

Antena Mikrostrip Lingkaran 8 Elemen Menggunakan Metode Parasitik pada Frekuensi *X-band*

Hanny Madiawati¹, Dwi Agustina²

^{1,2}Politeknik Negeri Bandung

Jawa Barat, Indonesia

hannymadiawati@polban.ac.id

Abstrak

Perkembangan teknologi komunikasi modern menuntut sistem antena yang efisien dan mampu beroperasi pada frekuensi tinggi. Penelitian ini bertujuan merancang antena dengan spesifikasi unggul dan material yang lebih mudah ditemukan, dengan mempertahankan nilai permitivitas relatif yang sama seperti penelitian rujukan. Memiliki spesifikasi antena mikrostrip *array* 2×4 dengan *patch* berbentuk lingkaran menggunakan metode elemen parasitik yaitu, *gain* ≥ 15 dBi dan *bandwidth* ≥ 500 MHz. Antena menggunakan material Rogers Duroid 5880 yang memiliki spesifikasi nilai permitivitas relatif = 2,20 ± 0,02; h = 1,575 mm; faktor disipasi = 0,0004–0,0009. Hasil simulasi menunjukkan bahwa konfigurasi *array* mampu meningkatkan *gain* hingga 19,2 dBi, dan elemen parasitik memperluas *bandwidth* hingga 680 MHz pada rentang 8,97–9,59 GHz. Hasil realisasi menunjukkan *bandwidth* sebesar 320 MHz (9,32–9,64 GHz) saat berfungsi sebagai pemancar dan *bandwidth* 770 MHz (9,26–10,03 GHz) sebagai penerima. Nilai *gain* yang diperoleh sebesar 16,6 dBi. Terdapat penurunan hasil pada realisasi pemancar dibanding simulasi, dengan penurunan *bandwidth* pemancar sebesar 52,94% dan penerima sebesar 8,3% kemudian *gain* sebesar 13,54%. Meskipun demikian, antena yang direalisasikan menunjukkan kinerja *bandwidth* yang sangat baik sebagai penerima dan memenuhi persyaratan untuk aplikasi pada frekuensi *X-band*.

Kata kunci: Antena mikrostrip, *Array patch* lingkaran, Elemen parasitik, Frekuensi *X-band*, Rogers Duroid 5880

Abstract

The advancement of modern communication technology demands efficient antenna systems capable of operating at high frequencies. The objective of this research is to design an antenna with superior specifications and more readily available material, while maintaining the same Relative Permittivity as the reference study. Specifically, the antenna is a 2x4 microstrip array with circular patches utilizing the parasitic element method, targeting a gain of ≥ 15 dBi and a bandwidth of ≥ 500 MHz. The antenna is fabricated using Rogers Duroid 5880 substrate (Relative Permittivity = 2.20 ± 0.02; h = 1.575 mm; Dissipation Factor = 0.0004–0.0009). Simulation results indicate that the array configuration can enhance gain up to 19.2 dBi, while the use of parasitic elements broadens the bandwidth to 680 MHz, spanning 8.97–9.59 GHz. The realized prototype shows a bandwidth of 320 MHz (9.32–9.64 GHz) and a gain of 16.6 dBi when functioning as a transmitter. As a receiver, the antenna exhibits a wider bandwidth of 770 MHz (9.26–10.03 GHz). There was a decrease in the transmitter's performance compared to the simulation, with a reduction in transmitter bandwidth of 52.94%, receiver bandwidth of 8.3%, and gain of 13.54%. Nevertheless, the realized antenna demonstrates excellent bandwidth performance as a receiver and meets the requirements for X-band frequency applications.

Keywords: Microstrip antenna, Circular patch array, Parasitic element, X-band Frequency, Rogers Duroid 5880

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Perkembangan teknologi komunikasi mengharuskan sistem bekerja dalam waktu singkat dan efisien, di mana antena berfungsi sebagai pemancar dan penerima sinyal

elektromagnetik.

Antena mikrostrip semakin diminati karena kecil, ringan, dan biaya produksinya rendah [1]. Frekuensi *X-band* (8-12 GHz) banyak digunakan dalam radar, komunikasi satelit, dan sistem navigasi [2], sehingga diperlukan penelitian secara terus menerus untuk mendapatkan hasil yang paling optimal dalam

mencapai parameter antena. Maka dari itu, dirancanglah sebuah antena mikrostrip dengan bentuk *patch* lingkaran [3], beserta penggabungan metode *array* dengan parasitik yang mampu meningkatkan *gain* dan *bandwidth* [4], serta dilakukan pencatutan secara *back feeding* [5]. Penelitian ini berfokus pada perancangan antena mikrostrip lingkaran 8 elemen menggunakan metode parasitik pada frekuensi X-band.

B. Studi Penelitian Sebelumnya

Sebagai tinjauan pustaka dan dasar perbaikan, penelitian sebelumnya telah melakukan perancangan antena mikrostrip array 2x4 dengan *patch* berbentuk persegi panjang (*rectangular*) menggunakan pencatutan *microstrip line* dan material substrat jenis Arlon LX 217 CuClad.

Pada perancangan rujukan tersebut, diperoleh hasil akhir berupa *bandwidth* sebesar 900 MHz (pada *return loss* ≥ 15 dB) dan *gain* ≥ 15 dBi.

Penelitian saat ini mengambil langkah perbaikan dan perbandingan dari studi rujukan tersebut, yaitu dengan melakukan perubahan sebagai berikut:

1. Penggantian Substrat: Mengubah material substrat menjadi Rogers Duroid 5880, yang dinilai lebih mudah dicari dan lebih ekonomis [6].
2. Perubahan Bentuk Patch: Mengubah bentuk *patch* menjadi lingkaran dengan tujuan memperoleh polarisasi melingkar (*circular polarization*) [3].
3. Metode Peningkatan Kinerja: Menggunakan konfigurasi array untuk meningkatkan *gain* [7], menambahkan metode elemen parasitik untuk meningkatkan *bandwidth* [8], serta menggunakan pencatutan *back feeding* untuk meningkatkan kecocokan impedansi [3].

C. Tujuan Penelitian

Tujuan utama dari penelitian ini adalah merancang antena mikrostrip array 2x4 dengan *patch* berbentuk lingkaran menggunakan metode elemen parasitik yang memiliki spesifikasi unggul dibandingkan penelitian rujukan, terutama dari segi material.

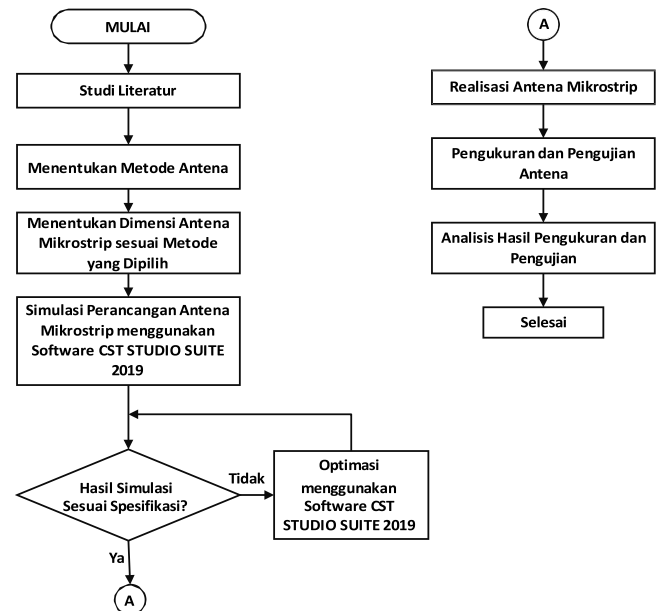
Secara rinci, tujuan spesifik dari penelitian ini adalah:

1. Merancang antena dengan desain *array* 2x4 yang lebih sederhana.
2. Menggunakan material substrat yang lebih terjangkau dan ekonomis (Rogers Duroid 5880) namun memiliki nilai ϵ_r yang sama dengan penelitian rujukan.
3. Mencapai spesifikasi antena yang tinggi dengan target:
 - a) *Gain* ≥ 15 dBi (serupa dengan rujukan).
 - b) *Bandwidth* ≥ 500 MHz.

II. METODE PENELITIAN

A. Tahapan Pelaksanaan

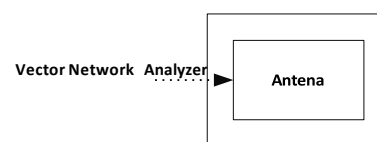
Tahapan pelaksanaan penelitian ini diilustrasikan secara keseluruhan melalui diagram alir (Gambar 1), yang mencakup proses iteratif dari studi awal hingga analisis hasil.



Gambar 1. Diagram Alir Tahapan Pelaksanaan

Pada Gambar 1 tahapan pelaksanaan penelitian ini mencakup studi literatur sebagai dasar teoritis untuk menentukan metode perancangan yang tepat. Setelah itu, dilakukan perhitungan teoritis untuk menentukan dimensi antena yang kemudian disimulasikan menggunakan *CST Studio Suite* 2019. Parameter hasil simulasi dianalisis, dan jika belum memenuhi spesifikasi yang diinginkan, dilakukan optimasi hingga mencapai hasil yang optimal. Selanjutnya, antena direalisasikan serta diuji menggunakan alat ukur *Vector Network Analyzer*, dengan hasil pengukuran yang dianalisis dan disusun dalam jurnal penelitian.

Pada pengujian antena, terdapat diagram blok sistem yang dapat menunjukkan alur pancaran antena dengan metode *array*, parasitik, dan pencatutan *back feeding*.



Gambar 2. Diagram Blok Sistem Antena Mikrostrip dengan Metode *Back Feeding*, *Array*, dan Parasitik

Gambar 2 menggambarkan alur kerja sistem antena mikrostrip dimulai dari pengukuran menggunakan *Vector Network Analyzer* (VNA), yang berfungsi untuk mengkarakterisasi parameter antena

seperti pantulan, transmisi sinyal (S-parameter), dan mengetahui daya pancaran atau daya terima [9]. Untuk mengetahui hasil tersebut, VNA disambungkan melalui konektor SMA yang berfungsi sebagai penghubung antara alat ukur dan antena dengan menjaga kesesuaian impedansi agar transmisi sinyal tetap efisien. Selanjutnya, sinyal memasuki bagian pencatuan *feedline* dengan cara *back feeding*, yaitu jalur penghantar yang mengarahkan energi RF (*Radio Frequency*) menuju elemen radiasi utama. Energi ini kemudian diradiasikan oleh *patch*, yaitu bagian utama antena mikrostrip yang bertugas memancarkan dan menerima gelombang elektromagnetik dengan metode *array* yang dapat meningkatkan *gain*. Kemudian, untuk meningkatkan kinerja antena, dilakukan modifikasi elemen parasitik yang ditempatkan pada layer lain di atas *patch* utama guna memperluas *bandwidth* serta memperbaiki karakteristik pola radiasi antena.

B. Perancangan Antena

Perancangan antena mikrostrip melibatkan dua tahapan utama untuk memastikan desain memenuhi spesifikasi yang diinginkan, yaitu sebagai berikut :

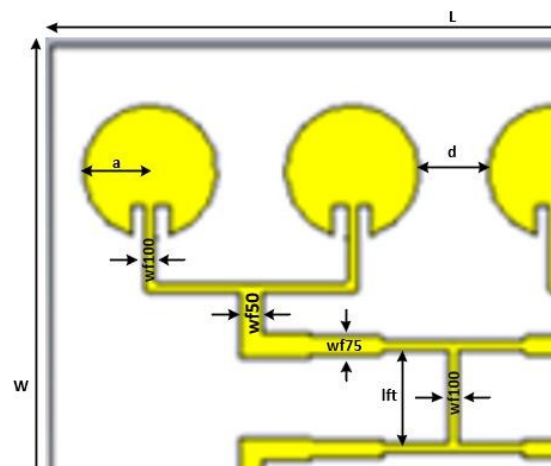
1. Perhitungan Dimensi Antena

Dilakukan perhitungan dimensi antena, termasuk parameter *patch*, substrat, *feedline*, dan jarak antar elemen *array* menggunakan rumus-rumus terkait untuk memastikan kinerja optimal pada frekuensi resonansi yang diinginkan dengan spesifikasi seperti :

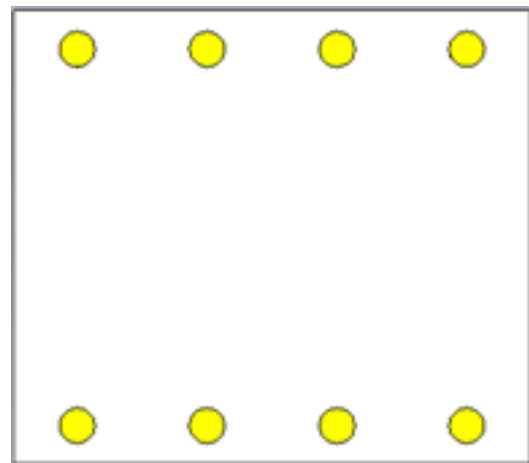
- a) Frekuensi resonansi : 9.4GHz
- b) *Bandwidth* : >500 MHz
- c) *Return loss* : >14dB
- d) *Gain* : >15dBi
- e) Material : Rogers Duroid 5880
- f) Konstanta dielektrik material : 2,2
- g) Tebal material : 1,575 mm

2. Perancangan Antena Simulasi

Parameter material substrat, seperti konstanta dielektrik dan ketebalan, dimasukkan ke dalam simulator. Model antena dirancang sesuai dimensi yang dihitung, mencakup *patch*, *feedline*, *ground plane*, dan elemen parasitik, dengan penyesuaian posisi dan jarak elemen *array* untuk mengoptimalkan *gain* dan pola radiasi, diikuti oleh optimasi desain untuk hasil terbaik. Metode optimasi dilakukan dengan cara melakukan iterasi pada beberapa ukuran antena. Metode ini adalah proses penyesuaian dimensi fisik antena mikrostrip secara berulang-ulang (iteratif) di dalam simulasi CST Studio Suite untuk mencapai performa antena yang diinginkan, ditinjau dari parameter seperti *Return Loss (S11)*, *Voltage Standing Wave Ratio (VSWR)*, *Gain*, dan frekuensi kerja yang tepat.



(a) Patch Utama dan Feedline



(b) Patch Parasitik

Gambar 3. Desain Patch Lingkaran Array 2x4 dan Elemen Parasitik

Gambar 3 menunjukkan hasil perancangan secara simulasi pada software *CST Studio Suite 2019* setelah dilakukan perhitungan [10]. Transformator $\frac{1}{4}$ lambda ($\lambda/4$) pada desain antena mikrostrip *array* tersebut berfungsi sebagai pencocok impedansi antara elemen *patch* dan jalur transmisi utama agar daya dapat ditransfer secara maksimal [11]. Jalur ini memiliki panjang seperempat panjang gelombang efektif dalam substrat dan digunakan untuk menyesuaikan perbedaan impedansi dari elemen *patch* yang lebih tinggi menuju impedansi standar 50 ohm [12]. Dengan konfigurasi ini, sinyal dapat dibagi secara merata ke seluruh elemen *array* untuk menjaga keseimbangan amplitudo dan fasa [13].

Tabel 1. Dimensi Desain Patch Lingkaran Array 2x4 dan Elemen Parasitik

Variabel	Dimensi (mm)	Deskripsi
A	10	Jari-jari Patch Circular
P	4.2	Jari-jari Parasitik
D	10.3	Jarak antara Patch
H	1.575	Tebal Substrat

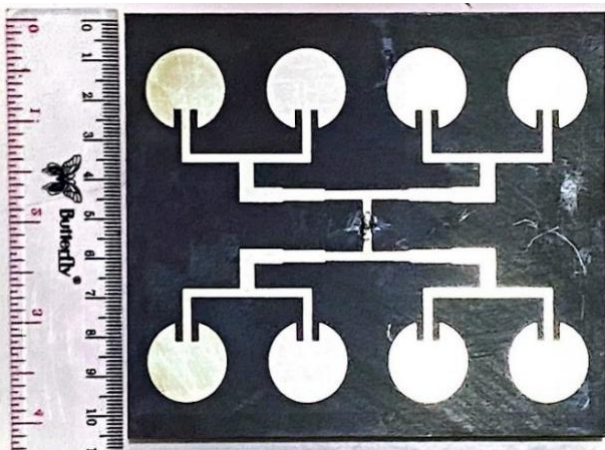
Variabel	Dimensi (mm)	Deskripsi
T	0.035	Tebal Copper
Lf	9.8	Panjang <i>Feedline</i> 50ohm
Lft	6	Panjang <i>Feedline</i> Tengah
lf100	8.2	Panjang <i>Feedline</i> 100ohm
Wf	3.5	Lebar <i>Feedline</i> 50ohm
wf70	2.8	Lebar <i>Feedline</i> 70.71ohm
wf100	1.5	Lebar <i>Feedline</i> 100ohm
Wu	2	Lebar slot
Lu	5	Panjang slot

Tabel 1 menyajikan dimensi akhir perancangan antena. Dimensi ini diperoleh melalui perhitungan teoretis awal dan disempurnakan melalui simulasi berulang hingga menghasilkan respons yang sesuai dengan spesifikasi yang ditargetkan.

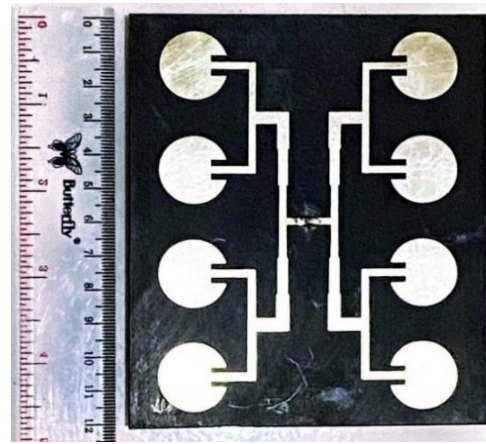
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Fabrikasi

Berikut adalah hasil fabrikasi antena mikrostrip *patch circular array 2x4* menggunakan elemen parasitik yang sebelumnya telah dirancang menggunakan simulator. Antena ini terdiri dari dua lapisan PCB yang ditumpuk. Pada lapisan bawah terdapat *patch* utama yang dilengkapi dengan *feedline*. Sementara itu, pada lapisan atas terdapat *patch* parasitik yang berukuran lebih kecil dari *patch* utama, diposisikan tepat di atasnya namun pada ketinggian vertikal yang lebih tinggi. Pencatuan dilakukan secara inject belakang (*Back Feeding*) untuk meningkatkan pencocokan impedansi.



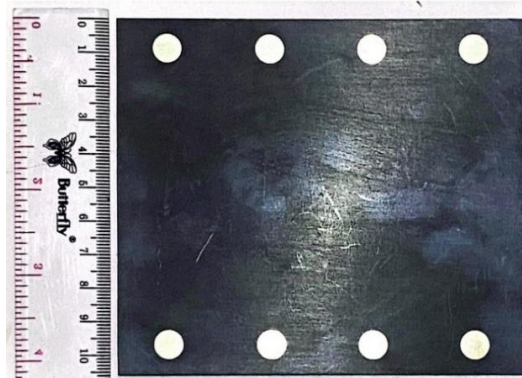
(a) Lebar Layer Bawah untuk *Patch* Utama dan *Feedline*



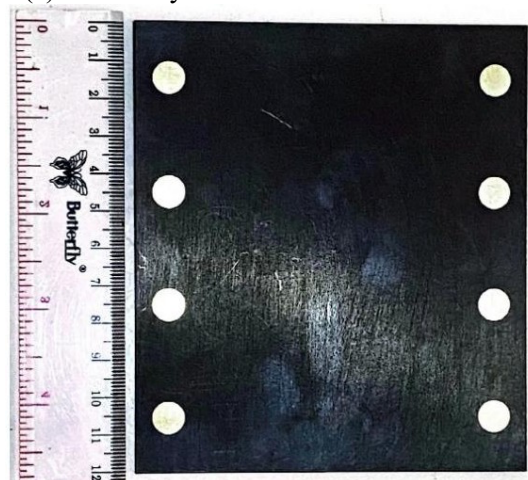
(b) Panjang Layer Bawah untuk *Patch* Utama dan *Feedline*

Gambar 4. Realisasi Layer Bawah

Pada Gambar 4a menunjukkan hasil desain realisasi yang menghasilkan dimensi lebar 12 cm dan Gambar 4b menunjukkan panjang 10,5 cm. Bagian ini merupakan tampilan lapisan bawah dari struktur antena mikrostrip *patch circular array 2x4* yang menunjukkan elemen *patch* utama beserta jalur pencatuan (*feedline*). *Feedline* pada layer ini dirancang untuk memberikan pencatuan langsung kepada elemen radiasi utama, yang berperan sebagai sumber utama gelombang elektromagnetik.



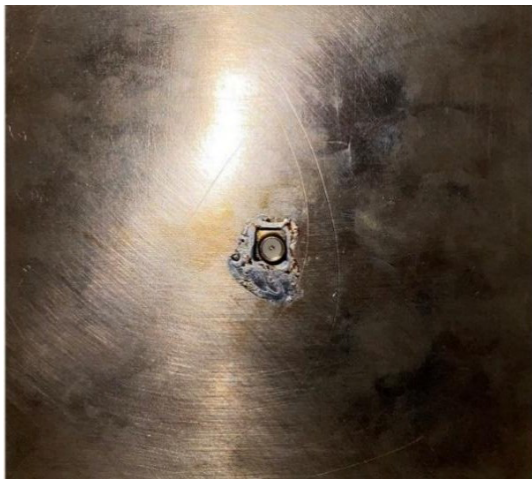
(a) Lebar Layer Atas untuk *Patch* Parasitik



(b) Panjang Layer Atas untuk *Patch* Parasitik

Gambar 5. Realisasi Layer Atas

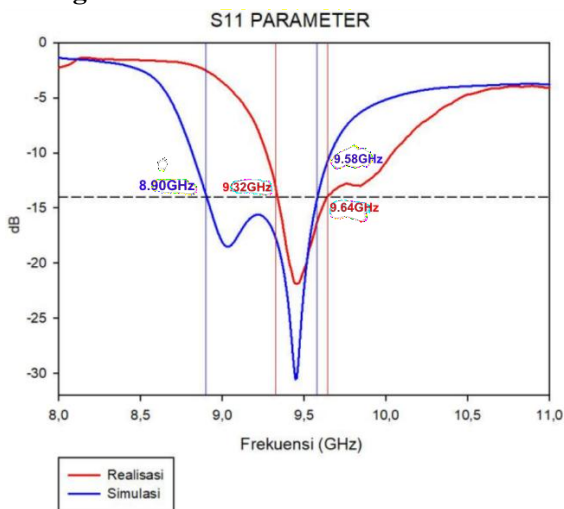
Sama seperti dimensi layer *patch* utama, Gambar 5a menunjukkan hasil desain realisasi yang menghasilkan dimensi lebar 12 cm dan Gambar 5b menunjukkan panjang 10,5 cm. Bagian ini merepresentasi lapisan atas dari antenna yang menampilkan elemen *patch* parasitik. *Patch* parasitik ini memiliki dimensi yang lebih kecil dibandingkan *patch* utama dan diposisikan secara koaksial di atasnya, namun dengan elevasi vertikal yang lebih tinggi. Tujuan dari penambahan *patch* parasitik adalah untuk meningkatkan lebar pita dan memperbaiki pola radiasi melalui coupling elektromagnetik.



Gambar 6. Pencatuan Inject Belakang

Gambar 6 merupakan tampilan proses pencatuan antenna menggunakan metode injeksi dari belakang (*Back Feeding*). Metode ini diterapkan guna menghindari gangguan struktur *feedline* pada sisi radiasi utama serta untuk meningkatkan pencocokan impedansi antara sumber sinyal dan elemen *patch* utama.

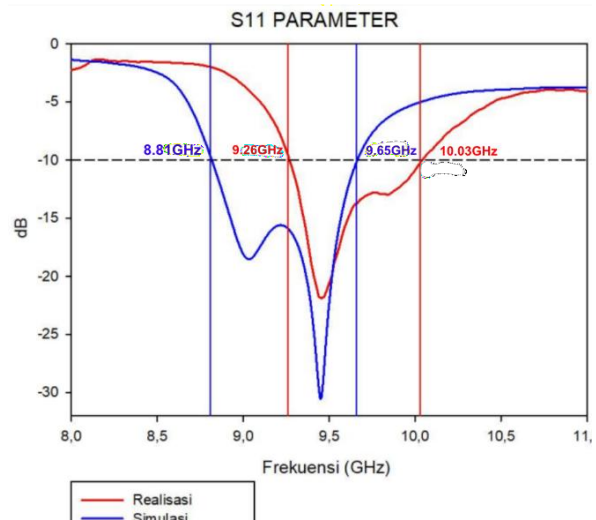
B. Pengukuran S Parameter



Gambar 7. Respon S Parameter Bandwidth dengan Return Loss 14dB

Gambar 7 menunjukkan bahwa antenna pada simulasi memiliki *bandwidth* $S_{11} \geq 14$ dB dalam rentang frekuensi 8,90 GHz hingga 9,58 GHz, dengan frekuensi resonansi pada 9,32 GHz. Sementara itu, hasil realisasi antenna menunjukkan *bandwidth* dalam rentang 9,32 GHz hingga 9,64 GHz, dengan titik resonansi yang hampir sama yaitu di sekitar 9,46 GHz. Berdasarkan referensi, nilai *Return loss* lebih besar dari 14 dB umumnya dipersyaratkan pada antenna pemancar, karena efisiensi transfer daya sangat maksimal untuk menghindari rugi daya dan pantulan balik yang bisa merusak sumber RF (*Radio Frequency*).

Hasil simulasi dan realisasi menunjukkan pencatuan yang baik karena tetap berada di atas *return loss* 14 dB pada frekuensi operasionalnya. *Bandwidth* yang didapatkan sudah masuk kedalam spesifikasi pada salah satu pengaplikasian pada frekuensi *X-band* yaitu radar navigasi.



Gambar 8. Respon S Parameter Bandwidth dengan Return Loss 10dB

Pada Gambar 8, pengukuran dilakukan dengan standar *bandwidth* yang lebih longgar, yaitu $S_{11} \geq 10$ dB. Dari grafik simulasi, terlihat bahwa antenna bekerja dalam rentang 8,81 GHz hingga 9,65 GHz, yang menghasilkan *bandwidth* yang sangat luas dan ideal untuk berbagai aplikasi. Frekuensi resonansi tetap pada 9,26 GHz. Sementara itu, hasil realisasi menunjukkan bahwa antenna memiliki rentang *bandwidth* antara 9,26 GHz hingga 10,03 GHz, dengan titik resonansi juga tetap berada dekat titik simulasi. Dalam banyak aplikasi, nilai *Return loss* ≥ 10 dB dianggap cukup untuk antenna yang berperan sebagai penerima, karena meskipun sebagian daya dipantulkan kembali, sensitivitas sistem penerima umumnya masih dapat mengakomodasi level sinyal yang lebih rendah.

Pada kondisi ini, hasil realisasi justru menunjukkan lebar *bandwidth* lebih lebar dibanding simulasi, yang kemungkinan disebabkan oleh

penyesuaian impedansi alami akibat deviasi struktur fisik, yang justru memperluas respons frekuensinya.

Tabel 2. Spesifikasi Antena Aplikasi Radar Navigasi ITU

Parameter	Spesifikasi Radar Navigasi ITU
Frekuensi Kerja	9.345GHz – 9.475GHz
Bandwidth	≥ 500MHz
Return Loss	≥ 14dB
Gain	≥ 15 dBi

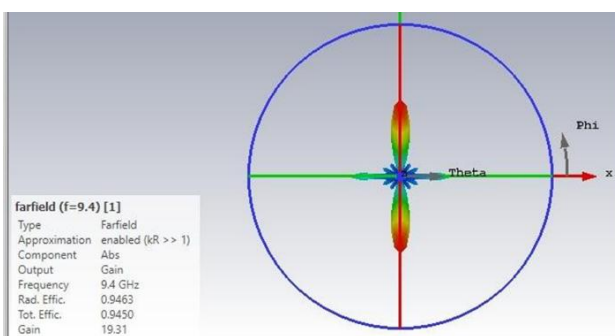
Tabel 3. Hasil Perbandingan Bandwidth antara RL 10dB dan RL 14dB

Parameter	Simulasi 14dB	Realisasi 14dB
Frekuensi Kerja	8.90Hz – 9.58GHz	9.32Hz – 9.64GHz
Bandwidth	680MHz	319MHz

Parameter	Simulasi 10dB	Realisasi 10dB
Frekuensi Kerja	8.81Hz – 9.65GHz	10.03Hz – 9.26GHz
Bandwidth	840MHz	770MHz

Tabel 2 merupakan target spesifikasi yang ingin didapatkan dari hasil penelitian ini. Sedangkan, Tabel 3 menunjukkan hasil perbandingan parameter S11 antara hasil simulasi dan realisasi fisik antena mikrostrip array 2x4 dengan elemen parasitik. Dua grafik digunakan untuk menampilkan spesifikasi antena berdasarkan dua acuan bandwidth yang berbeda, yaitu return loss ≥ 14 dB dan return loss ≥ 10 dB, yang masing-masing dikaitkan dengan fungsi antena sebagai pemancar dan penerima.

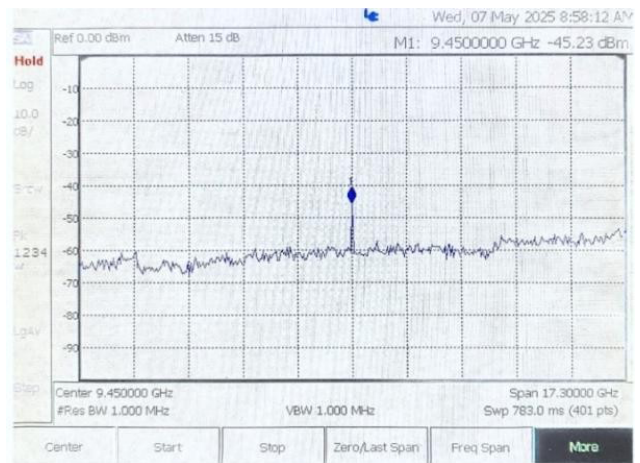
C. Pengukuran Gain



Gambar 9. Hasil Simulasi untuk Gain pada Patch Lingkaran Array 2x4 dan Elemen Parasitik

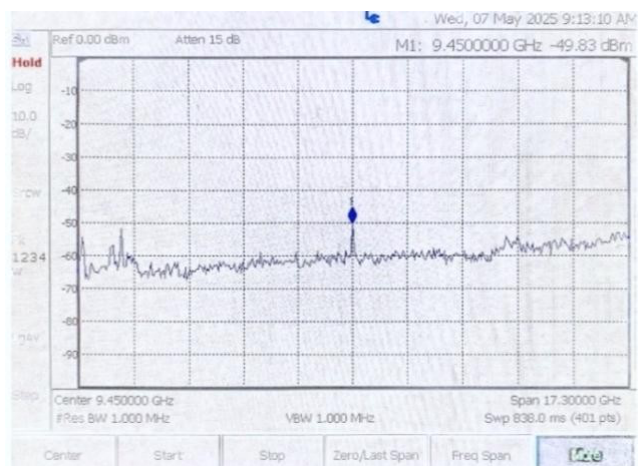
Pada Gambar 9, menunjukkan hasil simulasi dengan gain sebesar 19.29 dBi, antena ini memiliki daya pancar yang sangat tinggi dan namun pola radiasi dari hasil desain ini masih

perlu di optimasi lagi karena terdapat dua main lobe yang menjadikannya memiliki pola radiasi bidirectional. Dengan arah masing-masing sisi di 30 derajat.



Gambar 10. Hasil Pengukuran Daya DUT (Power Device Under Test)

Gambar 10 menunjukkan hasil pengukuran P_{DUT} (Power Device Under Test) dalam kondisi miring, yaitu ketika antena uji diarahkan ke sudut sekitar 30 derajat dari posisi tegak lurus. Dalam kondisi ini, nilai daya yang diterima adalah -45,23 dBm. Hal ini konsisten dengan karakteristik antena yang memiliki pola radiasi bidirectional, di mana arah maksimum radiasi (main lobe) tidak berada tepat di depan antena, tetapi pada sudut tertentu dan terpancar dalam dua arah yang berbeda.



Gambar 11. Hasil Pengukuran Daya Referensi Antena Horn

Selanjutnya, pada Gambar 11 menampilkan hasil pengukuran P_{REF} yaitu daya yang diterima oleh antena referensi, dengan nilai -49,83 dBm. Antena referensi ini memiliki gain tetap sebesar 12 dBi, dan digunakan sebagai acuan untuk menghitung gain antena uji dengan membandingkan daya yang diterima. Nilai P_{DUT} ini berlaku sama untuk kedua kondisi (miring

dan depan), karena dilakukan dalam pengaturan pengukuran yang identik.

Berdasarkan hasil pengukuran, dapat diperoleh nilai *gain* yang dihitung menggunakan persamaan [14]:

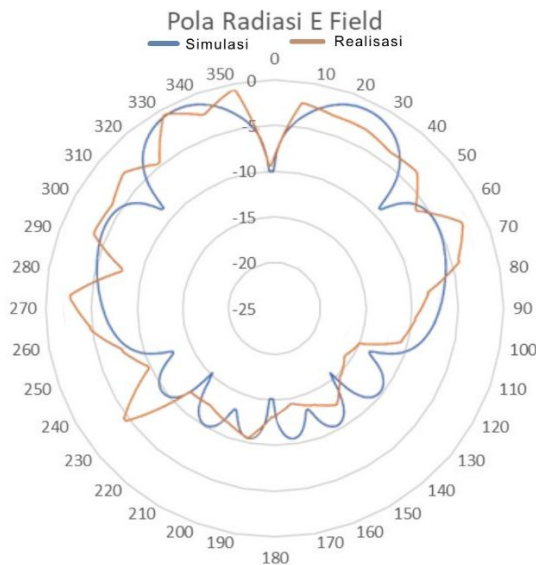
$$G_A(dBi) = P_A(dBm) - P_s(dBm) + G_s(dBi) \quad (1)$$

Maka di dapatkan hasilnya :

$$\begin{aligned} Gain &= -45,23 - (-49,83) + 12 \\ &= 16,6 \text{ dBi} \end{aligned}$$

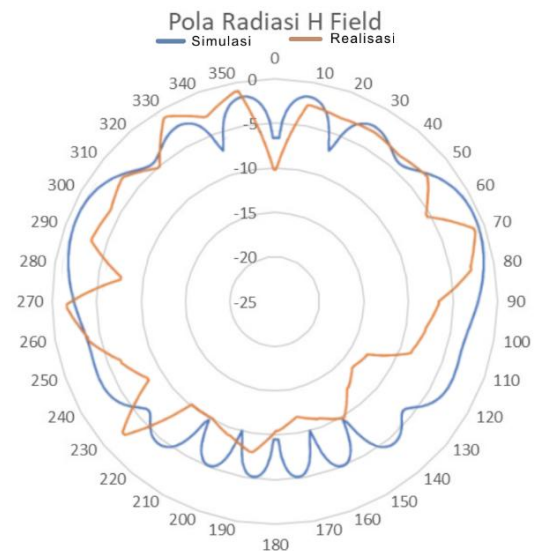
Pada perhitungan didapatkan gain berada pada nilai 16,6 dBi, nilai tersebut mengalami penurunan dari simulasi yang bernilai 19,29 dBi. Namun nilai tersebut sudah sesuai spesifikasi yang ditentukan *gain* ≥ 15 dBi.

D. Pengukuran Pola Radiasi



Gambar 12. Grafik Pola Radiasi E-Field Simulasi dan Realisasi

Gambar 12 menunjukkan pola radiasi E-field atau bidang vertikal dari antenna, perbedaan antara simulasi dan realisasi dapat terlihat. Pada simulasi, hasil pola radiasi telah didapatkan jika main lobe terbagi dua dan tidak tertuju pada sumbu normal 0° , yang menjadikan antenna tersebut berpola radiasi *bidirectional*. Oleh karenanya, hasil simulasi menunjukkan pola radiasi yang kompleks dan memiliki banyak lobus dengan tingkat kekuatan yang relatif tinggi yang dipengaruhi oleh metode *array* [15], sementara hasil realisasi tampak lebih sederhana dan tumpul, dengan radiasi yang tidak tersebar sebaik hasil simulasi dikarenakan plot yang dilakukan hanya setiap 10° .



Gambar 13. Grafik Pola Radiasi H-Field Simulasi dan Realisasi

Gambar 13 menunjukkan pola radiasi H-field, yaitu distribusi medan magnet antenna dalam bidang horizontal. Pada hasil simulasi (garis biru), terlihat pola radiasi yang tajam dan simetris dengan banyak lekukan atau lobus samping kecil, menandakan antenna mampu memfokuskan energi radiasinya dengan baik ke arah tertentu. Namun, hasil realisasi (garis oranye) menunjukkan pola yang lebih halus dan tidak setajam hasil simulasi. *Gain* pada hasil realisasi juga sedikit lebih rendah, khususnya pada beberapa arah sudut. Perbedaan ini disebabkan oleh berbagai faktor praktis, seperti ketidaksempurnaan dalam proses fabrikasi, toleransi dimensi, kualitas material substrat, serta kemungkinan adanya interferensi atau pantulan saat proses pengukuran di lingkungan nyata [16]. Meskipun demikian, arah utama radiasi tetap sesuai, yang menunjukkan bahwa antenna masih bekerja sesuai fungsi dasarnya.

IV. KESIMPULAN

Hasil perancangan antenna mikrostrip *patch* lingkaran *array* 2×4 dengan elemen parasitik dan material Rogers 5880 menunjukkan metode yang efektif untuk menghindari *trade-off* antara *bandwidth* dan *gain*. Hasil simulasi menunjukkan bahwa konfigurasi *array* mampu meningkatkan *gain* hingga 19,2 dBi, dan elemen parasitik memperluas *bandwidth* hingga 680 MHz pada rentang 8,97–9,59 GHz. Hasil realisasi menunjukkan *bandwidth* sebesar 320 MHz (9,32–9,64 GHz) dan *gain* sebesar 16,6 dBi saat berfungsi sebagai pemancar. Sebagai penerima, antenna menunjukkan *bandwidth* yang lebih lebar, yaitu 770 MHz (9,26–10,03 GHz). Terdapat penurunan hasil pada realisasi pemancar dibanding simulasi, dengan penurunan *bandwidth* pemancar sebesar 52,94% dan penerima sebesar 8,3% kemudian

gain sebesar 13,54%. Meskipun demikian, hasil realisasi sebagai menunjukkan kinerja *bandwidth* yang sangat baik dan memenuhi kebutuhan aplikasi pada frekuensi *X-band*. Pola radiasi antena yang cenderung *bidirectional* juga memberikan keuntungan dalam cakupan arah tertentu, yang bergantung pada orientasi pemasangan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dan mendukung pelaksanaan penelitian ini. Penelitian ini didanai oleh Politeknik Negeri Bandung. Terima kasih juga kami sampaikan kepada civitas akademika Politeknik Negeri Bandung, khususnya para dosen di jurusan Teknik Elektro, yang telah memberikan kontribusi. Kami juga menghargai bantuan dari kepala laboratorium selama proses penelitian ini. Sekali lagi, kami ucapkan terima kasih atas segala bantuan yang telah diberikan.

REFERENSI

- [1] M. Karahan, M. Inal, A. Dilmen, F. Lacinkaya, A. N. Akay and C. Kasnakoglu, "Microstrip patch antenna design at 10 GHz for X band applications," *arXiv preprint arXiv:2303.09963*, 2023.
- [2] K. Malaisamy, M. Wasim, P. Sivagamasundhari, G. Sivakannu and V. Dinesh, "Array Antenna Design and Development for X-Band Applications," in *Computer Aided Constellation Management and Communication Satellites: Proceedings of the International Conference on Small Satellites, ICSS 2022*, 2023, pp. 77-84.
- [3] Z. Ji, G. Sun, K. Wang, H. Wong, Z. Yu, Z. Li, C. Wei and P. Liu, "A Circularly Polarized Complementary Antenna with Substrate Integrated Coaxial Line Feed for X-Band Applications," *Electronics*, vol. 13, p. 785, 2024.
- [4] B. P. A. Mahatmanto, D. Irawadi, H. Gunawan, N. W. Jatmiko, D. N. S. Sirin, S. Supriyono, S. Suhermanto, B. Dewandaru and C. Apriono, "Performance analysis of circular polarization X-band microstrip patch antenna combined with conical horn," *TELKOMNIKA (Telecommunication Computing Electronics and Control)*, vol. 22, pp. 1061-1072, 2024.
- [5] B. Y. U. Putri, E. S. Nugraha, A. Prakasa and S. F. Siddiq, "Design and performance analysis of linear array microstrip antennas with mitered-bends feeding network for x-band radar applications," *Jurnal Elektronika dan Telekomunikasi*, vol. 20, pp. 9-15, 2020.
- [6] K. a. L. S. a. A. M. Aliqab, A. Armghan, M. G. Daher and S. K. Patel, "Design and fabrication of a low-cost, multiband and high gain square tooth-enabled metamaterial superstrate microstrip patch antenna," *Micromachines*, vol. 14, p. 163, 2023.
- [7] D. Das, M. F. Hossain and M. A. Hossain, "A simple feed orthogonal excitation X-band dual circular polarized microstrip patch array antenna," *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, vol. 14, pp. 1604-1615, 2024.
- [8] Q. Huang, "Wideband Circularly Polarized Microstrip-Slot Antenna with Parasitic Ground Planes," *International Journal of Antennas and Propagation*, p. 5684055, 2022.
- [9] T. Qin, "Measurement and Application of VNA," *Highlights in Science, Engineering and Technology*, vol. 27, 2022.
- [10] M. T. Guneser, C. Seker, M. I. Guler, N. L. Fitriyani and M. Syafrudin, "Efficient 5.8 GHz microstrip antennas for intelligent transportation systems: design, fabrication, and performance analysis," *Mathematics*, vol. 12, p. 1202, 2024.
- [11] S. Zakariyya, B. Sadiq, R. Alao, J. Adesina and E. Obi, "Design of an improved microstrip antenna operating at a frequency band of 28GHz," *arXiv preprint arXiv:2412.20400*, 2024.
- [12] M. A. AL-Amoudi, "Study, design, and simulation for microstrip patch antenna," *International Journal of Applied Science*

and Engineering Review (IJASER), vol. 2, pp. 1-29, 2021.

- [13] M. A. Saeed and A. O. Nwajana, "Design of a rectangular linear microstrip patch antenna array for 5G communication," in *2024 IEEE International Symposium on Phased Array Systems and Technology (ARRAY)*, 2024, pp. 1-4.
- [14] G. K'se, L. K. Baghel, Y. Soylu, S. A. Sis, C. Coar and S. Kumar, "Antenna gain and factor extraction of EMC test antennas by two-and three-antenna measurement methods in a comparative manner," in *2023 7th International Electromagnetic Compatibility Conference (EMC Turkiye)*, 2023, pp. 1-4.
- [15] F. Gao and H. Sun, "A radiation-pattern reconfigurable antenna array for vehicular communications," p. 4136, 2024.
- [16] G. Kyriakou, M. Kovaleva, K. F. Warnick, D. B. Davidson and P. Bolli, "Deriving Mutual Impedance Matrix of a Large Antenna Array From Embedded Element Patterns With Measurement Noise," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 2024.