

Gain Enhancement of Microstrip Leaky-Wave 1x3 Antenna with V-Slot

Article History:

Received
4 August 2025
Revised
6 October 2025
Accepted
17 November 2025

**MUHAMAD WAHYU IQBAL, VINA OKTAVIANI, BASO
MARUDDANI**

Fakultas Teknik, Universitas Negeri Jakarta, Jakarta , Indonesia
Email : muhamad.wahyu@unj.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan performa antena mikrostrip leaky-wave dengan menambahkan konfigurasi array 1x3 dan struktur V-slot untuk aplikasi WLAN pada pita frekuensi 5,925 GHz – 6,425 GHz, dengan substrat FR-4 dengan nilai konstanta dielektrik 4,6. Simulasi dilakukan untuk mengevaluasi parameter S_{11} , VSWR, bandwidth, dan Gain. Penggunaan array dan V-slot untuk meningkatkan gain dan melebarkan bandwidth. Hasil simulasi menunjukkan bahwa konfigurasi array dan V-slot memiliki bandwidth sebesar 570 MHz (5,86 GHz – 6,43) dan gain sebesar 7,02 dBi pada frekuensi 6 GHz. Hasil simulasi menunjukkan bahwa konfigurasi antena dapat meningkatkan bandwidth sebesar 270 MHz (90%) dan gain 0,82 dBi (13,3%). Hasil ini menunjukkan penambahan struktur array dan V-slot dapat meningkatkan kinerja antena untuk aplikasi komunikasi nirkabel.

Kata kunci: Gain, Mikrostrip, MLWA, Slot

ABSTRACT

This study aims to improve the performance of a microstrip leaky-wave antenna by adding a 1x3 array configuration and a V-slot structure for WLAN applications in the 5.925 – 6.425 GHz, using an FR-4 substrate with a dielectric constant of 4.6. Simulations were conducted to evaluate the parameters of S_{11} , VSWR, bandwidth, and gain. The use of an array and V-slot aims to enhance both gain and bandwidth. Simulation results show the array and V-slot configuration achieved a bandwidth of 570 MHz (5.86 – 6.43 GHz) and gain of 7.02 dBi at 6 GHz. Compared to the microstrip leaky-wave antenna without a V-slot, the proposed configuration improved the bandwidth by 270 MHz (90%) and the gain by 0.82 dBi (13.3%). These results indicate that the addition of an array and V-slot structure effectively enhances antenna performance for wireless communication applications.

Keywords: Gain, Microstrip, MLWA, Slot

This is an open access article under the [CC BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license



1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi nirkabel sangat pesat, salah satu adalah teknologi WiFi. Pada tahun 2018, Cisco mencatat pengguna Wifi mencapai 169 juta dan terus mengalami peningkatan **(Cisco, 2021)**. Teknologi WiFi tidak hanya menjadi alat komunikasi, tetapi menjadi salah satu sektor ekonomi dunia, diperkirakan pada tahun 2025 akan berkembang sebanyak USD 1,6 triliun **(Kartz, dkk, 2021)**. Dari sisi pasar, IMAC Group pada tahun 2024 memperkirakan pasar global Wifi akan tumbuh dengan GACR (*Compound Annual Growth Rate*) sebesar 15,34% hingga tahun 2033. Sementara itu, Maximize Market Research memperkirakan pertumbuhan sebesar 3,5% hingga tahun 2030 **(IMARC, 2024)(MMR, 2023)**. Perbedaan angka pertumbuhan mencerminkan variasi pendekatan dan cakupan pasar, namun secara umum menunjukkan bahwa teknologi WiFi memiliki peran signifikan dalam mendukung pertumbuhan ekonomi baik mikro maupun makro. Pertumbuhan teknologi WiFi juga didorong oleh perluasan fungsi tidak hanya sebagai media transmisi tetapi sebagai sarana sensing. Permintaan terhadap layanan berbasis WiFi semakin meluas, mencakup aplikasi rumah pintar, pemantauan kesehatan, pengenalan gerak, hingga pengendalian perangkat dengan isyarat tubuh. Selain itu, Wifi juga digunakan untuk *object sensing*, *activity recogniton*, dan *indoor localization*. Aplikasi-aplikasi ini membutuhkan jaringan Wifi dengan *throughput* tinggi, keandalan tinggi, dan latensi rendah untuk memastikan performa *secara real time* **(Garcia, dkk, 2021)(Tan, dkk, 2022)**. Berdasarkan standar WiFi 7 (IEEE 802.11 be) serta peraturan Menteri Komunikasi dan Digital Republik Indonesia No. 2 Tahun 2025 memiliki kriteria parameter, yaitu memiliki impedansi 50 ohm, memiliki rentang *gain* antara 4 hingga 8 dBi, serta memiliki frekuensi resonan 2,4 GHz (2,400–2,4835 GHz), 5 GHz (5,150–5,350 GHz dan 5,725–5,859 GHz), dan 6 GHz (5,925–6,425 GHz) **(IEEE P802.11) (FCC, 2018)(Au, 2020)(Kementerian Komunikasi dan Digital, 2025)**.

Antena adalah salah satu komponen penting dalam sistem komunikasi WiFi. Salah satu jenis antena yang umum digunakan adalah antena mikrostrip, karena memiliki keunggulan seperti proses fabrikasi yang mudah, murah dan memiliki dimensi yang kompak. Namun, mikrostrip memiliki keterbatasan pada *bandwidth* yang sempit dan *gain* terbatas **(Sudjati, 2010)**. Salah satu untuk mengatasi keterbatasan ini adalah dengan menerapkan konsep *leaky-wave* antenna (LWA). LWA termasuk dalam kategori antena *travelling wave*, yang memiliki mekanisme utama radiasi antena menggunakan struktur antena. Antena *leaky-wave* diklasifikasikan dua jenis, yaitu uniform yang memancarkan gelombang bocor secara merata sepanjang struktur antena dan tipe periodik yang menghasilkan gelombang bocor melalui struktur dengan modifikasi periodik **(Balanis, 2008)**. Salah satu kelebihan antena *leaky-wave* periodik dibandingkan dengan *leaky-wave* uniform adalah mudah untuk dianalisis **(Hicham, dkk, 2020)**. Konsep antena *leaky wave* pertama kali dikembangkan pada tahun 1940 an dengan desain *rectangular waveguide* dengan celah pada dinding yang memungkinkan kebocoran pada gelombang elektromagnetik pada *free space*. Seiring perkembangannya, teknologi *leaky-wave* dikembangkan dalam berbagai struktur, termasuk *waveguide*, *dielectric slab*, dan *periodic structures*. Salah satu perkembangan dari antena *leaky-wave* adalah antena mikrostrip *leaky-wave* (MLWA) yang memanfaatkan substrat planar dan struktur pada jalur mikrostrip. Meskipun demikian, antena mikrostrip *leaky-wave* memiliki kelemahan, seperti *gain* yang lebih rendah, memiliki potensi kehilangan radiasi yang diinginkan, sensitivitas tinggi terhadap kesalahan desain struktur, serta keterbatasan dalam mengontrol pola radiasi secara presisi **(Zheng, dkk, 2023)(Jackson, dkk, 2019)**. Namun, antena mikrostrip *leaky-wave* menawarkan berbagai keunggulan berupa bentuk kompak serta ringkas, biaya fabrikasi rendah, dan memiliki *beam scanning* yang fleksibel. Keunggulan dari antena mikrostrip *leaky-wave* menjadikan sangat potensial untuk aplikasi komunikasi modern seperti WiFi, 5G, 6G, radar, dan sistem sensing nirkabel karena memiliki kemampuan *beam*

scanning yang fleksibel, dan *gain* tinggi (Zheng, dkk, 2023)(Rabbani, dkk, 2020)(Balanis, 2008).

Penelitian pertama oleh (Zulkifli, dkk, 2023) mengembangkan MLWA 1x2 menggabungkan dengan banyak *slot* dan *Defected Ground Structure* (DGS) berbentuk E yang memiliki frekuensi kerja 5,854–6,545 GHz, berhasil meningkatkan *bandwidth* sebesar 411 MHz dan *gain* sebesar 0,54 dBi di frekuensi 6 GHz. Penelitian kedua oleh (Iqbal, dkk, 2022) menggunakan MLWA 1x2 menggunakan kombinasi *U-slot* ganda dan *E-slot* yang memiliki frekuensi kerja 5,925–6,425 GHz, dapat meningkatkan *bandwidth* sebesar 342 MHz serta *gain* 1,53 dBi di frekuensi 6 GHz. Penelitian ketiga oleh (Iqbal, dkk, 2023) mengembangkan MLWA 1x2 dengan kombinasi *U-slot* ganda serta *E-slot* dan *Defected Ground Structure* berbentuk U, dapat meningkatkan *bandwidth* sebesar 433 MHz, dan *gain* sebesar 0,56 dBi di 6 GHz. Penelitian Keempat oleh (Kumar, dkk, 2024) antenna dengan V-slot yang memiliki frekuensi kerja 9,85–10,20 GHz, 10.66–11.59 GHz, 11.08–11.98 GHz, dan 11,61 GHz–12,11 GHz, berhasil melebarkan *bandwidth* hingga 930 MHz dan mencapai nilai tertinggi 4,7 dBi. Penelitian (Aziz, dkk 2018) menggunakan MLWA 1x5 memiliki *bandwidth* sebesar 300 MHz dan *gain* sebesar 3,1 dBi. Penelitian sebelumnya menghasilkan *bandwidth* lebar dan *gain* tinggi tetapi ukuran antenna besar, sehingga aplikasi untuk perangkat portabel menjadi kurang optimal. Berdasarkan penelitian sebelumnya, dengan mengkombinasikan antenna mikrostrip *leaky-wave* 1x3 dan V-slot dapat meningkatkan parameter *gain* serta *bandwidth* dengan ukuran ringkas untuk aplikasi WiFi terbaru.

2. METODA

2.1 Spesifikasi Antena

Penelitian ini mengacu pada standar dari WiFi 7 berdasarkan peraturan menteri dan IEEE 802.11 be. Spesifikasi dari antenna, yaitu memiliki frekuensi kerja 5,925–6,425 GHz, memiliki impedansi 50 Ω memiliki s-parameter ≤ -10 dB, dan memiliki rentang *gain* antara 4 hingga 8 dBi.

2.2 Perencanaan dan Desain Antena

Perencanaan desain antenna dalam penelitian ini berdasarkan antenna pada penelitian (Zulkifli, dkk, 2023). Substrat yang digunakan adalah FR-4, memiliki konstanta dielektrik sebesar 4,6 dan ketebalan 1,6 mm. Dimensi antenna dihitung dengan Persamaan (1) hingga (5) (Sudjati, 2010)

$$W = \frac{c}{2f_r \sqrt{\frac{(\epsilon_r + 1)}{2}}} \quad (1) \quad (1)$$

Untuk panjang *patch* dapat dihitung dengan Persamaan (2) hingga (5)

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

$$L_{eff} = \frac{c}{2 \times f_r \sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (3)$$

$$\Delta L = 0.412 \times h \frac{(\epsilon_{eff} + 0.3) \left(\frac{W}{h} + 0.264\right)}{(\epsilon_{eff} - 0.258) \left(\frac{W}{h} - 0.8\right)} \quad (4)$$

$$L_p = L_{eff} - \Delta L \quad (5)$$

Untuk Perhitungan slot dengan Persamaan (6) hingga (8) (**Sandi, dkk, 2020**)

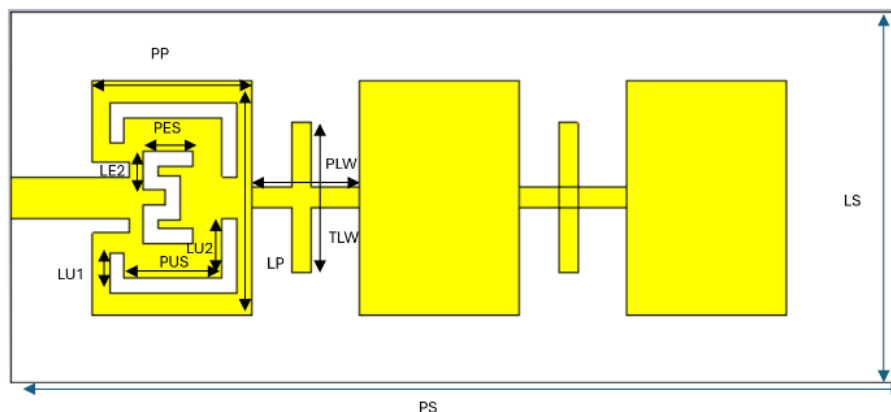
$$E = F = \frac{\lambda}{60} \quad (6)$$

$$\frac{c}{W} \geq 0,3 \quad (7)$$

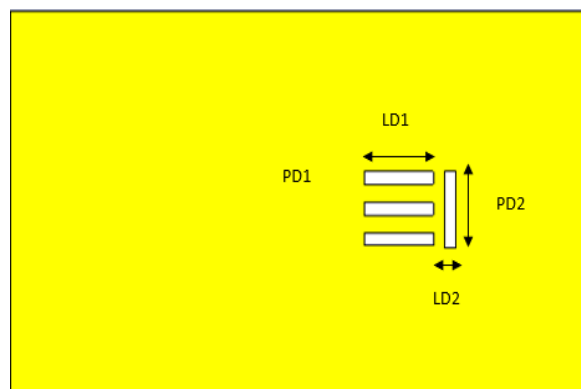
$$D = \frac{C}{F_{low} \sqrt{\epsilon_{eff}}} - 2(L + 2\Delta L - F) \quad (8)$$

2.3 Model Antena

Berdasarkan model antena desain dari penelitian (**Zulkifli, dkk, 2023**) dan ditambahkan *patch* dengan V-Slot menggunakan Persamaan (1) sampai (8). Desain antena mikrostrip *leaky-wave* dapat dilihat pada Gambar 1 dan dimensi antena ditunjukkan pada Tabel 1.



(a)



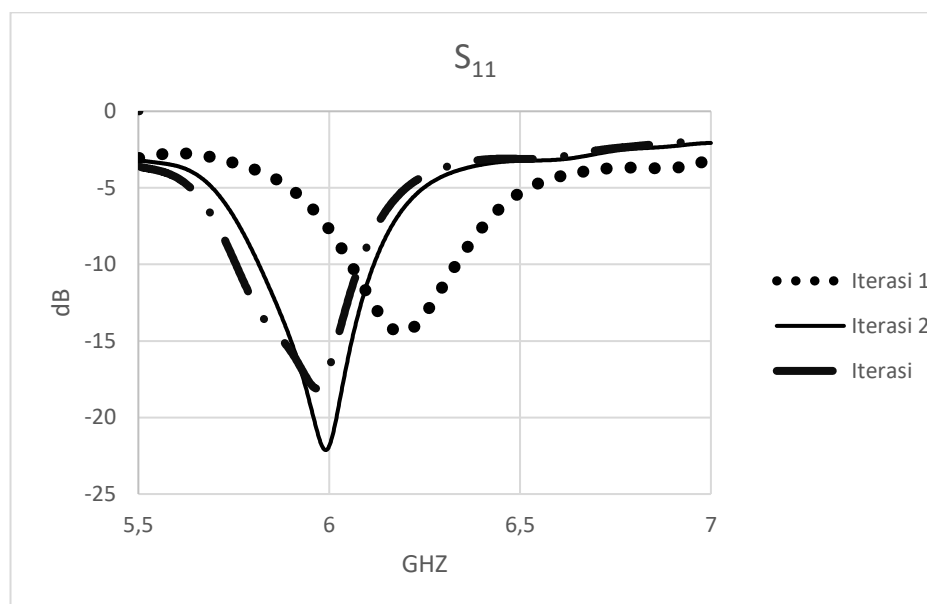
(b)

Gambar 1. (a) Tampak Depan dan (b) Tampak Belakang

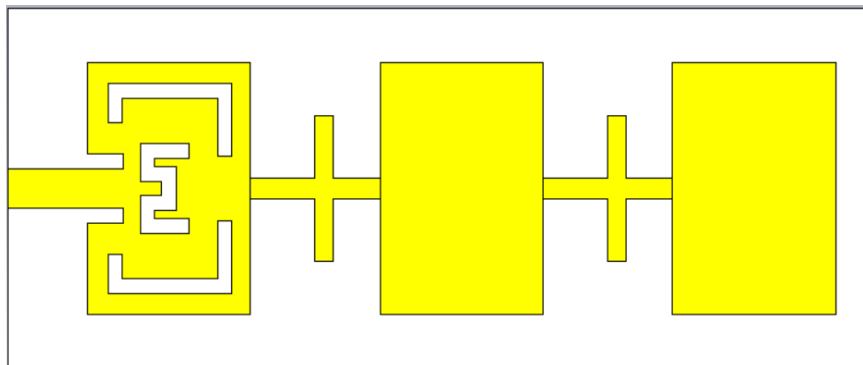
Tabel 1. Dimensi Antena 1x3

Parameter	Dimensi (mm)	Parameter	Dimensi (mm)
PS	60	LU1	2,7
LS	25	LU2	4
PP	10,8	LD1	4,8
LP	15,8	PD 1	0,8
PLW	9	LD2	0,8
TLW	7	PD2	4,3
PUS	6,6		

Selanjutnya dilakukan simulasi untuk mendapatkan hasil simulasi antenna terbaik terhadap parameter antenna, yaitu S_{11} . Dilakukan iterasi terhadap dimensi antenna untuk mendapatkan *bandwidth*. Dimensi yang diubah adalah jarak antar *patch* (PLW) dari 7 mm ke 7,4 mm. Gambar 2 tahap iterasi S_{11} serta Tabel 2 menunjukkan tahap iterasi dari jarak antar antenna. Gambar 3 menunjukkan hasil terbaik dari antenna 1x3.

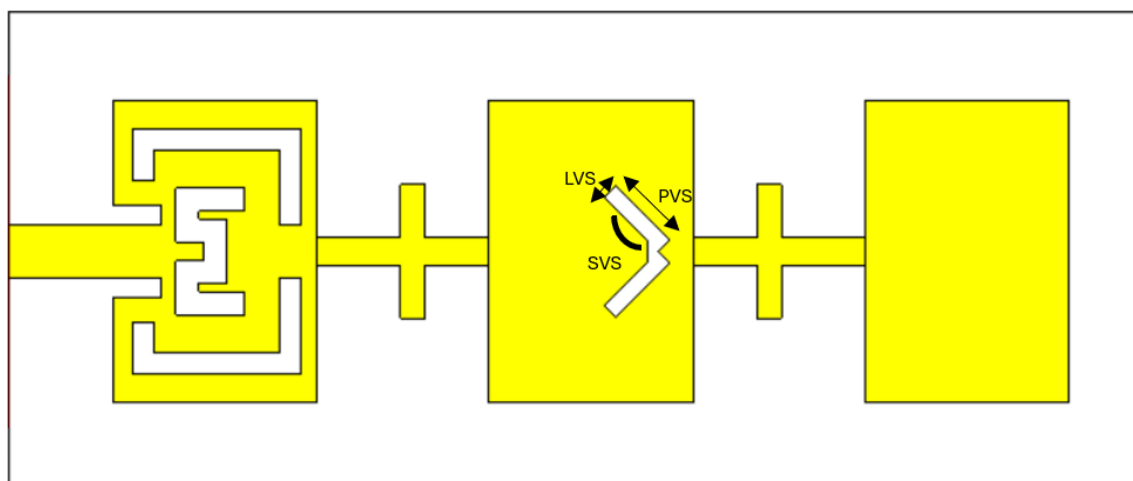
**Gambar 2. Iterasi pada Dimensi Jarak Antar Antena****Tabel 2. Tahap Iterasi dari Jarak Antar Antena**

Iterasi Ke-	Dimensi PIW (mm)	Bandwidth
1	7	280 MHz(6,05–6,33 GHz)
2	7,2	300 MHz(5,81– 6,11 GHz)
3	7,4	290 MHz (5,75– 6,04 GHz)



Gambar 3. Antena Setelah Iterasi

Hasil iterasi terbaik pada Gambar 2 memiliki nilai S_{11} sebesar -21.86 dB pada frekuensi 6 GHz, memiliki frekuensi resonan sebesar 5.81 GHz – 6.11 GHz dan memiliki *bandwidth* 300 MHz. Tahap selanjutnya adalah penambahan *V-slot* pada *patch* kedua pada antena. Penggunaan *V-slot* untuk meningkatkan *bandwidth* dengan menggunakan Persamaan (6) sampai (10). Antena 1x3 dengan penambahan *V-slot* dapat dilihat pada Gambar 4 dan dimensi *V-slot* disajikan pada Tabel 3.



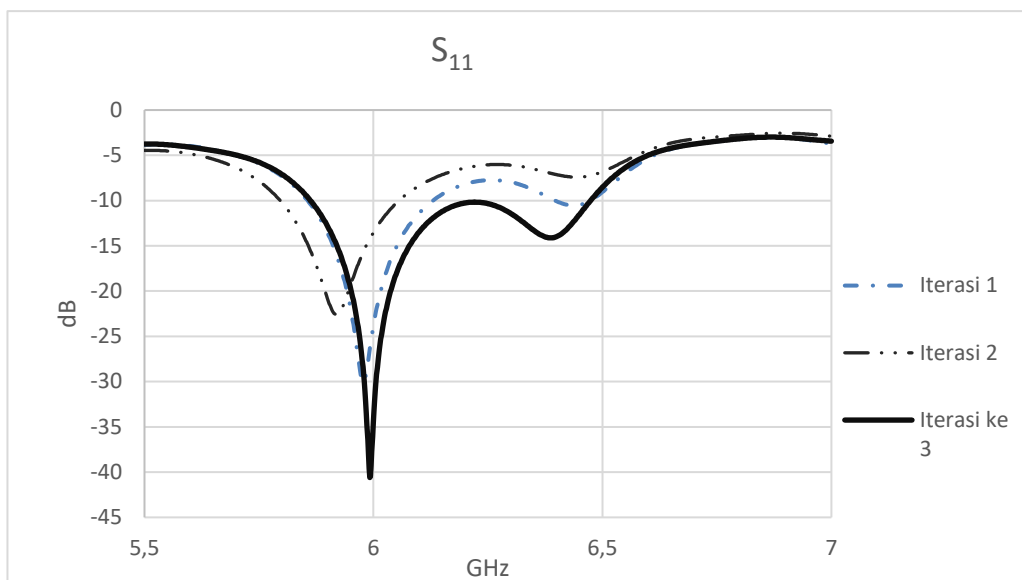
Gambar 4. Antena dengan V-Slot

Tabel 3. Dimensi V-slot

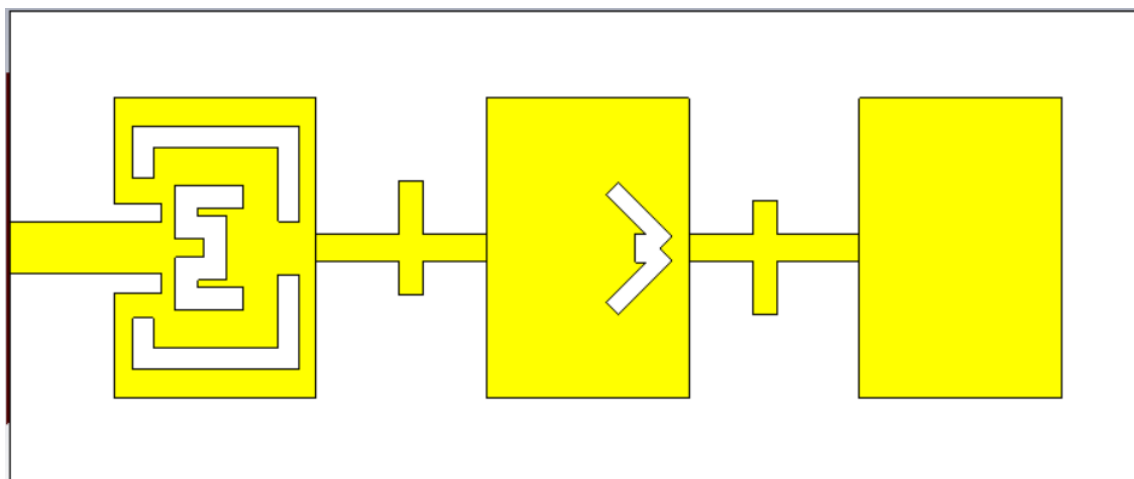
Parameters	Dimensions
PS	60 mm
LS	25 mm
LVS	1 mm
PVS	3 mm
SVS	235°

Desain antena 1x3 dan V-Slot selanjutnya disimulasikan untuk mendapatkan hasil terbaik dari *bandwidth* dan *gain*. Iterasi dilakukan pada dimensi LVS dan PVS dari V-Slot. Tahap iterasi dari dimensi LVS dan PVS. Tahap iterasi dilakukan dengan mengubah panjang PVS dari 3 mm hingga 5 mm, dan LVS dari 0,5 mm hingga 0,7 mm. Hasil S_{11} dari setiap iterasi seperti pada

Gambar 5. Kemudian Gambar 6 menunjukkan hasil akhir antenna setelah di iterasi dan Tabel 4 menunjukkan dimensi akhir antenna. Hasil Iterasi ke 1 memiliki frekuensi resonan sebesar 5,85 GHz–6,13 GHz dan memiliki nilai S_{11} pada 6 GHz sebesar $-23,5$ dB. Iterasi ke 2 memiliki frekuensi resonan sebesar 5,79 GHz – 6,05 GHz dan memiliki nilai S_{11} $-13,3$ dB. Dan Iterasi ke 3 memiliki frekuensi resonan sebesar 5,86 GHz – 6,43 GHz dan memiliki nilai S_{11} sebesar $-33,09$ dB.



Gambar 5. Tahap Iterasi S_{11} Pada Dimensi V-Slot



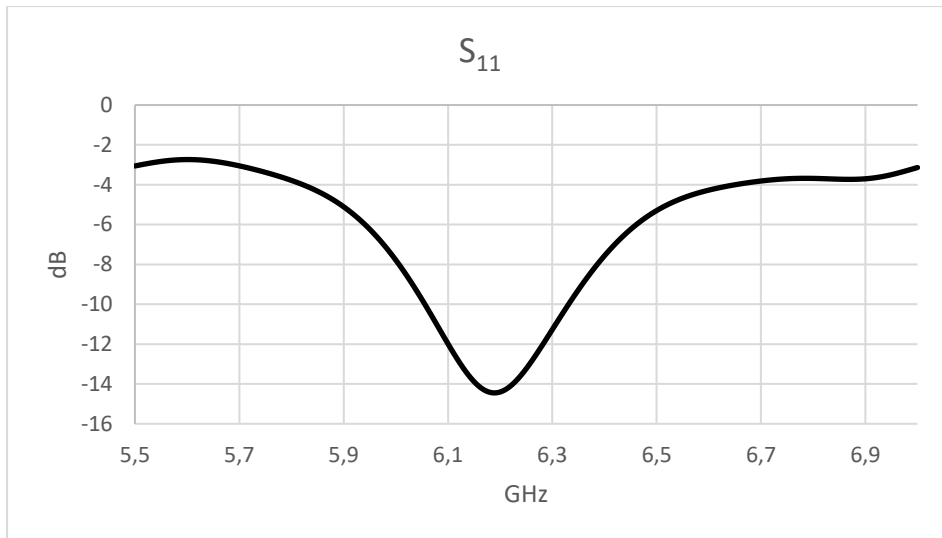
Gambar 6. Antena 1x3 dengan V-Slot

Tabel 4. Dimensi Antena 1x3 dan V-Slot

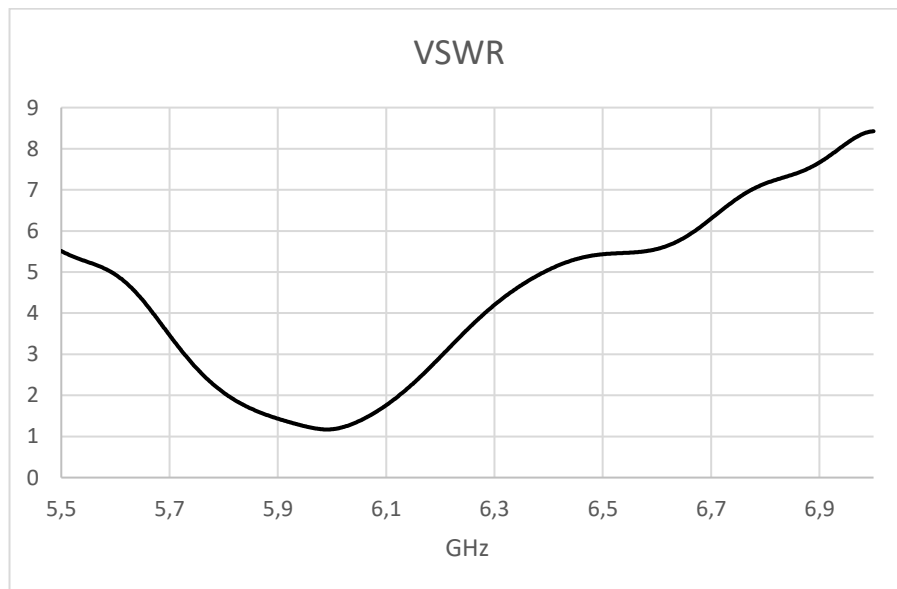
Parameter	Dimensi	Parameter	Dimensi
PS	60 mm	LU2	4 mm
LS	25 mm	LD1	4,8 mm
PP	10,8 mm	PD1	0,8 mm
LP	15,8 mm	LD2	0,8 mm
PLW	9 mm	PD2	4,3 mm
TLW	6 mm	LVS	0,9 mm
PUS	6,6 mm	PVS	4 mm
LU1	2,7 mm	SVS	235°

3. HASIL SIMULASI

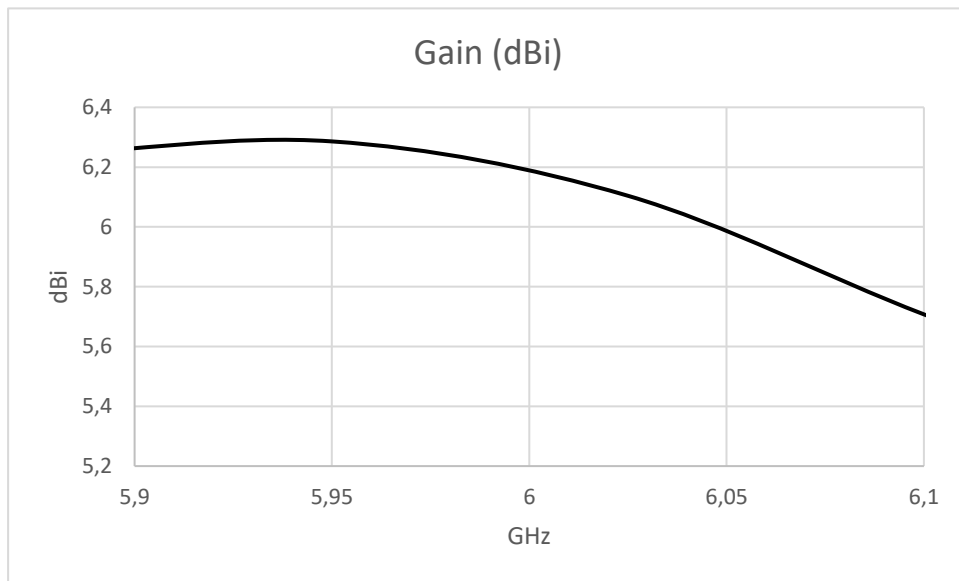
Hasil simulasi yang digunakan adalah hasil dimensi dari iterasi terbaik antenna mikrostrip *leaky-wave* 1x3 tanpa V-slot . Hasil simulasi berupa S_{11} , *bandwidth*, VSWR dan *gain*. Hasil S_{11} dari antenna mikrostrip *leaky-wave* 1x3 tanpa V-slot pada frekuensi 6 GHz sebesar -21.86 dB pada frekuensi 6 GHz, memiliki frekuensi resonan sebesar 5.81 GHz – 6.11 GHz, memiliki *bandwidth* sebesar 300 MHz, VSWR sebesar 1,17 pada frekuensi 6 GHz, *gain* pada frekuensi 6 GHz sebesar 6,17 dBi. Gambar S_{11} ditunjukkan pada Gambar 7, VSWR pada Gambar 8, dan *gain* pada Gambar 9.



Gambar 7. S_{11} Antena Mikrostrip *Leaky-Wave* 1x3

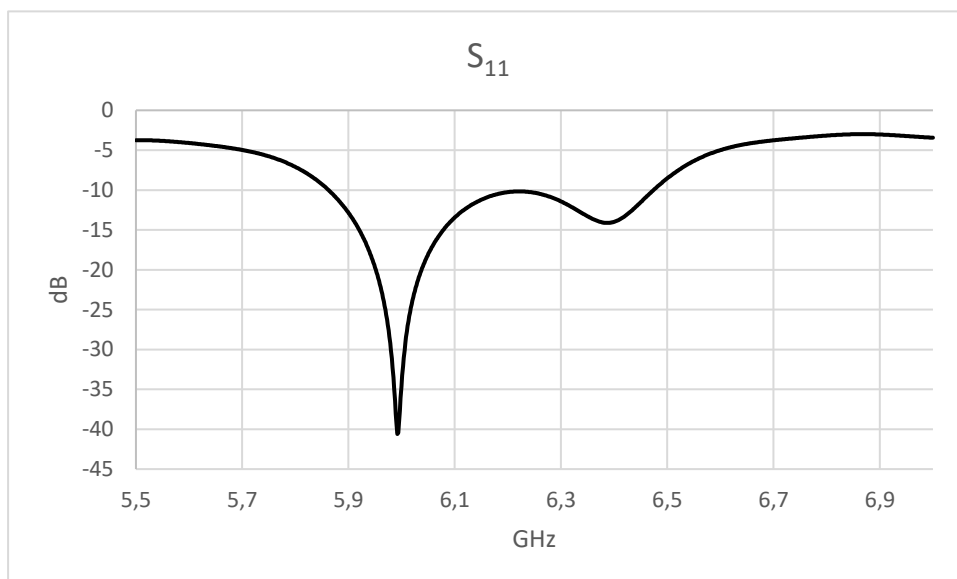


Gambar 8. VSWR Antena Mikrostrip *Leaky-Wave* 1x3

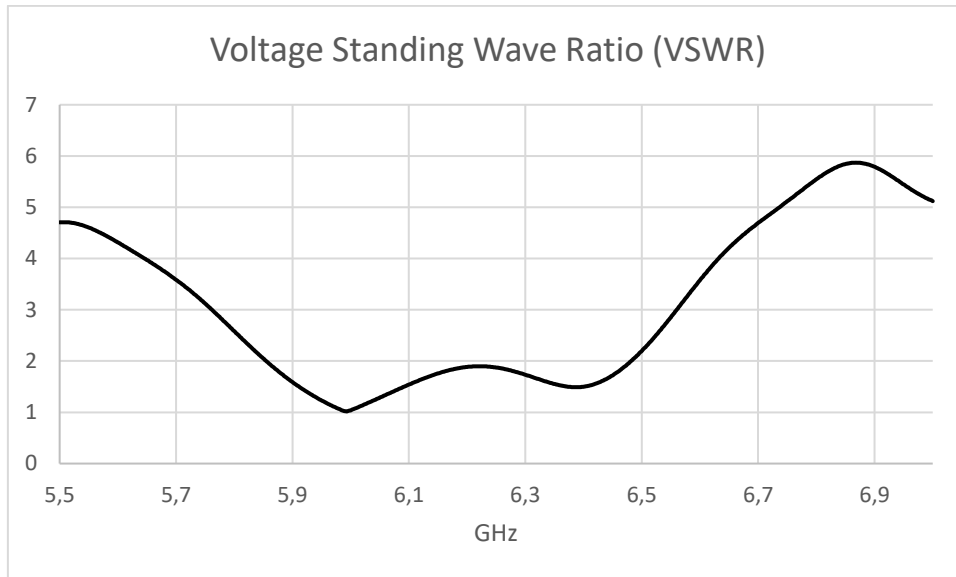


Gambar 9. Gain Antena Mikrostrip *Leaky-Wave* 1x3

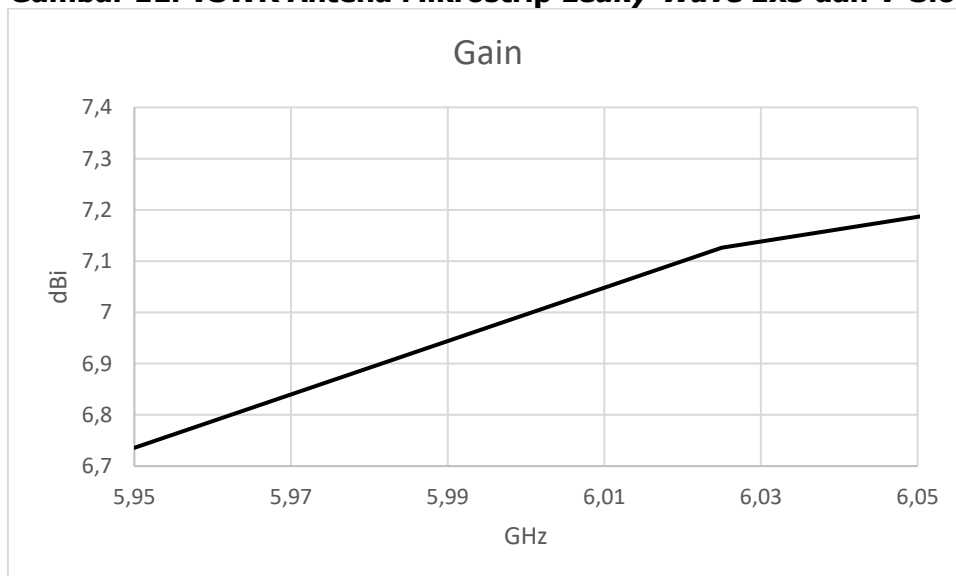
Hasil simulasi yang digunakan hasil iterasi terbaik dari antena mikrostrip *leaky-wave* 1x3 dengan V-slot berupa *bandwidth*, S_{11} , VSWR, dan *gain*. Hasil 1x3 dan V-slot memiliki nilai S_{11} sebesar $-33,09$ dB pada 6 GHz, memiliki frekuensi resonan sebesar 5,86 – 6,43 GHz, memiliki *bandwidth* sebesar 570 MHz, memiliki VSWR 1,04 di frekuensi 6 GHz, dan memiliki nilai *gain* 7,02 dBi di frekuensi 6 GHz. Hasil pola radiasi antena pada 6 GHz, pada $\phi = 0^\circ$ (*E-Plane*) pola radiasi memiliki lobe utama ke arah *broadside* dengan karakteristik directional dan lobe samping muncul pada level rendah. Pada $\phi = 90^\circ$ (*H-Plane*), arah maksimum tetap pada *broadside*, namun memiliki *beamwidth* lebih lebar, sehingga distribusi daya pada bidang lebih meyebar dibidang *E-plane*. Hasil dari S_{11} antena 1x3 dan V-slot pada Gambar 10, VSWR pada Gambar 11, *gain* pada Gambar 12 dan *E-plane* serta *H-plane* pada Gambar 13.



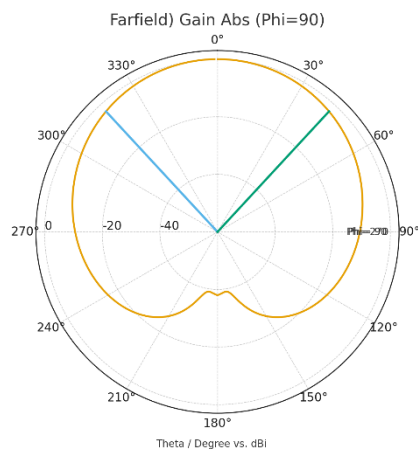
Gambar 10. S_{11} Antena Mikrostrip *Leaky-Wave* 1x3 dan V-Slot



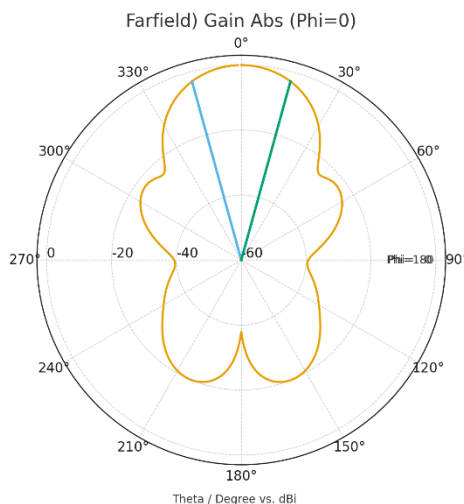
Gambar 11. VSWR Antena Mikrostrip *Leaky-Wave* 1x3 dan V-Slot



Gambar 12. Gain Antena Mikrostrip *Leaky-Wave* 1x3 dan V-Slot



(a)

(b) *E-Plane* Antena**Gambar 13. Pola radiasi (0 dB) pada 6 GHz (a) H-Plane dan (b) E-Plane****Tabel 5 Perbandingan dengan Penelitian Sebelumnya**

Penelitian	Frekuensi (GHz)	Bandwidth (MHz)	Gain (DBi)	Ukuran (mm)
Zulkifli, Dkk, 2023	5,845–6,529	685	5,06	40,6 x 25 x 1,6
Iqbal, Dkk, 2022	5,843–6,458	615	6,16	41,9 x 23,9 x 1,6
Iqbal, Dkk, 2023	5,860–6,579	710	4,92	45 x 25 x 1,6
Kumar, Dkk, 2024	9,85–10,20, 10,66–11,59, 11,08–11,98 z, dan 11,61 –12,11	350, 930, 900 , dan 500	2,4, 4,1, 4,7, dan 4,5	27 x 25
Aziz, Dkk, 2018	6	300	3,1	250 x 100 x 1,575
Penelitian Ini	5,86 GHz – 6,43	570	7,02	60 x 25 x 1,6

Perbandingan lengkap pada Tabel 5. Perbandingan terhadap beberapa penelitian sebelumnya yang telah dilakukan dengan penelitian ini adalah penelitian pertama oleh **(Zulkifli, dkk, 2023)** dengan antenna mikrostrip *leaky-wave* 1x2 dengan mengkombinasikan Multi slot dan DGS berbentuk E dengan ukuran 40,6 mm x 25 mm menghasilkan frekuensi resonan 5,84 GHz – 6,529 GHz dan memiliki *gain* 5,06 dBi di frekuensi 6 GHz. Penelitian kedua oleh **(Iqbal, dkk, 2022)** dengan antenna mikrostrip *leaky-wave* 1x2 dengan dikombinasikan U-slot ganda dengan ukuran 41,9 mm x 23,60 mm menghasilkan frekuensi resonan 5,84 – 4,45 GHz, dan memiliki *gain* 6,16 dBi di frekuensi 6 GHz. Penelitian ketiga oleh **(Iqbal, dkk, 2023)** dengan antenna mikrostrip *leaky-wave* 1x3 dengan dikombinasikan E-slot, U-slot ganda dan DGS berbentuk U dengan ukuran 45 mm x 25 mm menghasilkan frekuensi resonan dari 5,86 – 6,579 GHz dan memiliki *gain* sebesar 4,91 dBi pada frekuensi 6 GHz. Penelitian keempat oleh **(Kumar, dkk, 2024)** dengan antenna yang dikombinasikan V-Slot memiliki frekuensi kerja 9,85–10,20 GHz, 10,66–11,59 GHz, 11,08–11,98 GHz, dan 11,61 GHz–12,11 GHz, berhasil melebarkan bandwidth hingga 930 MHz dan mencapai nilai tertinggi 4,7 dBi. Penelitian kelima oleh **(Aziz, dkk, 2018)** dengan antenna *leaky-wave* 1x5 memiliki *bandwidth* sebesar 300 MHz dan *gain* 8,31 dBi pada frekuensi 6 GHz atau meningkatkan *gain* sebesar 3,1 dB. Kemudian, pada penelitian ini memiliki frekuensi resonan 5,86 – 6,43 GHz, memiliki *bandwidth* 570 MHz atau melebarkan 270 MHz, dan memiliki *gain* sebesar 7,02 dBi pada

frekuensi 6 GHz atau menaikkan *gain* sebesar 0,82 dBi. Penelitian antenna ini memiliki *gain* yang lebih besar dari penelitian (Zulkifli, dkk, 2023), (Iqbal, dkk, 2022), (Iqbal, dkk, 2023), dan (Kumar, dkk, 2024). Kemudian memiliki *bandwidth* lebih besar dari (Iqbal, dkk, 2023) serta (Aziz, dkk, 2018) dan ukuran lebih kecil dari (Aziz, dkk, 2018).

4. KESIMPULAN

Antena mikrostrip *leaky-wave* 1x3 dan V-slot berhasil di desain untuk aplikasi WLAN di 6 GHz. Antena memiliki ukuran sebesar 60 mm x 25 mm x 1,6mm. Hasil antenna mikrostrip *leaky-wave* 1x3 dan V-slot memiliki frekuensi resonan sebesar 5,86 GHz – 6,43 GHz, memiliki *bandwidth* sebesar 570 MHz, memiliki nilai S_{11} sebesar -33,09 dB pada 6 GHz, dan *gain* 7,02 dBi pada frekuensi 6 GHz. Hasil perbandingan antara antenna mikrostrip *leaky-wave* 1x3 tanpa V-slot dengan antenna mikrostrip *leaky-wave* 1x3 dengan V-slot dapat melebarkan sebesar *bandwidth* 270 MHz (90%) dan meningkatkan *gain* sebesar 0,82 dBi (13,3%).

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didukung oleh Penelitian Dasar Fakultas (FT) 2025 dari Fakultas Teknik, Universitas Negeri Jakarta. Dengan Kontrak No.T./038/5.FT/Kontrak-Penelitian/PT.01.03/III/2025

DAFTAR RUJUKAN

- Aziz, H., Moubadir, M., Touhami, N., & Farkhsi, A. (2018). Planar Leaky-Wave Antena at 6 GHz. *Procedia Manufacturing*, 22, 527-532. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.03.077>
- Aziz, H., Moubadir, M., Farkhsi, A., & Amar Touhami, N. (2020). Sidelobe suppression in array-pattern synthesis using periodic leaky-wave antenna and binomial array. *Model Simul Eng.* 2020;2020:1-6. <https://doi.org/10.1155/2020/6201767>
- Balanis, C. A.. Modern antenna handbook. Canada: John Wiley & Sons, Inc.; 2008
- Cisco, U. (2021, March). Cisco Annual Internet Report (2018–2023) White Paper. Retrived from <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/executive-perspectives/annual-internet-report/whitepaper-c11-741490.html> (2020).
- E, Au. (2020, Feb). *Specification Framerwork for TGBE*. Retrieved from https://mentor.ieee.org/802.11/documents?is_dcn=1262&is_group=00be.
- FCC. (Oct. 2018). Notice of Proposed Rulemaking; In the Matter of Unlicensed Use of the 6 GHz band (ET Docket No. 18-295); Expanding Flexible Use in Mid-Band Spectrum Between 3.7 and 24 GHz (GN Docket No. 17-183). Retrieved from <https://docs.fcc.gov/public/attachments/FCC-18-147A1.pdf>

- Garcia-Rodriguez, A., Lopez-Perez, D., Galati-Giordano, L., & Geraci, G. (2021). IEEE 802.11be: WLAN7 Strikes Back. *IEEE Communications Magazine*. 2021;59(4):102-108. <https://doi.org/10.1109/mcom.001.2000711>.
- IMARC Group (2024). Wi-Fi hotspot market: Global industry trends, share, size, growth, opportunity and forecast 2024-2033 [Internet]. Noida (IN): IMARC Services Private Limited; 2024 [cited 2025 Jul 11]. Retrieved from <https://www.imarcgroup.com/wifi-hotspot-market>
- Iqbal, M. W., Zulkifli, F. Y., & Rahardjo, E. T. (2022). Peningkatan Bandwidth Dan Gain Antena Mikrostrip Leaky Wave Dengan Multi Slot Untuk Aplikasi WLAN. *Elkomika: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*. 2022;10(2):432. <https://doi.org/10.26760/elkomika.v10i2.432>.
- Iqbal, M. W., & Zulkifli, F. Y. (2023). Microstrip Leaky-Wave Antenna Design With E-Slot And Double U-Slot For Bandwidth Enhancement. In: 2023 *International Seminar on Intelligent Technology and Its Applications (ISITIA)*, Surabaya, Indonesia. <https://doi.org/10.1109/isitia59021.2023.10221092>.
- Jackson, D. R., Baccarelli, P., Burghignoli, P., Fuscaldo, W., Galli, A., & Lovat, G. (2019). A History Of Leaky Waves And Leaky-Wave Antennas. In: *URSI EM Theory Symposium (EMTS)*; 2019 May 27–31; San Diego, CA. IEEE; 2019. doi:10.23919/URSI-EMTS.2019.8931550. <https://doi.org/10.23919/ursi-emts.2019.8931550>
- Katz, R., Jung, J., & Callorda, F. (2021, February). The Economic Value of Wi-Fi: A Global View (2021–2025) [Internet]. *New York: Telecom Advisory Services LLC for Wi-Fi Alliance*; February 2021 .
- Kementerian Komunikasi dan Digital Republik Indonesia. (2025). Peraturan Menteri Komunikasi dan Digital Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2025 tentang penggunaan spektrum frekuensi radio untuk keperluan sistem telekomunikasi. Jakarta: Kementerian Komunikasi dan Digital; 2025.
- Kumar, B. A., Kavuri, V. C., Ramalakshmi, G., & Satyanarayana, M. (2024). A Novel Miniature Inverted 'V' Slot Reconfigurable Patch Antenna For X-Band Applications. *Progress in Electromagnetics Research B*, 109.
- Maximize Market Research. (2023). Global Wi-Fi market: Industry trends, growth, share and forecast (2023–2030) [Internet]. Pune (IN): Maximize Market Research Pvt. Ltd.; 2023 [cited 2025 Jul 11]. Retrieved from <https://www.maximizemarketresearch.com/market-report/global-wi-fi-market/29090>.

- Rabbani, M. S., Churm, J., & Feresidis, A. (2020). Millimetre-wave beam steerable leaky-wave antenna for 5G systems. *Int J Wirel Microwave Technol.* 2020;10(3):56-62. <https://doi.org/10.1049/cp.2018.0361>.
- Sandi, E., Djatmiko, W., & Putri, R. K. (2020). Desain U-slot ganda untuk meningkatkan bandwidth antena MIMO 5G millimeter-wave. *Elkomika: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*, 8(1), 150–158. <https://doi.org/10.26760/elkomika.v8i1.150>.
- Surjati I. Antena mikrostrip: konsep dan aplikasi. DKI Jakarta: Universitas Trisakti; 2010.
- Tan, S., Ren, Y., Yang, J., & Chen, Y. (2022). Commodity WiFi sensing in ten years: Status, challenges, and opportunities. *IEEE Internet Things J.* 2022. <https://doi.org/10.1109/jiot.2022.3164569>.
- Zulkifli, F. Y., & Iqbal, M. W. (2023). Bandwidth And Gain Enhancement Of Microstrip Leaky-Wave Antennas With Slot And Defected Ground Structure. *Journal of Engineering and Technological Sciences.* 2023;55(3):289–299. <https://doi.org/10.5614/j.eng.technol.sci.2023.55.3.6>.
- Zheng, D., Chan, C. H., & Wu, K. (2023). Leaky-wave structures and techniques for integrated front-end antenna systems. *IEEE J Microwaves.* 2023;3(1):368-382. doi:10.1109/JMW.2022.3220632. <https://doi.org/10.1109/jmw.2022.3220632>