

DESAIN ANTENA MIKROSTRIP MIMO ARRAY TIPE 4X4 MENGGUNAKAN RECTANGULAR SLOT UNTUK KINERJA DIREKSIONAL BEAM WIRELESS FIDELITY FREKUENSI 2,4 GHZ

P. Kurniasari^{1*}, N. Thereza¹, M. Sari¹ dan F. Ramadhan¹

¹ Teknik Elektro, Universitas Sriwijaya, Indralaya
Corresponding author: puspakurniasari@ft.unsri.ac.id

ABSTRAK: Atenuasi pada sinyal yang mengalami propagasi dari *transmitter* antenna ke *receiver* antenna perangkat *mobile* pada perangkat *Wireless Fidelity* (Wi-Fi) dapat menyebabkan penurunan kualitas sinyal pada perangkat *mobile* yang digunakan pengguna perangkat. Hal ini disebabkan adanya kehadiran penghalang fisik dan jarak antara *transmitter* pada *access point* Wi-Fi ke *receiver* perangkat *user* Wi-Fi sehingga perlu dikembangkan rancangan perangkat antenna sebagai *transceiver* untuk optimalisasi kinerja sinyal terima oleh *user* ketika menggunakan layanan Wi-Fi. Makalah ini mengembangkan antenna *Multiple Input Multiple Output* (MIMO) susunan 4x4 menggunakan slot segiempat pada *patch* dielektrik segiempat. *Patch* diletakkan pada substrat *Rogers Duroid 5880* pada penelitian ini yaitu sebagai bahan konduktor dengan panjang *feedline* terhadap catuan daya dari sumber daya. Penelitian dilakukan untuk merancang antenna MIMO dengan karakteristik 4x4 *array* untuk meningkatkan kuat sinyal beam direksional. Pengujian rancangan antenna dilakukan pada perangkat *mobile user* terhadap layanan akses yang disediakan Wi-Fi. Hasil dari penelitian ini adalah antenna MIMO 4x4 *array* dengan karakteristik VSWR 1,96, *gain* 8,002 dBi, *return loss* tertinggi -9,74 dB pada *unidirectional beam* dan *Received Signal Strength Indicator* (RSSI) -63 dBm. Antena yang didesain menggunakan metode slot jenis segiempat ini telah dapat bekerja dalam pengiriman dan penerimaan sinyal pada teknologi Wi-Fi.

Kata Kunci: MIMO, Antena, RSSI, Array, Gain.

ABSTRACT: Signal attenuation that occurs in the signal that propagates from the transmitter antenna to the antenna receiver of the mobile device on the *Wireless Fidelity* (Wi-Fi) device can cause a decrease in signal quality on the mobile device used by user. This is due to the presence of physical barriers and the distance between the Wi-Fi access point transmitter to the Wi-Fi user device receiver, therefore it is important to develop an antenna device design as a transceiver to optimize the performance of the received signal by the user when using Wi-Fi services. This paper addresses to develop a 4x4 *array Multiple Input Multiple Output* (MIMO) antenna using a rectangular slot on a rectangular dielectric patch. The patch is placed on the *Rogers Duroid 5880* substrate in this research as a conductor material with a *feedline* to supply the power from the power source. The research was conducted to design a MIMO antenna with 4x4 *array* characteristics to increase signal strength in directional beam signal. The experiment of this antenna design is carried out on the user's mobile device for the access services provided by Wi-Fi. The results of this study are MIMO 4x4 *array* antennas with VSWR characteristics at 1.96, gain at 8.002 dBi, the highest return loss at -9,74 dB in *unidirectional beam* and *Received Signal Strength Indicator* (RSSI) at -63 dBm. The design of antenna have designed using this slot method in rectangular have been able to work as a transceiver signals in 2,4 GHz Wi-Fi technology.

Keywords: MIMO, Antena, RSSI, Array, Gain.

PENDAHULUAN

Layanan akses informasi yang memenuhi kebutuhan aktivitas masyarakat melalui jaringan internet sangat dibutuhkan dalam kehidupan sehari-hari. Salah satu teknologi layanan akses informasi tersebut yang menggunakan media *wireless* adalah *Wireless Fidelity*

(Wi-Fi). Perangkat *wireless* pengguna yang terhubung ke perangkat *access point* memiliki *transmitter* dan *receiver* untuk mengirim dan menerima sinyal Wi-Fi sebagai representasi gelombang elektromagnetik. Akan tetapi, sinyal yang diterima perangkat pengguna sering mengalami penurunan kuat sinyal atau atenuasi sehingga dapat menyebabkan kendala dalam proses akses layanan

internet contohnya koneksi Wi-Fi mengalami gangguan sinyal atau kualitas informasi berupa suara, teks, gambar atau video yang diterima akan mengalami penurunan kualitas. *Transmitter* atau *receiver* yang digunakan dalam media sinyal tersebut adalah antena sebagai media utama elemen peradiasi dari gelombang sinyal yang mengalami atenuasi. Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk melakukan pengembangan desain antena MIMO dengan tipe 4x4 array menggunakan metode *rectangular slot* untuk membantu perangkat *wireless* agar dapat memperoleh sinyal pada level kuat sinyal yang memadai dan ada peningkatan level sinyal sehingga pengguna tetap dapat memanfaatkan layanan akses informasi yang disediakan Wi-Fi. Selain itu, pola radiasi yang direksional juga dibutuhkan dalam kinerja antena tersebut. Antena MIMO 4x4 array yang didesain memiliki manfaat sebagai kelengkapan sarana perangkat *Internet of Things* (IoT) dimana teknologi IoT banyak dikembangkan saat ini agar selalu dapat beradaptasi pada perkembangan *Society 5.0*.

Pada penelitian sebelumnya, penggunaan *patch* pada antena MIMO 2x2 dengan metode *patch circular* untuk Wi-Fi (Pratama et al., 2017) diperoleh *gain* 5,08 tanpa array pada antena. Desain antena MIMO juga dilakukan penambahan *T-shaped* pada *ground plane* pada *microstrip-fed circular ring* untuk frekuensi 5G Wi-Fi (Basherlou et al., 2019) dan menghasilkan koefisien refleksi < -30 dB dan *mutual coupling* < -20 dB tanpa aplikasi array desain antena. Selain itu, antena MIMO 2x2 array telah dirancang menggunakan *U-slot* untuk komunikasi 5G (Jones et al., 2017) menghasilkan minimum *return loss* dan terjadi peningkatan *gain*. Metode gabungan slot menggunakan slot segiempat dan *T-slot* (Saidah et al., 2021) diperoleh 5,31 dBi tanpa array. Variasi slot bentuk H atau *H-slot* juga telah diaplikasikan pada penelitian mengenai rancangan antena MIMO 2x2 untuk Wi-Fi 802.11N 5,2 GHz (Biwahakimi et al., 2018) dan diperoleh *bandwidth* dan *gain* bekerja pada Wi-Fi 5,2 GHz. Penggunaan slot juga dipengaruhi pemilihan substrat FR4 epoxy pada desain antena MIMO 4x4 pada frekuensi *dual band* yaitu *gain* tertinggi sebesar 5,462 dBi di 2,4 GHz dan *gain* tertinggi di 6,836 dBi di 5,8 GHz dengan arah pola radiasi direksional (Anggraini, 2020). Sistem antena MIMO dapat direkonfigurasi pada dua frekuensi yaitu aplikasi *Wireless Local Area Network* (WLAN) dan *Long Term Evolution* (LTE) menghasilkan radiasi *narrow beam* untuk peningkatan *throughput* (Kadir, 2017). Berdasarkan kajian penelitian – penelitian tersebut, pada penelitian ini dilakukan pemberian karakter antena MIMO array tipe 4x4 dengan slot *rectangular* yang bekerja dengan frekuensi 2,4 GHz

untuk *beam* sinyal Wi-Fi dan substrat yang digunakan yaitu *rogers duroid 5880*.

METODE PENELITIAN

Antena MIMO 4x4 array jenis mikrostrip yang dikembangkan bekerja di frekuensi 2,4 GHz untuk memancarkan dan meradiasikan sinyal Wi-Fi pada perangkat *wireless*. Rancangan antena tersebut melalui tiga tahap yaitu tahap desain awal dimensi antena, tahap desain dimensi antena setelah optimasi dan tahap perancangan antena.

Pada tahap desain dimensi awal antena, pemilihan spesifikasi rancangan antena dilakukan melalui penetapan frekuensi operasional antena, penggunaan jenis substrat dan karakteristik substrat. Setelah itu, pemilihan pola *patch* yang digunakan sebagai bagian peradiasi yang diperoleh melalui persamaan matematis dari konsep antena sehingga lebar *patch* dan panjang *patch* dapat diketahui. Dimensi antena pada kondisi awal ini didesain menggunakan perangkat lunak CST *Studio Suite* dan parameter uji antena diaplikasikan untuk mengetahui spesifikasi standar berdasarkan *Voltage Standing Ratio Wave* (VSWR) lebih kecil sama dengan 2 (Surjati, 2010), *return loss* lebih kecil dari -9,54 dB (Surjati, 2010), *gain* serta kinerja bentuk radiasi direksional satu arah.

Berdasarkan dimensi antena pada tahap sebelumnya, *patch* antena dibentuk dalam struktur *patch array* dan digunakan metode slot pada *patch array*. Metode ini menghasilkan direktivitas pola radiasi berkas dari arus listrik yang mengalir mengelilingi slot secara *loop* tertutup dan polarisasi melingkar pada antena mikrostrip ini. Penggunaan *patch array* dipengaruhi panjang *feedline*, jarak antar *patch array* dan kesesuaian impedansi sedangkan karakteristik slot diperoleh dari konsep teoritis slot antena dengan pola slot yang sama dengan pola *patch* yaitu pola *rectangular*. Faktor – faktor pemberian karakter antena tersebut dioptimasi sehingga sesuai syarat parameter antena dapat berfungsi pada frekuensi 2,4 GHz. Pada tahap ini, VSWR, *return loss*, *gain* dan pola radiasi diperoleh dari perancangan antena dengan *patch array* dan slot menggunakan CST *Studio Suite*. Desain antena yang memenuhi spesifikasi standar kemudian desain tersebut direalisasikan.

Desain antena 4x4 MIMO array yang direalisasikan dan diberikan karakteristik antena sesuai spesifikasi standar maka diuji kinerjanya menggunakan parameter kuat sinyal yaitu pengukuran RSSI dan pengamatan pola radiasi terhadap *coverage* sinyal menggunakan perangkat lunak *WirelessMon*. Pengujian ini menggunakan akses layanan informasi melalui jaringan

internet dan selanjutnya kuat sinyal yang terjadi diamati melalui *WirelessMon* sehingga dapat diketahui pengiriman dan penerimaan sinyal oleh antena yang dirancang ketika antena terhubung perangkat dan bekerja dalam jaringan *wireless*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tahap – tahap penelitian yang dilakukan menunjukkan hasil penentuan dimensi antena yang dirancang kemudian dilakukan pemberian karakter hasil rancangan antena yang dipengaruhi dimensi antena serta hasil pengujian rancangan antena. Hasil simulasi dan pengukuran antena yang dirancang dioptimasi kinerjanya sehingga sesuai dengan syarat kinerja rancangan antena mikrostrip MIMO array tipe 4x4.

Dimensi Antena MIMO Array Tipe 4x4

Dimensi perancangan antena MIMO 4x4 array ditentukan menurut karakter spesifik antena. Faktor – faktor penentuannya yaitu frekuensi, pola konduktor *patch*, jenis substrat konduktor *patch*. Jenis substrat konduktor *patch* memiliki ketebalan substrat, jumlah *layer* substrat dan konstanta dielektrik. Rincian karakter dimensi antena kondisi awal secara spesifik pada antena MIMO 4x4 array seperti pada Tabel 1

Tabel 1 Karakter dimensi antena.

Frekuensi kerja antena (f_o)	2,4 GHz
Jenis substrat	<i>Rogers duroid 5880</i>
Layer substrat	<i>Double layer</i>
Ketebalan substrat (h)	1,57 mm
Konstanta dielektrik (ϵ_r)	2,2

Lebar *patch* (W) untuk dimensi awal antena diperoleh menurut spesifikasi Tabel 1 dan ketetapan kecepatan cahaya sebesar 3×10^8 m/s melalui persamaan (1) (Surjati, 2010) yaitu

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

$$W = \frac{3 \times 10^8}{2(2,4 \times 10^9) \sqrt{\frac{2,2 + 1}{2}}}$$

$$W = \frac{3 \times 10^8}{4,8 \times 10^9 \sqrt{1,6}}$$

$$W = 0,04941m = 49,41mm$$

selanjutnya untuk memperoleh panjang *patch* dimensi awal antena maka konstanta dielektrik efektif

menggunakan persamaan (2) (Faradila et al., 2019) dan panjang efektif *patch* melalui persamaan (3) (Surjati, 2010) ditentukan terlebih dahulu yaitu

$$\epsilon_{reff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(\frac{1}{\sqrt{1 + 12 \left(\frac{h}{W} \right)}} \right) \quad (2)$$

$$\epsilon_{reff} = \frac{2,2 + 1}{2} + \frac{2,2 - 1}{2} \left(\frac{1}{\sqrt{1 + 12 \left(\frac{1,57}{49,41} \right)}} \right)$$

$$\epsilon_{reff} = 1,6 + 0,6(0,85)$$

$$\epsilon_{reff} = 2,12$$

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

$$L_{eff} = \frac{3 \times 10^8}{2 \times (2,4 \times 10^9) \sqrt{2,12}}$$

$$L_{eff} = 0,04293m = 42,93mm$$

Patch sebagai konduktor peradiasi pada dimensi antena yang didesain meradiasikan gelombang elektromagnetik dan menimbulkan medan tepi dari peradiasi tersebut sehingga diperoleh efek medan tepi melalui persamaan (4) (Faradila et al., 2019)

$$\Delta L = 0,412xh \left\{ \begin{array}{l} \left(\epsilon_{reff} + 0,3 \left(\frac{W}{h} + 0,264 \right) \right) \\ \left(\epsilon_{reff} - 0,258 \left(\frac{W}{h} + 0,8 \right) \right) \end{array} \right\} \quad (4)$$

$$\Delta L = 0,412 \times 1,57 \left\{ \begin{array}{l} \left(2,12 + 0,3 \left(\frac{49,41}{1,57} + 0,264 \right) \right) \\ \left(2,12 - 0,258 \left(\frac{49,41}{1,57} + 0,8 \right) \right) \end{array} \right\}$$

$$\Delta L = 0,64684 \times 1,28$$

$$\Delta L = 0,827$$

Tahap berikutnya yaitu penentuan panjang *patch* untuk dimensi awal antena yang menggunakan persamaan (5) (Surjati, 2010)

$$L_{eff} = L + 2\Delta L \quad (5)$$

$$L = L_{eff} - 2\Delta L$$

$$L = 42,93 - 2(0,827)$$

$$L = 41,27mm$$

Slot dengan panjang vertikal dan panjang horizontal diletakkan diatas masing-masing *patch array* pada substrat *Rogers Duroid 5880* menggunakan persamaan teoritis metode slot pada antena. Persamaan (6) (Ruswanditya et al., 2017) adalah persamaan untuk memperoleh lebar slot

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

$$E = \frac{0,125m}{60} = 0,00209m = 2,09mm$$

sedangkan panjang slot secara vertikal dengan persamaan (7) (Ruswanditya et al., 2017) yaitu

$$\frac{C_1}{W} \geq 0,3 \quad (7)$$

$$\frac{C_1}{49,41mm} \geq 0,3$$

$$C_1 \geq 14,826mm$$

dan panjang slot secara horizontal melalui persamaan (8) (Ruswanditya et al., 2017) yaitu

$$D = \frac{c}{f_{low} \sqrt{\epsilon_{reff}}} - 2(L - 2\Delta L - E) \quad (8)$$

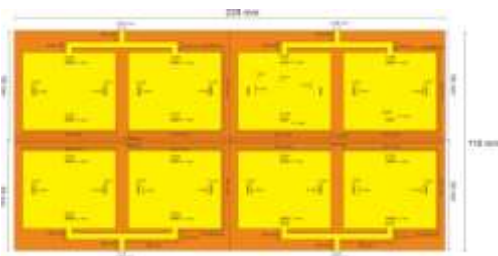
$$D = \frac{3 \times 10^8 \times 10^3 \text{ mm}}{2,4 \times 10^9 \text{ Hz} \sqrt{2,12}} - 2(41,27 - 2(0,827) - 2,09)$$

$$D = \frac{3 \times 10^{11} \text{ mm}}{3,49 \times 10^9} - 2(37,536)$$

$$D = 10,77mm$$

Karakteristik Antena MIMO Array Tipe 4x4

Dimensi awal antena MIMO array tipe 4x4 telah diperoleh berdasarkan hasil penentuan lebar dan panjang patch melalui persamaan teoritis konsep antena mikrostrip. Pengamatan kinerja karakteristik antena melalui perangkat lunak CST Suite Studio pada dimensi awal ini menunjukkan hasil simulasi dimensi awal antena parameter VSWR sebesar 5,672, return loss pada magnitude -3,094 dB dan direksional beam masih ada side lobe di -10,6 dB untuk gain 1,63 dBi sehingga hasil ini belum memenuhi kriteria kinerja parameter. Oleh karena itu, penambahan slot pada patch konduktor dilakukan di setiap penampang antena mikrostrip ini dengan patch tersusun 4x4. Optimasi dimensi awal dengan penambahan slot rectangular melalui iterasi dimensi antena sehingga dapat memenuhi kriteria VSWR, return loss dan pola beam untuk kinerja antena pada Wi-Fi. Hasil desain dimensi antena MIMO array tipe 4x4 dengan karakter tersebut pada Gambar 1



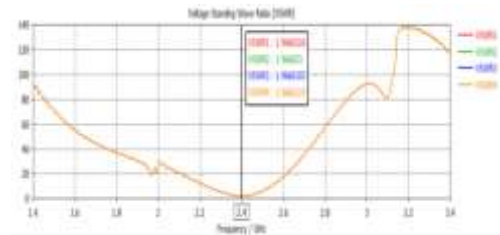
Gambar 1 Desain antena MIMO array tipe 4x4.

dan klasifikasi dari desain Gambar 1 seperti yang ditampilkan pada Tabel 2 yaitu

Tabel 2 Klasifikasi desain antena MIMO array tipe 4x4.

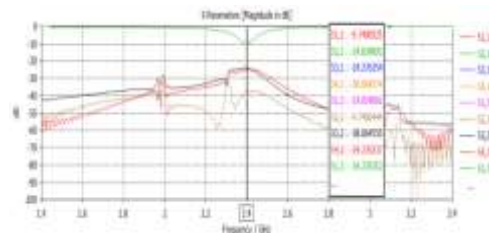
Lebar patch (W) rectangular	49,41 mm
Panjang patch (L) rectangular	41,27 mm
Panjang slot vertikal	1 mm
Panjang slot horizontal	4 mm
Lebar feedline	3,25 mm
Panjang feedline	5,8 mm
Lebar ground plane	228 mm
Panjang ground plane	116 mm
Tipe array	4x4

Hasil VSWR antena MIMO array tipe 4x4 yang diperoleh yaitu 1,96 dan nilainya lebih kecil sama dengan 2 sehingga sesuai dengan kriteria antena mikrostrip serta antena ini dapat bekerja pada frekuensi kerja 2,4 GHz Wi-Fi seperti pada Gambar 2. Hasil ini juga menunjukkan masih ada pemantulan gelombang dari saluran transmisi atau feedline untuk matching antena hasil desain dibandingkan VSWR bernilai 0 dimana tidak ada pemantulan gelombang.



Gambar 2 VSWR antena MIMO array tipe 4x4.

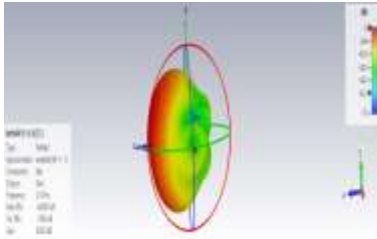
sedangkan hasil return loss antena MIMO array tipe 4x4 yang didesain seperti pada Gambar 3 yaitu



Gambar 3 Return loss antena MIMO array tipe 4x4.

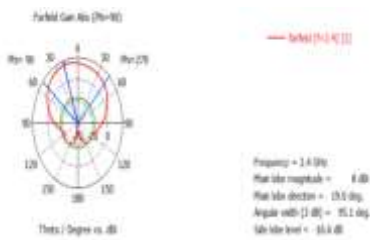
Return loss yang diperoleh maksimum pada -9,74 dB dan memenuhi kriteria uji parameter antena mikrostrip. Nilai tersebut lebih kecil dari kriteria -9,54 dB dan hasil ini menunjukkan terdapat matching antena pada feedline dan berkas atau beam gelombang yang dipantulkan tidak mendominasi gelombang yang dikirim. Berdasarkan hasil return loss ini, antena MIMO array tipe 4x4 yang didesain dapat bekerja pada frekuensi 2,4 GHz Wi-Fi.

Penguatan antena atau *gain* untuk antena MIMO array tipe 4x4 yang diperoleh ialah sebesar 8,002 dBi maksimum di wilayah *farfield* antena pada frekuensi 2,4 GHz seperti pada Gambar 4 dan hasil ini menunjukkan ada peningkatan kuat sinyal dari kuat sinyal dimensi awal antena melalui pengamatan kinerja *gain*.



Gambar 4 Gain antena MIMO array tipe 4x4.

Pada *gain* 8,002 dBi, radiasi antena menghasilkan pola direksional *beam* maksimum yang ditunjukkan oleh *main lobe* arah 19° di Gambar 5. Penggunaan jumlah slot dan optimasi dimensi antena pada antena MIMO array tipe 4x4 yang didesain menunjukkan ada penurunan tingkat *side lobe beam* dari -10,6 dB menjadi -16,6 dB sehingga *main lobe beam* mencapai nilai maksimum untuk *unidirectional beam* radiasi.



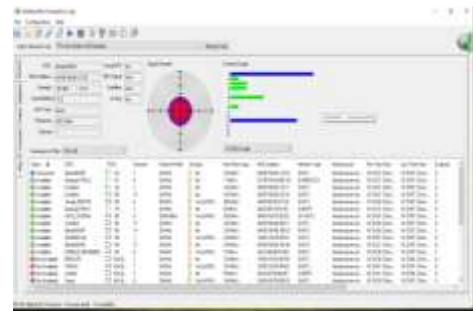
Gambar 5 Direksional *beam* antena MIMO array tipe 4x4.

Setelah penentuan karakter antena MIMO array tipe 4x4 telah diperoleh dan ada kesesuaian kriteria syarat VSWR, *return loss*, *gain* dan bentuk *beam* radiasi maka antena MIMO array tipe 4x4 yang diaplikasikan pada frekuensi 2,4 GHz dapat dirancang bangun seperti pada Gambar 6 yaitu



Gambar 6 Rancangan antena MIMO array tipe 4x4.

Antena MIMO array tipe 4x4 yang telah dirancang bangun kemudian diuji kinerjanya pada perangkat *mobile user* yang bekerja secara *wireless* dalam mengakses layanan internet melalui Wi-Fi. Hasil purwarupa antena MIMO array 4x4 dikoneksikan ke perangkat *notebook* yang dapat menerima sinyal Wi-Fi. Pada saat layanan akses internet yang diuji adalah layanan video maka dilakukan pengukuran *Received Signal Strength Indicator* (RSSI) menggunakan perangkat lunak *WirelessMon* untuk mengukur nilai RSSI pada perangkat yang terhubung dengan purwarupa antena. Hasil RSSI yang diperoleh adalah -63 dBm seperti pada Gambar 7 yaitu



Gambar 7 Level RSSI sinyal Wi-Fi dengan antena MIMO array tipe 4x4.

Tingkat indikator RSSI menunjukkan bahwa antena MIMO array tipe 4x4 dengan desain pada Gambar 6 dan karakteristik antena yang dimiliki dapat bekerja pada teknologi Wi-Fi dengan *band* frekuensi 2,4 GHz.

KESIMPULAN

Antena *Multiple Input Multiple Output* (MIMO) tipe array 4x4 telah didesain dan berhasil dalam memenuhi syarat-syarat parameter uji kinerja berdasarkan VSWR lebih kecil sama dengan 2 yaitu 1,96, *return loss* yang hasilnya lebih kecil sama dengan -9,54 dB yaitu maksimum di -9,74 dB, *gain* 8,002 dBi dan *Received Signal Strength Indicator* (RSSI) -63 dBm. Penggunaan metode slot pada antena tersebut menunjukkan kinerja antena dapat bekerja pada frekuensi Wi-Fi di 2,4 GHz. Optimasi slot yang diaplikasikan pada *patch array* sebagai karakter antena MIMO 4x4 array dibutuhkan dalam memperoleh pola radiasi *gain* yang direksional dan antena berfungsi dengan baik pada perangkat *wireless*. Pengembangan yang dapat diterapkan dari penelitian ini di masa mendatang yaitu pengukuran *bandwidth* antena, aplikasi slot pada jenis *patch* atau substrat dielektrik lainnya serta analisis penambahan jumlah array atau jarak antar array pada antena MIMO.

DAFTAR PUSTAKA

- Anggraini, T. D.(2020). Desain Antena Multiple Input Multiple Output 4x4 Dual Band Menggunakan Patch Hybrid Pada Teknologi Wireless Local Area Network 802.11. Palembang, Universitas Sriwijaya.
- Basherlou, H. J., Parchin, N. O., and Abd-Alhameed, R. A.(2019). MIMO Monopole Antenna Design with Improved Isolation for 5G WiFi Applications. *International Journal of Emerging Engineering Research and Technology* Volume 7, Issue 12, 2019, PP 1-5. ISSN 2349-4395 (Print) & ISSN 2349-4409 (Online).
- Biwahakimi, N. B., Arseno, D., dan Wahyu, Y.(2018). Perancangan dan Realisasi Antena Mikrostrip MIMO 2x2 Patch Persegi Panjang Dengan H-Slot, Untuk WIFI 802.11N 5,2 GHZ. *e-Proceeding of Engineering : Volume 5, No. 3 Desember 2018* page 5320 – 5327. ISSN 2355-9365
- Faradila, Sumajudin, B., dan Yunita, T.(2019). Perbandingan Pencatuan Inset Feed dan EMC (Electromagnetically Coupled) Pada Antena MIMO Berslot Dual Band. *e-Proceeding of Engineering Vol.6, No. 2 Agustus 2019*: 4645-4650.
- Jones, K. A. S., Olivia, L. N., dan Syihabuddin, B.(2017). Perancangan Antena MIMO 2x2 Array Rectangular Patch dengan U-Slot untuk Aplikasi 5G. *Jurnal Nasional Teknik Elektro dan Teknologi Informasi (JNTETI)* Volume 6 No. 1 Februari 2017.
- Kadir, E. A.(2017). A Reconfigurable MIMO Antenna System for Wireless Communications. *Proceeding EECISI 2017, Yogyakarta, Indonesia, 19-21 September 2021*, pp 668-671.
- Pratama, E. dan Safrianti, E.(2017). Perancangan Antena Mikrostrip Circular Patch MIMO 2x2 Untuk Aplikasi Wireless Fidelity (WiFi) Pada Frekuensi Kerja 2,4 GHz. *Jom FTEKNIK* Volume 4 No. 1 Februari 2017.
- Ruswanditya, A.S., Wijanto, H., dan Wahyu, Y.(2017). Antena Microstrip MIMO 8x8 Array 2 Patch Rectangular H-Slot Untuk Radio Akses 5G Frekuensi 15 GHz. *Jurnal Teknika (Jurnal Penelitian dan Pengembangan Telekomunikasi, Kendali, Komputer, Elektrik, dan Elektronika)* Voume 2 No. 1.
- Saidah, N. dan Rahayu, V.(2021). Simulasi Desain Antena Mikrostrip Patch Rectangular Dengan Slot Persegi Panjang & Slot T Pada Ground Plane Untuk Frekuensi WiFi (2,4 GHz). *Jurnal Matematika & Sains* Volume 1 No. 2 Agustus 2021.
- Surjati, I.(2010). Antena Mikrostrip: Konsep dan Aplikasinya. Universitas Trisakti: 48-49.