JCOSIS (*Journal Computer Science and Information Syetem*)
E-ISSN : 3032-5676
Volume : 03 | Nomor : 02 | Tahun 2026 | Hal 86-95
DOI : https://doi.org/10.61567

Studi Komparatif Kinerja *Gain* Antena Mikrostrip *T-Slot* Elemen Tunggal Dan Array

Yunus Alpindo[1], Hendy Santosa[2], Reza Satria Rinaldi[3], Fitrilina[4], Faisal Hadi[5], Junas Haidi[6]*
[1,2,3,4,5,6] Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Bengkulu, Indonesia
[1]yunusalpindo70@gmail.com ; [2]hendysantosa@unib.ac.id ; [3]reza_s_r@unib.ac.id ; [4]fitrilina@unib.ac.id ; [5]faisalhadi@unib.ac.id ; [6]junas.haidi@unib.ac.id

Abstrak.
Tujuan : Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan *gain* antena mikrostrip yang beroperasi pada frekuensi resonansi 2,3 GHz melalui penambahan *slot* berbentuk T dan penerapan konfigurasi array 4 × 2.
Metode/Design/Pendekatan: Penelitian menggunakan metode perancangan dan simulasi antena mikrostrip dengan substrat dielektrik RT6006. Perancangan dilakukan melalui tiga tahap, yaitu desain antena mikrostrip persegi panjang tunggal, penambahan *slot* berbentuk T, dan penerapan konfigurasi *array* 4 × 2 untuk meningkatkan *gain* serta mengarahkan pola radiasi antena.
Hasil/Temuan: Hasil simulasi menunjukkan bahwa penambahan *slot* berbentuk T meningkatkan kinerja parameter (S_{11}) dari −22,14 dB menjadi −47,79 dB. Penerapan konfigurasi *array* 4 × 2 meningkatkan *gain* dari 4,37 dBi menjadi 12,1 dBi, dengan penurunan *Half-Power Beamwidth* (HPBW) dari 125,4° menjadi 27,5°. Secara keseluruhan, konfigurasi array menghasilkan peningkatan *gain* sebesar 7,73 dB dibandingkan dengan antena mikrostrip berslot T tunggal.
Kebaharuan/Originalitas/Nilai: Kebaruan penelitian ini terletak pada pengembangan antena mikrostrip *slot* T menggunakan konfigurasi array 4 × 2 untuk meningkatkan gain sekaligus menghasilkan pola radiasi yang lebih terarah pada frekuensi 2,3 GHz. Desain ini berpotensi diterapkan pada sistem radar, komunikasi satelit, dan komunikasi nirkabel yang membutuhkan antena dengan penguatan tinggi dan lebar berkas radiasi yang lebih sempit.

Kata Kunci: Antena Mikrostrip, *Slot-T*, *Array*, *Gain*

Abstract.
Purpose: *This study aims to increase the gain of a microstrip antenna operating at a resonant frequency of 2.3 GHz by incorporating a T-shaped slot and implementing a 4 × 2 array configuration.*
Methods/Study design/approach: *This study employs an antenna design and simulation approach using an RT6006 dielectric substrate. The design process consists of three stages: designing a single rectangular microstrip antenna, introducing a T-shaped slot, and implementing a 4 × 2 array configuration to enhance antenna gain and achieve a more directional radiation pattern.*
Result/Findings: *The simulation results show that incorporating a T-shaped slot improves the \(S_{11}\) parameter from −22.14 dB to −47.79 dB. The implementation of the 4 × 2 array configuration increases the antenna gain from 4.37 dBi to 12.1 dBi, while reducing the half-power beamwidth (HPBW) from 125.4° to 27.5°. Overall, the array configuration achieves a gain improvement of 7.73 dB compared with the single T-slotted microstrip antenna.*
Novelty/Originality/Value: *he novelty of this study lies in the development of a T-slotted microstrip antenna using a 4 × 2 array configuration to enhance gain and produce a more directional radiation pattern at 2.3 GHz. The proposed design has potential applications in radar systems, satellite communications, and wireless communication systems requiring high antenna gain and a narrower radiation beamwidth.*

Keywords*: Microstrip Antennas, T-Slot Antennas, Array Antennas, Gain*

Article history:

Received, 2026-10-21
Revised, 2026-10-23
Accepted, 2026-10-28

[1]*Corresponding author.
Junas Haidi.
Email addresses: junas.haidi@unib.ac.id

This is an open access article under the CC BY-SAlicense.

PENDAHULUAN

Antena merupakan salah satu komponen utama dalam sistem komunikasi nirkabel yang berfungsi untuk mengubah sinyal listrik menjadi gelombang elektromagnetik pada proses transmisi. Perkembangan teknologi antena berlangsung sangat pesat, meliputi penggunaan berbagai jenis material, pengembangan dimensi dan konfigurasi antena. Beberapa parameter penting yang digunakan untuk mengevaluasi kinerja antena meliputi frekuensi resonansi, *Reflection Coefficient* (S_{11}) dan *Voltage Standing Wave Ratio* (VSWR), *bandwidth*, pola radiasi, dan *gain*. Salah satu parameter penting yang menunjukkan kemampuan antena dalam memusatkan energi radiasi ke arah tertentu adalah *gain*. Antena mikrostrip *patch* banyak digunakan karena memiliki ukuran yang relatif kecil, biaya fabrikasi yang rendah, serta mudah diintegrasikan dengan perangkat elektronik lainnya. Namun, antena mikrostrip *patch* dengan elemen tunggal umumnya memiliki *gain* yang relatif rendah. Selain itu, kinerjanya dipengaruhi oleh dimensi *substrat* dan konfigurasi saluran pencatu [1–3].

Dua pendekatan yang umum digunakan untuk meningkatkan kinerja antena mikrostrip adalah penambahan *slot* pada elemen *patch* dan penyusunan elemen antena dalam konfigurasi *array*. *Slot* berbentuk T dapat memodifikasi distribusi medan listrik pada elemen *patch* sehingga berpotensi meningkatkan kinerja antena mikrostrip [4]. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa antena mikrostrip elemen tunggal dengan *slot* berbentuk H menghasilkan *gain* sebesar 5,77 dBi. Setelah dikembangkan menjadi konfigurasi *array* 1 × 2, nilai *gain* meningkat menjadi 8,96 dBi [5]. Peningkatan *gain* melalui metode *array* terjadi karena superposisi medan elektromagnetik yang dipancarkan oleh setiap elemen antena, yang dapat menghasilkan penguatan radiasi pada arah tertentu apabila amplitudo dan fasenya sesuai [6]. Antena mikrostrip *array* dengan jumlah elemen dari satu hingga delapan elemen menunjukkan peningkatan *gain* dari 2,64 dB menjadi 9,17 dB [1]. Pada penelitian lain, desain antena *array* 2 × 2 mampu meningkatkan *gain* dari 2,14 dB menjadi 4,17 dB [7]. Penambahan metamaterial pada antena *array* 2 × 2 juga dilaporkan dapat meningkatkan *gain* dari 8,00 dB menjadi 8,50 dB [8]. Selain itu, antena *array* 2 × 1 menghasilkan *gain* sebesar 6,393 dBi [9], sedangkan antena *array* 2 × 8 pada frekuensi resonansi 2,35 GHz menghasilkan *gain* sebesar 10,06 dBi [10]. Penelitian lainnya menunjukkan bahwa antena *array* 4x2 mampu menghasilkan *gain* sebesar 9,42 dBi [11]. Berdasarkan hasil penelitian tersebut, konfigurasi *array* merupakan salah satu pendekatan yang efektif untuk meningkatkan *gain* pada antena mikrostrip [12–16].

Peningkatan *gain* antena melalui konfigurasi *array* tidak terjadi secara otomatis, sehingga diperlukan optimalisasi sejumlah parameter, seperti jarak antar elemen, kesesuaian fase dan amplitudo, desain jaringan pencatu, serta *mutual coupling* antarelemen [17]. Selain itu, saluran pencatu merupakan salah satu komponen penting yang memengaruhi kinerja antena mikrostrip. Ketidakcocokan impedansi antara antena dan saluran pencatu (*feedline*) dapat menyebabkan sebagian daya dipantulkan kembali ke sumber, sehingga mengurangi daya yang tersedia untuk diradiasikan oleh antena [18–19]. Penelitian ini berfokus pada evaluasi peningkatan *gain* antena mikrostrip melalui penerapan konfigurasi *array* 4 × 2 pada elemen *patch* dengan *slot* berbentuk T. Perbedaan antara penelitian yang dilakukan dan penelitian sebelumnya terletak pada penambahan slot berbentuk T yang dirancang untuk memodifikasi distribusi medan elektromagnetik pada elemen *patch*. Selain itu, konfigurasi *array* 4 × 2 digunakan untuk meningkatkan *gain* melalui superposisi medan radiasi dari setiap elemen antena. Kombinasi kedua pendekatan tersebut diharapkan dapat meningkatkan kinerja antena mikrostrip, khususnya dalam hal *gain*, dibandingkan dengan antena elemen tunggal.

METODE PENELITIAN

Untuk memperoleh kinerja antena mikrostrip yang optimal, penelitian ini dilakukan melalui enam tahapan utama. Tahap pertama adalah menentukan aplikasi antena yang akan dirancang. Tahap kedua adalah menentukan material *substrat* yang digunakan. Tahap ketiga adalah menentukan frekuensi kerja antena. Tahap keempat adalah merancang antena mikrostrip elemen tunggal dengan bentuk *patch* persegi panjang sebagai desain dasar. Tahap kelima adalah mengoptimalkan kinerja antena

JCOSIS (*Journal Computer Science and Information Syetem*)
E-ISSN : 3032-5676
Volume : 03 | Nomor : 02 | Tahun 2026 | Hal 86-95
DOI : https://doi.org/10.61567

melalui penambahan *slot* berbentuk T pada elemen *patch*. Tahap keenam adalah meningkatkan *gain* antena dengan menerapkan konfigurasi *array*.

A. Desain Antena Tunggal

Antena mikrostrip dirancang menggunakan elemen *patch* berbentuk persegi panjang dengan frekuensi resonansi 2,3 GHz. Dimensi antena ditentukan berdasarkan hasil perhitungan menggunakan Persamaan (1) – (6). Berdasarkan hasil perhitungan tersebut, diperoleh dimensi *patch* dengan panjang 24,4 mm dan lebar 50 mm. Antena dirancang menggunakan saluran pencatu dengan impedansi karakteristik 50 Ω dan lebar saluran 1,5 mm. Desain antena mikrostrip berbentuk persegi panjang yang dirancang untuk beroperasi pada frekuensi resonansi 2,3 GHz ditunjukkan pada Gambar 1.

$$W_p = \frac{c}{2f_r\sqrt{\frac{\varepsilon_r+1}{2}}} \quad (1)$$

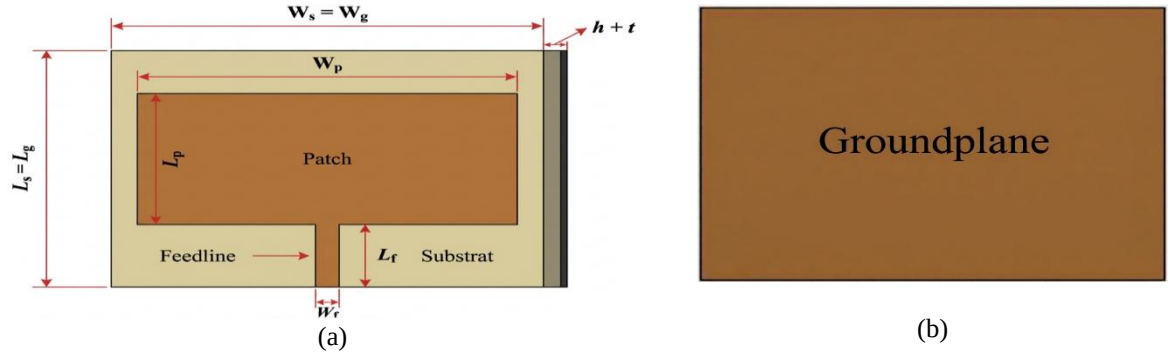
$$\varepsilon_{\text{reff}} = \frac{\varepsilon_r+1}{2} + \frac{\varepsilon_r-1}{2}\left(1+12\frac{h}{W_p}\right)^{-1/2} \quad (2)$$

$$L_{\text{eff}} = \frac{c}{2f_r\sqrt{\varepsilon_{\text{reff}}}} \quad (3)$$

$$L_p = L_{\text{eff}} - 2\Delta L \quad (4)$$

$$W_s = W_g = 6h + W_p \quad (5)$$

$$L_s = L_g = 6h + L_p \quad (6)$$

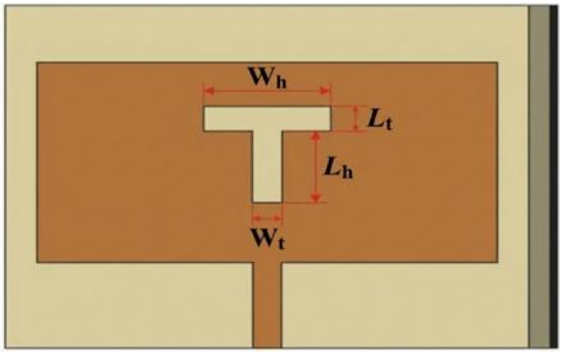


(a) (b)

Gambar 1. Desain antena mikrostrip tanpa *slot*: (a) Tampak 3D, (b) Tampak belakang.

Untuk meningkatkan kinerja antena mikrostrip, dilakukan modifikasi pada elemen *patch* dengan menambahkan *slot* berbentuk T. Penambahan *slot* ini bertujuan untuk memodifikasi distribusi medan elektromagnetik pada elemen *patch*, sehingga diharapkan dapat memperbaiki karakteristik pencocokan impedansi antena yang ditunjukkan oleh parameter S_{11} dan VSWR. *Slot* berbentuk T terdiri atas bagian horizontal dengan dimensi $W_h \times L_h$ dan bagian vertikal dengan dimensi $W_t \times L_t$, masing-masing sebesar 5,9 mm × 1,45 mm dan 1,45 mm × 4 mm. Desain antena mikrostrip berbentuk persegi panjang dengan penambahan *slot* berbentuk T ditunjukkan pada Gambar 2.

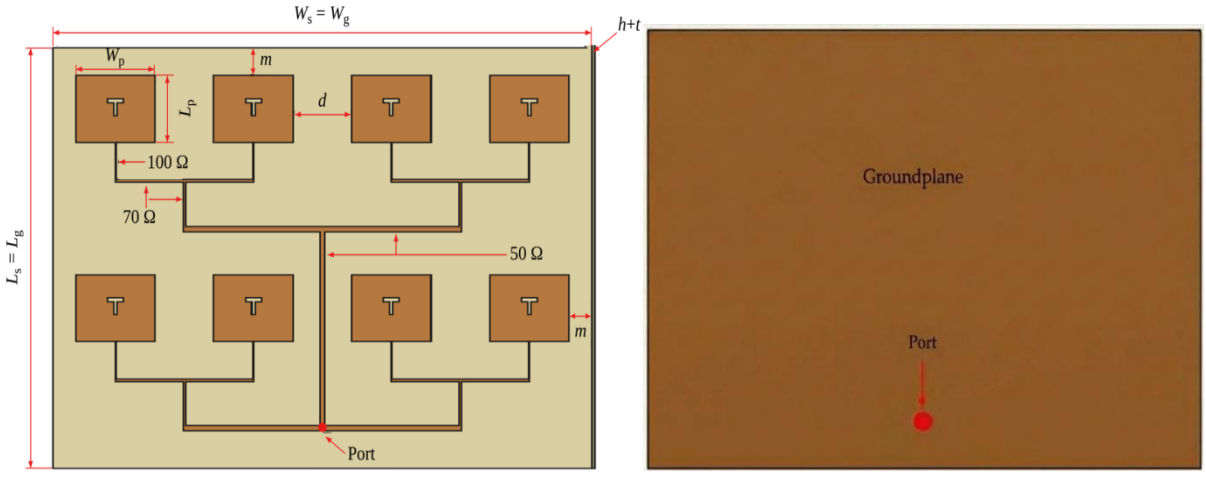
JCOSIS (*Journal Computer Science and Information Syetem*)
E-ISSN : 3032-5676
Volume : 03 | Nomor : 02 | Tahun 2026 | Hal 86-95
DOI : https://doi.org/10.61567



Gambar 2. Desain antena mikrostrip menggunakan slot bentuk T.

B. Desain Antena Mikrostrip Menggunakan *Array* 4 × 2

Hasil desain antena mikrostrip berbentuk segi empat dengan *slot* berbentuk T yang disusun menggunakan konfigurasi *array* 4 × 2 dapat dilihat pada Gambar 3. Metode *array* digunakan untuk meningkatkan *gain* antena. Secara umum, penambahan jumlah elemen antena dalam konfigurasi *array* dapat meningkatkan *gain*, bergantung pada susunan elemen, jarak antar-elemen, dan distribusi fasenya. Pada penelitian ini, delapan elemen antena mikrostrip berbentuk segi empat dengan *slot* berbentuk T disusun dalam konfigurasi *array* 4 × 2. Saluran transmisi pada antena *array* dirancang menggunakan impedansi karakteristik sebesar 50 Ω, 70 Ω, dan 100 Ω. Untuk memperoleh *gain* yang optimal pada frekuensi resonansi 2,3 GHz, jarak antar-*patch* ditetapkan sebesar 60 mm. Dimensi antena mikrostrip hasil desain ditunjukkan pada Tabel 1.



(a) (b)

Gambar 3. Desain antena array 4 × 2: (a) Tampak 3D dan, (b) Tampak belakang.

JCOSIS (*Journal Computer Science and Information Syetem*)
E-ISSN : 3032-5676
Volume : 03 | Nomor : 02 | Tahun 2026 | Hal 86-95
DOI : https://doi.org/10.61567

Tabel 1. Desain dimensi antena

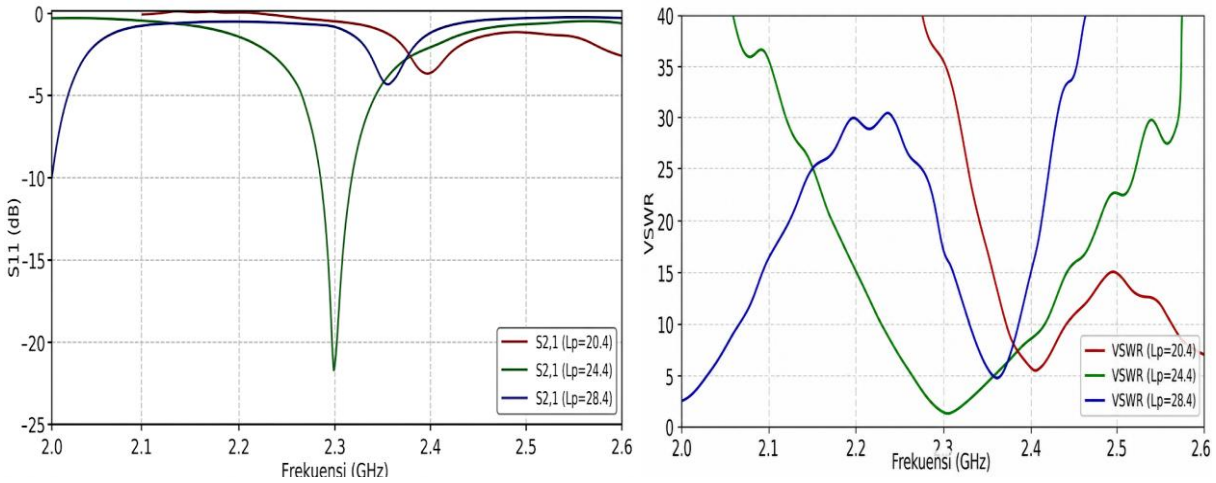
Variabel	Keterangan	Tanpa slot (mm)	Slot T (mm)	Array 4 × 2 (mm)
W_p	Lebar *patch*	50	50	34,5
L_p	Panjang *patch*	24,4	24,07	24,224
$W_s = W_g$	Lebar *substrat* dan *ground plane*	52,12	52,12	234,5
$L_s = L_g$	Panjang *substrat* dan *ground plane*	33,844	33,844	152,1
W_{f1} / L_{f1}	Saluran pencatu (50 Ω pada Desain 3)	1,5 / 14	1,5 / 12	1,86 / 15,5
W_{f2} / L_{f2}	Saluran pencatu 70 Ω	–	–	0,95 / 16
W_{f3} / L_{f3}	Saluran pencatu 100 Ω	–	–	0,36 / 16,4
d	Jarak antarpusat *patch*	–	–	60
m	Margin	–	–	20
W_h / L_h	Lebar / panjang *slot* horizontal	–	5,9 / 1,45	6,9 / 1,5
W_t / L_t	Lebar / panjang *slot* vertikal	–	1,45 / 4	1,5 / 4,5
h / t	Ketebalan *substrat* / tembaga	1,27 / 0,035	1,27 / 0,035	1,27 / 0,035

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil perhitungan dan perancangan antena mikrostrip, dilakukan simulasi untuk memperoleh kinerja antena yang optimal. Optimasi dilakukan melalui konfigurasi diameter *patch* pada antena mikrostrip tunggal, baik tanpa *slot* maupun dengan *slot* berbentuk T. Konfigurasi *patch* antena difokuskan pada pengaturan panjang dan lebar *patch*, serta panjang dan lebar saluran pencatu. Selanjutnya, untuk meningkatkan *gain* antena, dilakukan optimasi jarak antar-*patch* pada antena mikrostrip yang disusun dalam konfigurasi *array* 4 × 2. Evaluasi kinerja antena difokuskan pada parameter S_{11}, VSWR, dan *gain* antena.

Hasil Simulasi Antena Tunggal

Untuk memperoleh kinerja antena mikrostrip yang optimal, dilakukan optimasi dimensi *patch* pada antena tunggal tanpa *slot* dan antena tunggal dengan *slot*. Gambar 5 menunjukkan hasil simulasi parameter S pada variasi dimensi *patch* antena tunggal tanpa *slot*. Berdasarkan hasil simulasi dengan variasi panjang *patch* sebesar 20,4 mm, 24,4 mm, dan 28,4 mm, diperoleh dimensi optimal pada panjang *patch* 24,4 mm. Dimensi *patch* memengaruhi frekuensi resonansi antena. Semakin besar dimensi *patch*, frekuensi resonansi cenderung bergeser ke frekuensi yang lebih rendah. Sebaliknya, semakin kecil dimensi *patch*, frekuensi resonansi cenderung bergeser ke frekuensi yang lebih tinggi. Berdasarkan hasil optimasi tersebut, diperoleh kinerja antena pada frekuensi resonansi 2,3 GHz dengan nilai S_{11} sebesar −22,14 dB, VSWR sebesar 1,16, dan *gain* sebesar 4,82 dBi.

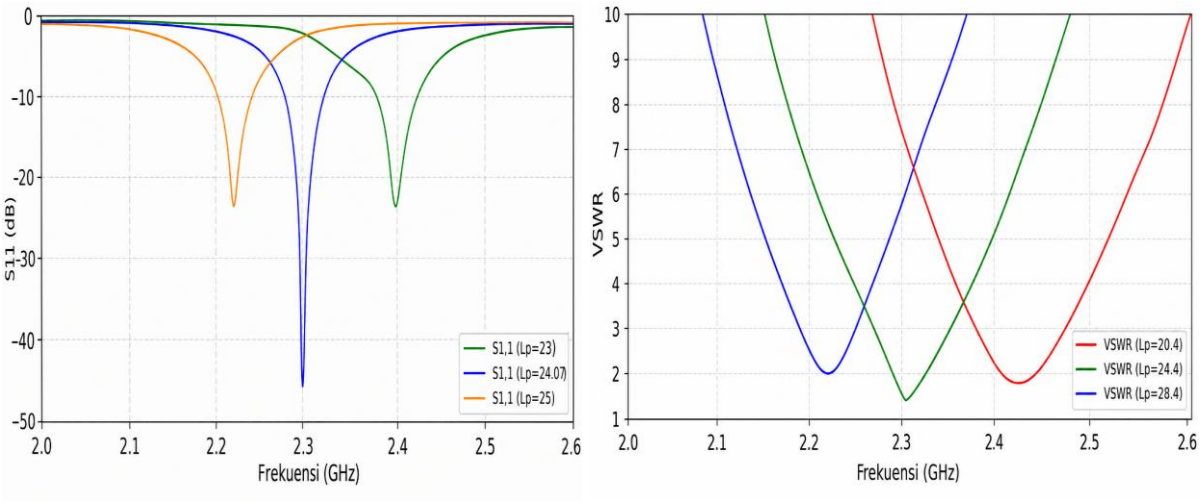


(a) (b)

Gambar 5. Hasil simulasi konfigurasi antena tunggal tanpa *slot*: (a) S_{11} dan, (b) VSWR.

Gambar 6 menunjukkan hasil simulasi parameter S untuk variasi panjang *patch* pada antena mikrostrip yang menggunakan *slot* berbentuk T. Hasil simulasi menunjukkan bahwa panjang *patch* memengaruhi

frekuensi resonansi antena. Semakin besar dimensi *patch*, frekuensi resonansi cenderung bergeser ke frekuensi yang lebih rendah. Sebaliknya, semakin kecil dimensi *patch*, frekuensi resonansi cenderung bergeser ke frekuensi yang lebih tinggi. Berdasarkan hasil simulasi, diperoleh kinerja antena mikrostrip dengan *slot* berbentuk T pada frekuensi resonansi 2,3 GHz, dengan nilai S_{11} sebesar −47,79 dB, VSWR sebesar 1,008, dan *gain* sebesar 4,37 dBi.

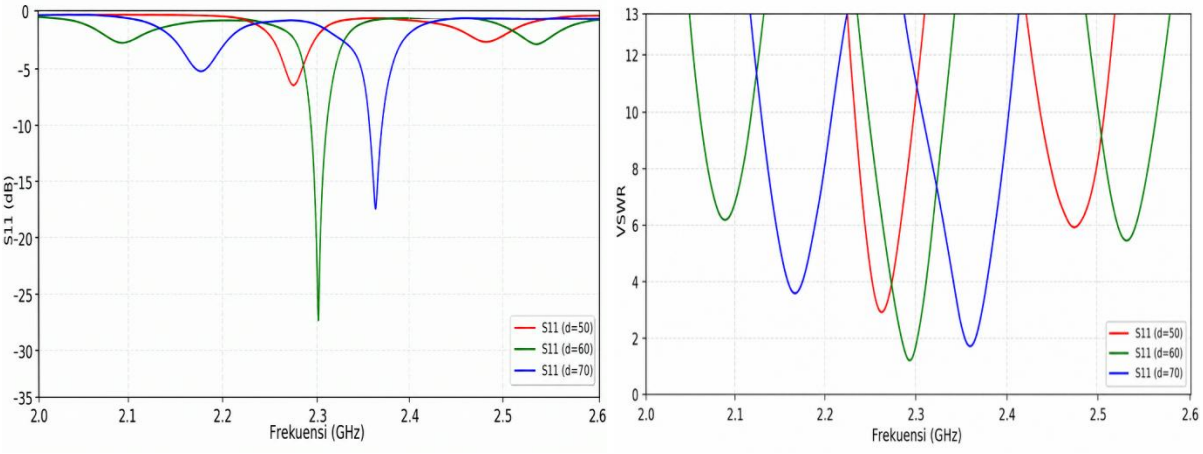


(a) (b)

Gambar 6. Hasil simulasi konfigurasi diameter antena *slot* T: (a) S_{11} dan, (b) VSWR.

Hasil Simulasi Antena *Array*

Gambar 7 menunjukkan hasil simulasi kinerja antena mikrostrip dengan konfigurasi *array* melalui optimasi jarak antar-*patch*. Untuk menganalisis pengaruh jarak antar-*patch* terhadap kinerja antena, dilakukan simulasi dengan variasi jarak sebesar 50 mm, 60 mm, dan 70 mm. Berdasarkan hasil simulasi, jarak antar-*patch* memengaruhi frekuensi resonansi antena. Semakin dekat jarak antar-*patch*, frekuensi resonansi cenderung bergeser ke frekuensi yang lebih rendah. Sebaliknya, semakin jauh jarak antar-*patch*, frekuensi resonansi cenderung bergeser ke frekuensi yang lebih tinggi. Berdasarkan hasil optimasi, antena mikrostrip *array* 4x2 menghasilkan kinerja optimal pada frekuensi resonansi 2,3 GHz, dengan nilai S_{11} sebesar −30,32 dB, VSWR sebesar 1,06, dan *gain* sebesar 12,1 dBi.



(a) (b)

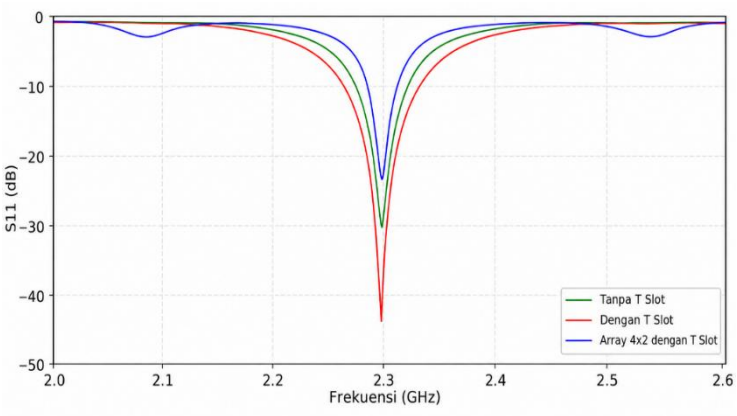
Gambar 7. Hasil simulasi konfigurasi antena *array*: (a) S_{11} dan, (b) VSWR.

Pembahasan Hasil Simulasi Antena Tanpa *Slot*, Antena dengan *Slot* dan Antena *Array*

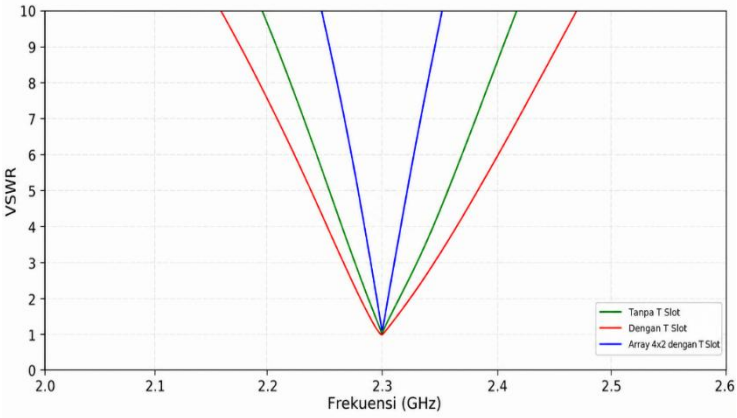
Gambar 8 menunjukkan perbandingan hasil simulasi parameter S_{11} antara antena mikrostrip tanpa *slot*, antena mikrostrip dengan *slot* berbentuk T, dan antena mikrostrip dengan konfigurasi *array* 4 × 2.

JCOSIS (*Journal Computer Science and Information Syetem*)
E-ISSN : 3032-5676
Volume : 03 | Nomor : 02 | Tahun 2026 | Hal 86-95
DOI : https://doi.org/10.61567

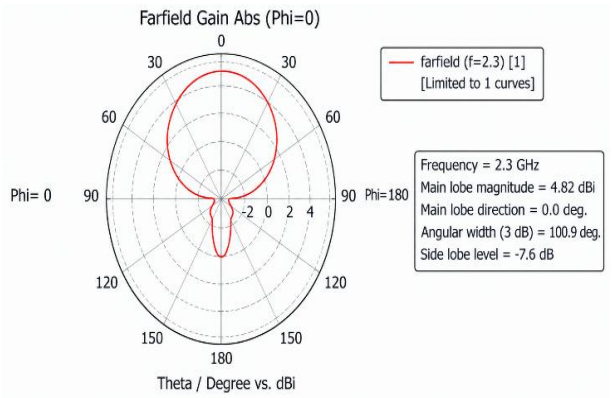
Berdasarakan hasil simulasi pada Gambar 8, penambahan *slot* berbentuk T pada antena mikrostrip tunggal meningkatkan kinerja pencocokan impedansi, yang ditunjukkan oleh penurunan nilai S_{11} dari −30,32 dB menjadi −47,79 dB atau sebesar 17,47 dB. Selain memperbaiki parameter S_{11}, penggunaan *slot* berbentuk T juga meningkatkan kinerja pencocokan impedansi yang ditunjukkan oleh penurunan nilai VSWR dari 1,062 menjadi 1,008, atau sebesar 0,054. Perbaikan tersebut menunjukkan bahwa daya yang dipantulkan pada *port* masukan antena semakin kecil sehingga pencocokan impedansi menjadi lebih baik. Perbandingan hasil simulasi VSWR antara antena mikrostrip tanpa *slot*, antena mikrostrip dengan *slot* berbentuk T, dan antena mikrostrip *array* 4 × 2 ditunjukkan pada Gambar 9. Gambar 10 menunjukkan hasil simulasi *gain* antena mikrostrip tunggal tanpa *slot*, antena mikrostrip dengan *slot* berbentuk T, dan antena mikrostrip dengan konfigurasi *array* 4 × 2.



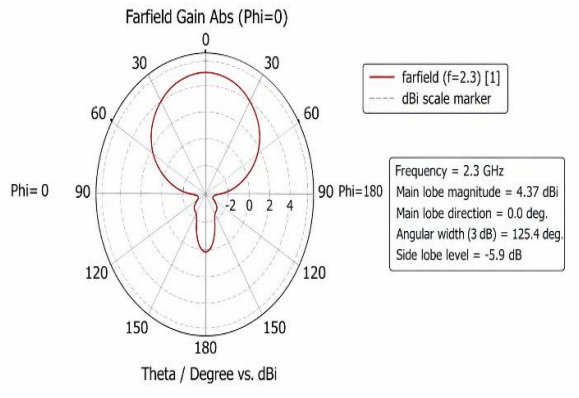
Gambar 8. Perbandingan S_{11} dari desain ketiga antena.



Gambar 9. Perbandingan VSWR dari desain ketiga antena.

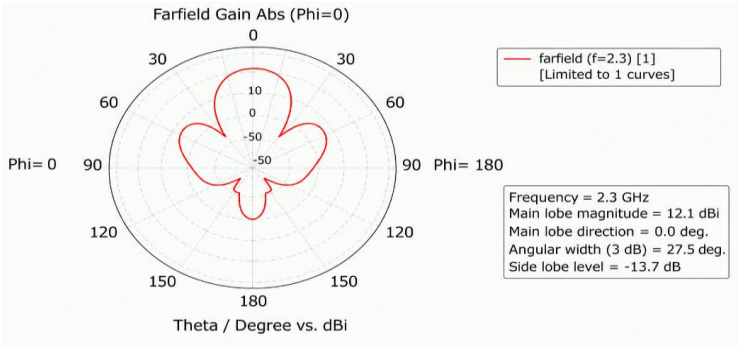


(a)



(b)

JCOSIS (*Journal Computer Science and Information Syetem*)
E-ISSN : 3032-5676
Volume : 03 | Nomor : 02 | Tahun 2026 | Hal 86-95
DOI : https://doi.org/10.61567



(c)

Gambar 10. Perbandingan *Gain* dan HPBW: (a) Antena tunggal, (b) Antena dengan *Slot* dan, (c) Antena *Array*.

Berdasarkan hasil simulasi, penggunaan konfigurasi *array* 4 × 2 berhasil meningkatkan *gain* antena dari 4,37 dBi menjadi 12,1 dBi. Berdasarkan hasil simulasi pada Gambar 8 dan Gambar 10, terlihat adanya perbedaan karakteristik *bandwidth* dan *gain* pada ketiga desain antena. Gambar 10(a), 10(b), dan 10(c) menunjukkan HPBW dari masing-masing desain antena. Antena mikrostrip tunggal tanpa *slot* menghasilkan HPBW sebesar 100,9°, sedangkan antena mikrostrip dengan *slot* berbentuk T menghasilkan HPBW sebesar 125,4°. Sementara itu, antena mikrostrip *array* 4 × 2 menghasilkan HPBW sebesar 27,5°. Nilai tersebut menunjukkan bahwa antena *array* 4 × 2 memiliki berkas radiasi yang lebih sempit dibandingkan dengan kedua desain antena tunggal. Dengan demikian, energi radiasi antena *array* lebih terpusat pada arah tertentu sehingga menghasilkan *gain* yang lebih tinggi. Perbandingan nilai S_{11}, VSWR, *gain*, dan HPBW dari ketiga desain antena mikrostrip dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Perbandingan *return loss*, VSWR, dan *gain* hasil simulasi ketiga desain.

Parameter	**Tanpa slot**	**Slot T**	**Array 4 × 2**
S_{11} (dB)	−22,14	−47,79	−30,32
VSWR	1,17	1,01	1,06
Gain (dBi)	4,82	4,37	12,1
HPBW (°)	100,9	125,4	27,5

Berdasarkan data pada Tabel 3, antena mikrostrip tunggal tanpa *slot* beroperasi pada frekuensi resonansi 2,3 GHz dengan nilai S_{11} sebesar −22,14 dB, VSWR sebesar 1,17, *gain* sebesar 4,82 dBi, dan HPBW sebesar 100,9°. Sementara itu, antena mikrostrip dengan *slot* berbentuk T beroperasi pada frekuensi resonansi yang sama dengan nilai S_{11} sebesar −47,79 dB, VSWR sebesar 1,01, *gain* sebesar 4,37 dBi, dan HPBW sebesar 125,4°. Adapun antena mikrostrip dengan konfigurasi *array* 4 × 2 menghasilkan nilai S_{11} sebesar −30,32 dB, VSWR sebesar 1,06, *gain* sebesar 12,1 dBi, dan HPBW sebesar 27,5° pada frekuensi resonansi 2,3 GHz. Hasil perbandingan tersebut menunjukkan bahwa penggunaan *slot* berbentuk T menghasilkan pencocokan impedansi yang lebih baik, sedangkan konfigurasi *array* 4 × 2 mampu meningkatkan *gain* antena secara signifikan dan menghasilkan pola radiasi yang lebih terarah. Untuk mengetahui posisi dan kontribusi penelitian yang dilakukan, dilakukan perbandingan kinerja antena mikrostrip dengan sejumlah penelitian terdahulu yang menggunakan metode *array* seperti yang ditunjukan pada Tabel 4.

Tabel 4. Perbandingan *gain* dengan penelitian terdahulu.

Referensi	Jenis antena	Frekuensi (GHz)	S_{11} (dB)	VSWR	*Gain* (dBi)
[8]	*Array* 2×2 tanpa / dengan metamaterial	2,4	−25,25 / −17,75	1,2 / 1,3	7,998 / 8,498
[7]	*single* / *array* 1×2 / *array* 2×2	2,2	−13,934 / −20,371 / −18,086	1,502 / 1,211 / 1,284	2,144 / 4,58 / 4,714
[2]	*Array* 1x2, 2x2 dan 2x4	2,4	−47,5 / −30,6 / -37,3	0,07 / 0,5 / 0,23	6,03 / 7,08 / 9,17
Pekerjaan 1	*Single patch* tanpa *slot*	2,3	−22,14	1,170	4,82
Pekerjaan 2	*Single patch* dengan *slot* T	2,3	−47,79	1,008	4,37
Pekerjaan 3	*Array* 4×2 dengan *slot* T	2,3	−30,32	1,063	12,1

Penelitian yang dilakukan oleh Santoso dkk. [8] menunjukkan bahwa antena mikrostrip yang beroperasi pada frekuensi resonansi 2,2 GHz menghasilkan *gain* sebesar 2,14 dBi untuk konfigurasi antena tunggal, 4,58 dBi untuk konfigurasi *array* 1 × 2, dan 4,71 dBi untuk konfigurasi *array* 2 × 2. Hasil tersebut menunjukkan bahwa penggunaan konfigurasi *array* 2 × 2 mampu meningkatkan *gain* antena dari 2,14 dBi menjadi 4,71 dBi, atau meningkat sebesar 2,57 dB. Sementara itu, penelitian Kopbay dkk. [7] menunjukkan bahwa peningkatan *gain* antena yang beroperasi pada frekuensi resonansi 2,4 GHz dapat dilakukan dengan menerapkan konfigurasi *array*. Berdasarkan hasil penelitian tersebut, konfigurasi antena *array* 1 × 2, 2 × 2, dan 2 × 4 menghasilkan *gain* masing-masing sebesar 6,03 dBi, 7,08 dBi, dan 9,17 dBi. Dengan demikian, konfigurasi *array* 2 × 4 mampu meningkatkan *gain* sebesar 3,14 dB dibandingkan dengan antena *array* 1 × 2. Selain itu, penelitian [2] menunjukkan bahwa antena mikrostrip *array* 2 × 2 yang beroperasi pada frekuensi resonansi 2,4 GHz menghasilkan nilai S_{11} sebesar −25,25 dB, VSWR sebesar 1,2, dan *gain* sebesar 7,99 dBi.

Berdasarkan hasil penelitian, antena mikrostrip dengan konfigurasi *array* 4 × 2 menghasilkan *gain* sebesar 12,1 dBi pada frekuensi resonansi 2,3 GHz. Nilai tersebut menunjukkan peningkatan *gain* sebesar 7,73 dB dibandingkan dengan antena mikrostrip tunggal dengan *slot* berbentuk T yang menghasilkan *gain* sebesar 4,37 dBi. Hasil ini menunjukkan bahwa konfigurasi *array* 4 × 2 yang diusulkan mampu menghasilkan *gain* lebih tinggi dibandingkan dengan konfigurasi *array* pada penelitian terdahulu yang dijadikan pembanding. Dengan demikian, konfigurasi *array* 4 × 2 berpotensi meningkatkan *gain* antena mikrostrip dan menghasilkan pola radiasi yang lebih terarah, sehingga sesuai untuk aplikasi yang membutuhkan penguatan sinyal pada arah tertentu.

KESIMPULAN

Makalah ini menunjukkan bahwa penggunaan *slot* berbentuk T pada antena mikrostrip tunggal dapat meningkatkan kinerja pencocokan impedansi, yang ditunjukkan oleh perbaikan parameter S_{11} dan VSWR. Hasil simulasi menunjukkan bahwa dimensi *patch* memengaruhi frekuensi resonansi antena. Semakin besar dimensi *patch*, frekuensi resonansi cenderung bergeser ke frekuensi yang lebih rendah. Sebaliknya, semakin kecil dimensi *patch*, frekuensi resonansi cenderung bergeser ke frekuensi yang lebih tinggi. Optimasi juga dilakukan pada antena mikrostrip dengan konfigurasi *array* untuk memperoleh kinerja yang optimal. Variasi jarak antar-*patch* yang digunakan adalah 50 mm, 60 mm, dan 70 mm. Hasil simulasi menunjukkan bahwa jarak antar-*patch* memengaruhi frekuensi resonansi antena. Jarak antar-*patch* yang semakin dekat cenderung menggeser frekuensi resonansi ke frekuensi yang lebih rendah, sedangkan jarak yang semakin jauh cenderung menggeser frekuensi resonansi ke frekuensi yang lebih tinggi. Berdasarkan hasil optimasi, diperoleh antena mikrostrip *array* 4 × 2 dengan kinerja optimal pada frekuensi resonansi 2,3 GHz, nilai S_{11} sebesar −30,32 dB, VSWR sebesar 1,06, *gain* sebesar 12,1 dBi, dan HPBW sebesar 27,5°. Konfigurasi *array* 4 × 2 tersebut berhasil meningkatkan *gain* dari 4,37 dBi pada antena tunggal dengan *slot* berbentuk T menjadi 12,1 dBi, atau meningkat sebesar 7,73 dB. Hasil simulasi ini menunjukkan bahwa penerapan konfigurasi *array* 4 × 2 efektif untuk meningkatkan *gain* dan menghasilkan pola radiasi yang lebih terarah pada antena mikrostrip. Penelitian selanjutnya perlu dilakukan melalui realisasi prototipe dan pengujian eksperimental untuk memvalidasi kesesuaian antara hasil simulasi dan hasil pengukuran.

REFERENSI

[1] K. Kopbay, M. Nurgaliyev, A. Saymbetov, N. Kuttybay, and A. Bolatbek, "Design and simulation of rectangular patch antenna arrays with high bandwidth for 2.4 GHz ISM band applications," *TELKOMNIKA*, vol. 23, no. 3, pp. 574–587, 2025, doi: 10.12928/TELKOMNIKA.v23i3.26344.

[2] S. S. Gudimella, C. B. Paladugu, H. Nadimpalli, and D. R. Yampavali, "Design and Analysis of Microstrip Patch Antennas for Narrow Band Communication," no. June, 2022.

[3] S. Rana, S. Hossain, S. B. Rana, and M. Rahman, "Microstrip patch antennas for various applications : a review," vol. 29, no. 3, pp. 1511–1519, 2023, doi: 10.11591/ijeecs.v29.i3.pp1511-1519.

[4] R. Kumar and V. D. K. Srivastava, "Design optimization and comparative analysis of T - shape slot loaded microstrip patch antenna using PSO," *Photonic Netw. Commun.*, no. 0123456789, 2019, doi: 10.1007/s11107-019-00867-7.

[5] J. Raya *et al.*, "Design and Simulation ' Ha ' -Slot Patch Array Microstrip Antenna for WLAN2.4 GHz," *Proc. Pakistan Acad. Sci.*, vol. 4, pp. 1–9, 2021.

[6] S. K. Ibrahim *et al.*, "Design Challenges and Developments for 5G Massive MIMO Antenna Systems at Sub 6-GHz Band : A Review," *Nanomaterials*, vol. 13, no. 520, pp. 1–40, 2023.

[7] B. B. H. A D Santoso, F B Cahyono, I Suwondo, Arleiny, "Microstrip Antenna Design with Array Rectangular Patch 2x2 for Ship Microstrip Antenna Design with Array Rectangular Patch 2x2 for Ship Radar at 2 . 2 GHz," *J. Phys.*, pp. 1–8, 2021, doi: 10.1088/1742-6596/2117/1/012019.

[8] T. Hariyadi, F. Aliyuddin, and Y. Wahyu, "Bandwidth And Gain Enhancement Of 2 × 2 Microstrip Patch Antenna Array Using Metamaterial at 2.4 GHz," *J. Eng. Sci. Technol.*, vol. 15, no. 6, pp. 4157–4170, 2020.

[9] R. D. Putri and N. Nawi, "Antena Mikrostrip Rectangular Patch dengan Inset-Feed dan Array Frekuensi 2 . 1 Ghz untuk Memperkuat Jaringan 5G," vol. 4, no. 3, pp. 1177–1183, 2025.

[10] D. Gideon and R. Nugroho, "Perancangan Antena Komunikasi Selular Generasi ke-5 pada Frekuensi 2.350 MHz di Indonesia," *J. Ilm. GIGA*, vol. 26, no. 1, pp. 23–36, 2023.

[11] J. Haidi, A. Surapati, H. Santosa, and R. Fernandez, "Jurnal Nasional Teknik Elektro Microstrip Rectangular Patch Array Antenna for Tsunami Radar," *JNTE*, vol. 11, no. 2, pp. 97–104, 2022.

[12] C. E. Tsai *et al.*, "A 60 GHz Rhombic Patch Array Antenna with High Gain, Low Sidelobe Level, and Reduced Array Area," *IEEE Access*, vol. 10, no. July, pp. 86498–86509, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3199361.

[13] S. H. Madani, Y. Zehforoosh, and T. Sedghi, "Compact Patch Antenna Array With Fan-Beam Characteristics for Radar Application," *IEEE Access*, vol. 10, no. July, pp. 93534–93541, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3203393.

[14] D. J. Simpson and D. Psychogiou, "Frequency-Dependent Feeding Methods for Broadband Vivaldi Arrays With Minimum Half-Power," *Antennas Propag.*, vol. 2, no. May, 2021, doi: 10.1109/OJAP.2021.3075418.

[15] I. E. Uchendu, J. R. Kelly, R. A. J. Mittra, L. Fellow, Y. U. E. Gao, and S. Member, "Hybrid Parasitic Linear Array Antenna for Fine Beamsteering Applications," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 84899–84909, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3088405.

[16] K. Trzebiatowski, W. Kalista, M. Rzymowski, L. Kulas, and K. Nyka, "Multibeam Antenna for Ka -Band CubeSat Connectivity Using 3-D Printed Lens and Antenna Array," *IEEE Antennas Wirel. Propag. Lett.*, vol. 21, no. 2, pp. 2244–2248, 2022, doi: 10.1109/LAWP.2022.3189073.

[17] P. V Rampur, "Mutual Coupling Reduction in 2.4 GHz Microstrip Patch Antenna Array Using Metamaterial Structures," *J. Electr. Syst.*, pp. 2228–2234, 2024.

[18] J. Maharjan and D. Choi, "Four-Element Microstrip Patch Array Antenna with Corporate-Series Feed Network for 5G Communication," vol. 2020, 2020, doi: 10.1155/2020/8760297.

[19] N. Imanuel, S. Hutasoit, S. Alam, I. Surjati, and R. D. Mardian, "Design And Realization of Dual-Band Linear Array Microstrip Antenna With 4x1 element For WiFi And 5G Communication System," vol. 23, no. 1, pp. 31–43, 2025, doi: 10.17933/bpostel.v23i1.407.