

PERANCANGAN DAN REALISASI ANTENA MIKROSTRIP ARRAY PATCH SEGITIGA SAMA SISI UNTUK S-BAND TRANSMITTER SATELIT MIKRO

DESIGN AND REALIZATION OF MICROSTRIP ARRAY ANTENNA EQUILATERAL TRIANGULAR PATCHED FOR S-BAND TRANSMITTER MICROSATELLITE

¹M Faizal Ramadhan

²Dr. Ir. Heroe Wijanto, M.T.

³Agus Dwi Prasetyo, S.T., M.T.

^{1,2,3}Jurusan Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro – Universitas Telkom
Jl. Telekomunikasi 1, Dayeuhkolot Bandung 40257 Indonesia

¹ramadhan.faizal@gmail.com

²heroe.wijanto@gmail.com

³surel.adp@gmail.com

ABSTRAK

Perkembangan teknologi antariksa yang begitu pesat berperan serta pada perkembangan teknologi komunikasi satelit. Sebagai salah satu bentuk wahana pembelajaran, Telkom University mengembangkan riset teknologi satelit Satelit mikro yang berbasis satelit mikro yang digunakan untuk payload *Sythetic Aperture Radar (SAR)*. SAR merupakan instrument aktif gelombang mikro yang menggunakan prinsip kerja radar (*radio detection and ranging*) yang digunakan untuk memproduksi citra beresolusi tinggi dari permukaan bumi dalam segala kondisi. Data *image* tersebut dikirim melalui antena *S-Band Transmitter* ke stasiun bumi.

Antena mikrostrip adalah sebuah jenis antena ringan dengan volume yang kecil yang cocok dengan kebutuhan *S-Band transmitter* satelit mikro dilihat dari segi ketersediaan ruang yang terbatas. Konfigurasinya yang sederhana mempermudah proses perakitan dan penyesuaian dengan kondisi satelit mikro itu sendiri. Selain itu, antena mikrostrip juga mendukung jenis polarisasi sirkular yang akan berguna dalam mengatasi efek rotasi *Faraday* akibat putaran ion yang ada di atmosfer serta pola radiasi unidireksional untuk keperluan komunikasi *point to point* dengan stasiun bumi. Untuk mengatasi gain dan bandwidth rendah yang secara teoretis dimiliki, dalam tugas akhir ini dirancang antena mikrostrip secara array dengan menggunakan teknik *proximity coupled*. Guna mencapai polarisasi sirkular penelitian ini juga mengusulkan desain catuan dengan sub-feed orthogonal. Hasil perancangan disimulasikan dengan bantuan perangkat lunak bantu berbasis *Method of Moment (MoM)* dengan menggunakan bahan substrat *epoxy FR-4* dengan nilai $\mu_r = 4.3$.

Hasil pengukuran menunjukkan performansi antena dengan frekuensi tengah 2.35 GHz mendapatkan bandwidth impedansi 230 MHz untuk target return loss ≤ -10 dB, bandwidth axial ratio mencapai 32 MHz guna memenuhi prasyarat polarisasi sirkular, dan gain rata-rata 5.27 dBic. Sementara pola radiasi unidireksional dengan nilai HPBW azimuth 63.8° dan HPBW elevasi 89° .

Kata Kunci : satelit mikro, *S-Band Transmitter*, antena mikrostrip, antena array, *proximity coupled*

ABSTRACT

The rapid development of space technology affects the development of satellite communication technology. As learning mission, Telkom University developed technology research satellite microsatellite which used for payload Synthetic Aperture Radar (SAR). SAR is an active microwave instrument which has radar (radio detection and ranging) working principle to produce high resolution images of the surface of the earth in all conditions. The image data sent over by the S-Band transmitter to the ground station.

Microstrip antenna is a lightweight antenna types with small volumes that match the needs of the microsatellite's S-Band transmitter in terms of limited space availability. Simple configuration simplify the assembly process and the adjustment to the conditions of microsatellite itself. In addition, the microstrip antenna also supports the type of circular polarization that would be useful in overcoming the effects of Faraday rotation due to the rotation of ions present in the atmosphere as well as unidirectional radiation pattern for both point to point communications with the ground station. To cope with the low gain and bandwidth that is theoretically owned, in this thesis is designed as a microstrip antenna array using the proximity technique coupled supply. In order to achieve circular polarization of this study also proposes the design of a feed ration with sub-orthogonal. The results of the design is simulated with the help of assistive software-based Method of Moment (MoM) using epoxy substrate material FR-4 with a value of $\mu_r = 4.3$.

The measurement results show the performance of the antenna with the center frequency of 2:35 GHz gain bandwidth of 230 MHz for the target impedance return loss ≤ -10 dB axial ratio bandwidth up to 32 MHz in order to fulfill the prerequisites of circular polarization, and the average gain dBic 5.27. While unidirectional radiation pattern with a value of 63.8° azimuth HPBW and HPBW elevation 89°

Keywords: microsatellite, *S-Band transmitter*, microstrip antenna, array antenna, *proximity coupled*

1. Pendahuluan

Perkembangan teknologi antariksa yang begitu pesat berperan serta pada perkembangan teknologi komunikasi satelit. Dengan satelit, orang dapat saling berhubungan, tanpa mengenal jarak dan waktu, bahkan pada tempat yang terpencil sekalipun.

Telkom University sejak 2011 tergabung dalam INSPIRE (*Indonesian Nano-Satellite Platform Initiative for Research & Education*) yang bertujuan membangun dan mengembangkan platform teknologi satelit nano di kalangan perguruan tinggi di Indonesia. Pada kegiatan tersebut, Telkom University, melalui Fakultas Teknik Elektro berperan pada blok sistem *Remote Sensing Payload (RSPL)*, blok sistem yang berfungsi sebagai penangkap citra satelit, penyimpan dan pengirim data citra satelit. Dengan tanggung jawab tersebut sebuah riset kolaboratif dilakukan dengan menggandeng lab-lab terkait sejak tahun 2011. Dan roadmap riset pun dibuat untuk ditargetkan bisa terealisasi.^[15]

Misi kedua diantara tiga misi satelit yang dibentuk ialah satelit mikro dengan payload menggunakan sistem SAR (*Synthetic Aperture Radar*), yaitu sebuah penginderaan jarak jauh yang menggunakan teknologi radar *imaging*. Di blok diagram SAR tersebut, ada bagian blok antenna S-Band transmitter yang dibuat dalam tugas akhir ini.

Dalam tugas akhir ini, antenna yang diperuntukkan sebagai S-Band transmitter menggunakan jenis mikrostrip yang merupakan jenis antenna ringan dengan volume yang kecil yang cocok dengan kebutuhan satelit mikro. Konfigurasinya yang sederhana mempermudah proses perakitan dan penyesuaian dengan kondisi satelit mikro itu sendiri. Selain itu, antenna mikrostrip juga mendukung jenis polarisasi sirkular yang akan berguna dalam mengatasi efek rotasi *Faraday* akibat putaran ion yang ada di atmosfer serta pola radiasi unidireksional untuk keperluan komunikasi *point to point* dengan stasiun bumi.

2. Landasan Teori

Satelit adalah benda angkasa yang bergerak mengelilingi bumi sesuai orbitnya. Sistem komunikasi satelit dapat dikatakan sistem komunikasi dengan menggunakan satelit sebagai *repeater*. Satelit berfungsi sebagai repeater aktif dimana terjadi penguatan daya sinyal dan translasi frekuensi.

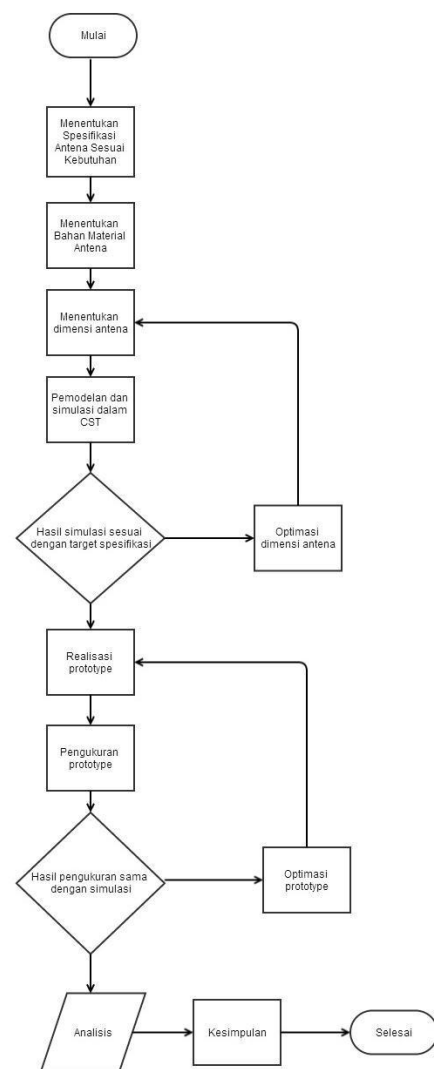
Satelit mikro sebagai objek dalam riset ini memiliki berat 50 kg dan akan mengorbit di orbit LEO, yaitu 700 km dari permukaan bumi. Sebagai payload nantinya adalah *Synthetic Aperture Radar (SAR)* yang merupakan instrument aktif gelombang mikro yang menggunakan prinsip kerja radar (*radio detection and ranging*) yang digunakan untuk memproduksi citra beresolusi tinggi dari permukaan bumi dalam segala cuaca baik dalam kondisi siang maupun malam. Perangkat ini memanfaatkan gerak

relatif antara perangkat pemindai terhadap obyek yang dipindai.

SAR bergerak dengan lintasan yang diketahui, dengan mengirim pulsa dan menerima gelombang hampur dari target. Sinyal yang diterima dari target dikombinasikan dengan pulsa kirim sedemikian rupa sehingga susunan antenna sintetis terbentuk. Kemudian sinyal-sinyal yang diterima oleh antenna SAR tersebut diolah ke dalam modul-modul atau perangkat SAR yang selanjutnya data *image* tersebut dikirim melalui antenna *S-Band Transmitter* ke stasiun bumi untuk diterima oleh perangkat *Software Defined Radio*.

3. Desain Dan Realisasi Sistem

Berikut adalah diagram blok dari pengerjaan tugas akhir ini



Gambar 3.1 Diagram blok pengerjaan Tugas Akhir

3.1 Penentuan Spesifikasi Antena

Dalam menentukan spesifikasi antena perlu diperhatikan kondisi yang akan dialami satelit selama beroperasi nanti. Spesifikasi antena ini disusun berdasarkan parameter kerja dari satelit mikro seperti *link budget*, orbit satelit, ketinggian, posisi stasiun bumi, dan lain-lain.

Spesifikasi yang dirancang pada penelitian ini antara lain:

3.1.1. Frekuensi Kerja dan Bandwidth

Untuk nilai dari frekuensi tengah adalah 2,35 GHz sesuai kesepakatan dalam roadmap pengembangan riset yang terlampir. Sementara untuk nilai bandwidth mengacu sesuai misi di dalam roadmap yaitu menggunakan 4 kamera, masing-masing 2 kamera untuk *imaging* dengan asumsi konsumsi bitrate total 4 Mbps untuk dan 2 camera untuk *thermal imaging* dengan bitrate total 32 Mbps sehingga total 36 Mbps. Spesifikasi selengkapnya dari kamera terlampir. Sistem modulasi yang digunakan adalah BPSK. Dan perhitungan bandwidth menggunakan persamaan berikut.

$$B = \frac{R}{m} \left[\frac{1}{1 - \rho} \right]$$

Dengan,

- R info = *information rate* (bps)
- m = jumlah bit dalam 1 simbol
- FEC = *forward error control*
- ρ = *roll of factor* ($0 \leq \rho \leq 1$)

3.1.2. Impedansi dan Return Loss

Pada perancangan antena ini, digunakan saluran transmisi yang memiliki impedansi $Z_0 = 50 \Omega$. Agar terjadi transfer daya maksimum pada antena yang dibuat, maka impedansi input dari antena mikrostrip (Z_A) harus *matching* dengan saluran transmisi

Sedangkan nilai dari return loss dapat dihitung menggunakan formula berikut.

$$RL = -20 \log_{10} |\Gamma| \tag{3.2}$$

$$|\Gamma| = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} \tag{3.3}$$

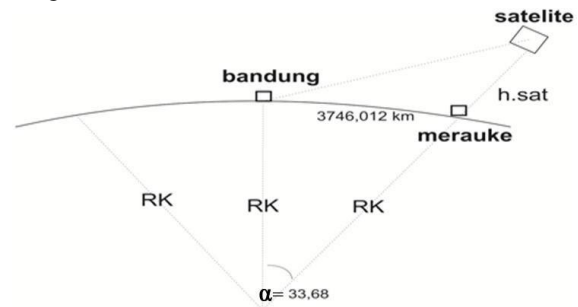
$$\tag{3.4}$$

Nilai RL tersebut dalam kondisi ideal sehingga koefisien refleksi (Γ) dianggap nol, namun hal itu tidak mungkin didapatkan. Sehingga ada *threshold* untuk mendapatkan RL bisa dikatakan *acceptable* yaitu -10.

3.1.3. Pola Radiasi dan Half-Power Beamwidth (HPBW)

Perancangan spesifikasi pola radiasi dan HPBW antena mikrostrip ini berdasarkan daerah (*foot-print*) yang harus dicakupi oleh satelit mikro. *Transmitter* RSPL satelit mikro akan aktif mengirim data saat memasuki daerah Indonesia, maka HPBW pada antena ini dirancang agar dapat memenuhi kebutuhan tersebut. Sedangkan komunikasi data

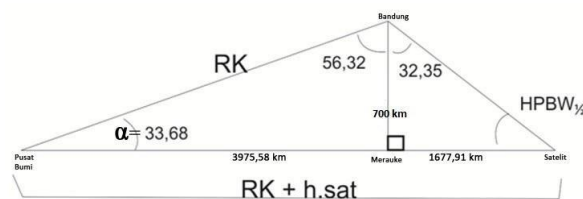
RSPL berjenis simpleks antara satelit mikro ke stasiun bumi, maka pola radiasi pada antena berjenis *uni-directional* yang mengarah ke permukaan bumi. Pada perancangan HPBW ini digunakan asumsi bahwa stasiun bumi akan didirikan di Bandung dan menggunakan kota Merauke sebagai titik acuan terjauh saat satelit mikro mulai masuk ke wilayah Indonesia. Jika jarak kota Bandung dan Merauke adalah 3746,012 km, maka bisa didapatkan data sebagai berikut :



Gambar 3.2 Gambaran Orbit Satelit Mikro

- $R = 6370$ km (jari-jari bumi)
- $K = \frac{3}{4}$ (faktor kelengkungan bumi daerah Indonesia)
- $h.sat = 700$ km (ketinggian satelit mikro)

$$\tag{3.5}$$



Untuk mencari nilai HPBW yang dibutuhkan, dapat digunakan pendekatan trigonometri seperti pada Gambar 3.3. Sehingga didapat nilai HPBW menggunakan formula :

$$\tag{3.6}$$

Karena ditargetkan pola radiasi dari antena adalah unidireksional maka arah mainlobe ditargetkan pada atau sumbu z positif .

3.1.4. Polarisasi

Polarisasi yang dirancang untuk antena ini adalah sirkular. Pertimbangan menggunakan polarisasi jenis ini untuk mengurangi *Polarization Loss Factor* (PLF) yang terjadi karena efek rotasi faraday dari gelombang elektromagnetik selama dilewatkan melalui lapisan atmosfer dari satelit mikro menuju stasiun bumi. Sedangkan untuk jenis

polarisasi sirkular dipilih LHCP menyesuaikan kondisi yang ada di dalam *roadmap planning riset*.

3.1.5. Gain

Nilai gain dari antenna dihitung menggunakan perhitungan link budget yang dengan menghitung dari rencana power yang akan dipancarkan ke satelit dari stasiun bumi untuk mendapatkan suatu nilai C/N total dari suatu link dengan memperhatikan datasheet referensi produk yang dilampirkan.

Dalam perhitungan link budget ini besarnya power yang dipancarkan akan tergantung dari : jenis carrier, ukuran antena penerima, karakteristik satelit, lokasi stasiun bumi dan layanan yang diharapkan. Hasil perhitungan link budget yang selengkapnya dilaporkan dalam lampiran meliputi :

1. Effective isotropic radiated power (EIRP)

$$(3.7)$$

Dengan,

- P_{TX} = daya keluaran dari satelit mikro (dBm)
- L_{feeder} = *loss* saluran transmisi (dB)
- G_T = *gain* antena S-Band transmitter (dBi)
- C_g = coding gain (dB)

2. Coverage Angle

$$[(\frac{R}{R+h})^2 - (\frac{R}{R+h})^2 \cos^2(\theta)]^{1/2} = R \sin(\theta) \quad (3.8)$$

Dengan,

- R = 6370 km (jari-jari bumi)
- K = $\frac{3}{4}$ (faktor kelengkungan bumi daerah Indonesia)
- h_{sat} = 700 km (ketinggian satelit mikro)
- E = sudut elevasi (0° - 180°)

3. Slant Range (D)

$$\sqrt{R^2 + (R+h)^2 - 2R(R+h)\cos(\theta)} \quad (3.9)$$

Dengan,

- h = jarak permukaan bumi sampai dengan satelit (7070 km)

4. Free space loss (FSL)

$$(3.10)$$

Dengan,

- D = jarak / *slant range* (Km)
- f = frekuensi (MHz)

5. Atmosphere loss

6. Path loss

- G_{SB} = Gain stasiun bumi (dB)
- LNA = Penguatan dari LNA (dB)

8. Total Carrier (C)

$$(3.14)$$

9. Temperatur Total (T_{tot})

$$[(\frac{P_{tot}}{kT_{tot}}) - 1] \quad (3.15)$$

Dengan,

- NF_{LNA} = Noise Figure LNA (dB)
- T_{atm} = Temperatur atmosfer (0K)

10. Thermal Noise (T_N)

$$(kT) \quad (3.16)$$

11. Noise Density (N)

$$(3.17)$$

12. C/No

$$(3.18)$$

13. Data Rate

$$(3.19)$$

14. C/N Required (C/N_{req})

$$(3.20)$$

3.1.6. Hasil Penentuan Spesifikasi Antena

Dari perhitungan link budget dan referensi, serta mengacu kebutuhan sistem, maka spesifikasi antenna dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Frekuensi tengah : 2,35 GHz (S-Band)
2. Bandwidth : 32 MHz
3. Return Loss : ≤ -10 dB
4. Pola Radiasi : *Unidirectional*
5. Polarisasi : *Left Handed Circularly Polarized* (LHCP)
6. HPBW : $\geq 45.29^\circ$ dengan arah mainlobe pada 0°
7. Gain : ≥ 6 dBic

(P_L)

7. EIRP Stasiun Bumi ($EIRP_{SB}$)

Dengan,

(3.11) (3.12)

(3.13)

**3.2. Pene-
ntuan
n
Jenis
Bah-
an**

K

are
na
fun
gsi
ny
a
seb
aga
i
ele
me
n
per
adi
asi
ya
ng
me
rad
iasi
gel
om
ba
ng
ele
ktr
om
ag
net
ik
*pat
ch*
bia
san
ya
ter
bu
at
dar
i
lap
isa
n
log
am
ko
nd
ukt
or
sep
erti
te
mb
ag

a atau emas. Namun untuk mengantisipasi apabila antenna diproduksi masal biasanya digunakan material tembaga yang lebih murah. Untuk bentuk patch dipilih segitiga sama sisi, pertimbangannya bentuk patch segitiga memiliki ukuran yang lebih kecil daripada patch persegi atau lingkaran untuk frekuensi yang sama^[9]. Dengan kebutuhan ruang yang

terbatas pada satelit maka patch segitiga menjadi pilihan yang tepat. Sementara penelitian lainnya [1] [C:\Users\7\AppData\Roaming\Microsoft\Word\Referensi Buku TA\13750-53314-1-PB 2.pdf](#) juga menyatakan bahwa *side lobe level* pada patch segitiga juga bisa lebih ditekan sehingga lebih efisien, khususnya apabila disusun secara *array*

Sementara untuk material substrat dipilih Epoxy FR-4 dengan koefisien dielektrik 4,3 dan ketebalan 1,6 berdasarkan ketersediaan di pasaran, harga, serta ketebalan dan koefisien dielektriknya tergolong menengah, meski bukan yang terbaik namun tidak buruk.

Sementara groundplan karena fungsinya sebagai reflektor gelombang elektromagnetik biasanya terbuat dari bahan logam konduktor seperti tembaga, perak, atau emas. Material tembaga yang lebih murah dan mudah didapatkan menjadi pilihan.

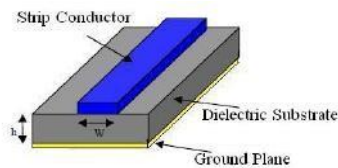
3.3. Model Perancangan

Analisis microstrip patch antenna dapat dilakukan dengan menggunakan tiga model-model antenna: model saluran transmisi (*transmission line*

model), model rongga (*cavity model*) dan model gelombang penuh (*full wave model*) yang berbasis *method of moment (MoM)*. Model pertama adalah yang paling sederhana dari semua dan kurang akurat. Model rongga lebih akurat, sehingga lebih kompleks dibandingkan dengan model saluran transmisi, dan memberikan gambaran fisik yang baik. *MoM* paling akurat dan kompleks dari semua model dan dapat menganalisis dari satu elemen, hingga array antenna yang tak terbatas, atau bentuk elemen sesuai keinginan.

3.6.1 Transmission Line Model

Dalam model ini, antenna microstrip diwakili oleh dua slot lebar *W* dan ketinggian *h*, dipisahkan oleh garis transmisi panjang *L*. Seperti terlihat pada Gambar 3.3, antenna microstrip terdiri dari sepasang permukaan konduktif paralel memisahkan dielektrik media yang disebut substrat.



Gambar 3.3 Parameter geometris microstrip line

Untuk mikrostrip patch segitiga, ukuran sisi segitiga secara umum dapat dihitung menggunakan formula :

$$\text{--- (3.21)}$$

antena microstrip akan terlihat yang lebih luas secara elektrik dibandingkan dengan dimensi fisiknya. Luasan daerah yang terkena *fringing effect* adalah fungsi dari dimensi patch dan ketebalan. Semakin tebal substrat, semakin besar pula daerah *fringing*. Seperti yang ditunjukkan di gambar, gelombang merambat baik di dalam substrat maupun udara. Maka dari itu konstanta dielektrik efektif (ϵ_{eff}) diperkenalkan sehingga tidak hanya yang merambat dalam substrat, gelombang yang merambat akibat *fringing effect* tadi juga diperhitungkan.

$$\text{--- (3.22)}$$

Panjang efektif patch menjadi :

$$\text{--- (3.23)}$$

Dimana :

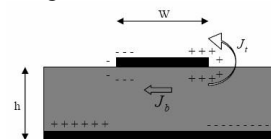
- a* = lebar sisi patch (m)
- c* = kecepatan cahaya (3×10^8 m/s)

- f_r = frekuensi kerja antenna (GHz)
- ϵ_r = nilai konstanta dielektrik (F/m)
- h* = ketebalan patch (m)
- a_{eff} = lebar sisi patch efektif (m)
- ϵ_{eff} = konstanta dielektrik efektif (F/m)

3.6.2. Cavity Model

Pada model *cavity*, daerah interior yaitu ruang antara *patch* dan *ground plane* diasumsikan sebagai sebuah ruang (*cavity*) yang dilingkari oleh suatu dinding magnetic sepanjang tepinya, dan diapit oleh dinding elektrik dari atas dan bawah. Model *cavity* dari sebuah antenna mikrostrip diperlihatkan pada gambar 2.4. Beberapa asumsi model *cavity* berdasarkan observasi dari substrat tipis ():

- a.) Medan di daerah interior tidak bervariasi dengan (/) karena substrat sangat tipis ().
- b.) Medan elektrik hanya muncul dalam arah *z*, E_z saja, dan medan magnetis hanya ada komponen transversnya saja (H_x dan H_y) di daerah yang dibatasi oleh *patch* dan *ground plane*. Observasi ini juga memperhatikan dinding atas bawah.
- c.) *Patch* arus listrik tidak mempunyai komponen normal pada ujung metal, yang termasuk komponen tangensial dari \vec{J} .



Fringing effect memiliki pengaruh besar pada kinerja antenna mikrostrip. Karenanya, patch

Gambar 3.4 Distribusi Muatan dan Densitas Arus yang Terbentuk Pada Mikrostrip

3.6.3. Method of Moment (MoM)

Metode ini memberikan analisis gelombang penuh untuk microstrip patch antenna, dengan menggunakan arus permukaan untuk model patch dan volume arus polarisasi untuk model bidang dalam dielektrik. Prinsip dasar dari MoM terdiri dalam pemecahan medan listrik persamaan integral yang kemudian diubah menjadi persamaan matriks dan diselesaikan dengan berbagai teknik aljabar untuk memberikan hasilnya.

Antenna digunakan dalam software simulator dengan sehingga didapatkan hasil simulasi sebagai dasar pabrikasi. Adapun nilai dari parameter-parameter dimensi antenna didapatkan dengan formula *transmission line model* dan *cavity model*.

3.4 Penentuan Teknik Pencatuan

Antena mikrostrip memiliki masalah dengan lebar *bandwidth* yang kecil, sementara bandwidth kecil tentunya akan membuat polarisasi sirkular sulit dicapai. Untuk itu diperlukan modifikasi, dan diantara teknik untuk memperlebar bandwidth adalah menggunakan pencatuan *non contacting scheme*, yaitu *proximity coupled* dan *aperture coupled* [14]. Mendapatkan bandwidth lebar untuk memenuhi bandwidth axial ratio sekitar 7% bisa juga dengan menambahkan elemen parasitik dapat menggunakan elemen parasitik, sedang menggunakan slot melintang mempermudah tercapainya 12% axial ratio, dan menggunakan catuan paralel meningkatkan 22%. [2C:\Users\7\AppData\Roaming\Microsoft\Word\Referensi Buku TA\Buku TA revisi.docx]

Proximity coupled memiliki desain yang cukup kompleks dalam pemodelan dan optimisasi, memiliki tiga parameter yaitu radius antenna, segmen perturbasi, dan panjang dari *feedline*. Sementara *Aperture coupled* memiliki desain yang paling kompleks dan sulit untuk dimodelkan dan simulasi. Memiliki empat parameter untuk menentukan dimensi optimal agar berpolarisasi sirkular yaitu radius antenna, segmen perturbasi, panjang *feedline*, dan *slot* pada *groundplane* [6C:\Users\7\AppData\Roaming\Microsoft\Word\Referensi Buku TA\Buku TA revisi.docx]

Mengacu pada kompleksitas desain, pemodelan dan simulasi maka antenna pada tugas akhir ini akan menggunakan pencatuan *proximity coupled*. Lebar *feedline* (*w*) pada *proximity coupled* dihitung menggunakan persamaan umum mikrostrip *feedline* [1] :

$$w = \left\{ \frac{2Z_0}{\pi} \left[\ln \left(\frac{4Z_0}{\pi Z_1} \right) \right] \right\}^{0.5} \quad (3.24)$$

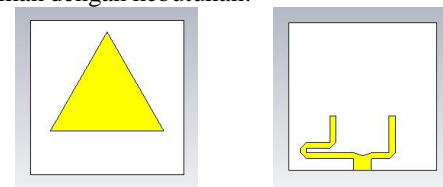
3.5. Desain Antena dan Simulasi

3.5.1. Single Patch

Polarisasi sirkular dapat dihasilkan dengan dengan dua catuan yang saling orthogonal dan memiliki beda fasa sebesar 90°. Untuk membuat dua catuan dengan beda fasa 90° dibutuhkan *power divider* atau *hybrid* 90° [6C:\Users\7\AppData\Roaming\Microsoft\Word\Referensi Buku TA\Buku TA revisi.docx].

Parameter	Dimensi sebelum optimisasi (mm)	Dimensi setelah optimisasi (mm)	Keterangan
<i>a</i>	41.88	36.91	Sisi patch
<i>s</i>	50	50	sisi substrat
<i>wf</i>	3	6	lebar catuan

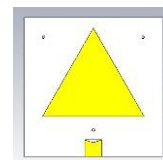
Penelitian yang telah dilakukan [3], membuktikan semakin banyak jumlah catuan juga turut memperlebar *bandwidth axial ratio*. Namun semakin banyak jumlah catuan tentunya akan membutuhkan ruang lebih lebar, sehingga hendaknya disesuaikan dengan kebutuhan.



a. Tampak patch
b. Tampak Feedline

Gambar 3.5 Desain Awal Antena Single Patch

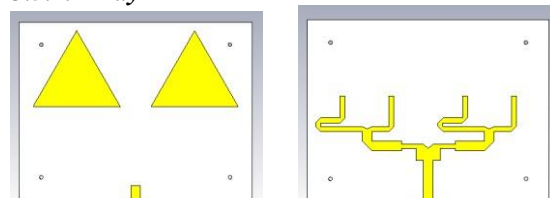
Tabel 3.1 Parameter Inisialisasi dan Optimisasi Single Patch



Gambar 3.6 Desain Akhir Antena Single Patch

Untuk kebutuhan pabrikasi perlu pembuatan lubang kecil pada ujung catuan untuk disolder. Sementara pada beberapa titik perlu dibuat lubang untuk baut. Baut ini digunakan karena tuntutan teknik pencatuan *proximity coupled* yang mengisyaratkan gap udara akan mengakibatkan pergeseran frekuensi. Menurut penelitian yang sebelumnya dilakukan [6], penggunaan baut tidak menggeser frekuensi secara signifikan, sehingga kembali dilakukan penyesuaian pada sisi patch dari 36.91 ke 36.84.

3.5.2. Array



- a. tampak patch
- b. tampak feedline

Gambar 3.12 Desain Antena Array Tampak Depan

Penyusunan antenna secara array bertujuan meningkatkan gain dengan tidak mengabaikan parameter lainnya. Desain antenna array ini menyesuaikan dimensi akhir yang didapatkan pada single patch.

Tabel 3.2 Parameter Inisialisasi dan Optimisasi Array

Parameter	Dimensi sebelum optimisasi (mm)	Dimensi setelah optimisasi (mm)	Keterangan
<i>a</i>	36.91	36.96	Sisi patch
<i>s</i>	100 x 100	99 x 75	sisi substrat
<i>wf</i>	6	4	lebar catuan

3.5.3. Analisa Hasil Simulasi

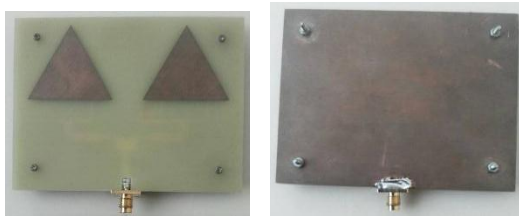
Dari simulasi yang telah dilakukan maka diketahui beberapa parameter yang disimulasikan sudah mencapai target. Parameter yang belum mencapai adalah arah mainlobe elevasi yaitu 5^0 dari target 0^0 , namun karena perbedaannya relatif sedikit maka dapat diabaikan.

Tabel 3.3 Perbandingan Spesifikasi Kebutuhan dengan Hasil Simulasi

No	Parameter	Spesifikasi Kebutuhan	Hasil Simulasi		
			Single Patch	Array	
1	Bandwidth Axial Ratio (MHz)	≥ 32	52	33,8	
2	Polarisasi	Sirkular	Sirkular	Sirkular	
3	Bandwidth Impedansi (MHz)	≥ 32	256,3	225,5	
4	Impedansi di frekuensi tengah (Ω)	50	38.785	50.778	
5	Pola Radiasi	Unidireksional	Unidireksional	Unidireksional	
6	HPBW azimuth ($^{\circ}$)	≥ 45.29	98.2	63,8	
7	Arah mainlobe azimuth ($^{\circ}$)	0	0	0	
8	HPBW Elevasi ($^{\circ}$)	≥ 45.29	96	89	
	Arah mainlobe elevasi ($^{\circ}$)	0	5	0	

3.6. Tahap Realisasi Antena

Antena yang telah dirancang dan disimulasikan dengan perangkat lunak bantu *CST Microwave 2012*, kemudian direalisasikan dengan menggunakan bahan yang sudah ditentukan sebelumnya yaitu substrat Epoxy FR-4 di pabrik percetakan.



a. Tampak Depan b. Tampak Belakang
Gambar 3.13 Realisasi Antena Array

4. Verifikasi Hasil Pengukuran dan Analisis

4.1. Pengukuran Return Loss dan Bandwidth



Gambar 4.1 Grafik Return Loss Hasil Pengukuran

Dari pengukuran, didapatkan hasil return loss sesuai **Gambar 4.2** pada frekuensi tengah 2,35 GHz adalah $-19,854$ dB. Sementara untuk memenuhi target *return loss* minimum -10 dB, didapat bandwidth antara 2,23 GHz hingga 2,474 yaitu 244 MHz.

Tabel 4.1 Performa Return Loss dan Bandwidth Antena Array

Pengamatan	Kebutuhan	Simulasi	Realisasi	Selisih
Return Loss di 2.35 GHz	≤ -10 dB	-32.245 dB	-19.854 dB	12.391 dB
Bandwidth	≥ 32 MHz	230 MHz	244 MHz	14 MHz

Jika diperhatikan pada tabel 4.1 perbedaan hasil simulasi dan realisasi tidak terlalu signifikan. Ketika dilakukan analisa, perbedaan frekuensi resonan itu dikarenakan pada proses pabrikan digunakan baut kecil untuk meminimalisir gap udara yang bisa menggeser frekuensi. Hasil ini sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan, yang mengidentifikasi hal yang sama.

4.2. Pengukuran Impedansi



Gambar 4.2 Tampilan Impedansi Hasil Pengukuran

Dari gambar 4.7, ditunjukkan nilai impedansi pada frekuensi tengah adalah 56,82 ohm.

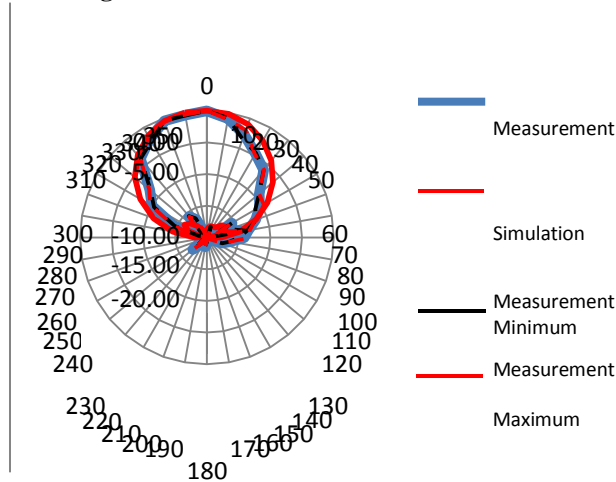
Tabel 4.2 Performa Return Loss dan Bandwidth Antena Array

Pengamatan	Kebutuhan	Simulasi	Realisasi
Impedansi di frekuensi tengah	50 Ω	50.78	56.82

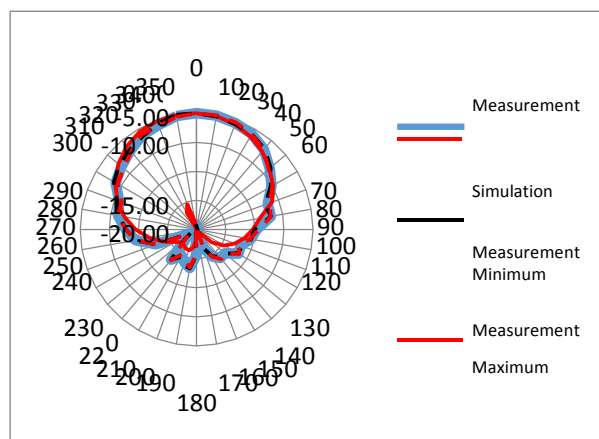
Apabila di bandingkan nilai impedansi ketika simulasi sesuai table 4.1 sebesar 50,78 ohm maka terdapat selisih 6,04 ohm. Selisih ini disinyalir akibat proses pabrikan khususnya penyolderan catuan.

Faktor kualitas konektor juga berpengaruh menambah nilai redaman.

4.3. Pengukuran Pola Radiasi



Gambar 4.3 Polaradiasi Secara Azimut pada Frekuensi 2,35 GHz.



Gambar 4.4 Polaradiasi Secara Elevasi pada Frekuensi 2,35 GHz

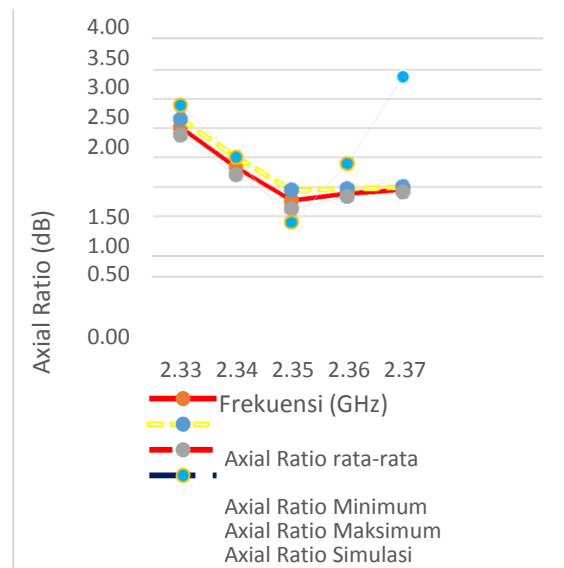
Dari data diatas dapat disimpulkan bahwa pengukuran polaradiasi baik azimuth maupun elevasi sudah bisa dikatakan mendekati hasil simulasi. Perbedaan nilai pada sudut-sudut tertentu diakibatkan oleh kondisi lingkungan yang kurang ideal pada saat pengukuran sehingga memunculkan nilai variasi medan 0,38 dB untuk azimuth dan 0,57 dB untuk elevasi di atas ambang standar baik yaitu 0,25 dB.

Tabel 4.3 Performa Pola Radiasi Antena Array

Pengamatan	Kebutuhan	Simulasi	Realisasi
Pola Radiasi	Unidireksional	Unidireksional	Unidireksional
HPBW azimuth (°)	≤ 45.29	63.8	50 ± 3
Arah mainlobe azimuth (°)	0	0	0
HPBW elevasi (°)	≤ 45.29	89	80 ± 3
Arah mainlobe elevasi (°)	0	0	0

Sementara lebar berkas HPBW baik azimuth maupun elevasi sudah sesuai kebutuhan, meski tidak sebagus nilai yang dihasilkan pada simulasi. Dan arah

4.4. Pengukuran Axial Ratio dan Polarisasi



Gambar 4.4 Polaradiasi Secara Elevasi pada Frekuensi 2,35 GHz

Setelah dilakukan pengukuran maka nilai axial ratio dapat dibandingkan dengan nilai hasil simulasi seperti yang ada pada gambar 4.4. Nilai *axial ratio* minimum dan maksimum adalah nilai *axial ratio* yang sudah dihitung dengan mempertimbangkan nilai variasi medan pada saat pengukuran di sudut dan frekuensi tertentu. Untuk lebih jelasnya, nilai *axial ratio* diadirkan dalam tabel berikut,

Tabel 4.4 Tabel Nilai Axial Ratio

Frekuensi (GHz)	Axial Ratio Pengukuran (dB)			Axial Ratio Simulasi (dB)	Variasi Medan Saat Pengukuran (dB)
	Minimum	Maksimum	Rata-Rata		
2.33	2.65	2.38	2.51	2.89	0.51
2.34	2.00	1.71	1.84	2.00	0.48
2.35	1.64	1.32	1.46	0.89	0.54
2.36	1.33	1.46	1.39	1.89	0.28
2.37	1.2	1.11	1.15	3.38	0.26

mainlobe sudah pada sudut 0° atau pada sumbu z positif sehingga bisa dikatakan unidireksional.

Dari data pengukuran yang ditunjukkan di **tabel 4.4**, menunjukkan bahwa nilai *axial ratio* mengalami perbedaan antara hasil simulasi dengan hasil pengukuran. Hal ini disebabkan oleh kondisi lingkungan pada saat pengukuran tidak bebas pantulan dan gelombang pengganggu lainnya, serta keterbatasan alat yang ada sehingga variasi medan juga berkisar 0,26 – 0,54 dB. Namun demikian, nilai *axial ratio* pada frekuensi tengah yaitu 3,25 GHz telah diverifikasi dengan nilai pada simulasi 0.89 dB dan nilai pada pengukuran 0.54 dB dan dapat dinyatakan memiliki polarisasi sirkular dan bandwidth axial ratio yang dibutuhkan yaitu 32 MHz tercapai.

4.5. Pengukuran Gain

Tabel 4.3 Performa Pola Radiasi Antena Array

Frekuensi (GHz)	Kebutuhan Gain (dB)	Gain Simulasi (dB)	Beda (dB)	Gain Pengukuran (dB)	Variasi Medan (dB)
2.33	≥ 6	5.94	1.18	4.76	0.40
2.34	≥ 6	5.98	1.02	4.96	0.35
2.35	≥ 6	6.025	0.535	5.49	0.41
2.36	≥ 6	6.065	0.6425	5.42	0.58
2.37	≥ 6	6.096	0.386	5.71	0.25
Rata-rata	≥ 6	6.0212	0.7527	5.268	0.398

Dari hasil pengukuran, didapat gain rata-rata pada frekuensi uji adalah 5.268 dB, berselisih 0.75 dB dengan gain hasil simulasi yaitu 6.02 dB. Penyebab terjadinya *gain* pada pengukuran tidak memenuhi spesifikasi karena pada pengukuran gain antenna ini menggunakan dua buah antenna yang identik, tidak menggunakan antenna referensi (*horn*) yang tentunya memiliki keakuratan alat yang tinggi karena proses pabrikasi lebih baik sehingga transfer daya dari *signal generator* dapat maksimal.

Selain itu juga pengaruh dari ketidakstabilan *matching impedance* sehingga nilai loss tidak selalu linear. Sementara faktor variasi medan yang diperoleh adalah 0.398 dB, melebihi batas variasi medan yang dianjurkan dalam pengukuran yaitu 0.25 dB membuktikan banyaknya gelombang pantul yang mengganggu serta interferensi gelombang lain di frekuensi yang berdekatan misalnya wifi yang berada di sekitar 2.4 GHz.

Dengan proses pabrikasi yang lebih baik dengan kualitas pendukung pengukuran lebih baik maka bisa mendapatkan gain mendekati hasil simulasi. Apabila kondisinya seperti ini, maka solusinya adalah memanfaatkan LNA untuk membackup antenna yang sama-sama berada di blok S-Band Transmitter.

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari seluruh proses perancangan dan realisasi antenna mikrostrip berpolarisasi sirkular catuan *proximity coupled* dengan bentuk *patch* segitiga sama sisi, adalah

sebagai berikut.

1. Untuk memenuhi target return loss ≤ -10 , maka dicapai bandwidth sebesar 230 MHz pada simulasi. Sementara pada pengukuran didapat bandwidth 244 MHz. Dengan demikian sudah memenuhi kebutuhan yaitu 32 MHz.
2. Nilai impedansi pada frekuensi tengah adalah 50.78 Ω , selisih 0.78 Ω dari impedansi input 50 Ω ketika dalam simulasi. Sementara ketika pengukuran sebesar 56.82 Ω maka terdapat selisih 6.82 Ω dari 50 Ω dan 6.04 Ω dari hasil simulasi.
3. Pola radiasi yang didapatkan sesuai target yaitu unidireksional dengan arah mainlobe di sudut 0° atau sumbu z positif, sementara nilai lebar berkas HPBW didapat 63.8° untuk azimuth dan 89° untuk elevasi dari hasil simulasi dan 50° untuk azimuth dan 80° untuk elevasi dari hasil pengukuran sehingga memenuhi kebutuhan yaitu 45.29° .
4. Kombinasi menggunakan dua catuan tunggal yang berbeda fasa 90° dengan teknik pencatuan *proximity coupled* terbukti mampu memperlebar bandwidth dan menghasilkan polarisasi sirkular hingga mendapatkan

bandwidth axial ratio 32 MHz atau 13.2% dari bandwidth impedansi.

5. Gain rata-rata yang dicapai sebesar 5.27 dB dari hasil pengukuran, terpaut 0.73 dB dari kebutuhan 6 dB, dan 0.75 dB dari rata-rata hasil simulasi 6.02 dB untuk rentang frekuensi uji.

5.2 Saran

Untuk mendapatkan performa antenna yang lebih baik pada perancangan berikutnya, terdapat beberapa hal yang bisa dijadikan saran dan sebagai bahan pertimbangan antara lain:

1. Hendaknya pengukuran dilakukan di area yang minim pantulan dan interferensi sehingga lebih akurat dan variasi medan bisa $\leq 0,25$ dB
2. Antena hasil perancangan pada tugas akhir ini dapat dilakukan penelitian lebih lanjut dengan menggunakan teknik lain untuk memperlebar bandwidth dengan tetap mendukung polarisasi sirkuler sesuai bandwidth yang dibutuhkan.

Hendaknya perlu dikaji material terbaik untuk meminimalisir gap pada teknik catuan *proximity coupled* sehingga tidak mengganggu *matching impedance*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Balanis, Constantine A. 2005. "Antena Theory Analisis and Desain 3rd edition". United Stated: Wiley InterScience
- [2] Pozar, David M. Schaubert, Daniel H. 1995. "Microstrip Antennas: The Analysis and Design of Microstrip Antennas and Arrays". New York : Institute Electrical and Engineering Inc
- [3] Sun, Li. Ou, Gang. Tan, Shusen. 2013. "Axial Ratio Bandwidth of a Circularly Polarized Microstrip Antenna". Beijing : Beijing Satellite Navigation Center
- [4] Pushpanjali. Konda. Mulgi. 2006. "Design of Wideband Equilateral Triangular Microstrip Antenna". Gulbarga : Gulbarga University
- [5] Fransoy, Alejandro. 2006. "Aperture Coupled Microstrip Antenna for DTUsat". Orsted
- [6] Hakim, Arif Rahman. Setia, Bambang. Prasetyo, Agus Dwi. 2014. "Perancangan dan Realisasi Antena Mikrostrip Polarisasi Sirkular Dengan Catuan Proximity Coupled Untuk Circularly Polarized Syntetic Aperture Radar (CP-SAR)". Bandung : Universitas Telkom
- [7] Rizky, Praditya. Wijanto, Heroe. Prasetyo, Agus Dwi. 2014. "Perancangan dan Realisasi Susunan Antena Mikrostrip Berpolarisasi Sirkuler Menggunakan Front End Parasitic Untuk S-Band Transmitter System Syntetic

- Aperture Radar Pada Space Segment*". Bandung : Universitas Telkom
- [8] Emelya, Sri Dewi. Setijadi, Eko. Hendratoro, G. 2011. "*Desain Antena Mikrostrip Untuk Satelit S-Band Pada Frekuensi 2,4 GHz*". Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh November
- [9] Eko, Munawar. Hartanto, Djoko. 2006. "*Antena Mikrostrip Segitiga Sama Sisi Model Catu Hybrid Untuk Mendapatkan Polarisasi Lingkaran*". Depok : Universitas Indonesia
- [10] Ghenghea, Mihai. Darie, Angela. 2007. "*Matlab Based Teaching Tools for Antenna and Propagation*". Iasi : Gh Asachi University
- [11] Khraisar, Yahya. Olaimat, Melad. Razeq, Syarif. 2012. "*Comparison between Rectangular and Triangular Patch Antenna Arrays*". Jordan : Al Huson University
- [12] Prasaja, Panji. 2012. "Perancangan dan Realisasi Antena Array Mikrostrip Bentuk Rectangular Pada X-Band Untuk Aplikasi Radar Pengawas Pantai". Bandung : Institut Teknologi Telkom
- [13] Zulfikli, Fitri Yuli. 2008. "*Studi Tentang Antena Mikrostrip Dengan Defected Ground Structure*". Depok : Universitas Indonesia
- [14] Kumar, Amit. Kaur, Jaspreet. 2013. "*Performance Analysis of Different Feeding Techniques*". Kurukshetra : Khurukshetra University
- [15] Prasetyo, Bimo Jago. 2012. "*Perancangan dan Realisasi Antena Quadrifillar Heliks Untuk Remote Sensing Payload Pada IiNUSAT-1*". Bandung: Institut Teknologi Telkom
- [16] Hidayat, Taufik. Zulkifli, Fitri Yuli. 2012. "*Pengembangan Antena Mikrostrip Dengan Pencatuan Aperture Coupled Pada Frekuensi S-Band*". Depok : Universitas Indonesia