

DESAIN DAN REALISASI OMNI DIREKSIONAL ANTENA PLANAR *PRINTED* DIPOLE ARRAY UNTUK FREKUENSI 1090 MHZ APLIKASI *RECEIVER* MODE-S

DESIGN AND REALIZATION OF OMNI DIRECTIONAL ANTENNA PLANAR PRINTED DIPOLE ARRAY FOR 1090 MHZ FREQUENCY APPLICATION RECEIVER MODE-S

Theodorus Edsa Leo Prabowo¹, Bambang Setia Nugroho², Yussi Perdana Saputera³

^{1,2,3} Universitas Telkom, Bandung

¹edsaleo@students.telkomuniversity.ac.id, ²bambangsetianugroho@telkomuniversity.ac.id,

³yussips@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

ADS-B atau Mode-S *Receiver* adalah sebuah sistem pemantauan (surveillance) penerbangan nir radar. Pesawat udara yang dilengkapi dengan sebuah transponder mengirimkan data penerbangan secara otomatis (*automatic*). Data penerbangan seperti posisi dan kecepatan diperoleh dari sistem satelit navigasi GNSS (Global Navigation Satellite System). Data penerbangan yang dipancarkan secara broadcast ini akan diterima dan diproses oleh stasiun penerima (ground station). Terminologi dependent menyatakan bahwa data penerbangan bukan diinisiasi oleh ground station (sebagaimana layaknya sistem radar), melainkan oleh pesawat udara.

Sistem ADS-B/MODE-S *RECEIVER* ini juga memungkinkan komunikasi data antar pesawat udara. Pada sistem ADS-B/MODE-S *RECEIVER* untuk bagian ground station merupakan sistem penerima dari data yang dikirimkan pesawat pada frekuensi 1090 MHz menggunakan antenna sebagai media penerima dari sinyal yang dikirimkan dari pesawat.

Antena merupakan salah satu perangkat yang berperan penting bagi komunikasi ADS-B/MODE-S *RECEIVER* ini, penerimaan sinyal terpenuhi, dengan perkembangan antenna yang mengarah ke *gain* dan bandwidth yang besar. Antena ini bekerja pada frekuensi 1090 MHz menggunakan substrat FR4. Antena mikrostrip akan dibuat simulasi dengan menggunakan software simulasi yang hasilnya akan direalisasikan kedalam bentuk fisik. Hasil pengukuran pada antenna mikrostrip ini diharapkan dapat menunjukkan bahwa antenna memiliki bandwidth yang lebar dan dapat bekerja pada frekuensi 1090 MHz dengan nilai VSWR sebesar 1.202, dan *gain* 4.079 dB. Antena yang akan dirancang menggunakan pengembangan antenna dipole dengan pengembangan menggunakan metode planar printed.

Kata Kunci: Software Simulasi, ADS-B/MODE-S *RECEIVER*, Antenna Mikrostrip, Pesawat Komersil.

Abstract

The ADS-B or Mode-S Receiver is a radarless flight surveillance system. An aircraft that equipped with a transponder transmits flight data automatically. Flight data such as position and speed are obtained from the GNSS (Global Navigation Satellite System). Flight data that is transmitted by broadcast will be received and processed by the receiving station (ground station). The dependent terminology states that flight data is not initiated by a ground station (like a radar system), but by an airplane.

The ADS-B/MODE-S *RECEIVER* system also allows data communication between aircraft. In the ADS-B / MODE-S *RECEIVER* system for the ground station section, it is a receiving system for data sent by the aircraft at a frequency of 1090 MHz using an antenna as the receiving medium of the signal sent from the aircraft.

Antenna is one of the devices that plays an important role for this ADS-B/MODE-S *RECEIVER* communication, signal reception is fulfilled, with the development of the antenna that leads to large *gain* and bandwidth. This antenna works at a frequency of 1090 MHz using FR4 substrate. The microstrip antenna will be simulated using the simulation software, which results will be realized in physical form. The measurement results on this microstrip antenna are expected to show that the antenna has a wide bandwidth and can work at a frequency of 1090 MHz with a VSWR value 1.202, and a *gain* 4.079 dB. The antenna that will be designed uses a dipole antenna development with a development using the planar printed method.

Keywords : Simulation Software, ADS-B/MODE-S *RECEIVER*, Microstrip Antenna, Commercial Aircraft.

1. Pendahuluan

Teknologi telekomunikasi berkembang sangat pesat dan melingkupi banyak bidang termasuk bidang penerbangan. Teknologi *Communication Navigation Surveillance/Air Traffic Management* (CNS/ATM) yang

berbasis satelit telah disepakati dan menjadi standar internasional dalam pengelolaan ruang udara di setiap negara dalam 10 *Air Navigation Conference* yang diselenggarakan di Montreal pada tahun 1991 untuk mengantisipasi pertumbuhan penerbangan yang tinggi tanpa mengorbankan aspek keselamatan dan pengoperasiannya [1]. *Automated Dependent Surveillance-Broadcast (ADS-B/MODE-S RECEIVER)* merupakan bagian dari teknologi CNS/ATM yang mampu menunjukkan lokasi pesawat menggunakan navigasi satelit *Global Positioning System (GPS)* dan memungkinkan pesawat untuk mengirimkan lokasi akurat pesawat dan data penerbangan (seperti ketinggian dan kecepatan) ke pesawat terdekat dan *Air Traffic Controller (ATC)*.

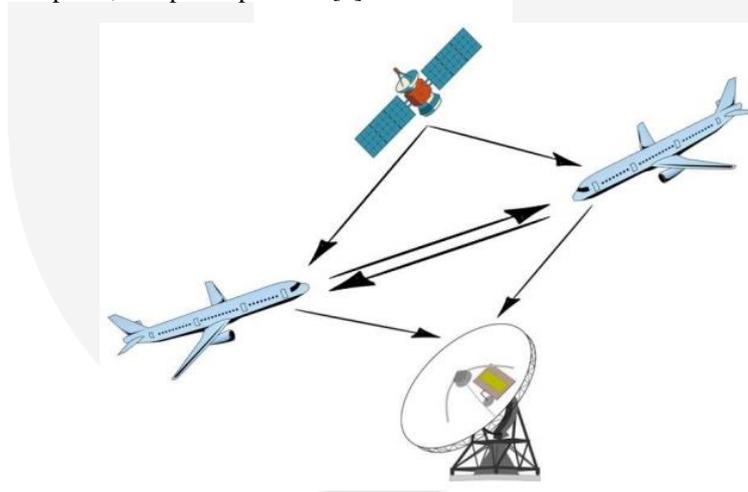
Radio Detection And Ranging (RADAR) adalah sistem pengawas pesawat udara yang dapat melacak posisi pesawat udara. Namun RADAR masih mempunyai kekurangan, yaitu jarak untuk mendeteksi suatu objek terbatas, karena RADAR menggunakan sistem pantul [2]. Maka dari itu, dibuatlah sistem yang dapat memberikan informasi lebih pada pesawat udara, yang bernama *ADS-B/MODE-S RECEIVER*. *ADS-B/MODE-S RECEIVER* adalah sistem penerbangan baru yang dapat mendeteksi data seperti RADAR. Perbedaannya adalah *ADS-B/MODE-S RECEIVER* menggunakan teknologi *Global Navigation Satellite System (GNSS)* untuk mengetahui posisi transponder dan *ground station* [3]. Sistem penerima *ADS-B/MODE-S RECEIVER* memakai frekuensi kerja sebesar 1,09 GHz, dengan polarisasi linier vertikal dan pola radiasi omni direksional [4]. Terdapat 295 bandar udara yang tersebar di seluruh provinsi di Indonesia, dan sekitar 255 bandar udara non-radar yang membutuhkan perangkat *ADS-B/MODE-S RECEIVER* untuk ATC dan *Surface Movement Monitoring*, serta penambahan *ground station* di lokasi lain [5].

Pada penelitian yang dilakukan ini, antenna yang akan dirancang menggunakan bahan mikrostrip yang berbahan FR4

2. Dasar Teori

2.1 *Automatic Dependent Surveillance Broadcast (ADS-B/MODE-S RECEIVER)*

ADS-B/MODE-S RECEIVER merupakan sistem pengawasan udara yang digunakan untuk mengetahui posisi pesawat, kode pesawat, ketinggian, dan data lainnya. *ADS-B/MODE-S RECEIVER* secara periodik memancarkan informasi dan data - data lain ke pesawat lain, ke satelit, dan ke stasiun bumi. Sistem *ADS-B/MODE-S RECEIVER* terletak pada pesawat terbang yang beroperasi menggunakan satelit [6]. *ADS-B/MODE-S RECEIVER* memiliki 2 jenis, yaitu *ADS-B/MODE-S RECEIVER in* dan *ADS-B/MODE-S RECEIVER out*. Kedua sistem tersebut memiliki fungsi yang berbeda. *ADS-B/MODE-S RECEIVER in* berfungsi untuk menerima informasi antar pesawat dan mengirimkan informasi ke ATC (*Air Traffic Control*) di bandar udara. *ADS-B/MODE-S RECEIVER out* berfungsi untuk memberikan informasi rute, kedatangan setiap pesawat, dan memberikan informasi identitas pesawat, ketinggian, kecepatan, dan posisi pesawat [2].



Gambar 2. 1 Sistem *ADS-B/MODE-S RECEIVER*.

Gambar 2.1 menjelaskan tentang cara kerja sistem *ADS-B/MODE-S RECEIVER*. Antena pemancar *ADS-B/MODE-S RECEIVER* terletak di pesawat dengan menggunakan sistem navigasi onboard untuk memperoleh informasi. Setiap 1 detik, pesawat menyiarkan posisi, ketinggian, dan data lain ke pesawat terdekat yang sudah dilengkapi teknologi *ADS-B/MODE-S RECEIVER* dan ke stasiun bumi, bandar udara. Antena di satelit berguna untuk mencari pesawat serta mengetahui posisi pesawat. Setelah posisi pesawat sudah didapatkan, lalu transponder memberikan sinyal informasi kepada stasiun bumi. Setelah data diterima oleh stasiun bumi, data diolah dan disiarkan [3]. Pada Peraturan Direktur Jendral Perhubungan Udara nomor KP 103 Tahun 2015 tentang Standar Teknis Fasilitas Telekomunikasi Penerbangan, terdapat spesifikasi teknis *ADS-B/MODE-S RECEIVER*. Tabel 2.1 akan menyebutkan beberapa spesifikasi teknis pada *ADS-B/MODE-S RECEIVER*.

Tabel 2. 1 Peraturan dan standar Spesifikasi Teknis ADS-B/MODE-S *RECEIVER* Direktur Jendral Perhubungan Udara

No.	Spesifikasi Teknis ADS-B/MODE-S <i>RECEIVER</i>	Keterangan
1.	Jangkauan Deteksi	250 NM pada 290 FL
2.	Target <i>Capacity</i>	± 250 target pesawat pada saat yang bersamaan
3.	Kemampuan proses	DO 260, DO260A, DO260B
4.	<i>Update rate</i>	1 second < rate < 5 seconds as operationally required
5.	Tipe Target	Mode ES, Mode A/C, Mode S
6.	<i>Time Synchronization</i>	GPS Network Time Server
7.	<i>Receiving signal</i>	Extended Squitter ADS-B/MODE-S <i>RECEIVER</i> , Mode S 1090 MHz, GPS.
8.	<i>Network Latency</i>	95% < 2 seconds of G/S output
9.	<i>Reliability 1</i>	2 autonomous groundstation including antenna, each providing data, no common point of failure
10.	<i>Reliability 2 - MTBF</i>	Each groundstation including antenna to have MTBF > 10.000 hrs
11.	Communication link	Completely duplicated, no common point of failure.
12.	Availability	99,999 %
13.	<i>Integrity - Groundstation</i>	Site Monitor, GPS RAIM, monitored item by RCMS, at least : - Status Reporting; - Buffer Overflows; - Processor Overloads; - Target Overloads;
14.	<i>Integrity - Data communication And Processing</i>	All system up to ATM system errors < 1×10^{-6}
15.	<i>Data Transmission Mode</i>	Asterix Category 21 edition: 0.23, 0.26, 1.6, 2.1 or latest edition
16.	Grounding system	Sesuai dengan standar PUIL2000 atau PUIL terbaru
17.	<i>Recording dan playback</i>	30 hari atau lebih
18.	<i>Backup power supply</i>	Redundant UPS dengan kemampuan backup tiap unit masing-masing 5 jam

Dalam Manual Book THALES, 2007 *Automatic Dependent Surveillance Broadcast (ADS-B/MODE-S RECEIVER)* adalah sebuah teknologi *surveillance* menggunakan informasi posisi dari satelit yang dipancarkan (broadcast) secara terus-menerus, berbeda dengan teknologi radar yang menggunakan sistem *scan* target pesawat. Pesawat yang memiliki perangkat ADS-B/MODE-S *RECEIVER* transponder akan memancarkan informasi dari *Flight Management System* secara terus-menerus. Informasi yang dipancarkan berupa ketinggian, kecepatan, identitas mirip dengan informasi *secondary* radar. Namun beberapa kelebihan ADS-B/MODE-S *RECEIVER* adalah dapat menyisipkan data lainnya seperti data cuaca, avionik, dan lain-lain [9]. Sistem ADS-B/MODE-S *RECEIVER* terdiri dari 3 (tiga) sub sistem yaitu:

1. **Signal Processing Unit (SPU)**, Secara umum SPU akan menerima sinyal dari antena ADS-B/MODE-S *RECEIVER* yang berisi data pesawat serta menerima sinyal GPS sebagai data referensi untuk Timing dan Lokasi station. Output data berupa format ASTERIX Cat 21 yang akan didistribusikan melalui sistem jaringan komputer, *raw data* dan *video signal monitor* [10].
2. **Site Monitor (SM)**, Digunakan untuk mengecek peralatan secara langsung, dengan cara mengambil data melalui *probe antenna monitor*. Melalui kabel kontrol ke LCMS maka kita dapat mengetahui parameter peralatan [10].
3. **GPS RX antenna**, GPS receiver menggunakan frekuensi GPS L1 (1575,42 MHz). Proses penentuan posisi berdasarkan referensi waktu guna menghasilkan data yang akurat. Akurasi ditentukan oleh HPL (*horizontal level of protection*) yang sama dengan di pesawat. HPL menunjukkan kemampuan untuk menentukan kesalahan satelit, juga digunakan untuk menentukan posisi dan waktu sebagai dasar untuk sistem pewaktuan (*timing system*) [10].

2.2 Antena Mikrostrip

Antena mikrostrip merupakan salah satu jenis antena yang berbentuk papan tipis dan mampu bekerja pada frekuensi yang sangat tinggi. Antena mikrostrip dibuat dengan menggunakan sebuah substrat yang mempunyai tiga buah lapisan struktur dari substrat. Lapisan-lapisan tersebut adalah, [12]

1. Trace atau konduktor

Trace ini yang disebut juga patch, merupakan lapisan teratas dari substrat, lapisan ini biasanya terbuat dari konduktor. Konduktor umumnya terbuat dari bahan tembaga, aluminium, atau emas. Pada lapisan ini akan dibentuk menjadi suatu bentuk tertentu untuk mendapatkan suatu pola radiasi seperti yang diinginkan. Untuk menentukan dari panjang patch (L) diperlukan parameter ΔL yang merupakan pertambahan panjang dari L akibat adanya fringing effect.

Pertambahan panjang dari L (ΔL) tersebut dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\frac{\Delta L}{h} = \frac{0,412 (\epsilon_{re} + 0,3) (\frac{w}{h} - 0,264)}{(\epsilon_{re} - 0,258) (\frac{w}{h} + 0,8)} \tag{2.4}$$

Dimana h adalah tebal dari substrat, dan ϵ_r merupakan konstanta dielektrik efektif yang dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\epsilon_{reff} = \left(\frac{\epsilon_r + 1}{2}\right) \left(\frac{\epsilon_r - 1}{2}\right) \left(1 + 12 \frac{h}{w}\right)^{-1/2} \tag{2.5}$$

Diperlukan juga panjang patch efektif (L_{eff}) yang dirumuskan sebagai berikut:

$$l_{eff} = \frac{c}{2 f_0 \sqrt{\epsilon_{re}}} \tag{2.6}$$

Sehingga panjang patch (L) dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$L = l_{eff} - 2\Delta L \tag{2.7}$$

2. Dielektrik

Bagian tengah dari substrat, pada lapisan ini digunakan bahan dielektrik. Dielektrik dengan ketebalan h memiliki permitivitas relatif (ϵ_r) berkisar antara 2,2 hingga 10. Konstanta dielektrik dibuat rendah untuk meningkatkan medan limpahan yang berguna dalam radiasi.

3. Groundplane

Groundplane memiliki bentuk geometris sederhana, misalkan lingkaran, persegi panjang, segitiga atau bentuk lain yang berfungsi sebagai reflektor untuk memantulkan sinyal yang tidak diinginkan. Idealnya groundplane yang digunakan memiliki luas dan tebal yang tidak terhingga (Infinite Ground Plane), namun hal ini tidak mungkin direalisasikan sehingga harus disiasati dengan cara menciptakan kondisi finite ground plane. Dimensi minimal groundplane yang dibutuhkan untuk menciptakan kondisi ini dapat dihitung dengan rumus berikut [11][12].

$$Ag = 6t + A \tag{2.8}$$

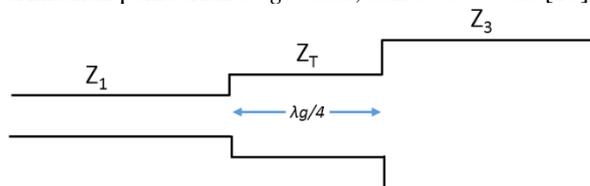
Keterangan:

t : tinggi substrat

a : lebar dan panjang patch (W, L)

2.3 Impedance Matching

Perancangan suatu antenna tidak terlepas dari penyesuaian impedansi (impedance matching). Nilai Voltage Standing Wave Ratio (VSWR) sama dengan satu merupakan kondisi yang menunjukkan bahwa impedansi antenna (ZL) sama dengan impedansi karakteristik (Z0) dan mentransmisikan sejumlah daya tanpa adanya pantulan [10]. Z0 merupakan karakteristik impedansi suatu saluran transmisi dan biasanya bernilai 50 ohm. ZL merupakan impedansi beban. Beban dapat berupa antenna atau rangkaian lain yang mempunyai impedansi ekivalen ZL. Karena kegunaan utama saluran transmisi adalah untuk mentransfer daya secara sempurna, maka beban yang matched sangat diperlukan. Metode pencatutan secara langsung sulit untuk mencapai kondisi matching. Oleh karena itu dibutuhkan suatu cara untuk mendapatkan kondisi yang matching, yaitu dengan cara menambahkan transformator $\lambda/4$ pada gambar 2.7 memperlihatkan pemberian single stub, dan double stub [15].



Gambar 2. 2 Transformator $\lambda/4$ [15]

Transformator $\lambda/4$ adalah suatu teknik impedance matching dengan cara memberikan saluran transmisi impedansi Z_T di Antara dua saluran transmisi yang tidak match. Panjang saluran transmisi transformator $\lambda/4$ ini sebesar $l = \frac{1}{4} \lambda_g$, dimana λ_g merupakan panjang gelombang bahan dielektrik yang besarnya dapat dihitung dengan persamaan:

$$\lambda_g = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \tag{2.19}$$

Dimana λ_0 adalah panjang gelombang pada ruang bebas. Nilai impedansi Z_T dapat dihitung dengan menggunakan persamaan [15] :

$$Z_T = \sqrt{Z_1 \times Z_3} \tag{2.20}$$

Impedansi karakteristik pada *Microstrip Feeding* ditentukan dengan lebar strip (W), tinggi substrat (h) dan panjang strip (L). Adapun menghitung rumus lebar saluran transmisi mikrostrip menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$W_f = \left\{ \frac{2 \times h}{\pi} \times \left[B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{2 \times \epsilon_r} \times \left[\ln(B - 1) + 0,39 - \frac{0,61}{\epsilon_r} \right] \right] \right\} \tag{2.10}$$

$$B = \frac{60\pi^2}{Z_0 \sqrt{\epsilon_r}} \tag{2.11}$$

$$\frac{WF}{h} > 1, \text{ Maka : } \epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \times \left[\frac{1}{\sqrt{1 + 12 \times \frac{h}{W_f}}} \right] \tag{2.12}$$

$$\frac{WF}{h} < 1 \text{ Maka : } \epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \times \left[\frac{1}{\sqrt{1 + 12 \times \frac{h}{W_f}}} + 0,04 \times \left(1 - \frac{w}{2} \right)^2 \right] \tag{2.13}$$

Keterangan :

- Wf = Lebar pencatuan (mm)
- ϵ_r = Karakteristik permitivitas relatif
- h = Tebal bahan dielektrik (mm)
- Z_0 = Impedansi catuan (Ω)

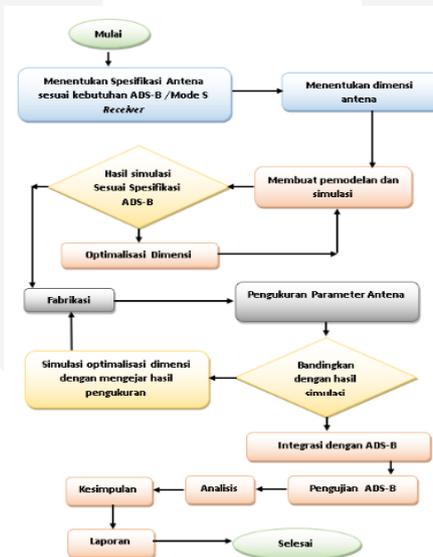
$$L_f = \frac{\lambda_g}{4} \tag{2.13}$$

$$\lambda_g = \frac{c}{f \sqrt{\epsilon_{reff}}} \tag{2.14}$$

dimana , L_f adalah Panjang Saluran Transmisi (mm)

3. Simulasi Antena

Pada perancangan *Antenna Microstrip Planar Dipole Array* yang digunakan untuk aplikasi ADS-B/MODE-S RECEIVER ini tentu terdapat beberapa proses seperti pada Gambar 3.1 agar spesifikasi dan dimensi sesuai. Tujuan dari diagram alir pada Gambar 3.1 adalah agar pelaksanaan Tugas Akhir ini dapat bekerja secara terstruktur.



Gambar 3.1 Diagram Perancangan Antena

3.1 Spesifikasi Antena

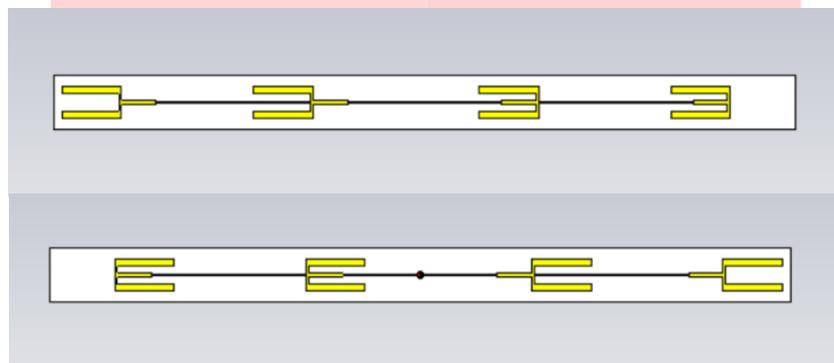
Pada tahap ini dilakukan penentuan spesifikasi *Antenna Microstrip Planar Dipole Array* yang diinginkan sesuai dengan kegunaannya, dengan spesifikasi yang sudah ditentukan akan mempermudah dalam tahap optimasi. Spesifikasi antena meliputi beberapa parameter yang ada di antena seperti VSWR, Frekuensi Kerja, Pola Radiasi, Gain dan Polarisasi.

Tabel 3.1 Spesifikasi antena

Spesifikasi	Deskripsi
Desain antena	Microstrip Planar Dipole Array
Frekuensi kerja	1,09 GHz
Impedansi	50 Ω
Bandwidth	20 MHz
Return loss	≤ -10
VSWR	≤ 2
Pola radiasi	Omnidirectional
Gain	≥ 3 dB
Polarisasi	Linier Vertikal
Bahan	FR – 4 Epoxy

3.2 Simulasi Menggunakan Software Simulasi

Untuk merealisasikan antena yang akan dirancang maka diperlukan simulasi terlebih dahulu, simulasi pada Tugas Akhir ini menggunakan *Software Simulasi*. Simulasi ini bertujuan agar dapat mengetahui dimensi suatu antena yang paling optimal, jika sudah melakukan simulasi namun hasilnya belum memenuhi spesifikasi maka dilakukan proses optimasi agar hasil running sesuai dengan apa yang sudah ditentukan.



Gambar 3.1 Antena setelah disimulasi dan optimasi

Tabel 3.2 Dimensi antena setelah dimulasikan dan optimasi

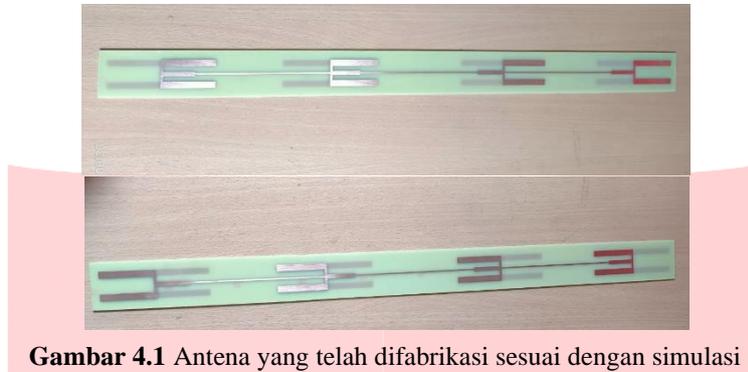
Variabel	Optimasi Microstrip	Keterangan
	Nilai (mm)	
Substrat	1,6	Tebal substrat
Substrat_samping	10	Lebar substrat
ST_P4	51	Panjang saltran 4
ST_P3	8	Panjang saltran 3
ST_P2	31	Panjang stub
ST_P	139	Panjang saltran
ST_L4	6,7	Lebar saltran 4
ST_L3	2,3	Lebar saltran 3
ST_L2	4,5	Lebar stub
ST_L	1,5	Lebar saltran
patch	0,035	Tebal Patch
Konektor_teflon	4,1	Diameter luar konektor
Konektor_Radius	2	Diameter jarak konektor - saltran
Konektor_Iner	1,2	Diameter dalam konektor
Konektor_Ground	1	Diameter konektor
Konektor_Bawah	10	Tinggi konektor arah bawah
Konektor_Atas	2	Tinggi konektor arah atas

Hasil dari proses simulasi dan optmasi yang dilakukan mendapatkan nilai dari beberapa parameter yang sudah ditentukan. Parameter tersebut antara lain return loss sebesar $-36,639$ dan VSWR $1,0299$ pada frekuensi $1,09$ GHz. Bandwidth sebesar 20 MHz dan impedansi $49,672 \Omega$ seperti yang diharapkan pada spesifikasi awal, dengan pola radiasi omnidirectional, polarisasi linier serta *gain* sebesar $4,643$ dB pada frekuensi $1,09$ GHz. Dengan demikian antena dapat dirancang dan melakukan tahap fabrikasi.

4. Pengukuran dan Analisis

Untuk mengetahui perbandingan hasil nilai dari simulasi dan realisasi antenna maka perlu diadakannya pengujian dengan pengukuran parameter antenna pada Tugas Akhir ini. Hal yang perlu diperhatikan pada saat pengukuran adalah kemampuan dari alat ukur itu sendiri seperti rating maksimum dan frekuensi yang mampu diukur oleh alat ukur tersebut.

Fabrikasi dilakukan menggunakan penyedia jasa percetakan antenna yang lebih professional yang bertujuan agar tingkat ketelitian yang semakin tinggi.



Gambar 4.1 Antena yang telah difabrikasi sesuai dengan simulasi

4.1 Hasil VSWR

Jika dilihat pada Tabel 4.1 hasil VSWR dibandingkan dengan hasil simulasi maupun dengan hasil pengukuran mengalami pergeseran nilai sehingga terjadi perbedaan hasil dari simulasi dengan pengukuran. Hal tersebut terjadi karena simulasi merupakan hasil dengan kondisi yang paling ideal tetapi pada saat proses realisasi dilakukan tidak mampu mendapatkan kondisi lingkungan yang ideal seperti pada simulasi yang menggunakan *Software*. Namun hasil tersebut masih dapat ditoleransi dikarenakan hasil VSWR ≤ 2 .

Tabel 4.1 Perbandingan hasil VSWR

Frekuensi (GHz)	Nilai	
	Simulasi	Pengukuran
1.09	1,029	1,202

4.2 Hasil Impedansi

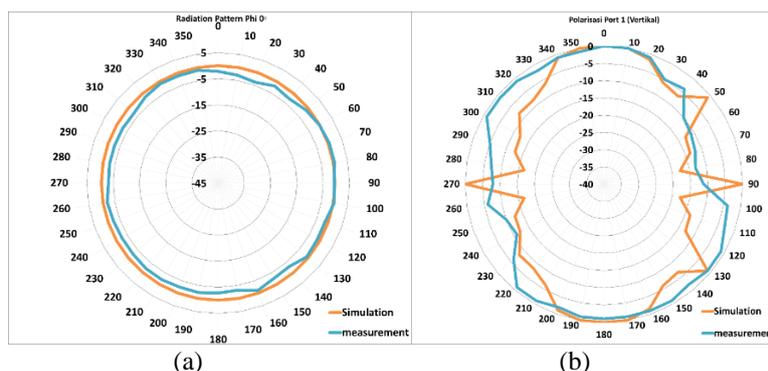
Impedansi merupakan nilai yang dapat membuktikan bahwa hasil yang didapat sebelumnya matching dengan saluran transmisi, pada Tabel 4.3 terlihat bahwa hasil pengukuran dengan hasil simulasi berbeda dan nilainya tidak konstan. Hasil dari impedansi ini terjadi karena faktor dari kurangnya tingkat ketelitian pada saat fabrikasi, maupun adanya interferensi dari benda lain. Akan tetapi hasil tersebut sudah sesuai dengan harapan mendekati 50Ω ,

Tabel 4.3 Perbandingan hasil impedansi

Frekuensi (GHz)	Nilai	
	Simulasi	Pengukuran
8	56,036363 Ω	115,0684 Ω

4.3 Hasil Pola radiasi dan Gain

Tujuan diukurnya polaradiasi adalah untuk mengukur level keluaran daya ataupun tingkat penerimaan sinyal pada sebuah antenna yang akan diukur. Saat pengukuran dapat terjadi perbedaan polaradiasi hasil pengukuran dengan simulasi, hal tersebut terjadi karena rotasi dari *Antena Under Test* dilakukan secara manual maupun dari alat pengukuran itu sendiri. Hal tersebut dapat menyebabkan nilai yang didapatkan oleh spectrum analyzer sering berubah, itu dapat mengakibatkan nilai yang tercatat tidak sesuai dengan nilai sebenarnya. Dapat dilihat pada gambar 4.2 bahwa pola radiasi antenna yang dirancang adalah omnidirectional.

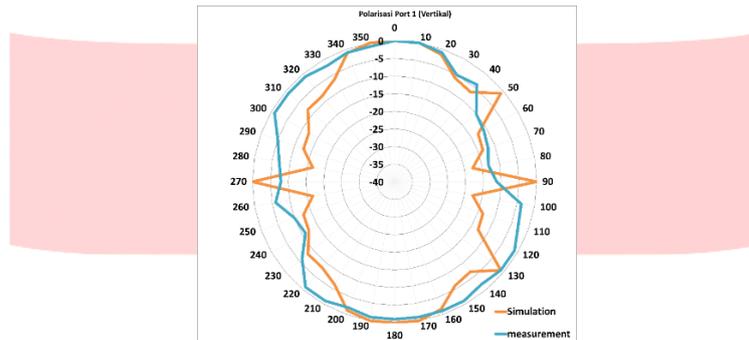


Gambar 4.2 Hasil pola radiasi (a) Azimuth (b) Elevasi**Tabel 4.4** Perbandingan hasil *gain*

Frekuensi (GHz)	<i>Gain</i> (dBi)	
	Simulasi	Pengukuran
1,09	4,642	4,079

Dapat dilihat dari Tabel 4.4 bahwa hasil yang didapat dari pengukuran sedikit berbeda dengan hasil simulasi. Sehingga antenna yang di rancang sudah memenuhi dari spesifikasi untuk sistem ADS-B/MODE-S *RECEIVER* yang nilai *Gain* ≥ 3 dBi.

4.4 Hasil Polarisasi

**Gambar 4.3** Hasil polarisasi

Polarisasi dapat diartikan sebagai arah medan listrik yang diradiasikan antenna pada arah propagasi. Tujuan dari pengukuran polarisasi antenna yaitu untuk mencegah terjadinya *polarization loss*. Dengan menganalisis rasio medan listriknya, kita dapat menentukan hasil polarisasi dari sebuah antenna. Dari hasil simulasi dan pengukuran dapat dianalisis rasionya sebesar 3,16227766 dB pada frekuensi 1,09 GHz, yang berarti rancangan antenna ini memiliki polarisasi elips.

5. Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan yang didapatkan dari proses perancangan, simulasi hingga realisasi antenna mikrostrip dipole array pada frekuensi 1,09 GHz untuk Aplikasi *Receiver Mode-S* (ADS-B) adalah sebagai berikut:

1. Antenna mikrostrip planar *printed* dipole array yang dirancang dapat digunakan pada frekuensi 1,09 GHz untuk Aplikasi *Receiver Mode-S*.
2. Antenna yang dirancang mempunyai nilai VSWR sebesar 1,202 dan nilai *Return loss* sebesar -21,084 pada frekuensi 1,09 GHz.
3. *Bandwidth* antenna hasil pengukuran mengalami pelebaran dari hasil simulasi sebesar 150,9 MHz menjadi 183 MHz pada frekuensi 1,09 GHz, dan telah mencapai spesifikasi awal yaitu sebesar >50 kHz.
4. Antenna yang dirancang menghasilkan *gain* sebesar 4,079 dBi pada frekuensi 1,09 GHz. Nilai *gain* yang dihasilkan sudah memenuhi syarat minimum untuk pengaplikasian *receiver mode-S* yaitu sebesar 3 dBi.
5. Antenna ini memiliki polarisasi elips dengan nilai *Axial Ratio* sebesar 3,16227766 dB, dan memiliki polarisasi *Omnidirectional*.

Untuk penelitian selanjutnya agar mendapatkan hasil yang maksimal untuk Tugas Akhir ini, saran yang dapat disampaikan oleh penulis adalah sebagai berikut:

1. Pada saat proses fabrikasi diharapkan untuk memperhatikan tingkat ketelitian agar hasil dari pengukuran dan simulasi tidak terlalu jauh, karena hasil pengukuran akan sangat terpengaruh oleh perubahan sekecil apapun.
2. Pada saat pengukuran di luar ruangan diharapkan untuk memperhatikan interferensi yang ada disekitar lokasi untuk meminimalkan pantulan dari benda asing, agar hasil pada saat pengukuran menjadi lebih akurat.

REFERENSI

- [1] Th 10 Air Navigation Conference, Montreal.
- [2] B. S. Ali, "System Specifications for Developing an Automatic Dependent Surveillance-Broadcast (ADS-B/MODE-S *RECEIVER*) Monitoring System," *Int. J. Crit. Infrastruct. Prot.*, p. 2, 2015.
- [3] A. Abdulaziz, A. S. Yaro, A. A. Adam, M. T. Kabir, and H. B. Salau, "Optimum *Receiver* for Decoding Automatic Dependent Surveillance Broadcast (ADS-B/MODE-S *RECEIVER*) Signals," *Am. J. Signal Process.*, pp. 23–31, 2015.

- [4] R. Garg, *Microstrip Antenna Design Handbook*. Artech House, 2001.
- [5] J. Wiley and Sons, *Antenna Theory Second Edition*. C. A. Balanis, 1938.
- [6] Ristekdikti, "Sistem Pemantau Penerbangan Nir Radar Berbasis ADS-B/MODE-S *RECEIVER* Buatan dalam Negeri," Kementrian Ris. Teknol. dan Pendidik. Tinggi, 2016.
- [7] D. G. Fang, "Antenna Theory and Microstrip Antennas," 2017.
- [8] Essa Alkautsar Suteja, *Perancangan Antena Mikrostrip untuk Penerima Sinyal ADS-B/MODE-S *RECEIVER* Pada Satelit Nano*, Bandung: Universitas Telkom, 2018.
- [9] H. D. B. Islam, "Rancangan Antena RTL-SDR R820T2 Untuk *Receiver* Automatic Dependent Surveillance Broadcast Guna Meningkatkan Pelayanan Navigasi Penerbangan di Bandar Udara Internasional Lombok", Program Studi Teknik Navigasi Udara, Jurusan Teknik Penerbangan Sekolah Tinggi Penerbangan Indonesia.
- [10] THALES. 2007. *Technical Manual ADSB ground station AS680/682 and RCMS*. Stuttgart.
- [11] J. D. Krauss, *Antennas.*, united states: Wiliey Inter Science, 1998.
- [12] C. A. Balanis, *Antena Theory Analisis and Design 3rd Edition*. United Science, Wiliey Inter Science, 2005.
- [13] Yussi Perdana Saputera, dkk, "Small antenna using transmission line uniform for X-band navigation radar", 2015 International Workshop on Antenna Technology, iWAT 2015 vol. , 23 December 2015.
- [14] Yussi Perdana Saputera, dkk, *Proceedings of 2014 8th International Conference on Telecommunication Systems Services and Applicati* vol. , 23 March 2015.
- [15] Yussi Perdana Saputera, dkk, *Compact power combiner integrated with coupler and microstrip cavity filter for x-band surveillance radar*", *Telkomnika (Telecommunication Computing Electronics and Control)* vol. 15, March 2017.
- [16] J.L. Volakis, C. Chen, and K. Fujimoto. "Small antennas: miniaturization techniques and applications". *McGraw Hill*. New York, NY, USA. 2010.
- [17] J. R. James dan P. S. Hall, *Handbook of Microstrip Antenna*, London : Peter Peregrinus Ltd, 1989.
- [18] Kin-Lu Wong, Fu-Ren Hsiao and Tzung-Wern Chiou, "Omnidirectional planar dipole array antenna," in *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 52, no. 2, pp. 624-628, Feb. 2004, doi: 10.1109/TAP.2004.823897.
- [19] Fu-Ren Hsiao, Kin-Lu Wong and Tzung-Wern Chiou, "Omnidirectional planar dipole array antenna for WLAN access point," *IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium. Digest. Held in conjunction with: USNC/CNC/URSI North American Radio Sci. Meeting (Cat. No.03CH37450)*, Columbus, OH, USA, 2003, pp. 2-5 vol.2, doi: 10.1109/APS.2003.1219165.