

Sistem Antena Reflektor Parabola Untuk Radar Cuaca Menggunakan Metamaterial Sebagai *Feed* Antena

1st Dewi Ubudiah
School of Electrical Engineering
Telkom University
Jakarta, Indonesia

dewiubudiah@student.telkomuniversity.ac.id

2nd Kamelia Quzwain
School of Electrical Engineering
Telkom University
Jakarta, Indonesia

kquzwain@telkomuniversity.ac.id

3rd Aisyah Novfitri
School of Electrical Engineering
Telkom University
Jakarta, Indonesia

aisyahnovfi@telkomuniversity.ac.id

Abstrak - Indonesia sebagai negara kepulauan di daerah tropis sering mengalami cuaca yang tidak stabil, sehingga dibutuhkan sistem pemantauan yang andal seperti radar cuaca. Penelitian ini mengembangkan antena mikrostrip berbasis reflektor untuk meningkatkan *gain* dan *bandwidth* pada sistem radar cuaca. Antena dirancang menggunakan struktur *E-Shaped Microstrip Antenna* (MSA) dengan penambahan metamaterial sebagai elemen peningkatan performa. Substrat yang digunakan adalah Rogers RT 5880, dan antena dioperasikan pada frekuensi 5,8 GHz. Simulasi dan analisis dilakukan menggunakan perangkat lunak simulator desain antena dan simulator pemrograman teknis. Hasil simulasi menunjukkan bahwa antena yang dikembangkan mampu mencapai *gain* sebesar 25,99 dBi, *bandwidth* 106,8 MHz, *return loss* -12,07 dB, dan nilai VSWR sebesar 1,04. Dengan performa tersebut, antena ini terbukti layak digunakan sebagai bagian dari sistem radar cuaca di Indonesia untuk meningkatkan akurasi dan keandalan pemantauan cuaca.

Kata Kunci - Antena Parabola, *E-Shaped Microstrip Antenna*, Metamaterial, Radar cuaca.

I. PENDAHULUAN

Kondisi geografis Indonesia sebagai negara kepulauan mempengaruhi perubahan cuaca yang tidak stabil dan rentan akan fenomena cuaca ekstrim seperti kekeringan atau curah hujan yang berlebihan. Untuk mengatasi hal tersebut diperlukan sistem peringatan dini yang efektif dan akurat secara *real-time* menggunakan teknologi radar cuaca. Radar cuaca merupakan alat pengamatan berbasis penginderaan jauh yang dapat mengetahui kondisi partikel yang ada di atmosfer guna mendeteksi dan memprediksi kondisi cuaca [1].

Dalam pengembangannya melibatkan antena, seperti antena parabola, untuk memfokuskan dan menerima gelombang radio dari objek atmosfer dan jangkauan geografis yang luas menggunakan frekuensi C-Band berkisar 4 - 8 GHz, seperti pada radar yang dioperasikan oleh Badan Meteorologi Klimatologi Dan Geofisika (BMKG) pada rentang 5600 - 5650 MHz [2]. Antena parabola dengan kinerja *gain* yang tinggi dapat mendukung sistem radar sebagai pendeteksian yang

akurat. Fleksibilitas desain dengan dimensi yang relatif kecil, dan kemudahan fabrikasi, mendukung antena mikrostrip menjadi solusi alternatif yang tepat dalam pengembangan *Feed* (sistem pencatu) antena parabola. Namun, penggunaan antena mikrostrip memiliki *bandwidth* dan karakteristik *gain* yang rendah [3].

Terdapat beberapa penelitian sebelumnya telah menunjukkan berbagai pendekatan, seperti penggunaan antena bowtie dengan reflektor parabola untuk layanan *boardband wireless access* yang menunjukkan peningkatan *gain* hingga 12,45 dB [4]. Penelitian lainnya adalah *Feed* antena *inverted E-Shape* serta *Feed* antena berbasis metamaterial [5], [6], [7].

Maka, penelitian ini mengusulkan penggunaan antena reflektor dengan modifikasi mikrostrip seperti penambahan metamaterial sebagai *feeding system* atau sistem pencatu antena reflektor untuk meningkatkan *gain* untuk keperluan radar cuaca yang akurat. Solusi ini memiliki keunggulan seperti bobot yang lebih ringkas dan sederhana, meskipun kelemahan utama mikrostrip adalah *gain* yang rendah, sehingga reflektor digunakan untuk memaksimalkan kinerja antena.

II. KAJIAN TEORI

A. Radar Cuaca

Radar awalnya dikembangkan untuk keperluan militer pada masa Perang Dunia II dan bekerja dengan gelombang elektromagnetik untuk mendeteksi dan mengukur objek. Radar cuaca merupakan bentuk penginderaan jauh yang digunakan untuk memantau kondisi cuaca, memberikan prakiraan harian, serta peringatan dini [8]. Selain itu, radar cuaca berperan penting di sekitar bandara dengan menyediakan data cuaca akurat secara hampir *real-time*, termasuk prakiraan curah hujan jangka pendek [9]. Secara teknis, radar cuaca umumnya beroperasi pada pita frekuensi S-band (2–4 GHz), C-band (4–8 GHz), atau X-band (8–12 GHz), pemilihan pita frekuensi disesuaikan dengan kebutuhan jangkauan, resolusi, serta ketahanan terhadap atenuasi hujan [10]. Jenis antena yang paling umum digunakan

adalah *parabolic reflector* berputar, karena mampu menghasilkan *narrow beam* (sekitar 1°) dengan *gain* tinggi untuk deteksi presipitasi jarak jauh [11].

B. Antena Mikrostrip

Antena berperan penting dalam transmisi dan dapat berfungsi sebagai pengirim maupun penerima gelombang elektromagnetik. Salah satu jenis yang banyak dikembangkan adalah antena mikrostrip karena bentuknya ringkas, mudah direalisasikan, dan dapat diintegrasikan dengan perangkat modern seperti GPS, PCS, DBS, dan radar. Meski demikian, antena mikrostrip memiliki kelemahan berupa efisiensi rendah dan *bandwidth* sempit. Struktur dasarnya terdiri dari *groundplane*, substrat, *patch*, dan *Feedline* atau saluran transmisi, dengan berbagai bentuk *patch* sebagai elemen peradiasi [12].

C. Parameter Antena Mikrostrip

Untuk mendapatkan performansi antena mikrostrip yang baik dan mengatasi kelemahan antena mikrostrip, dapat dilakukan modifikasi dimensi antena dan mengoptimasi parameter-parameter antena [13] sebagai berikut:

1. *Gain* merupakan perbandingan daya yang dipancarkan oleh sebuah antena dibandingkan dengan radiator isotropis.
2. *Return loss* merupakan parameter seperti VSWR yang menentukan keadaan *matching*, dengan mengetahui berapa banyak daya yang hilang pada beban dan tidak kembali sebagai pantulan. Antena yang baik mempunyai nilai *return loss* dibawah -10 dB, yaitu 90% sinyal dapat diserap dan 10% dipantulkan kembali.
3. Gelombang berdiri (*Standing Wave*) terjadi jika kondisi *matching* antara transmitter dan antena tidak tercapai dan kemungkinan terjadi pemantulan.

D. Metamaterial

Untuk mengatasi kelemahan antena mikrostrip seperti *gain* rendah, digunakan metode berbasis metamaterial. Metamaterial memiliki sifat elektromagnetik unik yang tidak ditemukan di alam [14], dan diklasifikasikan menjadi empat jenis: ENG, DPS, MNG, dan DNG. DNG, atau Left-Handed Materials (LHM), mampu memfokuskan gelombang karena memiliki permitivitas dan permeabilitas negatif [15]. Seperti penelitian sebelumnya yang memakai kombinasi lapisan DNG dan DPS, sebagaimana digunakan dalam studi sebelumnya dengan material OMYA [16].

E. Antena Single Reflektor Parabola

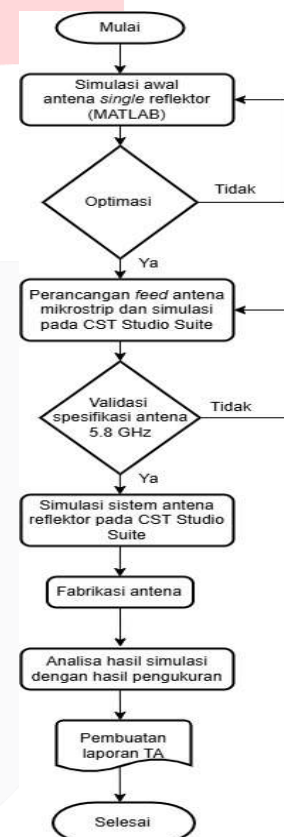
Parabola dalam matematika dapat diartikan sebagai kurva yang terbentuk dari irisan kerucut oleh bidang yang sejajar dengan sisi kerucut. Kurva ini memiliki sifat simetris terhadap garis yang disebut direktris, dengan

fokus sebagai titik pusat lengkung parabola [17]. Reflektor parabola merupakan sebuah alat pemantul yang permukaannya dirancang menyerupai bentuk kurva parabola. Reflektor parabola memiliki kemampuan pengarahannya yang sangat baik untuk mentransmisikan gelombang elektromagnetik, serta memiliki tingkat penguatan yang tinggi dan daya arah (*directivity*) yang besar [18]. Penggunaan reflektor parabola memungkinkan antena radar cuaca mencapai *gain* tinggi dan *beamwidth* sempit, sehingga meningkatkan kemampuan deteksi presipitasi jauh sekaligus menjaga akurasi sudut dan kualitas sinyal [19].

III. METODE

A. Diagram Alir Perancangan

Berikut merupakan metode perancangan antena tertera pada Gambar 1 dalam bentuk diagram alir.



Gambar 1 Diagram Alir Perancangan

Alur perancangan diawali dengan pendefinisian masalah dan tujuan penelitian, kemudian dilakukan simulasi awal antena single reflektor menggunakan MATLAB untuk memperoleh gambaran kinerja awal desain. Apabila hasil belum sesuai, dilakukan proses optimasi sampai mendapatkan hasil simulasi yang optimal pada frekuensi kerja 5.8 GHz. Tahap berikutnya adalah perancangan dimensi *Feed* antena *E-Shaped* MSA dengan penambahan lapisan metamaterial DNG [3]. Jika hasil simulasi di CST Studio Suite belum sesuai, dilakukan optimasi hingga diperoleh performa optimal pada frekuensi

5,8 GHz. Desain akhir kemudian disimulasikan sebagai sistem antenna reflektor parabola secara menyeluruh, difabrikasi, dan diuji melalui pengukuran. Hasil simulasi dan pengukuran dianalisis untuk disusun menjadi kesimpulan dan saran dalam laporan Tugas Akhir.

B. Desain dan Spesifikasi Antena

Tabel 1 Spesifikasi Antena Reflektor

No	Parameter	Nilai
Antena Mikrostrip		
1.	Frekuensi Tengah	5.8 GHz
2.	Bandwidth	≥ 60 MHz
3.	VSWR	≤ 2
4.	Gain	≥ 5 dBi
5.	Return Loss	≤ -10 dB
6.	Polaradiasi	Unidirectional
Antena Reflektor		
7.	Diameter Reflektor (D)	900 mm
8.	Panjang Fokus Reflektor (Fm)	69.66 mm
9.	Gain	>15 dBi
10.	Return loss	<-20 dB

E-Shaped MSA menggunakan bahan Rogers RT 5880 dengan konstanta dielektrik (ϵ_r) sebesar 2.2 dan ketebalan substrat (h) 1.575 mm [20].

C. Perancangan Antena

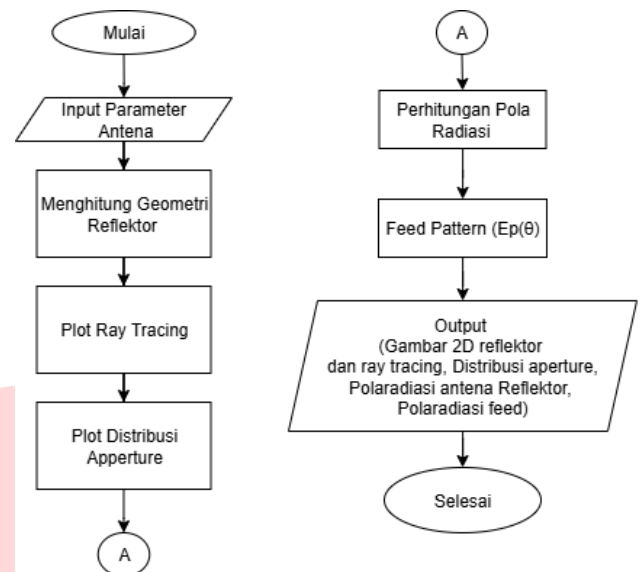
Simulasi dilakukan untuk sistem antenna reflektor parabola tunggal yang divisualisasikan menggunakan MATLAB. Dalam proses perancangannya, menentukan parameter awal dari struktur antenna reflektor parabola tunggal, yang diseduaikan dengan frekuensi 5.8 GHz seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2. Penentuan parameter ini menjadi dasar dalam membentuk geometri reflektor dan konfigurasi sistem secara keseluruhan.

Tabel 2 Parameter Dasar Antena Reflektor

Parameter	Nilai
Frekuensi	5.8 GHz
Diameter reflektor (D_m)	900 mm
Panjang Fokus Reflektor (f_m)	30.8 mm
Sudut maksimum reflektor	72°

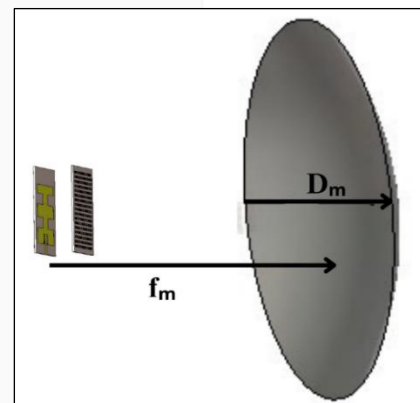
Perancangan antenna reflektor parabola dilakukan dengan mengikuti tahapan kodingan MATLAB yang digambarkan pada Gambar 2. Dengan menginput parameter antenna seperti pada Tabel 2. Setelah itu, dilakukan pemodelan ray tracing guna menggambarkan lintasan gelombang dari feed yang dipantulkan reflektor. Distribusi medan pada aperture dihitung dan diplot untuk mengetahui penyebaran energi yang berpengaruh terhadap efisiensi antenna. Berdasarkan distribusi tersebut, pola radiasi antenna kemudian dihitung dengan memperhatikan pola radiasi feed ($E_p(\theta)$) sebagai sumber utama. Tahap akhir menghasilkan keluaran berupa geometri reflektor, distribusi aperture, ray tracing, pola radiasi feed, serta pola

radiasi total antenna reflektor yang akan digunakan sebagai bahan analisis kinerja.



Gambar 2 Diagram alir kodingan MATLAB

Setelah perancangan menggunakan MATLAB menghasilkan dimensi antenna reflektor pada, dilakukan sistem perancangan antenna reflektor parabola seperti pada Gambar 3 menggunakan CST Studio Suite.



Gambar 3 Sistem Antena Reflektor Parabola



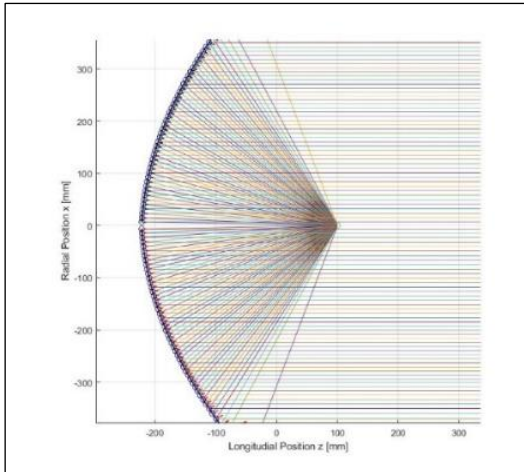
Gambar 4 Prototipe Antena Reflektor berbasis Feed E-Shaped MSA dengan DNG Metamaterial

Gambar 4 tampak hasil penggabungan *feed* dengan reflektor. Yang kemudian dilakukan pengukuran daya terima (Prx) terhadap sudut azimuth untuk memperoleh pola radiasi antenna pada bidang H-plane, serta terhadap sudut elevasi dilakukan untuk mengetahui karakteristik polarisasi antenna pada bidang E-plane dengan sudut elevasi bervariasi dari 0° hingga 360° .

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

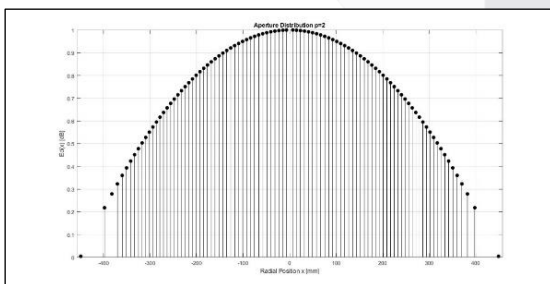
A. Hasil Perancangan Dengan Matlab

Dalam perancangan antenna reflektor dilakukan melalui simulasi berbasis MATLAB dan didapatkan hasil bentuk reflektor dan *ray tracing* seperti pada Gambar 5.

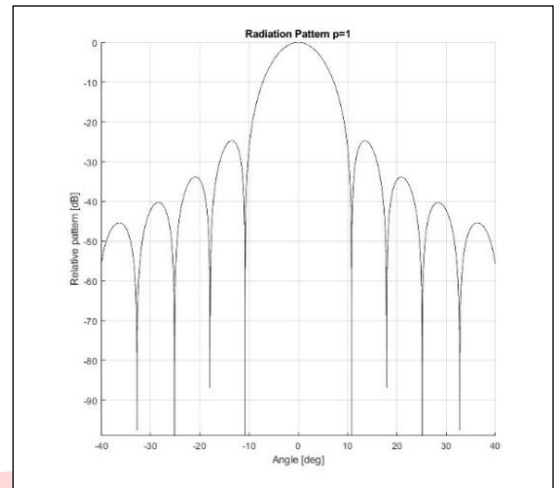


Gambar 5 Ray Tracing

Pancaran sinar dari *feed* antenna dipantulkan reflektor parabola dan membentuk distribusi *aperture* seperti pada Gambar 6 menunjukkan Parameter kontrol $p=2$ mengacu pada fungsi distribusi amplitudo aperture, yang menentukan bentuk penurunan energi menghasilkan distribusi energi di sepanjang *aperture* dengan nilai maksimum energi di pusat *aperture* ($x=0$) sebesar $E(0)=1$ dB, dan nilai minimum di tepi *aperture* ($x = \pm x_m$) sebesar $E(x_m)=0$ dB. Hal ini terjadi karena jarak sinar dari feed ke permukaan reflektor berbeda-beda sehingga distribusi daya yang sampai tepi.

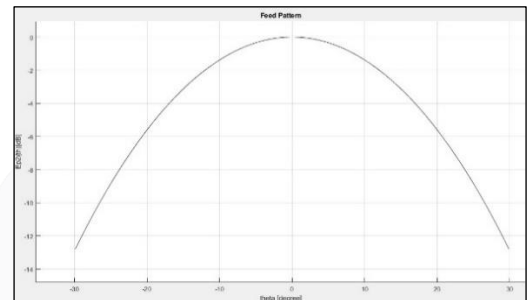


Gambar 6 Distribusi Aperture



Gambar 7 Polaradiasi

Polaradiasi yang didapatkan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7, dengan *mainlobe* berada pada rentang sudut -10° hingga 10° dB dan level *sidelobe* (SLL) sebesar -25 dB.



Gambar 8 Polaradiasi Feed

Polaradiasi antenna *Feed* minimum harus setidaknya -10 dB[21]. Pada Gambar 8 didapatkan hasil SLL -12.5 dB.

V. KESIMPULAN

Kondisi geografis Indonesia sebagai negara kepulauan menyebabkan cuaca yang tidak stabil dan rentan terhadap cuaca ekstrem, berdampak pada infrastruktur dan ekonomi. Untuk itu, dibutuhkan antenna dengan kinerja tinggi pada sistem radar cuaca. bekerja Penelitian ini mengusulkan pengembangan antenna reflektor dengan pencatu mikrostrip E-Shaped dan penambahan lapisan metamaterial DNG untuk meningkatkan performa tanpa mengorbankan desain ringkas. Pada simulasi MATLAB dilakukan perancangan antenna reflektor parabola dapat memvisualisasikan desain antenna reflektor dengan hasil yang didapatkan nilai SLL -25 dB dan polaradiasi feed -12,5 dB yang menunjukkan bahwa desain antenna reflektor dapat Antena dirancang pada frekuensi 5,8 GHz dan menunjukkan hasil *gain* 25,99 dBi, *return loss* -12,07 dB, VSWR 1,04, dan *bandwidth* 106,8 MHz. Hasil ini membuktikan bahwa kombinasi tersebut efektif

dalam mengatasi keterbatasan antenna konvensional dan mendukung prediksi cuaca yang lebih akurat.

REFERENSI

- [1] M. F. Manalu, M. Wildan, and , M.Faisal Yoga Dewantara, "Rancangan Antena Microstrip Rectangular Patch Dengan Tambahan Slot Untuk Aplikasi Antena Cuaca," *Jurnal Rekayasa Elektro Sriwijaya*, vol. 5, no. 2, 2024.
- [2] E. Wardoyo, "Analisis Interferensi Frekuensi Radar Cuaca C-Band di Indonesia," *Jurnal Telekomunikasi dan Komputer*, vol. 5, no. 2, p. 163, Feb. 2017, doi: 10.22441/incomtech.v5i2.1139.
- [3] S. R. Emadian and C. Ghobadi, "Enhanced Double Negative Metamaterial Microstrip Antenna: Bandwidth, Gain Improvement, and Size Reduction for Radar applications," *IEEE Access*, vol. 20, Nov. 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3498453.
- [4] Munawar, "Antena Bowtie dengan Reflektor Parabola untuk Layanan Broadband Wireless Access," *J Teknol*, vol. 23, no. 1, pp. 41–46, Apr. 2023.
- [5] H. Wasel and Z. Guoping, "Enhancing 5G Patch Array Antenna Gain Using DNG Metamaterial," *International Journal of Energy Engineering*, vol. 8, no. 4, pp. 93–96, 2018, doi: 10.5923/j.ijee.20180804.02.
- [6] W. N. Hamid, "Studi Perancangan dan Eksperimental Antena Frekuensi 5,8 GHz Teknik Log periodic Array dengan penambahan Metamaterial untuk Aplikasi Energy harvesting," 2024.
- [7] S. Hossain, Md. S. Rana, and Md. M. Rahman, "Design and analysis of inverted E-Shaped slotted patch microstrip antenna for multiband applications," in *Data Engineering and Applications*, vol. 1, J. Agrawal, S. Sharma, R. K. Shukla, and C.-S. Shieh, Eds., Springer, 2024, pp. 385–399. doi: 10.1007/978-981-97-2451-2_26.
- [8] Z. Sokol, J. Szturc, J. Orellana-Alvear, J. Popová, A. Jurczyk, and R. Céleri, "The Role of Weather Radar in Rainfall Estimation and Its Application in Meteorological and Hydrological Modelling —A Review," Jan. 20, 2021, *MDPI AG*. doi: 10.3390/rs13030351.
- [9] L. Widomurti and D. K. Suswantoro, "Efektifitas Elevasi dan Produk Terbaik Estimasi Curah Hujan Radar Cuaca Berdasarkan Klasifikasi Awan," *Jurnal Widya Climago*, vol. 2, no. 2, pp. 29–37, May 2020.
- [10] S. Bin Oh, P. Kollias, J. S. Lee, S. W. Lee, Y. H. Lee, and J. H. Jeong, "Rain-rate Estimation Algorithm Using Signal Attenuation of Ka-band Cloud Radar," *Meteorological Applications*, vol. 27, no. 1, pp. 1–13, Jan. 2020, doi: 10.1002/met.1825.
- [11] A. S. Zhang, C. Y. Huang, S. Chen, P. F. Zhang, D. M. Hu, and L. S. Xiao, "Utilization of Specific Attenuation for Rainfall Estimation in Southern China," *Journal of Tropical Meteorology*, vol. 27, no. 1, pp. 48–61, Mar. 2021, doi: 10.46267/j.1006-8775.2021.005.
- [12] C. A. Balanis, *Antenna theory analysis and design*, 3rd ed. John Wiley & Sons, Inc., 2005. [Online]. Available: www.copyright.com.
- [13] R. Yuwono, L. Julianto, Moch. A. Choiron, and A. Purnowidodo, "Perancangan Dimensi Antena Ultra Wide Band (Rugby Ball) Yang Paling Efektif Untuk Monostatic Microwave Radar," *TEKNO*, vol. 8, Aug. 2007.
- [14] M. M. Rahman, Y. Yang, and S. Dey, "Application of Metamaterials in Antennas for Gain Improvement: A Study on Integration Techniques and Performance," *IEEE Access*, vol. 13, pp. 49489–49503, Mar. 2025, doi: 10.1109/ACCESS.2025.3552023.
- [15] T. J. Cui, D. R. Smith, and R. Liu, *Metamaterials: Theory, design, and applications*. Springer US, 2010. doi: 10.1007/978-1-4419-0573-4.
- [16] K. Quzwain, A. Ismail, and A. Sali, "Octagon fractal microstrip yagi antenna with a combined DNG and DPS layer structure," *Microw Opt Technol Lett*, vol. 59, pp. 1988–1993, Jan. 2017, doi: 10.1002/mop.30666.
- [17] M. Afkarulislam and H. Wijanto, "Perancangan dan Realisasi Antena Reflektor Parabola dengan Feed Point Mikrostrip untuk Stasiun Bumi Satelit GEO-KOMPSAT-2A," *e-Proceeding of Engineering*, vol. 8, no. 5, p. 5368, Oct. 2021.
- [18] Nasrul, "Pembuatan Antena Reflektor Parabola Lingkaran untuk Penerima Sinyal Televisi pada Jalur UHF," *POLI REKAYASA*, vol. 13, no. 2, Apr. 2018.
- [19] C. Apriono, B. P. A. Mahatmanto, and F. H. Juwono, "Rectangular Microstrip Array Feed Antenna for C-Band Satellite Communications: Preliminary Results," *Remote Sens (Basel)*, vol. 15, no. 4, Feb. 2023, doi: 10.3390/rs15041126.
- [20] M. S. Rana *et al.*, "For wireless applications, design and analysis of patch antenna at 2.45 GHz," *Telkomnika (Telecommunication Computing Electronics and Control)*, vol. 22, no. 4, pp. 799–811, Aug. 2024, doi: 10.12928/TELKOMNIKA.v22i4.25751.
- [21] Rahman Dzul, "Desain dan Analisis Kinerja Antena Reflektor," Penguin Group US, 2024.