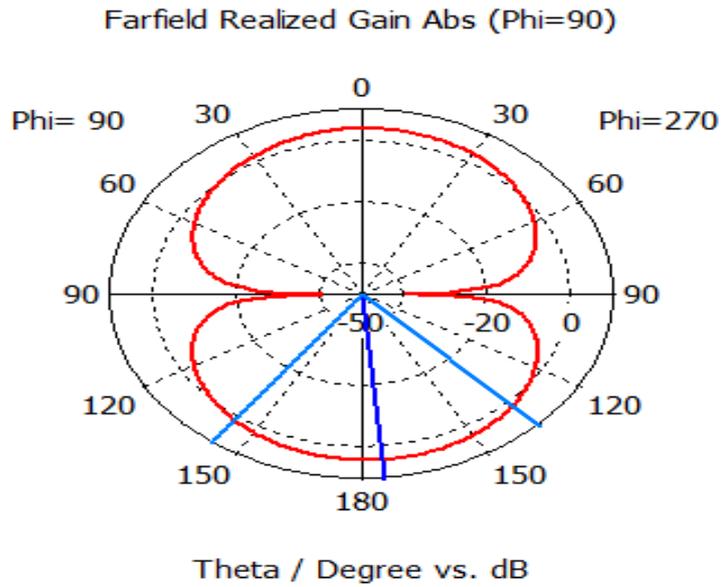
Dapat dilihat dari table dan grafik hasil pengukuran dengan bending untuk melihat hasil dari fleksibilitas antenna terjadi penurunan lebar bandwidth dari diameter tabung yang paling besar yaitu dari 9 cm, 7 cm dan 5 cm dengan presentase lebar bandwidth secara berturut turut turun dari 84.6 %, 82.7% dan 80 %. Hal tersebut disebabkan karena bentuk patch dan feed antenna yang mengecil karena nyaris menyesuaikan bentuk dari tabung. Pada nilai VSWR juga mengalami peningkatan sehingga dapat dinyatakan bahwa daya yang dipantulkan semakin besar sehingga mempengaruhi daya terima dari antenna. Ketika ditekuk (*bending*) luas patch pada antenna akan ikut mengecil/menyempit, sehingga menyebabkan hilangnya sebagian daya terima pada antenna, hal ini pun juga ikut menjadi penyebab dari nilai *gain* yang semakin kecil.

#### 4.5 Hasil dan Analisis Pengukuran Pola Radiasi

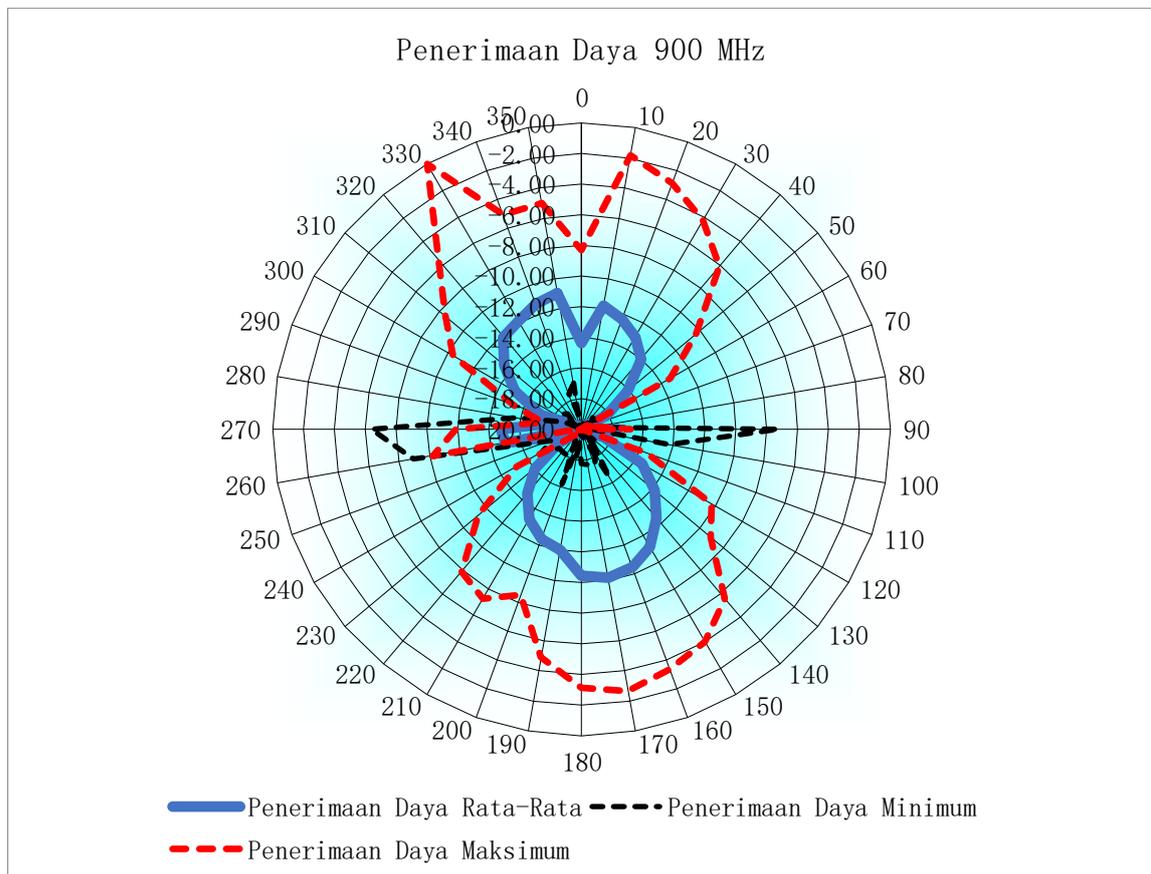
Pola radiasi antenna merupakan representasi dari perbandingan level daya yang keluar dari antenna dalam berbagai arah. Pola radiasi antenna diukur pada daerah medan jauh antenna, karena pada daerah tersebut gelombang elektromagnetik yang terpancar bersifat *transversal* penuh dan antenna tidak dipengaruhi oleh benda-benda disekelilingnya. Pola radiasi diukur dengan meletakkan posisi antenna secara vertical (secara *azimuth*).

##### 4.5.1 Pengukuran Pola Radiasi Frekuensi 900 MHz

Hasil simulasi dan pengukuran dapat dilihat pada Gambar 4.18. untuk bagian (a) adalah hasil dari pola radiasi simulasi dan bagian (b) adalah hasil pengukuran.



(a)

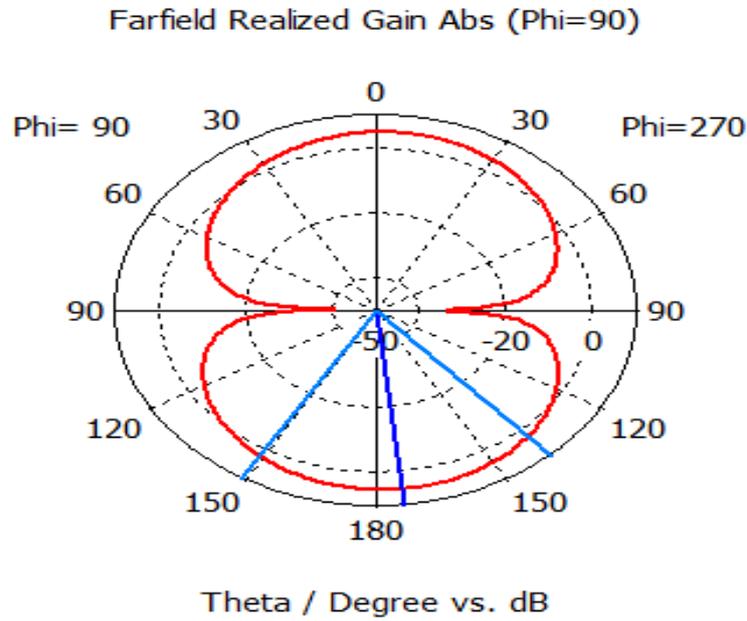


**Gambar 4.18 Pola Radiasi Hasil Pengukuran dan Simulasi (a) Simulasi (b) Pengukuran**

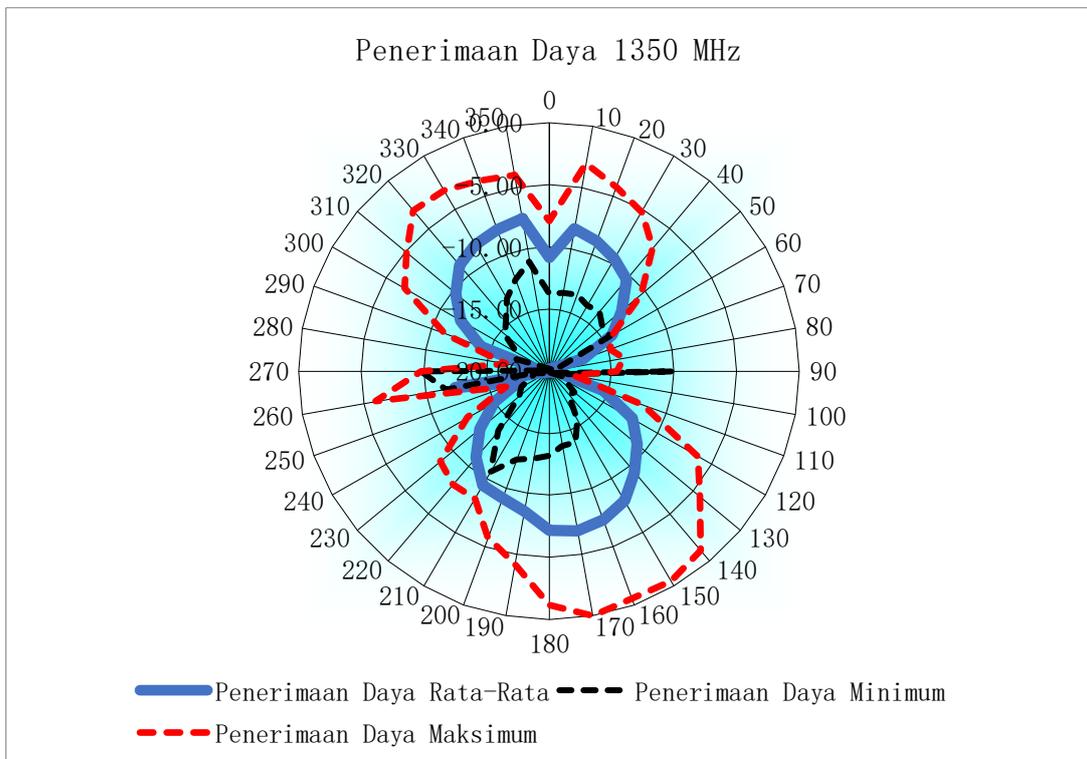
Hasil simulasi secara *azimuth* menunjukkan pola radiasi bidireksional namun hasil pengukuran menunjukkan pola radiasi yang sama yaitu bidireksional. Hasil pengukuran sudah sesuai dengan spesifikasi.

#### 4.5.2 Pengukuran Pola Radiasi Frekuensi 1350 MHz

Hasil simulasi dan pengukuran dapat dilihat pada Gambar 4.19. untuk bagian (a) adalah hasil dari pola radiasi simulasi dan bagian (b) adalah hasil pengukuran.



(a)



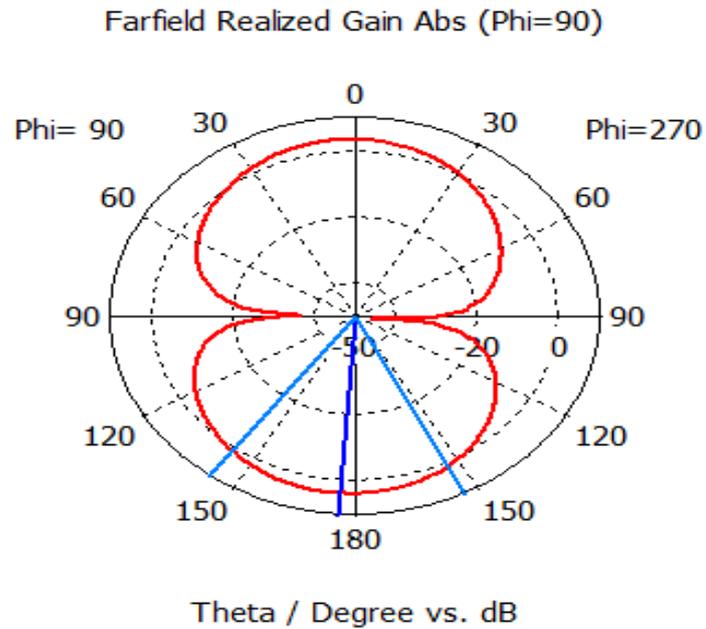
(b)

Gambar 4.19 Pola Radiasi Hasil Pengukuran dan Simulasi (a) Simulasi (b) Pengukuran

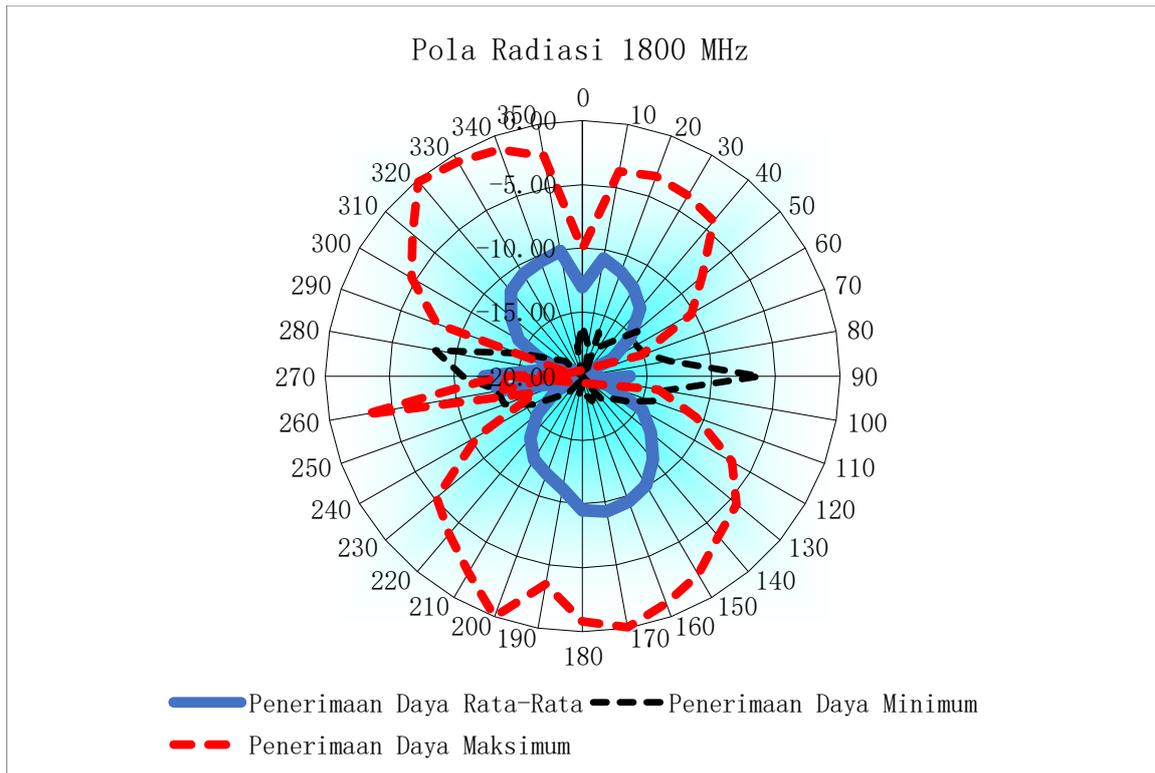
Hasil simulasi secara *azimuth* menunjukkan pola radiasi bidireksional begitupun pada hasil pengukuran menunjukkan pola radiasi bidireksional.. Hasil pengukuran sudah sesuai dengan spesifikasi.

#### 4.5.3 Pengukuran Pola Radiasi Frekuensi 1800 MHz

Hasil simulasi dan pengukuran dapat dilihat pada Gambar 4.20. untuk bagian (a) adalah hasil dari pola radiasi simulasi dan bagian (b) adalah hasil pengukuran.



(a)



(b)

**Gambar 4.20 Pola Radiasi Hasil Pengukuran dan Simulasi (a) Simulasi (b) Pengukuran**

Hasil simulasi secara *azimuth* menunjukkan pola radiasi bidireksional lalu pada hasil pengukuran menunjukkan hal yang sama yaitu berbentuk pola radiasi bidireksional. Hasil pengukuran sudah sesuai dengan spesifikasi.

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang didapat dari seluruh proses perancangan dan realisasi antena mikrostrip adalah sebagai berikut :

1. Penambahan teknik DGS (*Defected Groundplane Structure*) dapat memperlebar *bandwidth* pada antena tekstil.
2. Dengan menambahkan ketebalan kain dapat menghasilkan nilai gain yang baik.
3. Nilai VSWR hasil pengukuran *off body* pada frekuensi kerja berturut-turut 900 MHz, 1350 MHz, 1800 MHz adalah 1.47, 1.21, dan 1.84, 1.87. Lalu pada kondisi *on body* hasil pengukuran mengalami peningkatan VSWR dari kondisi *off body* yaitu pada frekuensi tengah pada bagian dada mendapat nilai VSWR 1.39 dan pada frekuensi 1800 dengan hasil 1.92. Sedangkan pada kondisi fleksibilitas antena menggunakan tabung juga mengalami peningkatan gain dari tabung berdimensi paling kecil.
4. *Bandwidth* yang didapatkan setelah pengukuran sebesar 1250 MHz, pada kondisi *on body* 1125 MHz (lengan), 1019 MHz (dada), 1082 MHz (punggung).
5. *Gain* yang didapatkan dari hasil pengukuran pada frekuensi kerja 900 MHz, 1.350 MHz, 1800 MHz adalah 1.87 dBi, 4.09 dBi, dan 2.29 dBi.
6. Pola radiasi yang diperoleh dari hasil pengukuran adalah *bidirectional*.
7. Perbedaan hasil simulasi dengan hasil pengukuran bisa saja terjadi dikarenakan beberapa faktor seperti kurang teliti pada fabrikasi, apalagi pada kasus antena tekstil substrat dan patch yang dipakai harus diukur dan dijahit sendiri bukan dicetak.

## 5.2 Saran

Untuk mendapatkan performansi antena yang lebih baik, ada beberapa hal yang dapat dijadikan saran sebagai pengembangan Proyek Akhir ini lebih lanjut, antara lain.

1. Menggunakan model atau bentuk lain dari metode DGS (*Defected Groundplane Structure*) dengan pola radiasi yang lebih banyak memiliki daya mengarah kedepan.
2. Mencoba jenis kain lain sebagai substratnya dan memiliki dimensi antena yang lebih kecil dari penelitian ini.
3. Memperhatikan ketelitian dalam pemasangan dan pemilihan konektor.
4. Dilakukan pabrikan yang lebih baik lagi, sehingga mendapat nilai spesifikasi yang lebih baik lagi dari simulasi.