

RANCANG BANGUN ANTENA MICROSTRIP BAND FREKUENSI VHF UNTUK PERANGKAT PEMERIKSA KINERJA ALAT NAVIGASI UDARA

Ilham Ramadhan Dyah Kurniawan Putra^{1*}, Muh Wildan², Febrian Latief Adipradama³

^{1,2,3}Politeknik Penerbangan Indonesia Curug; Jl. Raya PLP Curug, Serdang Wetan, Kec. Legok, Kabupaten Tangerang, Banten 15820; ilhamramadhandkp21@gmail.com

Keywords:

Ground inspection, Meander line, antena mikrostrip

Correspondent Email:

ilhamramadhandkp21@gmail.com

Invensi ini berfokus pada pengembangan antena penerima yang digunakan untuk menguji kinerja alat bantu navigasi udara. Antena ini mencakup penerimaan sinyal dari sistem Instrumen Landing System (ILS) Localizer dan VHF Omni-Directional Range (VOR) pada frekuensi 108-118 MHz. Desain antena dikembangkan menggunakan software antenna design yang dapat membuat dan mensimulasikan parameter antena tersebut. Pada hasil simulasi antena ini bekerja pada frekuensi VHF navigation dengan nilai Return Loss -33,18 dB, VSWR 1,04, dan Bandwidth 16 MHz. Hasil pengukuran antena menunjukkan bahwa antena dapat bekerja pada frekuensi VHF navigation dengan nilai Return Loss -45,05 dB, VSWR 1,03, dan Bandwidth 3,7 MHz. Pada perancangan antena ini, diperoleh mikrostrip meander line dengan dimensi 340 mm x 190 mm yang dapat bekerja pada band frekuensi VHF navigation. Namun, antena ini hanya dapat beroperasi pada frekuensi kerja sesuai dengan bandwidth yang didapatkan saja.



Copyright © [JITET](http://www.jitet.org) (Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan). This article is an open access article distributed under terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC)

This invention focuses on the development of a receiving antenna used to test the performance of air navigation aids. This antenna receives signals from the Instrument Landing System (ILS) Localizer and VHF Omni-Directional Range (VOR) at frequencies of 108-118 MHz. The antenna design was developed using antenna design software that can create and simulate the antenna parameters. The simulation results show that the antenna operates at VHF navigation frequencies with a Return Loss of -33.18 dB, a VSWR of 1.04, and a bandwidth of 16 MHz. Measurement results indicate that the antenna can operate at VHF navigation frequencies with a Return Loss of -45.05 dB, a VSWR of 1.03, and a bandwidth of 3.7 MHz. In the design of this antenna, a microstrip meander line with dimensions of 340 mm x 190 mm was obtained that can operate at the VHF navigation frequency band. However, this antenna can only operate at the operating frequency corresponding to the obtained bandwidth.

1. PENDAHULUAN

Penerbangan merupakan suatu sistem yang mencakup pemanfaatan ruang udara, pengoperasian pesawat, bandar udara, navigasi penerbangan, serta aspek keselamatan, keamanan, dan lingkungan. Setiap elemen dalam sistem ini saling terintegrasi untuk memastikan transportasi udara berjalan secara

efisien, aman, dan sesuai dengan regulasi yang berlaku. Selain itu, fasilitas pendukung dan layanan tambahan turut berperan dalam mendukung kelancaran serta kenyamanan bagi pengguna jasa penerbangan[1]. Penerbangan merupakan moda transportasi yang memiliki kecepatan tinggi serta tingkat keamanan yang optimal. Seiring dengan meningkatnya

permintaan terhadap layanan penerbangan, upaya peningkatan jaminan keselamatan harus terus dilakukan untuk memastikan standar yang lebih baik[2]. Oleh karena itu, diperlukan peralatan keselamatan penerbangan yang memadai dan berfungsi secara optimal. Upaya ini bertujuan untuk mendukung penyelenggaraan penerbangan yang efisien, aman, dan nyaman bagi seluruh pengguna jasa.

Salah satu faktor yang dapat mendukung penyelenggaraan penerbangan yang efisien dan aman adalah dengan memastikan peralatan navigasi penerbangan bekerja dengan baik sesuai ketentuan. Navigasi penerbangan merupakan proses yang bertujuan untuk mengarahkan pergerakan pesawat dari satu lokasi ke lokasi lainnya dengan aman dan efisien, sehingga dapat menghindari berbagai bahaya serta rintangan yang dapat mengganggu jalannya penerbangan[3]. Proses pengarahannya pergerakan pesawat dilakukan dengan memanfaatkan peralatan gelombang radio yang disebut Radio Navigation Aids (RNA). Beberapa alat RNA yang digunakan dalam pemanduan navigasi penerbangan yaitu VHF navigation yang meliputi ILS localizer dan VOR.

VHF navigation merupakan perangkat bantu untuk pemanduan navigasi yang dirancang dengan frekuensi kerja very high frequency. Perangkat ini digunakan oleh pilot dalam melaksanakan prosedur pendekatan dan pendaratan pesawat di bandara[4]. ILS terdiri dari tiga komponen utama, yaitu Localizer, Glide path, dan Marker. Localizer beroperasi pada frekuensi Very High Frequency (VHF) dalam rentang 108 MHz hingga 112 MHz, berfungsi untuk mengarahkan pesawat menuju Center Line Runway[4]. Sementara itu VOR berfungsi sebagai pemandu pesawat dalam melakukan penerbangan serta pemberi informasi azimuth yang juga bekerja pada frekuensi VHF yaitu 108 MHz sampai 118 MHz[5]. Untuk memastikan keamanan dan keselamatan penerbangan, penting untuk melakukan pemeriksaan berkala terhadap kinerja peralatan navigasi penerbangan dari darat (Ground inspection)[6]. Pelaksanaan inspeksi lapangan dilakukan dengan memanfaatkan Portable ILS/VOR Receiver (PIR). Tujuan dari kegiatan inspeksi ini adalah untuk memeriksa sinyal output yang dipancarkan oleh peralatan ILS Localizer serta

VOR. Sebagai dasar penelitian, perancangan antenna pada penelitian ini menggunakan beberapa metode yang sudah diteliti oleh peneliti sebelumnya, yang mana akan dibutuhkan untuk merancang antenna mikrostrip.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk merancang antenna mikrostrip meander line yang dapat beroperasi pada frekuensi kerja Very High Frequency (VHF) navigation, khususnya dalam rentang frekuensi 108–118 MHz. Perancangan ini bertujuan menghasilkan antenna yang memenuhi parameter kinerja sesuai standar, yaitu memiliki nilai Return loss ≤ -10 dB dan Voltage Standing Wave Ratio (VSWR) < 2 , sehingga mampu bekerja secara optimal pada sistem komunikasi navigasi penerbangan. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk menghasilkan desain antenna yang lebih ringkas dan efisien dibandingkan antenna konvensional yang saat ini digunakan, agar dapat diintegrasikan dengan perangkat portabel atau sistem berbasis Unmanned Aerial Vehicle (UAV) untuk pemeriksaan kinerja alat bantu navigasi udara[7].

Manfaat dari penelitian ini adalah diperolehnya desain antenna receiver sebagai alternatif pengganti antenna PIR konvensional dalam kegiatan ground inspection pada peralatan VHF navigation. Antenna yang dirancang memiliki dimensi lebih ringkas, sehingga lebih praktis, efisien, dan mudah diintegrasikan dengan perangkat inspeksi seperti drone. Selain itu, penelitian ini memiliki keterbaruan dibandingkan penelitian sebelumnya, yakni menghasilkan antenna dengan ukuran yang lebih kecil namun tetap memiliki kinerja yang baik pada parameter return loss dan VSWR[8].

2. TINJAUAN PUSTAKA

Antena merupakan perangkat elektromagnetik yang berfungsi untuk memancarkan atau menerima gelombang radio dalam sistem komunikasi dan navigasi. Jenis antenna yang banyak digunakan saat ini adalah antenna mikrostrip, karena memiliki dimensi yang ringkas, ringan, dan mudah difabrikasi [1]. Struktur antenna mikrostrip terdiri atas tiga bagian utama, yaitu patch sebagai elemen peradiasi, substrat dielektrik sebagai penyangga, dan ground plane sebagai reflektor [9]

Dalam bidang navigasi penerbangan, antenna berperan penting pada sistem seperti Instrument Landing System (ILS) dan VHF Omni-Directional Range (VOR). Kedua sistem ini bekerja pada rentang frekuensi VHF (108–118 MHz) yang digunakan untuk memberikan sinyal panduan arah dan jalur pendaratan pesawat[3]. Oleh karena itu, diperlukan antenna dengan performa tinggi, efisien, dan memiliki ukuran yang kompak agar dapat diintegrasikan ke dalam perangkat ground inspection berbasis Portable ILS Receiver (PIR)[10].

Salah satu pendekatan untuk mengurangi ukuran fisik antenna tanpa menurunkan performa adalah dengan menerapkan teknik meander line. Teknik ini memanfaatkan jalur konduktor berbentuk berliku-liku yang memperpanjang lintasan arus, sehingga resonansi dapat dicapai pada frekuensi rendah meskipun ukuran antenna fisiknya kecil [11]. Secara matematis, panjang total lintasan arus (L_t) pada antenna meander line dapat dinyatakan sebagai:

$$L_t = N \times (L_i + W_i) \quad (1)$$

Dengan:

L_i = panjang tiap segmen line (mm)

W_i = jarak antar line (mm)

N = jumlah line meander

Frekuensi kerja antenna ditentukan oleh panjang gelombang elektromagnetik (λ) yang dihitung dengan persamaan dasar [5]:

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (2)$$

Dengan:

λ = panjang gelombang (m)

c = kecepatan cahaya (3×10^8 m/s)

f = frekuensi kerja antenna (Hz)

Selain itu, pada antenna mikrostrip diperlukan saluran pencatu (feedline) dengan impedansi 50Ω agar terjadi pencocokan (matching) antara sumber dan antenna[12]. Lebar saluran pencatu (W_f) dihitung menggunakan rumus [13]:

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

Dimana B dapat dicari dengan persamaan:

$$B = \frac{377\pi}{2Z_0\sqrt{\epsilon_r}} \quad (4)$$

Keterangan:

W_f = Lebar jalur pencatu (mm)

h = Ketebalan substrat dielektrik (mm)

ϵ_r = Permittivitas relatif bahan dielektrik

Z_0 = Impedansi karakteristik yang diinginkan (biasanya 50Ω atau 75Ω)

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(\frac{1}{\sqrt{1 + 12 \frac{h}{W}}} \right) \quad (5)$$

Keterangan:

ϵ_{eff} = permitivitas efektif dari substrat

ϵ_r = permitivitas relatif (konstanta dielektrik) bahan substrat

h = ketebalan substrat (dalam mm)

W = lebar jalur mikrostrip (dalam mm)

Panjang saluran pencatu (L_f) dapat dihitung dengan mempertimbangkan Panjang gelombang tereduksi pada substrat (λ_d) [8]:

$$L_f = \frac{\lambda_d}{4} = \frac{c}{4f\sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (6)$$

Keterangan:

L_f = panjang feedline mikrostrip (mm)

λ_g = panjang gelombang dalam substrat (mm)

c = kecepatan cahaya di ruang hampa (3×10^8 m/s)

f = frekuensi operasi antenna (Hz)

ϵ_{eff} = permitivitas efektif substrat

Untuk mengevaluasi kinerja antenna hasil perancangan, beberapa parameter penting digunakan sebagai acuan:

Return loss (S_{11}) menunjukkan tingkat daya yang dipantulkan oleh antenna, dirumuskan sebagai[14]:

$$RL \text{ (dB)} = 20 \log | \Gamma | \quad (7)$$

Voltage Standing Wave Ratio (VSWR) menunjukkan tingkat pencocokan impedansi antara antenna dan saluran transmisi[15]:

$$VSWR = \frac{1 + \sqrt{\frac{\text{Daya yang kembali}}{\text{Daya yang dipancarkan}}}}{1 - \sqrt{\frac{\text{Daya yang kembali}}{\text{Daya yang dipancarkan}}}} \quad (8)$$

Keterangan:

Γ = Koefisien pantul

VSWR = Rasio Gelombang Berdiri Tegangan

Dengan penerapan teknik meander line serta optimasi parameter geometri seperti panjang line, jarak antar line, dan ukuran substrat, antenna mikrostrip dapat dihasilkan dengan ukuran lebih kecil namun tetap memiliki kinerja optimal pada frekuensi kerja VHF navigation (108–118 MHz). Hal ini menjadi dasar inovasi dalam penelitian ini untuk menghasilkan antenna yang lebih kompak dibandingkan antenna konvensional, tanpa mengorbankan performa elektromagnetiknya[16].

3. METODE PENELITIAN



Gambar 1 Metode ADDIE

Penelitian ini menggunakan metode ADDIE (Analysis, Design, Development, Implementation, and Evaluation) sebagai pendekatan sistematis dalam proses perancangan antenna mikrostrip *meander line* pada perangkat *Portable ILS Receiver* (PIR). Pemilihan metode ini didasarkan pada kemampuannya dalam memberikan alur kerja yang terstruktur, efisien, dan mudah diterapkan pada penelitian berbasis pengembangan produk teknologi.

A. Tahap Analisis

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan data melalui *literature review* terhadap teori antenna, sistem navigasi udara, serta referensi teknis mengenai karakteristik frekuensi kerja VHF *navigation* (108–118 MHz). Analisis ini menjadi dasar dalam menentukan spesifikasi antenna yang sesuai dengan kebutuhan *ground inspection* pada sistem *ILS Localizer*.

B. Tahap Desain

Proses perancangan antenna dilakukan menggunakan perangkat lunak CST Studio Suite 2021. Pada tahap ini, ditentukan dimensi

dan bentuk antenna mikrostrip *meander line* yang dirancang untuk beroperasi pada frekuensi 113 MHz. Setelah model awal selesai, dilakukan simulasi untuk memperoleh parameter antenna seperti *return loss*, *VSWR*, *gain*, dan *bandwidth*.

C. Tahap Pengembangan

Setelah desain awal menghasilkan parameter yang sesuai, antenna difabrikasi menggunakan *substrat* FR-4 Epoxy dengan nilai konstanta dielektrik 4,3 dan ketebalan 1,6 mm. Material patch dan *ground plane* terbuat dari tembaga dengan ketebalan 0,035 mm. Proses fabrikasi dilakukan di SPECTRA PCB, Bandung, untuk menghasilkan antenna fisik dengan kualitas sesuai rancangan.

D. Tahap Implementasi

Antena hasil fabrikasi diuji menggunakan *Vector Network Analyzer Rohde & Schwarz ZNC3* di Laboratorium Navigasi Udara, Gedung Teknik Penerbangan, Politeknik Penerbangan Indonesia Curug. Pengujian dilakukan untuk mengukur parameter utama antenna, meliputi *return loss*, *VSWR*, *bandwidth*, dan *impedansi*, serta membandingkannya dengan hasil simulasi dari *CST Studio Suite*.

E. Tahap Evaluasi

Tahap akhir dilakukan untuk mengevaluasi kesesuaian antara hasil simulasi dan hasil pengukuran. Evaluasi ini mencakup analisis perbedaan nilai parameter antenna dan identifikasi faktor penyebab deviasi, seperti ketidaksempurnaan fabrikasi, variasi bahan *substrat*, serta kondisi lingkungan pengujian. Hasil evaluasi digunakan sebagai dasar dalam memberikan rekomendasi untuk peningkatan desain antenna agar lebih efisien dan akurat.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

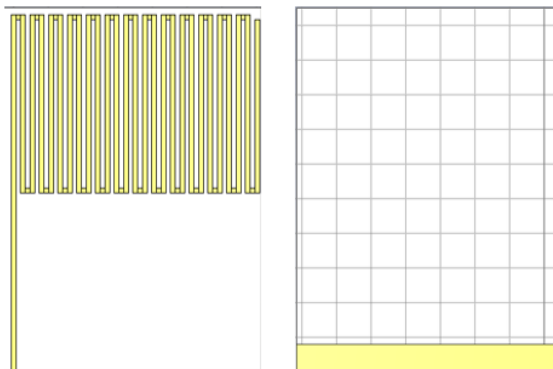
Proses perancangan antenna mikrostrip meander line dilakukan menggunakan perangkat lunak CST Studio Suite 2019. Simulasi ini bertujuan untuk mendapatkan performa antenna yang optimal dengan memperhatikan parameter utama, yaitu Return loss (S_{11}), VSWR, Impedansi, Bandwidth, dan Pola Radiasi.

Antena dirancang untuk bekerja pada frekuensi tengah 113 MHz dengan substrat FR-4 Epoxy yang memiliki konstanta dielektrik (ϵ_r) sebesar 4,3 dan ketebalan 1,6 mm. Berdasarkan hasil perhitungan menggunakan rumus yang ada pada bab kajian pustaka, parameter awal

desain antenna mikrostrip meander line dirangkum dalam tabel berikut sebagai dasar proses perancangan.

Tabel 1 Ukuran awal antenna

| Parameter | Simbol | Ukuran (mm) |
|-----------------------------|-----------|----------------|
| Panjang <i>feedline</i> | L_f | 205,418 |
| Lebar <i>feedline</i> | W_f | 2,7 |
| Panjang <i>line</i> | l_i | 102,709 |
| Lebar <i>line</i> | W_i | 2,7 |
| Jarak antar <i>line</i> | l_{gap} | 2,7 |
| Jumlah <i>line</i> | N | 26 <i>line</i> |
| Panjang <i>substrat</i> | P_s | 210 |
| Lebar <i>substrat</i> | L_s | 150 |
| Panjang <i>ground plane</i> | P_g | 16 |
| Lebar <i>ground plane</i> | L_g | 150 |
| Tebal <i>patch</i> | T_p | 0,035 |
| Tebal <i>substrat</i> | T_s | 1,6 |



Gambar 2 Tampak depan dan belakang rancangan antenna awal antenna

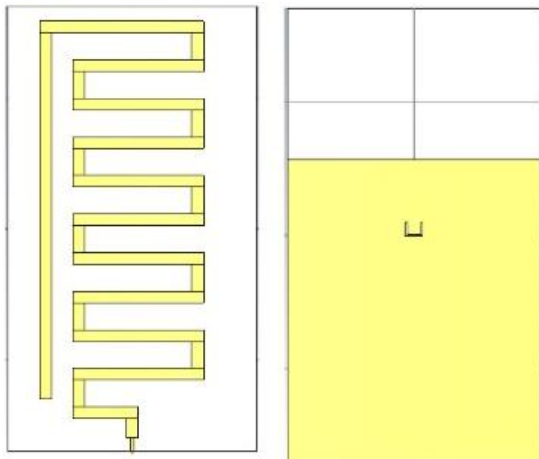
Parameter simulasi terbaik tercapai pada frekuensi tengah sebesar 117 MHz, dengan nilai return loss sebesar -16,60774 dB dan VSWR sebesar 1,34252. Meskipun demikian, hasil tersebut masih belum sepenuhnya memenuhi spesifikasi performa yang ditargetkan untuk beroperasi optimal pada frekuensi tengah 117 MHz. Oleh karena itu, dilakukan proses optimasi desain antenna guna memperoleh parameter kinerja yang lebih sesuai dengan kebutuhan operasional.

Berdasarkan hasil desain antenna setelah melalui proses optimasi, terdapat beberapa bagian yang mengalami penyesuaian dimensi, baik berupa pengurangan maupun penambahan ukuran. Penyesuaian tersebut mencakup

perubahan pada panjang substrat, panjang line, panjang saluran pencatu (*feedline*), bentuk pola meander, serta ukuran *ground plane*. Perbandingan antara dimensi sebelum dan sesudah optimasi disajikan secara rinci pada tabel berikut.

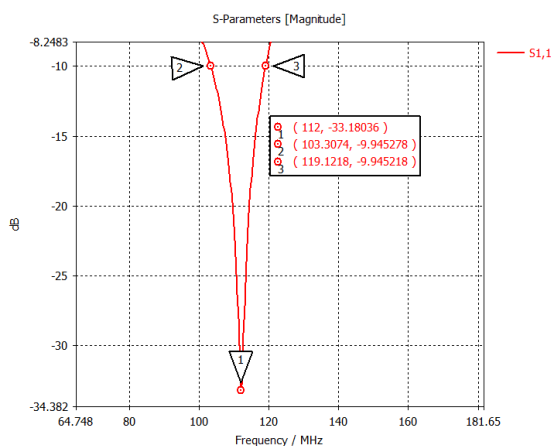
Tabel 2 Perbandingan dimensi antenna sebelum dan sesudah optimasi

| Parameter | Sebelum Optimasi (mm) | Sesudah Optimasi (mm) |
|--------------------------------|-----------------------|-----------------------|
| Panjang <i>feedline</i> 1 | 205,417 | 10 |
| Panjang <i>feedline</i> 2 | - | 15 |
| Lebar <i>feedline</i> 1 | 2,7 | 3,3 |
| Lebar <i>feedline</i> 2 | - | 9 |
| Panjang <i>line</i> kecil | - | 50 |
| Panjang <i>line</i> | 102,709 | 100 |
| Lebar <i>line</i> kecil | - | 9 |
| Lebar <i>line</i> | 2,7 | 9 |
| Panjang tambahan <i>line</i> 1 | 100 | 125 |
| Panjang tambahan <i>line</i> 2 | - | 280 |
| Lebar tambahan <i>line</i> 1 | 2,7 | 9 |
| Lebar tambahan <i>line</i> 2 | - | 9 |
| Jarak antar <i>line</i> | 2,7 | 20,5 |
| Jumlah <i>line</i> | 26 | 12 |
| Panjang <i>substrat</i> | 210 | 340 |
| Lebar <i>substrat</i> | 150 | 190 |
| Panjang <i>ground plane</i> | 16 | 226,6 |
| Lebar <i>ground plane</i> | 150 | 190 |
| Tebal <i>patch</i> | 0,035 | 0,035 |
| Tebal <i>substrat</i> | 1,6 | 1,6 |

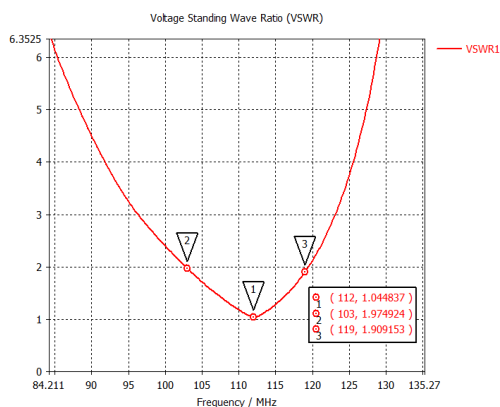


Gambar 2 tampak depan dan belakang rancangan antenna setelah optimasi

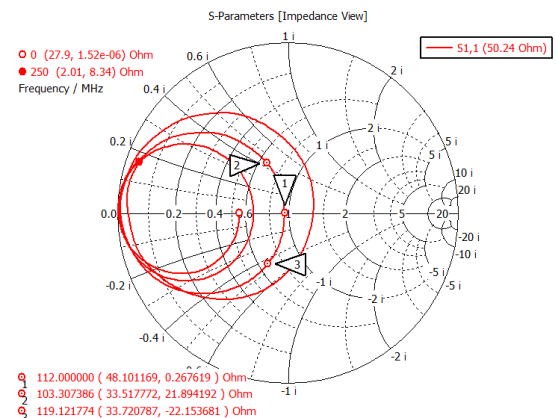
Setelah proses optimasi dilakukan pada desain antenna mikrostrip meander line, diperoleh hasil parameter kinerja antenna yang meliputi nilai return loss, VSWR, dan impedansi yang dapat dilihat secara visual pada gambar berikut.



Gambar 3 Hasil simulasi optimasi nilai *return loss*



Gambar 4 Hasil simulasi optimasi nilai VSWR



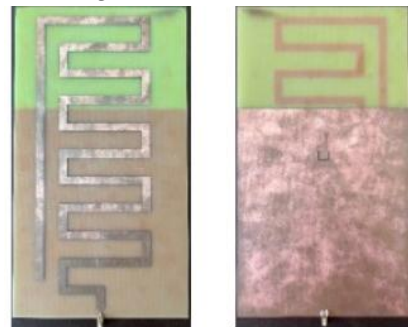
Gambar 5 Grafik impedansi setelah optimasi

Ringkasan dari seluruh parameter hasil akhir setelah proses optimasi disajikan secara rinci pada tabel berikut.

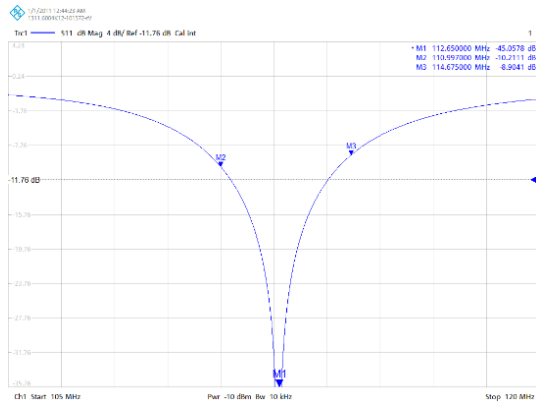
Tabel 3 Hasil keseluruhan simulasi setelah optimasi

| Parameter | Nilai Parameter |
|--------------------|-------------------|
| <i>Return loss</i> | -33,18036 |
| VSWR | 1,044837 |
| <i>Bandwidth</i> | 16 MHz |
| Impedansi | 50,24087 Ω |

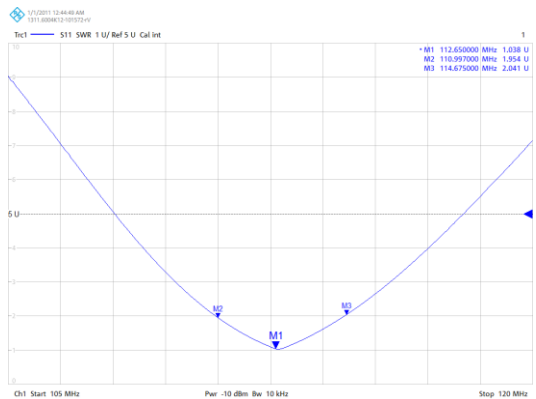
Setelah desain antenna mencapai performa yang diinginkan melalui simulasi, proses selanjutnya adalah fabrikasi. Antena dicetak menggunakan substrat PCB FR-4 berukuran 195 mm \times 115 mm dengan metode etching di laboratorium SPECTRA PCB Bandung. Hasil fabrikasi menunjukkan bentuk antenna yang sesuai dengan rancangan desain, di mana patch meander line telah dihubungkan dengan konektor SMA Female untuk memudahkan proses pengukuran menggunakan alat ukur Vector Network Analyzer (VNA) Rohde & Schwarz ZNC 3.



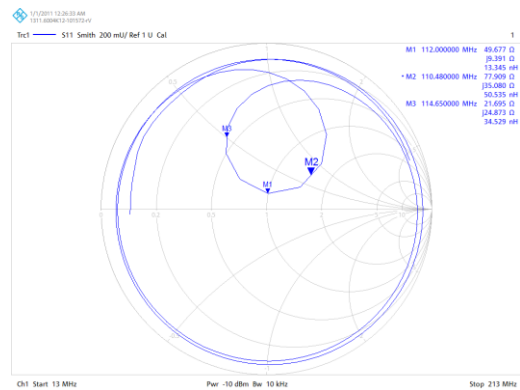
Gambar 6 Hasil fabrikasi antenna tampak depan dan belakang



Gambar 7 Grafik pengukuran nilai *Return Loss*



Gambar 8 Grafik pengukuran VSWR



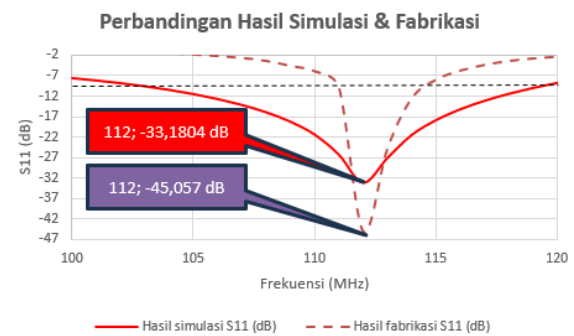
Gambar 9 Grafik pengukuran impedansi

Setelah dilakukan pengukuran menggunakan perangkat Vector network analyzer Rohde & Schwarz ZNC 3, diperoleh data yang digunakan untuk membandingkan hasil simulasi dan pengukuran langsung terhadap parameter performa antenna. Hasil perbandingan tersebut ditampilkan pada tabel berikut.

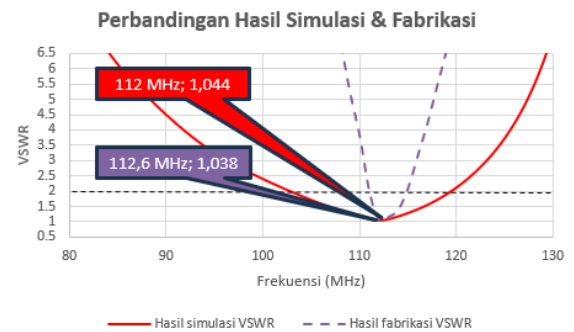
Tabel 4 Perbandingan hasil simulasi dan pengukuran

| Parameter | Spesifikasi | Simulasi | Pengukuran | Hasil |
|--------------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|
| Frekuensi Kerja | 108-118 MHz | 103,3-119,1 MHz | 110,9-114,6 MHz | Tidak Memenuhi |
| <i>Return loss</i> | < -10 dB | -33,18 dB | -45,05 dB | Memenuhi |
| VSWR | < 2 | 1,04 | 1,03 | Memenuhi |
| <i>Bandwidth</i> | 10 MHz | 15,8 MHz | 3,678 MHz | Tidak Memenuhi |
| Impedansi | $\pm 50 \Omega$ | 48,1 Ω | 49,6 Ω | Memenuhi |

Berikut ditampilkan grafik perbandingan nilai *return loss* dan VSWR antara hasil simulasi dengan hasil pengukuran.



Gambar 10 Grafik perbandingan hasil simulasi dan hasil pengukuran *return loss*



Gambar 11 Grafik perbandingan hasil simulasi dan hasil pengukuran VSWR

Berdasarkan Gambar 10 dan Gambar 11, terlihat adanya perbedaan antara hasil simulasi dan hasil pengukuran performa antenna. Hasil simulasi menunjukkan nilai *return loss* sebesar -45,057 dB pada frekuensi 112 MHz, sementara hasil pengukuran menunjukkan nilai -33,1804 dB pada frekuensi resonansi yang sama. Untuk hasil frekuensi resonansi dari kedua grafik sudah sama akan tetapi lebar dari bandwidthnya memiliki perbedaan yang cukup signifikan. Pada hasil pengukuran bandwidth

jauh lebih kecil dibandingkan dengan hasil simulasi, pada pengukuran bandwidth yang didapatkan yaitu 3,678 MHz sedangkan pada simulasi yaitu 15,8 MHz.

Perbedaan antara hasil simulasi dan hasil pengukuran dapat disebabkan oleh beberapa faktor, di antaranya:

1. Kualitas Bahan Dielektrik
Variasi nilai konstanta dielektrik (ϵ_r) pada *substrat* FR-4 yang digunakan menyebabkan perbedaan antara nilai teoretis dan aktual.
2. Proses Etching dan Pencetakan
Ketidaktepatan dalam proses pencetakan PCB dapat mengubah dimensi *line*, sehingga mempengaruhi nilai resonansi antena.
3. Kesalahan Manusia atau Mesin
Pergeseran posisi konektor atau penyolderan yang kurang tepat dapat menyebabkan ketidaksesuaian hasil.
4. Lingkungan Pengujian
Adanya benda-benda logam atau pantulan di sekitar antena saat pengukuran dapat mempengaruhi pola radiasi dan nilai VSWR.
5. Kualitas Kabel dan Konektor
Perbedaan impedansi antar komponen penghubung dapat menimbulkan *loss* tambahan.

5. KESIMPULAN

- a. Diperoleh antena mikrostrip meander line yang dirancang mampu beroperasi pada rentang frekuensi VHF, namun cakupan kerjanya terbatas hanya pada frekuensi VHF navigation yang termasuk dalam bandwidth antena yaitu sebesar 3MHz.
- b. Antena mikrostrip meander line yang dirancang menunjukkan hasil parameter return loss sebesar $-45,057$ dB dan nilai VSWR sebesar 1,038 pada frekuensi tengah 112 MHz. Nilai tersebut telah memenuhi spesifikasi kinerja antena, yaitu return loss di bawah -10 dB dan VSWR kurang dari 2.
- c. Antena yang dihasilkan memiliki dimensi ringkas yaitu sebesar $340 \text{ mm} \times 190 \text{ mm}$. Meskipun kinerjanya terbatas pada frekuensi VHF navigation yang masih berada dalam cakupan bandwidth antena tersebut.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak terkait yang telah memberi dukungan terhadap penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. I. Ketentuan and U. Pasal, "Republik Indonesia-2," 2021. Accessed: Jul. 18, 2025. [Online]. Available: <https://peraturan.bpk.go.id/Details/161888/pp-no-32-tahun-2021>
- [2] Poerwanto Eko and Mauidzoh Uyuunul, "Analisi Kecelakaan Penerbangan di Indonesia Untuk Peningkatan Keselamatan Penerbangan," 2016. Accessed: Jul. 18, 2025. [Online]. Available: <https://eprints.stta.ac.id/45/>
- [3] "UU Nomor 1 Tahun 2009," 2009, Accessed: Jul. 18, 2025. [Online]. Available: <https://peraturan.bpk.go.id/Details/54656/uu-no-1-tahun-2009>
- [4] I. Aurelio Tawakal, "Rancangan Monitoring Glide Path Berbasis Web Server Menggunakan CHART," vol. 01, no. 01, p. 2022, 2022, Accessed: Jul. 18, 2025. [Online]. Available: <https://journal.ppicurug.ac.id/index.php/snpv/article/view/675>
- [5] ICAO, "Aeronautical Telecommunications Annex 10 to the Convention on International Civil Aviation International Civil Aviation Organization International Standards and Recommended Practices and Procedures for Air Navigation Services Volume II Communication Procedures including those with PANS status," 2001. [Online]. Available: <http://www.icao.int>
- [6] International Civil Aviation Organization, "International Civil Aviation Organization Approved by the Council and published by its decision ICAO's Policies on Charges for Airports and Air Navigation Services," 2012. Accessed: Jul. 18, 2025. [Online]. Available: https://www.icao.int/publications/documents/9082_9ed_en.pdf
- [7] J. Ronaldo Sianipar, M. Wildan, and T. Firmansyah, "Design of Microstrip Meander Line Antenna for Frequency Resonance 332 MHz on Portable ILS/VOR Receiver for Navigation Aids," *Indonesian Journal of Education & Mathematical Science*, vol. 5, no. 1, pp. 12–18, 2024, doi: <https://doi.org/10.30596/ijems.v5i1.16180>.
- [8] S. Pramono, "Analisa Empiris Voltage Standing Wave Ratio (VSWR) dan Distance to Fault (DTF) pada Feeder Base Transceiver Station GSM 900 MHz," 2014.

- [9] R. J. Omusonga, "Effects of Selected Roofing Materials on Air Navigation Signal Propagation," 2016. Accessed: Jul. 21, 2025. [Online]. Available: https://www.academia.edu/99794675/Effects_of_selected_roofing_materials_on_air_navigation_signal_propagation?uc-sb-sw=41466041
- [10] Fatonah Feti, "Metode Pengukuran Peralatan Localizer di Bandar Udara," 2014, doi: <https://doi.org/10.25104/wa.v40i3.130.173-188>.
- [11] C. R. Sundawi *et al.*, "Rancangan Prototipe Localizer ILS Receiver Menggunakan SDR dan Gnuradio Sebagai Alat Bantu Ground Check Untuk Media Pembelajaran di Politeknik Penerbang Surabaya," 2021, doi: <https://doi.org/10.46491/snntp.v5i1.848>.
- [12] D. Dwiyanto, P. M. Sihombing, S. Novalianda, M. Z. Majaya, and A. S. Kesuma, "Antena Mikrostrip untuk Pita Frekuensi VHF A/G," *Elektriese: Jurnal Sains dan Teknologi Elektro*, vol. 13, no. 02, pp. 135–143, Jan. 2024, doi: <https://doi.org/10.47709/elektriese.v13i02.3482>.
- [13] M. A. Prasajo and M. Wildan, "Studi Pengaruh Perubahan Dimensi Groundplane dan Panjang Line Pada Antena Mikrostrip Meander Line Frekuensi 332 MHZ," *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, vol. 12, no. 3, Aug. 2024, doi: <https://doi.org/10.23960/jitet.v12i3.4329>.
- [14] B. H. Bagus, T. Warsito, Y. Suprpto, R. P. Diana, T. Telekomunikasi dan Navigasi Udara, and P. I. Penerbangan Surabaya Jl Jemur Andayani, "Desain dan Fabrikasi Antena Mikrostrip Meander-Line pada Frekuensi VHF (Very High Frequency) untuk Komunikasi D2D," 2018. doi: <https://doi.org/10.46491/approach.v2i2.73>.
- [15] E. Wahyudi, W. Pamungkas, and B. Saputra, "Analisi Link Budget Antena Sideband Doppler Very High Omni-Directional Range (DVOR) pada Jalur Lintasan Penerbangan," 2013. doi: <https://doi.org/10.20895/infotel.v5i2.108>.
- [16] Dewanata Pandu, Febriani Ike, and Saewono Catur Suko, "Study Banding Komunikasi Alat Bantu Pendaratan Instrument Landing System Dengan Airfield Lighting System Di Bandar Udara Ngurah Rai Bali," 2014. Accessed: Jul. 21, 2025. [Online]. Available: <http://repository.unej.ac.id/handle/123456789/60082>