

Analisis Parameter Antena Mikrostrip Dengan Model Meander Line Frekuensi 1090 MHz Untuk Transponder Pesawat Udara

Leni Tri Ermawati¹ Muh Wildan² Toni³

Program Studi Teknik Navigasi Udara, Politeknik Penerbangan Indonesia Curug, Tangerang, Banten, Indonesia^{1,2,3}

Email: lenitriermawati4@gmail.com¹ muh.wildan@ppicurug.ac.id² toni@ppicurug.ac.id³

Abstrak

Penggunaan frekuensi 1090 MHz pada sistem 1090 Extended Squitter (1090ES) menuntut antena dengan pencocokan impedansi yang baik agar energi dapat disalurkan secara efektif. Antena mikrostrip dipilih karena memiliki profil tipis, ringan, dan ringkas, sedangkan model meander line digunakan untuk memperpanjang lintasan arus dalam area fisik yang terbatas. Penelitian ini bertujuan menganalisis parameter antena mikrostrip dengan model meander line pada frekuensi 1090 MHz melalui perancangan dan simulasi elektromagnetik menggunakan CST Studio Suite. Parameter yang dianalisis meliputi return loss, VSWR, impedansi, gain, dan bandwidth. Hasil optimasi menunjukkan bahwa model antena mampu beresonansi pada 1090 MHz dengan return loss -24,14 dB, VSWR 1,13, magnitudo impedansi 51,35 Ω , gain 2,38 dBi, dan bandwidth 346,73 MHz. Hasil tersebut menunjukkan bahwa rancangan memenuhi kriteria parameter utama pada tahap simulasi dan dapat menjadi dasar untuk pengembangan antena ADS-B pada penelitian selanjutnya.

Kata Kunci: ADS-B, antena mikrostrip, meander line, 1090 MHz, CST Studio Suite, return loss, VSWR



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

PENDAHULUAN

Perkembangan lalu lintas udara menuntut sistem pengawasan yang mampu menyediakan informasi posisi, identitas, ketinggian, kecepatan, dan arah pergerakan pesawat secara cepat serta berkelanjutan. Automatic Dependent Surveillance-Broadcast (ADS-B) menjadi salah satu teknologi surveillance yang menyiarkan informasi penerbangan berdasarkan data navigasi di pesawat. Pada implementasi ADS-B Out dengan 1090 Extended Squitter (1090ES), data dipancarkan melalui transponder Mode S pada frekuensi 1090 MHz. Penerapan ADS-B mendukung peningkatan ketersediaan informasi lalu lintas udara dan menjadi bagian penting dalam pengembangan sistem pengawasan penerbangan modern (Handono et al., 2026). Antena pada sistem tersebut perlu bekerja di sekitar frekuensi 1090 MHz serta memiliki impedansi yang sesuai dengan saluran 50 Ω . Ketidaksesuaian impedansi menimbulkan gelombang pantul, menurunkan energi yang diteruskan ke elemen peradiasi, dan meningkatkan nilai VSWR. Kinerja antena dapat dinilai melalui frekuensi resonansi, nilai S11 atau return loss, Voltage Standing Wave Ratio (VSWR), impedansi, gain, dan bandwidth. Nilai $S_{11} \leq -10$ dB dan $VSWR \leq 2$ digunakan sebagai indikator awal pencocokan impedansi yang memadai (Susilawati et al., 2020). Antena mikrostrip banyak digunakan pada berbagai aplikasi komunikasi karena memiliki struktur yang sederhana, profil rendah, bobot ringan, serta relatif mudah diintegrasikan dengan sistem komunikasi (Sohel Rana et al., 2023). Model meander line membentuk jalur konduktor berkelok sehingga lintasan arus dan electrical length dapat diperpanjang pada area fisik yang lebih ringkas. Perubahan dimensi jalur meander dan ground plane dapat memengaruhi resonansi serta kondisi impedance matching (Ibrahim et al., 2022; Prasojo & Wildan, 2024).

Penelitian terdahulu pada frekuensi 1090 MHz menggunakan bentuk antena yang beragam. (Manalu et al., 2024) merancang rectangular patch array 2×1 dengan proximity

coupled dan memperoleh return loss -30,87 dB, VSWR 1,07, bandwidth 28 MHz, impedansi 48,91 Ω , serta gain 6,4 dB. (Ikhsan ApriadiH et al., 2023) menggunakan triangular patch dengan struktur back-to-back dan memperoleh return loss -15,40 dB, VSWR 1,4, bandwidth 17,2 MHz, serta impedansi 46,02 Ω . (Rahmadani, 2024) mengembangkan patch heksagonal dengan slot dan memperoleh return loss -14 dB, VSWR 1,4, gain 0,927 dBi, serta impedansi sekitar 73 Ω . (Situmorang et al., 2024) menggunakan teknik meander line dengan hasil simulasi return loss -13,7 dB, VSWR 1,3, bandwidth 27,4 MHz, dan impedansi 49,97 Ω .

Berbeda dengan penelitian tersebut, artikel ini memusatkan pembahasan pada analisis perubahan parameter antenna sebelum dan setelah optimasi di CST Studio Suite dengan ruang lingkup pada tahap simulasi elektromagnetik. Kebaruan penelitian terletak pada evaluasi terintegrasi terhadap frekuensi resonansi, S11, VSWR, impedansi, gain, dan bandwidth dari model mikrostrip meander line berukuran 55 mm $\times$ 90 mm serta hubungan perubahan geometri dengan peningkatan pencocokan impedansi pada 1090 MHz. Tujuan penelitian adalah memperoleh dimensi optimum, menganalisis parameter hasil simulasi, dan menilai kesesuaiannya terhadap kriteria perancangan untuk sistem 50 Ω .

Penelitian Terdahulu yang Relevan

Tabel 1. Penelitian Terdahulu

No	Penulis/ Tahun	Judul	Tujuan	Metode	Hasil	Kontribusi dan relevansi
1	(Manalu et al., 2024)	Design of A Rectangular Patch Microstrip Array Antenna with Proximity Coupled On ADS-B Receiver	Merancang antenna penerima ADS-B 1090 MHz	Rectangular patch array 2 $\times$ 1, proximity coupled	RL -30,87 dB; VSWR 1,07; BW 28 MHz; Z 48,91 Ω ; gain 6,4 dB	Pembanding performa antenna mikrostrip pada 1090 MHz
2	(Ikhsan ApriadiH et al., 2023)	Triangular Microstrip Patch Antenna with Back-to-Back Structure to Obtain Bi-Directional Radiation Pattern	Menganalisis antenna triangular back-to-back	Triangular microstrip patch	RL -15,40 dB; VSWR 1,4; BW 17,2 MHz; Z 46,02 Ω	Pembanding bentuk patch pada frekuensi ADS-B
3	(Rahmadani, 2024)	Rancangan Antena Mikrostrip Patch Heksagonal atau Segi Enam dan Penambahan Slot sebagai Penerima ADS-B pada Frekuensi 1090 MHz	Merancang antenna penerima ADS-B 1090 MHz	Patch heksagonal dengan slot	RL -14 dB; VSWR 1,4; gain 0,927 dBi; Z sekitar 73 Ω	Pembanding geometri patch pada 1090 MHz
4	(Situmorang et al., 2024)	Rancang Bangun Antena Mikrostrip ADS-B Menggunakan Teknik Meander Line sebagai Alat Bantu Pembelajaran di Politeknik Penerbangan Medan	Mengembangkan antenna ADS-B dengan teknik meander line	Microstrip meander line	Simulasi: RL -13,7 dB; VSWR 1,3; BW 27,4 MHz; Z 49,97 Ω	Referensi terdekat untuk teknik meander line ADS-B
5	(Prasojo & Wildan, 2024)	Studi Pengaruh Perubahan Dimensi Groundplane dan Panjang Line pada Antena Mikrostrip Meander Line Frekuensi 332 MHz	Menganalisis pengaruh dimensi ground plane dan panjang line	Microstrip meander line 332 MHz	Perubahan panjang line dan ground plane memengaruhi resonansi dan matching	Mendukung variabel optimasi geometri meander

METODE PENELITIAN

Penelitian menggunakan metode Research and Development (R&D) karena berfokus pada perancangan dan pengembangan desain antenna melalui pemodelan serta optimasi

simulasi. Pendekatan analisis yang digunakan adalah deskriptif kuantitatif. Objek penelitian berupa antenna mikrostrip satu elemen dengan model meander line pada frekuensi target 1090 MHz. Penelitian difokuskan pada tahap perancangan dan simulasi elektromagnetik menggunakan CST Studio Suite 2022. Substrat yang digunakan adalah FR-4 dengan ketebalan 1,6 mm dan ketebalan tembaga 0,035 mm. Struktur antenna terdiri atas patch meander line, feedline 50 Ω , substrat, dan ground plane. Optimasi dilakukan dengan mengubah panjang dan lebar jalur meander, celah antarjalur, dimensi feedline, serta ukuran ground plane hingga respons simulasi berada di sekitar 1090 MHz.

Dimensi awal ditentukan dari panjang gelombang ruang bebas dan persamaan dasar antenna mikrostrip. Pada 1090 MHz diperoleh panjang gelombang ruang bebas 275,23 mm. Dengan permitivitas relatif FR-4 sebesar 4,4, diperoleh permitivitas efektif sekitar 4,23 dan panjang gelombang terpandu sekitar 133,77 mm. Nilai seperempat panjang gelombang terpandu sebesar 33,44 mm digunakan sebagai acuan awal, sedangkan dimensi akhir ditentukan melalui optimasi elektromagnetik.



Gambar 1. Model Antena Mikrostrip Meander Line

Kriteria evaluasi yang digunakan meliputi frekuensi resonansi 1090 MHz, return loss ≤ -10 dB, VSWR ≤ 2 , impedansi mendekati 50 + j0 Ω , gain ≥ 0 dBi, serta bandwidth yang mencakup frekuensi 1090 MHz. Seluruh kriteria dievaluasi berdasarkan hasil simulasi CST Studio Suite setelah proses optimasi.

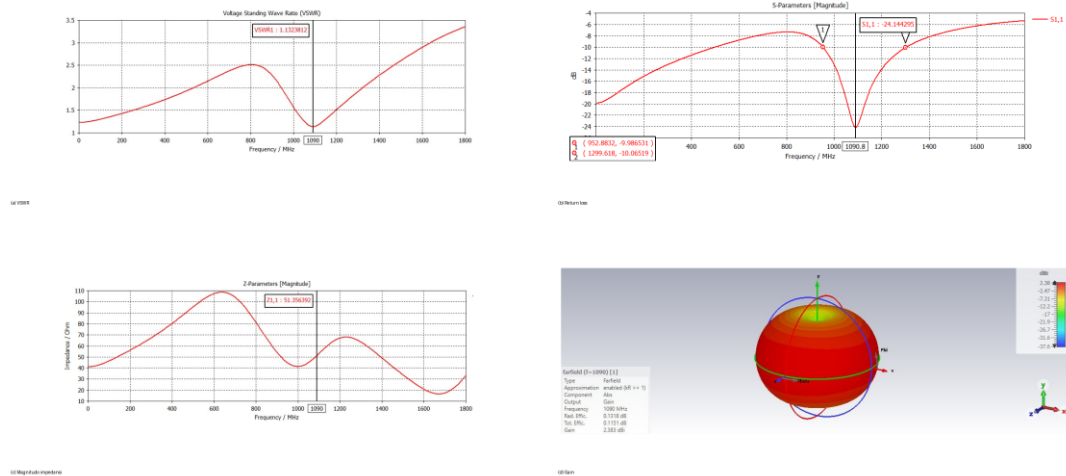
Tabel 2. Kriteria Perancangan Antena

Parameter	Nilai target
Frekuensi kerja	1090 MHz
S11 / return loss	≤ -10 dB
VSWR	≤ 2
Impedansi	Mendekati 50 + j0 Ω
Gain	≥ 0 dBi
Bandwidth	Mencakup 1090 MHz pada S11 ≤ -10 dB

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

Optimasi menghasilkan antenna dengan ukuran substrat dan ground plane 55 mm $\times$ 90 mm. Lebar feedline utama sebesar 3,5 mm dan panjangnya 7 mm. Jalur meander menggunakan beberapa segmen dengan lebar 6 mm, panjang 10 mm, serta celah antarjalur 1,1 mm. Geometri tersebut digunakan untuk memperoleh lintasan arus yang lebih panjang dalam area fisik yang relatif ringkas. Hasil simulasi setelah optimasi menunjukkan frekuensi resonansi tepat pada 1090 MHz. Return loss sebesar -24,14 dB dan VSWR 1,13 menunjukkan pencocokan yang baik pada model simulasi. Magnitudo impedansi 51,35 Ω berada dekat dengan acuan 50 Ω , sedangkan gain maksimum sebesar 2,38 dBi. Bandwidth pada batas return loss ≤ -10 dB mencapai 346,73 MHz, dengan frekuensi batas bawah 952,8832 MHz dan batas atas 1299,618 MHz.



Gambar 2. Parameter Hasil Simulasi Setelah Optimasi

Tabel 3. Hasil Simulasi Setelah Optimasi

Parameter	Hasil Simulasi	Kriteria	Status
Frekuensi resonansi	1090 MHz	1090 MHz	Memenuhi
Return loss	-24,14 dB	≤ -10 dB	Memenuhi
VSWR	1,13	≤ 2	Memenuhi
Impedansi	51,35 Ω (magnitudo)	Mendekati 50 Ω	Mendekati
Gain	2,38 dBi	≥ 0 dBi	Memenuhi
Bandwidth	346,73 MHz	Mencakup 1090 MHz	Memenuhi

Pembahasan

Pada model simulasi, return loss -24,14 dB menghasilkan koefisien refleksi sekitar 0,062 sehingga daya yang dipantulkan sekitar 0,39%. Dengan demikian, sekitar 99,61% daya secara teoritis diteruskan dari saluran pencatu menuju antenna. Nilai VSWR 1,13 konsisten dengan return loss tersebut. Walaupun magnitudo impedansi 51,35 Ω dekat dengan 50 Ω , pencocokan impedansi ideal tetap ditentukan oleh impedansi kompleks 50 + j0 Ω ; karena itu, return loss dan VSWR menjadi indikator utama dalam menilai matching antenna. Gain maksimum simulasi sebesar 2,38 dBi memenuhi target minimum ≥ 0 dBi. Bandwidth sebesar 346,73 MHz diperoleh dari rentang 952,88 MHz sampai 1299,62 MHz pada batas return loss ≤ -10 dB sehingga mencakup frekuensi target 1090 MHz. Perubahan geometri selama optimasi diarahkan pada panjang dan lebar jalur meander, celah antarjalur, dimensi feedline, dan ukuran ground plane. (Prasojo & Wildan, 2024) menunjukkan bahwa perubahan panjang line dan ground plane memengaruhi karakteristik resonansi serta matching antenna. (Ronaldo Sianipar et al., 2024) juga menunjukkan bahwa geometri meander perlu disesuaikan untuk memperoleh resonansi pada frekuensi target. Hal tersebut mendukung pendekatan optimasi parametrik pada rancangan 1090 MHz ini. Pada frekuensi 1090 MHz, (Manalu et al., 2024) memperoleh return loss -30,87 dB, VSWR 1,07, bandwidth 28 MHz, impedansi 48,91 Ω , dan gain 6,4 dB menggunakan rectangular patch array. (Ikhsan ApriadiH et al., 2023) memperoleh return loss -15,40 dB, VSWR 1,4, bandwidth 17,2 MHz, dan impedansi 46,02 Ω menggunakan triangular patch back-to-back. (Situmorang et al., 2024) pada model meander line memperoleh return loss simulasi -13,7 dB, VSWR 1,3, bandwidth 27,4 MHz, dan impedansi 49,97 Ω . Dibandingkan penelitian tersebut, model pada penelitian ini menghasilkan return loss -24,14 dB, VSWR 1,13, dan bandwidth simulasi 346,73 MHz dengan struktur meander line berukuran 55 mm $\times$ 90 mm.

Analisis dalam artikel ini dibatasi pada model elektromagnetik di CST Studio Suite 2022. Dengan ruang lingkup tersebut, hasil yang disajikan merupakan karakteristik model simulasi.

KESIMPULAN

Analisis menunjukkan bahwa antenna mikrostrip dengan model meander line dapat dirancang untuk bekerja pada frekuensi 1090 MHz melalui optimasi CST Studio Suite. Model simulasi dengan ukuran substrat 55 mm × 90 mm menghasilkan frekuensi resonansi 1090 MHz, return loss -24,14 dB, VSWR 1,13, magnitudo impedansi 51,35 Ω , gain 2,38 dBi, dan bandwidth 346,73 MHz. Seluruh hasil tersebut memenuhi kriteria rancangan yang ditetapkan pada tahap simulasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa model meander line dapat digunakan untuk menghasilkan struktur antenna yang ringkas dengan performa elektromagnetik yang sesuai pada frekuensi ADS-B 1090 MHz.

Penulis menyampaikan terima kasih kepada dosen pembimbing dan Program Studi Teknik Navigasi Udara Politeknik Penerbangan Indonesia Curug yang telah memberikan arahan dan dukungan selama proses perancangan dan simulasi antenna.

DAFTAR PUSTAKA

- Handono, R. D. P., I Gede Farrel Raditya Pranajaya, Dhian Supardam, & Lina Rosmayanti. (2026). Penerapan Performance-Based Navigation Dan Automatic Dependent Surveillance–Broadcast Dalam Meningkatkan Efisiensi Lalu Lintas Udara Di Wilayah Indonesia. *Aviation Business and Operations Journal*, 4(1), 01–05. <https://doi.org/10.54147/jobp.v4i1.1564>
- Ibrahim, H. H., Singh, M. J., Al-Bawri, S. S., Ibrahim, S. K., Islam, M. T., Soliman, M. S., & Islam, M. S. (2022). Low Profile Monopole Meander Line Antenna for WLAN Applications. *Sensors*, 22(16). <https://doi.org/10.3390/s22166180>
- Ikhsan ApriadiH, M., Wildan, M., & Firmansyah, T. (2023). Triangular Microstrip Patch Antenna with Back-to-Back Structure to Obtain Bi-Directional Radiation Pattern. *Indonesian Journal of Education & Mathematical Science*, 4(3), 153–158. <https://doi.org/10.30596/ijems.v4i3.16169>
- Manalu, M. F., Wildan, Muh., Dewantara, M. F. Y., & Wibowo, P. (2024). Design of A Rectangular Patch Microstrip Array Antenna with Proximity Coupled On ADS-B Receiver. *Jurnal Ecotipe (Electronic, Control, Telecommunication, Information, and Power Engineering)*, 11(2), 214–223. <https://doi.org/10.33019/jurnalecotipe.v11i2.4507>
- Prasojo, M. A., & Wildan, M. (2024). Studi Pengaruh Perubahan Dimensi Groundplane Dan Panjang Line Pada Antena Mikrostrip Meander Line Frekuensi 332 MHz. *Jurnal Informatika Dan Teknik Elektro Terapan*, 12(3). <https://doi.org/10.23960/jitet.v12i3.4329>
- Rahmadani, E. T. (2024). Rancangan Antena Mikrostrip Patch Heksagonal Atau Segi Enam Dan Penambahan Slot Sebagai Penerima Ads-B Pada Frekuensi 1090 MHz. *Jurnal Informatika Dan Teknik Elektro Terapan*, 12(3S1). <https://doi.org/10.23960/jitet.v12i3S1.5159>
- Ronaldo Sianipar, J., Wildan, M., & Firmansyah, T. (2024). 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*, 5(1), 12–18. <https://doi.org/10.30596/ijems.v5i1.16180>
- Situmorang, E. N., Iqbal, M., & Sitopu, M. W. (2024). Rancang Bangun Antena Mikrostrip Ads-B Menggunakan Teknik Meander Line Sebagai Alat Bantu Pembelajaran Di Politeknik Penerbangan Medan. *Jurnal Penelitian Ilmiah Multidisiplin*, 8(8), 238–242.
- Sohel Rana, Md., Hossain, S., Biswas Rana, S., & Mostafizur Rahman, Md. (2023). Microstrip patch antennas for various applications: a review. *Indonesian Journal of Electrical*

Engineering and Computer Science, 29(3), 1511.
<https://doi.org/10.11591/ijeecs.v29.i3.pp1511-1519>

Susilawati, H., Fauzi, A., & Hasyim, A. (2020). Impedance Matching Simulation for Microstrip Antenna on Frequency 3.4-3.7 GHz Using Double Stub. *TELKA*, 6(2), 113–123.