

## PERANCANGAN DAN REALISASI ANTENA MIKROSTRIP *CIRCULAR PATCH* 5,8 GHZ UNTUK *DOWNLINK DATA ADS-B*

### *DESIGN AND REALIZATION OF 5.8 GHZ CIRCULAR PATCH MICROSTRIP ANTENNA FOR ADS-B DATA DOWNLINK*

Natasya Olivia N<sup>1</sup>, Edwar<sup>2</sup>, Heroe Wijanto<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Universitas Telkom, Bandung

<sup>1</sup>Natasyaolivia@student.telkomuniversity.ac.id, <sup>2</sup>edwarm@telkomuniversity.co.id, <sup>3</sup>heroewijanto@telkomuniversity.ac.id

#### Abstrak

*Automatic Dependent Surveillance Broadcasting (ADS-B)* adalah teknologi pengawasan lalu lintas udara yang secara otomatis dan teratur menyiarkan informasi penerbangan udara, seperti nomor identifikasi, lokasi, kecepatan, dan tujuan selama semua tahap penerbangan, untuk menghindari tabrakan. Sistem radar masa depan akan dilengkapi atau bahkan diganti oleh stasiun bumi ADS-B, tetapi jangkauan stasiun bumi penerima ADS-B masih terbatas [1].

Oleh karena itu dengan demikian diharapkan muatan penerima sinyal ADS-B pada muatan satelit nano dapat menjangkau wilayah udara yang tidak dapat dijangkau oleh stasiun bumi. Tugas Akhir ini berfokus pada perancangan dan realisasi antenna mikrostrip yang berfungsi sebagai pengirim data ADS-B pesawat komersial yang telah diolah oleh *payload computer* satelit nano ke stasiun darat untuk dikumpulkan dan dikirim ke *Air Traffic Controller (ATC)*. Antena ini dirancang dengan bahan *substrat* yaitu FR-4. Menggunakan *patch* sirkular dan menggunakan pencatuan *coaxial probe*. Hasil realisasi yang didapatkan pada substrat FR-4 yaitu nilai *return loss* pada frekuensi 5,8 Ghz sebesar -9,99 dB, *VSWR* sebesar 1,9, *bandwidth* sebesar 165 MHz, *gain antenna* sebesar 2,78 dBi dan *beamwidth* sebesar 60,7°.

Kata kunci : ADS-B, Mikrostrip, ATC

#### Abstract

*Automatic Dependent Surveillance Broadcasting (ADS-B)* is an air traffic surveillance technology that automatically and regularly broadcasts air flight information, such as identification number, location, speed and destination during all stages of flight, to avoid collisions. Future radar systems will be equipped or even replaced by ADS-B ground stations, but the range of ADS-B receiving ground stations is still limited.

It is expected that the payload of the ADS-B signal receiver on nano satellite payload can reach airspace that cannot be reached by the ground station. This final project focuses on the design and realization of a microstrip antenna that functions as a commercial aircraft ADS-B data transmitter which has been processed by a nano-satellite computer payload to a ground station to be collected and sent to the Air Traffic Controller (ATC). This antenna is designed with a substrate material, namely FR-4. Uses circular patches and uses coaxial probe feedings. The result of the realization on the FR-4 substrate was obtained value of return loss at a frequency of 5.8 Ghz of -9,99 dB, *VSWR* of 1,9 bandwidth of 165 MHz, antenna gain of 2,78 dBi and beamwidth of 60,7°.

Keywords : ADS-B, Microstrip, ATC

## 1. Pendahuluan

ADS-B adalah singkatan dari Automatic Dependent Surveillance – Broadcast adalah sistem pengawasan penerbangan tanpa radar. Pesawat yang dilengkapi dengan transponder secara otomatis mengirimkan data penerbangan[2]. Karakteristik antenna penerima ADS-B adalah memiliki gain yang tinggi agar dapat menerima sinyal informasi dengan benar dari responder pemancar ke stasiun bumi [3]. Antena mikrostrip adalah antenna yang menggunakan perangkat mikrostrip sebagai antenna yang dapat digunakan untuk menangkap sinyal gelombang elektromagnetik, termasuk sinyal dari satelit. Untuk fungsi yang sama, bentuknya

yang kecil dan tipis memakan tempat yang lebih sedikit dibandingkan antenna parabola [4]. Nanosatelit adalah satelit dengan ukuran 1U, 1.5U, 2U, dan 3U yang telah menjadi standar cubesat dan biasanya memiliki tugas yang sederhana[5].

Topik ini sebelumnya telah diteliti dan disusun menjadi tugas akhir, antenna yang dirancang adalah Antena mikrostrip menggunakan *patch rectangular* susun dua dan bekerja pada frekuensi 2,4 GHz[6]. Proposal Tugas Akhir ini melakukan perancangan dan realisasi antenna mikrostrip *patch circular* yang berfungsi sebagai pemancar data ADS-B pesawat komersial, yang ditransmisikan oleh payload komputer nanosatelit ke stasiun bumi, kemudian dikumpulkan dan dikirim ke pengontrol lalu lintas udara (ATC). Antenna yang dirancang adalah Antena mikrostrip *patch circular* yang bekerja pada frekuensi 5,8 GHz. Hasil dari realisasi antenna memiliki *VSWR* sebesar 1,2, *gain* sebesar 4,1 dB, *return Loss* sebesar -19,3. Antena ini diinginkan dapat mendukung sistem muatan penerima ADS-B pada satelit nano.

## 2. Dasar Teori

### 2.1 Satelit Nano

Satelit Nano telah berevolusi dari satelit konvensional besar menjadi satelit berukuran sangat kecil. Nanosatellite memiliki massa 1 hingga 10 kilogram dan beroperasi di orbit bumi rendah pada ketinggian 300 hingga 1500 kilometer, dengan durasi misi hingga 5 tahun. Dibandingkan dengan satelit skala besar pada umumnya, biaya pembuatan satelit nano juga sangat murah, kurang dari 30 juta dolar AS[7]. Ukuran satelit nano ditentukan oleh standar CubeSat dan dilambangkan dengan huruf "U", yang artinya (10×10×30) cm<sup>3</sup>. Cubesat mengurangi volume dan massa, membuatnya lebih mudah untuk memuat di pesawat ruang angkasa, sementara juga mengurangi biaya.

### 2.2 Antena Mikrostrip

Antena mikrostrip merupakan salah satu jenis antena yang memiliki keunggulan bentuk yang sederhana, bobot yang ringan, dan dapat diproduksi sesuai permintaan. Konsep antena mikrostrip pertama kali diusulkan oleh Deschamps pada awal 1950-an, dan diusulkan oleh Munson dan Howell sekitar tahun 1970[8]. Sejak saat itu, penggunaan dan perkembangan antena mikrostrip berkembang pesat dan telah digunakan di banyak sistem komunikasi seperti *Personal Communication System* (PCS), komunikasi satelit bergerak, *Direct Broadcast Television* (DBS) dan *Global Positioning System* (GPS)[9]. Antena mikrostrip merupakan salah satu antena gelombang mikro yang digunakan sebagai radiator di banyak sistem telekomunikasi modern. Antena mikrostrip merupakan antena sederhana dengan frekuensi operasi yang sangat tinggi. Antena mikrostrip juga terdiri dari tiga lapisan yaitu *patch*, *substrate* dan *groundplane*.

#### 2.2.1 Circular Patch

Antena mikrostrip patch sirkular akan lebih mudah diubah untuk menghasilkan rangkaian nilai impedansi, pola radiasi dan frekuensi kerja. Antena mikrostrip sirkular adalah antena berbentuk *patch* lingkaran Atau biasa disebut *patch* sirkular. Berikut adalah rumus untuk mencari nilai jari-jari patch (a) digunakan persamaan 2.1 dibawah ini[10]:

$$a = \frac{8,791 \times 10^9}{f_r \sqrt{\epsilon_r}} \quad (2.1)$$

Dimana :

a = panjang jari-jari ( mm )

$f_r$  = frekuensi kerja antena ( Hz )

$\epsilon_r$  = Konstanta dielektrik substrat

#### 2.2.2 Ukuran Saluran Pencatu

Ukuran saluran pencatu dari antena mikrostrip dipengaruhi oleh besar impedansi *output* yang dibutuhkan dari antena yang dirancang. Berikut adalah beberapa persamaan yang bisa dilihat digunakan dalam merancang *feedline* antena mikrostrip yang dirumuskan pada persamaan Menghitung lebar saluran pencatu menggunakan rumus dibawah ini[11]:

$$B = \frac{60\pi^2}{Z_0\sqrt{\epsilon_r}} \quad (2.7a)$$

$$W_f = \frac{2h}{\pi} \left\{ B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} \left[ \ln(B - 1) + 0,39 - \frac{0,61}{\epsilon_r} \right] \right\} \quad (2.7b)$$

Keterangan:

B = konstanta

$Z_0$  = Impedansi karakteristik ( $\Omega$ )

$W_f$  = Lebar feed (mm)

$\epsilon_r$  = konstanta dielektrik

### 2.3 Automatic Dependent Surveillance–Broadcast (ADS–B)

ADS-B adalah sistem otomatis karena tidak memerlukan input pemicu dari pilot atau sistem eksternal. ADS-B adalah sistem terintegrasi yang mengandalkan sistem navigasi dan tautan data komunikasi yang dirancang untuk memperoleh informasi untuk menyiarkan informasi ini ke kontrol lalu lintas udara (ATC) di darat dan pesawat lain yang dilengkapi ADS-B. ADS-B terdiri dari dua sistem dengan fungsi yang berbeda yaitu ADS-B *OUT* dan ADS-B *IN*. Fungsi ADS-B *OUT* adalah untuk memberikan informasi situasi udara-darat kepada ATC. ADS-B *IN* memiliki *receiver* yang dapat menerima 2 data yaitu ADS-B dari pesawat lain atau ground station ADS-B *IN* juga memiliki tampilan informasi lalu lintas di layar kokpit untuk memberikan informasi kepada pilot tentang lalu lintas udara di sekitarnya[4].

### 2.4 Parameter Antena

Antena memiliki beberapa parameter yang bertujuan sebagai referensi dan karakteristik. Karakteristik bertujuan untuk menentukan standar jika suatu antena sudah mempunyai performasi yang diinginkan.

#### 2.4.1 Gain

Gain antena dalam arah tertentu dinyatakan sebagai perbandingan intensitas dalam arah tertentu dengan intensitas radiasi yang diperoleh ketika daya yang diterima oleh antena dipancarkan secara isotropik. Intensitas radiasi sama dengan daya radiasi isotropik sama dengan daya yang diterima oleh antena

#### 2.4.2 Bandwith

Bandwidth adalah besaran jangkauan frekuensi operasi antena berdasarkan standar yang telah ditentukan. Antena dirancang untuk bekerja pada frekuensi yang telah ditentukan dalam spesifikasi. Bandwidth memiliki pengaruh terhadap nilai VSWR dan frekuensi. Pada frekuensi operasi, antena memiliki VSWR terendah atau nilai VSWR yang diperlukan[4]. Rumus *bandwith* sebagai berikut[10]

$$BW = \frac{f_2 - f_1}{f_c} \times 100\% \quad (2.3a)$$

$$f_c = \frac{f_2 + f_1}{2} \quad (2.3b)$$

Keterangan:

BW = *bandwidth* (MHz)

$f_2$  = frekuensi tertinggi (MHz)

$f_1$  = frekuensi terendah (MHz)

$f_c$  = frekuensi tengah (MHz)

#### 2.4.3 VSWR

VSWR adalah perbandingan nilai tegangan maksimum dan minimum pada suatu gelombang berdiri akibat adanya pantulan gelombang yang disebabkan tidak *matchingnya* impedansi masuk antenna dengan saluran *feeder*. Nilai VSWR pada kondisi ideal yaitu bernilai 1, yang berarti tidak ada pantulan dan saluran dalam keadaan *mathing* sempurna. namun pada kenyataannya terdapat rugi-rugi yang dipantulkan (*return loss*). Sehingga, standar nilai VSWR antena yang dikategorikan baik adalah bernilai  $\leq 2$  [4]. Rumus VSWR sebagai berikut[4].

$$S = \frac{|V|_{max}}{|V|_{min}} = \frac{1+|\Gamma|}{1-|\Gamma|} \quad (2.4)$$

Keterangan:

$\Gamma$  = koefisien pantul

$|V|_{max}$  = tegangan absolut maksimal

## 2.5 Dimensi Antena

Parameter yang harus diketahui dalam perhitungan matematis antena mikrostrip *patch* sirkular adalah frekuensi resonansi ( $f_r$ ), konstanta dielektrik dari substrat ( $\epsilon_r$ ), dan tebal dari substrat ( $h$ ). Perancangan antena mikrostrip persegi dilakukan secara bertahap, yaitu :

- Jari- jari *patch* ( $r$ ) menggunakan persamaan berikut ini[10]:

$$F = \frac{8,791 \times 10^9}{f_r \sqrt{\epsilon_r}} \quad (2.6a)$$

$$a = \frac{F}{\sqrt{1 + \frac{2h}{\pi F \epsilon_r} \left[ \ln \left( \frac{\pi F}{2h} \right) + 1,7726 \right]}} \quad (2.6b)$$

$$r = a \sqrt{1 + \frac{2h}{\pi F \epsilon_r} \left[ \ln \left( \frac{\pi F}{2h} \right) + 1,7726 \right]} \quad (2.6c)$$

Dengan keterangan:

$\epsilon_r$  = konstanta dielektrik

$f_r$  = frekuensi tengah (Hz)

$h$  = tebal substrat (cm)

$r$  = jari – jari patch (cm)

F = fungsi logaritmik elemen peradiasi

- Menghitung lebar saluran pencatu menggunakan rumus dibawah ini[11]:

$$B = \frac{60\pi^2}{Z_0 \sqrt{\epsilon_r}} \quad (2.7a)$$

$$W_f = \frac{2h}{\pi} \left\{ B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} \left[ \ln(B - 1) + 0,39 - \frac{0,61}{\epsilon_r} \right] \right\} \quad (2.7b)$$

Keterangan:

B = konstanta

$Z_0$  = Impedansi karakteristik ( $\Omega$ )

$W_f$  = Lebar feed (mm)

$\epsilon_r$  = konstanta dielektrik

- Menghitung panjang saluran pencatu ( $L_f$ ) menggunakan persamaan dibawah ini [11]:

$$\lambda_0 = \frac{c}{f} \quad (2.8a)$$

$$\lambda_d = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (2.8b)$$

$$L_f = \frac{1}{4} \times \lambda_d \quad (2.8c)$$

Keterangan:

$L_f$  = panjang feed (mm)

$\lambda_0$  = panjang gelombang (mm)

$\lambda_d$  = panjang gelombang transmisi (mm)

$\epsilon_r$  = konstanta dielektrik

## 2.6 Link Budget pada Komunikasi Satelit

Perhitungan *link budget* merupakan perhitungan level daya untuk memastikan bahwa level daya yang diterima lebih besar atau sama dengan level daya pancar, dengan tujuan untuk menjaga keseimbangan gain dan loss antena pengirim dan antena penerima [12]. Fungsi perhitungan *link budget* akan menetapkan kualitas dari komunikasi dan tingkat keberhasilan dari sebuah komunikasi. Untuk perhitungan link budget dapat menggunakan persamaan berikut ini[6]:

$$Prx = Ptx - FLtx + Gtx - PL + Grx - FLrx \quad (2.9)$$

Dimana,

Prx : Daya pada penerima

Ptx : Daya pada pengirim

FLtx : *Feeder loss transmitter chain*

Gtx : *Gain antenna pengirim*

PL : *Path loss* (diasumsikan ruangbebas)

Grx : *Gain antenna penerima*

FLrx : *Feeder loss in the receiver chain*

Cara menghitung path loss :

$$FSPL = 92,4 + 20 \log(F) + 20 \log(D) \quad (2.10)$$

Dimana,

FSPL : *Free Space Path Loss* (dB)

D : Jarak satelit dengan *ground station*/ketinggian satelit (Km)

F : Frekuensi (GHz)

### 3. Perancangan dan Simulasi Sistem

#### 3.1 Pendahuluan

Pada Tugas Akhir kali ini akan dilakukan perancangan antenna ADS-B yang dapat bekerja pada frekuensi 5,8 GHz untuk aplikasi satelit. Perancangan akan dilakukan dengan menggunakan software simulasi antenna yaitu *software CST Studio*.

Dalam perancangan ini akan dibuat 2 skenario yaitu dengan pencatuan *proximity coupled* dan dengan pencatuan *coaxial probe*. Tugas Akhir ini berfokus pada perancangan antenna mikrostrip yang menjadi bagian dari muatan penerima ADS-B. Antena mikrostrip ini mempunyai fungsi sebagai pengirim data ADS-B pesawat komersial yang telah dikendalikan oleh OBDH (*On Board Data Handling*) satelit nano ke stasiun bumi. Antena mikrostrip ini bekerja pada frekuensi 5,8 GHz

#### 3.2 Spesifikasi Antena

**Tabel 3.1** Parameter awal antenna

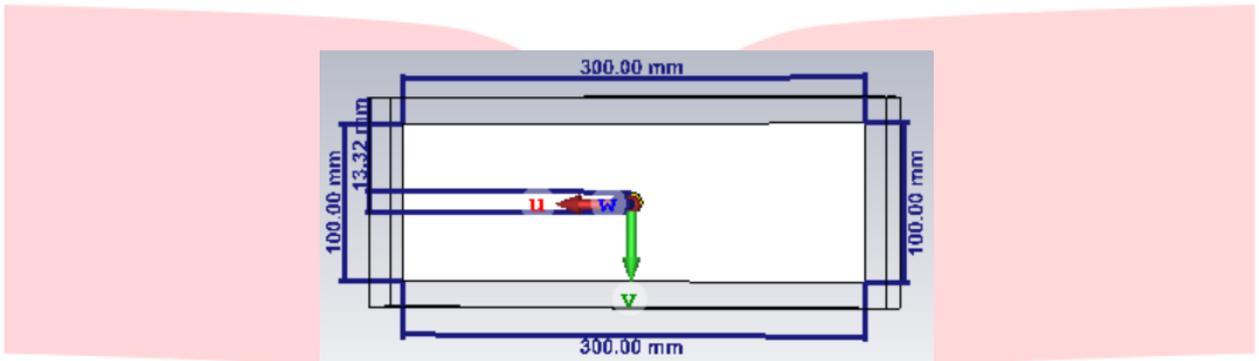
No	Keterangan	Variabel	Ukuran
1.	Lebar Groundplane	Wg	300 mm
2.	Panjang Groundplane	Lg	100 mm
3.	Lebar Feed	Wf	3,11 mm
4.	Panjang Feed	Lf	6,14 mm
5.	Jari – jari patch	r	72,9 mm
6.	Tebal <i>Substrate</i>	h	1,6 mm
7.	Jari-jari dalam <i>probe feed</i>	ri	0,3 mm
8.	Tebal konduktor	t	0,035 mm
9.	<i>Feed point</i>	x	2,5 mm

#### 3.3 Penentuan Teknik Pencatuan

Teknik pencatuan yang digunakan pada antenna adalah *coaxial probe*. Pada *Teknik coaxial probe* ini, konduktor dapat diletakkan di titik mana saja, teknik pencatuan ini terdiri dari kabel *coaxial* yang bagian luar konduktor terhubung pada *groundplane*.

#### 3.4 Desain Akhir Antena

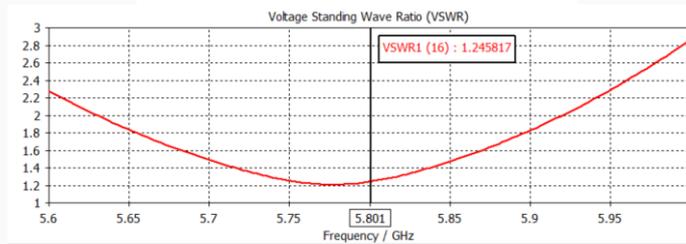
Agar mendapatkan hasil yang lebih baik lagi sesuai dengan spesifikasi yang dibutuhkan dalam optimasi terakhir antenna ini adalah dengan melakukan optimasi parameter list seperti memperkecil dimensi feedline, memperkecil dimensi patch dan lain sebagainya agar sesuai dengan hasil yang diinginkan pada frekuensi 5,8 GHz



Gambar 3. Desain akhir antenna

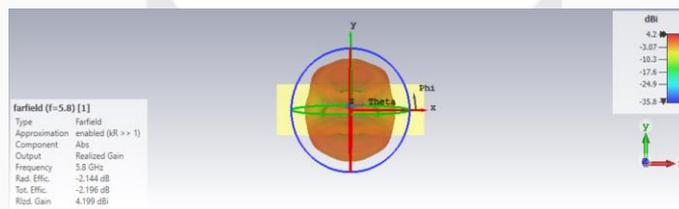
Tabel 3.3 Parameter akhir antenna

No	Keterangan	Variabel	Ukuran
1.	Lebar Groundplane	$W_g$	300 mm
2.	Panjang Groundplane	$L_g$	100 mm
3.	Lebar Feed	$W_f$	1,87 mm
4.	Panjang Feed	$L_f$	18,21 mm
5.	Jari – jari patch	$r$	66,6 mm
6.	Tebal <i>Substrate</i>	$h$	1,6 mm
7.	Jari-jari dalam <i>probe feed</i>	$r_i$	0,3 mm
8.	Tebal konduktor	$t$	0,035 mm
9.	<i>Feed point</i>	$x$	2,5 mm
10.	Panjang coaxial	$pf$	12,9 mm
11.	<i>outer</i>	$ro$	1 mm



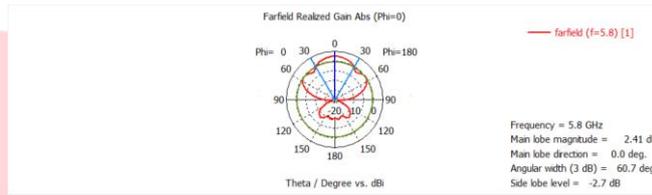
Gambar 3. VSWR optimasi terakhir

Dalam melakukan optimasi terakhir ini mendapatkan hasil VSWR sebesar 1,245 pada frekuensi 5,8 GHz, hasil tersebut sudah sangat bagus dan sesuai dengan spesifikasi yang dibutuhkan.

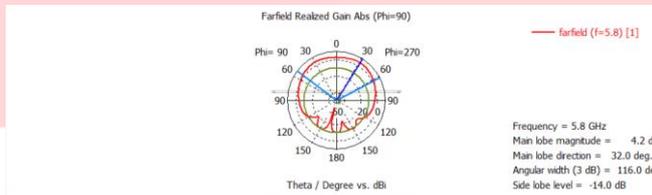


Gambar 3. Hasil *Gain* pada optimasi terakhir

Dalam melakukan optimasi terakhir pada antenna mendapatkan hasil *gain* sebesar 4,199 pada frekuensi 5,8 GHz, hasil tersebut sudah sesuai dengan spesifikasi yang dibutuhkan yaitu sebesar < 5 dBi



Gambar 3. Polaradiasi antenna mikrostrip pada (phi=0)



Gambar 3. Polaradiasi antenna mikrostrip pada (phi=90)

Dari hasil simulasi pada frekuensi 5,8 diatas mendapatkan hasil polaradiasi *unidirectional* dan polarisasi yang didapatkan adalah bidireksional .

Tabel 3.1 Parameter Akhir Pada Simulasi

Spesifikasi	Hasil simulasi
VSWR	1,24
Gain	4,199 dBi
Polarisasi	Linier
Polaradiasi	<i>unidirectional</i>
<i>Bandwith</i>	154 MHz
<i>Return loss</i>	-19,303 dB

4. Hasil dan Analisis

Tabel 4.1 Parameter Akhir Pada Simulasi dan pengukuran

Parameter Antena	Simulasi	Pengukuran
VSWR	1.208	1.933
<i>Bandwith</i>	154 MHz	165
<i>Return Loss</i>	-19,303 dB	-9,99 dB
Polaradiasi	<i>Unidirectional</i>	<i>bidireksional</i>
Polarisasi	<i>Linier</i>	<i>ellips</i>
<i>Gain</i>	4,199 dBi	2,78 dBi.

5. kesimpulan dan saran

5.1 Kesimpulan

Setelah merancang dan mengimplementasikan antenna mikrostrip *patch* sirkular dengan frekuensi 5,8 GHz pada tugas akhir ini, dapat disimpulkan:

1. Realisasi menggunakan substrat FR-4 untuk merealisasikan antenna, hasil yang didapat tidak jauh berbeda dengan hasil simulasi. Walaupun performansi pengukuran yang diperoleh masih lebih rendah dari simulasi seperti VSWR yang didapatkan pada simulasi sebesar 1,2 dan yang

didapatkan dari hasil pengukuran sebesar 1,9 namun tetap memenuhi spesifikasi awal antenna yang sudah dijelaskan pada bab 3.

2. Dari hasil pengukuran yaitu polarisasi antenna hasil yang didapatkan pada simulasi adalah *linier* dan hasil pengukuran yang didapatkan dari hasil perhitungan adalah *ellips*
3. Hasil pengukuran adalah *bidirectional*. dan simulasi pola radiasi pada frekuensi 5.8 GHz adalah *unidirectional*
4. Setelah melakukan pengukuran terdapat adanya perbedaan antara hasil simulasi dan hasil pengukuran karena perbedaan ukuran *probe* yang dibuat disimulasi dan fabrikasi berbeda.

## 5.2 Saran

1. Pengukuran diruangan yang kedap dari noise / ditempat semestinya agar hasil pengukuran yang dihasilkan lebih maksimal
2. Saat mengimplementasikan antenna diharapkan lebih teliti dan rapi agar mendapatkan hasil yang sesuai.

## Referensi:

- [1] F. O. R. Maintenance, O. F. Airport, and C. Program, "Advisory Circular," *Program*, vol. 2, no. April, pp. 4–5, 2007.
- [2] "Automatic Dependent Surveillance- Broadcast (ADS-B)." <https://pte.bppt.go.id/tentang-kami/portofolio/automatic-dependent-surveillance-broadcast-ads-b> (accessed Oct. 10, 2020).
- [3] E. N. CAHYANTI, "ANTENA MIKROSTRIP PERSEGI PANJANG DENGAN CELAH-T UNTUK STASIUN BUMI ADS-B 1,09 GHz." Universitas Telkom, Fakultas Teknik Elektro, 2019, Accessed: Oct. 10, 2020. [Online]. Available: <https://openlibrary.telkomuniversity.ac.id/home/catalog/id/149030/slug/antena-mikrostrip-persegi-panjang-dengan-celah-t-untuk-stasiun-bumi-ads-b-1-09-ghz.html>.
- [4] C. A. Balanis, "Antenna theory third edition analysis and design," *John Wiley Sons Inc*, pp. 811–842, 2005.
- [5] J. Bouwmeester and J. Guo, "Survey of worldwide pico- and nanosatellite missions, distributions and subsystem technology," *Acta Astronaut.*, vol. 67, no. 7–8, pp. 854–862, 2010, doi: 10.1016/j.actaastro.2010.06.004.
- [6] S. Dua, P. Frekuensi, G. H. Z. Untuk, P. A. Sebagai, S. O. Benyamin, and I. H. Wijanto, "PERANCANGAN DAN REALISASI ANTENA MIKROSTRIP RECTANGULAR MUATAN SATELIT NANO DESIGN AND REALIZATION OF TWO ARRAY RECTANGULAR MICROSTRIP ANTENNA AT FREQUENCY 2 . 4 GHz FOR ADS-B TRANSMITTER AS A NANOSATELLITE PAYLOAD," pp. 5–11.
- [7] R. L. Staehle *et al.*, "Interplanetary CubeSats: opening the solar system to a broad community at lower cost," 2012.
- [8] Constantine A. Balanis, *Antenna theory; analysis and design*, vol. 72, no. 7. 2008.
- [9] M. I. Assiddiq, U. Putra, I. Surjati, and G. Tjahjadi, "PERANCANGAN ANTENA MIKROSTRIP DUAL BAND PATCH SEGITIGA DENGAN PLANAR ARRAY," *J. Kaji. Tek. Elektro*, vol. 4, no. 2, pp. 95–104, 2019.
- [10] V. R. Lakshmi, "PARAMETRIC STUDY OF A NOVEL STACKED PATCH ANTENNA," vol. 1, no. August, pp. 197–201, 2009.
- [11] R. F. N. Alam syah, "MENINGKATKAN GAIN UNTUK APLIKASI LTE PADA FREKUENSI 2 . 300 MHz DESIGNING 2x1 ARRAY MICROSTRIP ANTENNA TO IMPROVE GAIN FOR LTE APPLICATIONS IN 2 , 300 MHz," *Tek. dan Ilmu Komput.*, vol. 07, no. June, pp. 365–378, 2018.
- [12] R. Saad, K. Fayakun, and H. Ramza, "Perhitungan Link Budget Satelit Telkom-1," *Rekayasa Teknol.*, vol. 2, no. 2, 2011.