

Rancang Bangun dan Analisis Performa Antena Mikrostrip Array 4x4 untuk Aplikasi *Wireless Fidelity* 5 (WiFi 5)

Oleh : Catur Budi Waluyo^{1*}, Akmal Raid Ibrahim², Muhammad Rakha Nata Pradana³, Thomas Agung Setyawan⁴, Ari

Sriyanto Nugroho⁵, Eni Dwi Wardihani⁶, Helmy⁷

¹²³⁴⁵⁶⁷Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Semarang

Jl. Prof. Sudarto, S.H., Tembalang, Semarang, 50275

Email : catur_budiwaluyo@yahoo.co.uk

Abstrak

Perkembangan teknologi komunikasi nirkabel menuntut adanya perangkat antena dengan kinerja tinggi, terutama untuk mendukung standar Wi-Fi 5 (IEEE 802.11ac) yang beroperasi pada frekuensi 5,8 GHz. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan merealisasikan antena mikrostrip array 4x4 yang memiliki gain tinggi, return loss rendah, serta efisiensi radiasi yang baik guna meningkatkan kualitas komunikasi nirkabel. Metode penelitian yang digunakan adalah prototype, dimulai dari perhitungan dimensi antena secara teoritis, simulasi menggunakan CST Studio Suite 2024, optimasi desain, hingga fabrikasi pada substrat FR-4 epoxy. Antena kemudian diuji menggunakan Lite Vector Network Analyzer (VNA) serta Trainer Kit, dengan parameter yang diamati meliputi Return Loss, VSWR, Bandwidth, Gain, Pola Radiasi, Polarisasi, dan Directivity. Dari hasil pengujian menunjukkan bahwa antena dapat bekerja dengan baik pada frekuensi 5760 ter khususnya pada Wi-Fi 5 kanal 155 dengan spesifikasi sebagai berikut. Antena DGS A bekerja pada frekuensi 5760 MHz mendapatkan nilai return loss sebesar -30,72 dB serta VSWR 1,09 dengan bandwidth sebesar 1,736%, impedansi 53,00 Ω , directivity 8,83 dBi, memiliki pola radiasi omnidirectional, polarisasi ellipse dan gain 5,85 dBi. Selanjutnya Antena DGS B bekerja pada frekuensi 5760 MHz mendapatkan nilai return loss sebesar -18,81 dB serta VSWR 1,26 dengan bandwidth sebesar 3,12%, impedansi 62,96 Ω , directivity 7,70 dBi, memiliki pola radiasi omnidirectional, polarisasi ellipse dan gain 3,95 dBi. Lalu pada Antena tanpa DGS bekerja pada frekuensi 5760 MHz mendapatkan nilai return loss sebesar -31,23 dB serta VSWR 1,12 dengan bandwidth sebesar 2,96%, impedansi 56,14 Ω , directivity 9,62 dBi, memiliki pola radiasi omnidirectional, polarisasi ellipse dan gain 3,45 dBi.

Kata kunci: Antena mikrostrip, Array 4x4, FR-4, Wi-Fi 5, Access Point.

Abstract

The development of wireless communication technology demands high-performance antenna devices, especially to support the Wi-Fi 5 (IEEE 802.11ac) standard operating at 5.8 GHz. This research aims to design and realize a 4x4 microstrip array antenna with high gain, low return loss, and good radiation efficiency to improve the quality of wireless communication. The research method used is a prototype, starting from theoretical antenna dimension calculations, simulations using CST Studio Suite 2024, design optimization, and fabrication on an FR-4 epoxy substrate. The antenna was then tested using Lite Vector Network Analyzer (VNA) and Trainer Kit, with the observed parameters including Return Loss, VSWR, Bandwidth, Gain, Radiation Pattern, Polarization, and Directivity. The test results show that the antenna can work well at a frequency of 5760, especially on Wi-Fi 5 channel 155 with the following specifications. DGS A antenna works at a frequency of 5760 MHz, getting a return loss value of -30.72 dB and a VSWR of 1.09 with a bandwidth of 1.736%, an impedance of 53.00 Ω , a directivity of 8.83 dBi, has an omnidirectional radiation pattern, elliptical polarization and a gain of 5.85 dBi. Furthermore, the DGS B antenna operating at a frequency of 5760 MHz achieved a return loss of -18.81 dB and a VSWR of 1.26 with a bandwidth of 3.12%, an impedance of 62.96 Ω , a directivity of 7.70 dBi, an omnidirectional radiation pattern, elliptical polarization, and a gain of 3.95 dBi. The antenna without DGS operating at a frequency of 5760 MHz achieved a return loss of -31.23 dB and a VSWR of 1.12 with a bandwidth of 2.96%, an impedance of 56.14 Ω , a directivity of 9.62 dBi, an omnidirectional radiation pattern, elliptical polarization, and a gain of 3.45 dBi.

Keywords: Microstrip Antenna, 4x4 Array, FR-4, Wi-Fi 5, Access Point.

I. PENDAHULUAN

Pengembangan Wi-Fi 5, berdasarkan standar IEEE 802.11ac, telah secara signifikan meningkatkan kemampuan komunikasi nirkabel, terutama di pita 5 GHz, yang

menawarkan *Bandwidth* yang lebih besar dan gangguan yang berkurang dibandingkan dengan pita 2, 4 GHz. Namun, tantangan tetap ada, termasuk masalah terkait kemacetan saluran dan cakupan, yang dapat sangat berdampak pada

Kualitas Pengalaman (QoE) bagi pengguna yang terlibat dalam aplikasi dengan permintaan tinggi seperti konferensi video dan *streaming Virtual Reality* (Gurbilek dkk, 2023). Wi-Fi 5 menghadapi beberapa tantangan, termasuk keterbatasan *Bandwidth* dan gangguan, yang dapat diatasi secara efektif menggunakan antenna mikrostrip. Desain antenna mikrostrip, seperti U-slot dan konfigurasi yang digabungkan dengan jarak, telah terbukti meningkatkan *Bandwidth* secara signifikan, mencapai nilai sekitar 230 MHz dan Gain sekitar 3,97 dBi, membuatnya cocok untuk aplikasi Wi-Fi 5 (Septayadi dkk, 2018). Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan guna menjawab tantangan dalam perancangan antenna mikrostrip yang memiliki *Gain* tinggi serta tetap mempertahankan ukuran yang kompak dan efisiensi yang baik.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Berkaitan dengan judul Penelitian yang ditentukan, berikut adalah beberapa tinjauan pustaka yang dapat dijadikan referensi penyusunan Penelitian ini. Salah satu penelitian yang telah dilakukan oleh Subagio, B. dkk, (2023) yaitu berjudul “Perancangan antenna mikrostrip menggunakan substrat di elektrik kevlar-tepung kaca komposit”. Dalam penelitian ini, dilakukan desain antenna mikrostrip patch square dengan menggunakan aplikasi CST STUDIO SUITE 2019 dan Pembuatan antenna mikrostrip menggunakan substrat dengan bahan komposit yang bisa bekerja pada frekuensi 2,4 GHz.

Penelitian yang dilakukan oleh Mathur, P., & Arrawatia, M. (2020) berjudul “*High gain series fed planar microstrip antenna array using printed L-probe feed*”. Penelitian ini membahas tentang desain high Gain antenna mikrostrip array dengan menggunakan pengumpan L-probe coaxial. Pengumpan L-probe memberikan parameter desain tambahan untuk menambah impedansi antenna array sehingga didapatkan hasil Gain antenna yang tinggi yaitu sekitar 15.5 dBi.

Penelitian yang dilakukan oleh Prakoso, T. dkk, (2023) berjudul “*A 5.8 GHz Circularly Polarized Microstrip Antenna Array for 1U CubeSat*” membahas perancangan antenna mikrostrip array 4x4 dengan polarisasi melingkar yang dioptimasi menggunakan teknik sequential-rotation untuk aplikasi satelit berukuran kecil (1U CubeSat) pada frekuensi 5,8 GHz. Hasil simulasi menunjukkan bahwa desain ini mampu menghasilkan gain puncak sebesar 13,34 dBic dengan performa bandwidth dan rasio aksial yang stabil untuk mendukung kebutuhan komunikasi data pada platform satelit yang kompak.

Penelitian yang dilakukan oleh Olawoye, T. O., & Kumar, P. (2020) berjudul “*A High Gain Microstrip Patch Antenna with Slotted Ground Plane for Sub-6 GHz 5G*

Communications” pada penelitian ini dibahas mengenai desain antenna single patch dengan bentuk rectangular yang beroperasi pada frekuensi 5 GHz, antenna tersebut menggunakan substrat FR-4 epoxy dan menghasilkan Gain maksimum sebesar 5.49 dBi serta Bandwidth sebesar 300 MHz.

Penelitian yang dilakukan oleh Rusdiyanto dkk. (2025) memberikan kontribusi penting bagi pengembangan antenna mikrostrip pada pita C-Band melalui penerapan teknik *Defected Ground Structure* (DGS) dan metode parasitik seri untuk meningkatkan performa antenna. Teknik tersebut sangat relevan untuk diadaptasi pada perancangan array 4x4 guna meminimalkan efek mutual coupling antar elemen serta meningkatkan direktivitas pada frekuensi WiFi 5 (5.8 GHz). Dengan mengintegrasikan metode ini, antenna yang dibangun diharapkan memiliki gain yang lebih tinggi dan efisiensi transmisi data yang lebih stabil sesuai kebutuhan standar komunikasi nirkabel modern.

Penelitian oleh Sherila (2025) memberikan landasan teknis mengenai penggunaan metode *Defected Ground Structure* (DGS) dan stub slot untuk meningkatkan isolasi serta performa pada desain antenna MIMO 5G. Penerapan teknik stub slot tersebut sangat relevan untuk diadopsi pada konfigurasi array 4x4 guna menekan interferensi antar elemen dan memperluas *bandwidth* operasional pada frekuensi WiFi 5. Dengan merujuk pada hasil penelitian tersebut, perancangan antenna WiFi 5 ini dapat dioptimalkan untuk mencapai stabilitas parameter S11 yang lebih baik meskipun memiliki kepadatan elemen yang tinggi.

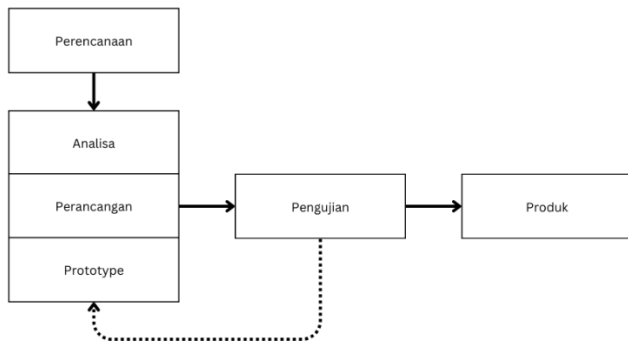
Penelitian oleh Khaikal dkk. (2024) memberikan kontribusi pada pengembangan sistem *beamforming* melalui rancang bangun *Butler Matrix* 4x4 yang mampu mengarahkan pola radiasi antenna secara presisi. Implementasi matriks ini sangat relevan untuk diintegrasikan dengan antenna mikrostrip array 4x4 WiFi 5 guna meningkatkan direktivitas serta meminimalkan interferensi pada frekuensi 5.8 GHz. Dengan mengadopsi teknik distribusi daya dan pengaturan fasa tersebut, performa antenna dapat dioptimalkan untuk menghasilkan jangkauan sinyal yang lebih luas dan stabil bagi komunikasi data kecepatan tinggi.

Penelitian Handayani dkk (2025) mengenai antenna mikrostrip MIMO 2x2 dengan elemen *square patch U-slot* memberikan referensi penting dalam penggunaan teknik slot untuk meningkatkan *bandwidth* dan isolasi pada antenna mikrostrip. Meskipun bekerja pada frekuensi 2,3 GHz, konsep U-slot tersebut dapat diadaptasi pada penelitian antenna array 4x4 Anda untuk mengoptimalkan impedansi dan performa pada pita frekuensi WiFi 5 (5,8 GHz). Dengan mengintegrasikan teknik pemotongan slot dari penelitian tersebut, antenna array yang Anda rancang dapat memiliki

dimensi yang lebih kompak namun tetap menghasilkan gain yang tinggi serta pola radiasi yang stabil.

III. METODE PENELITIAN

Pada Penelitian ini metode yang digunakan adalah penelitian Prototype. Metode prototype adalah sebuah proses di mana para peneliti membuat versi awal atau model produk, sistem untuk menguji dan mengumpulkan umpan balik tentang desain dan fungsinya sebelum mengembangkannya sepenuhnya, yang memungkinkan penyempurnaan berulang berdasarkan masukan pengguna dan evaluasi selama proses penelitian. Untuk langkah-langkah metodologi penelitiannya ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Flowchart Metode Prototype

3.1 Perencanaan Kebutuhan

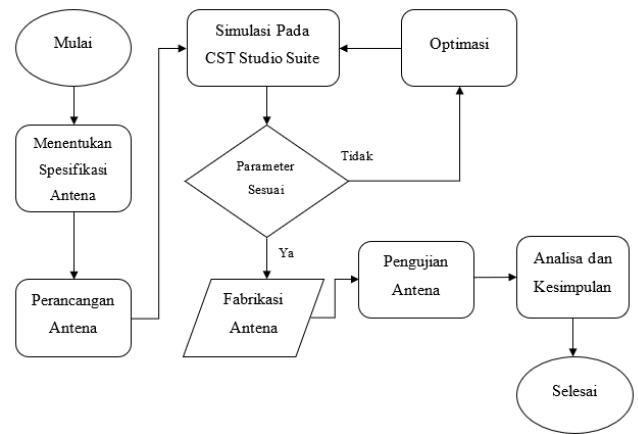
Perencanaan kebutuhan dilakukan untuk menentukan perangkat keras dan perangkat lunak. Perangkat keras meliputi *Access Point* 5G, Lite VNA, Spectrum Analyzer, Signal Generator, serta komponen transmisi seperti bahan FR-4, konektor SMA, dan pigtail. Perangkat lunak yang digunakan adalah CST Studio Suite untuk simulasi antenna dan WireShark untuk pengujian antenna dan *access point*.

3.2 Analisa

Pada tahap ini, hasil perhitungan pada parameter antenna sudah didapatkan yang akan menjadi acuan pembuatan antenna mikrostrip. Pada tahap ini juga dilakukan analisa hasil yang sudah didapatkan pada pembuatan prototype yang hasilnya masih kurang memuaskan.

3.3 Perancangan Sistem

Perancangan sistem dimulai dengan menentukan bahan dan frekuensi kerja antenna yang akan direalisasikan kemudian menghitung parameter antenanya, selanjutnya melakukan simulasi pada CST Studio Suite dan fabrikasi serta optimasi antenna yang sudah dibuat. Berikut adalah alur perancangan sistem keseluruhan yang akan ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram Blok Perancangan Sistem

Perancangan dimulai dengan menentukan substrat antenna yang akan dipakai yaitu memakai epoxy FR-4 dan menentukan konstanta dielektriknya yaitu diangka 4,0 hingga 4,5. Setelah itu tentukan juga frekuensi kerja yang akan direalisasikan pada antenna, di penelitian ini antenna akan digunakan pada Wi-Fi 5 yaitu di sekitar 5700 MHz hingga 5800 MHz. Langkah selanjutnya setelah mengetahui substrat dan frekuensi kerja yang akan digunakan antenna adalah menghitung menggunakan rumus teori untuk menentukan dimensi *patch* antenna dan juga pengumpannya. Hasil perhitungan yang diperoleh bisa langsung disimulasikan pada perangkat lunak CST Studio Suite. Berikut adalah karakteristik awal antenna mikrostrip yang akan dibuat:

Antena Mikrostrip Rectangular *Patch* 4x4

Frekuensi Kerja : 5,8 GHz

Pola Radiasi : *Omnidirectional*

VSWR : < 2

Return Loss : ≤ - 10 dB

Gain : > 5 dB

Untuk rincian perhitungan dimensi antenanya adalah sebagai berikut.

- a. Menentukan panjang gelombang (λ_0)

$$\lambda_0 = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8 \text{ m/s}}{5.755 \times 10^9 \text{ Hz}} = 52,128 \text{ mm}$$

- b. Menentukan lebar *patch* (W_p)

$$W_p = \frac{c}{2f_r \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2}}} = \frac{3 \times 10^8}{2 \times 5.755 \times 10^9 \sqrt{\frac{4.4 + 1}{2}}} = 15.862 \text{ mm}$$

- c. Menentukan panjang *patch* (L_p)

$$L_p = L_{eff} - 2\Delta L = 14.66 - 2(0.74) = 13.18 \text{ mm}$$

$$L_{eff} = \frac{c}{2f_r \sqrt{\epsilon_{reff}}} = \frac{3 \times 10^8 \text{ m/s}}{2 \times 5.755 \times 10^9 \text{ Hz} \times \sqrt{3.84}} = 14.66 \text{ mm}$$

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

$$\Delta L = 0.412(1.6) \frac{(3.84 + 0.3) \left(\frac{15.862}{1.57} + 0.264 \right)}{(3.84 - 0.258) \left(\frac{15.862}{1.6} + 0.8 \right)} = 0.74$$

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

$$\epsilon_{reff} = \frac{4.4 + 1}{2} + \frac{4.4 - 1}{2} \left(\frac{1}{1 + 12 \times \frac{1.6}{15.862}} \right) = 3.84$$

- d. Menentukan jarak spacing antar patch (S)

$$\lambda_d = \frac{c}{2f_r \sqrt{\epsilon_{reff}}} = \frac{3 \times 10^8}{2 \times 5.755 \times 10^9 \times \sqrt{4.4}} = 24.851 \text{ mm}$$

$$S = \frac{1}{2} \lambda_d = \frac{24.851}{2} = 13.97 \text{ mm}$$

- e. Menghitung ukuran total Array 4x4, Panjang Array (L_{array}) dan Lebar Array (W_{array})

$$L_{array} = 4 L_p + 3 S = 4 \times 13.18 \text{ mm} + 3 \times 13.97 \text{ mm} = 94.63 \text{ mm}$$

$$W_{array} = 4 W_p + 3 S = 4 \times 15.862 \text{ mm} + 3 \times 13.97 \text{ mm} = 105.368 \text{ mm}$$

- f. Menentukan Panjang Ground (LG) dan Lebar Ground (WG)

$$L_g = L_{array} + 6 h = 94.63 \text{ mm} + 6 \times 1.6 \text{ mm} = 104.23 \text{ mm}$$

$$W_g = W_{array} + 6 h = 105.368 \text{ mm} + 6 \times 1.6 \text{ mm} = 114.968 \text{ mm}$$

- g. Menentukan Panjang Substrate (LS) dan Lebar Substrate (WS) akan mengikuti besaran dari total ground dan array yang sudah dihitung. Dengan penambahan sedikit panjang agar posisi ground dan array tidak terlalu sempit dan masih ada ruang.

$$L_s \geq L_g = 104.23 \text{ mm} \approx 120 \text{ mm}$$

$$W_s \geq W_g = 114.968 \text{ mm} \approx 130 \text{ mm}$$

- h. Menentukan Impedansi Antena (Z_A)

$$Z_A = 90 \frac{(\epsilon_r)^2}{(\epsilon_r - 1)} \left(\frac{L}{W} \right)^2 = 90 \frac{(4.4)^2}{(4.4 - 1)} \left(\frac{13.18}{15.86} \right)^2 = 353.91 \Omega$$

- i. Mengukur Nilai T-Junction (Z_{TJ})

$$Z_{TJ} = \sqrt{Z_{50} \times 88.47} = 66.5 \Omega$$

- j. Lebar T-Junction 66.5Ω ($W_{70.7}$)

$$W_{66.5} = \frac{377h}{Z_{TJ} \sqrt{\epsilon_r}} = \frac{377 \times 1.6 \text{ mm}}{66.5 \Omega \times \sqrt{4.3}} = 4.32 \text{ mm}$$

- k. Menentukan Impedansi Stripline 88.47Ω pada saluran pencatu dan T-Junction ($Z_{88.47}$)

- l. Lebar Stripline 88.47Ω pada saluran pencatu dan T-Junction ($W_{88.47}$)

$$W_{88.47} = \frac{377h}{Z_{88.47} \sqrt{\epsilon_r}} = \frac{377 \times 1.6 \text{ mm}}{88.47 \Omega \times \sqrt{4.4}} = 3.25 \text{ mm}$$

- m. Menentukan Impedansi paralel dari setiap saluran pencatu paralel (Z_p)

$$Z_p = \frac{1}{\frac{1}{Z_p}} = \frac{1}{Z_{88.47}} + \frac{1}{Z_{88.47}}$$

$$\frac{1}{Z_p} = \frac{1}{88.47} + \frac{1}{88.47}$$

$$Z_p = \frac{88.47}{2}$$

$$Z_p = 44.23 \Omega$$

- n. Lebar Stripline paralel (WZ_p)

$$WZ_{TJ} = \frac{377h}{Z_{TJ} \sqrt{\epsilon_r}} = \frac{377 \times 1.6 \text{ mm}}{44.23 \Omega \times \sqrt{4.4}} = 6.5 \text{ mm}$$

- o. Menentukan impedansi masukan Feedline sebesar 50 Ω (Z_0)

- p. Lebar Feedline Impedansi masukan (W_{50})

$$WZ_p = \frac{377h}{Z_p \sqrt{\epsilon_r}} = \frac{377 \times 1.6 \text{ mm}}{50 \Omega \times \sqrt{4.4}} = 5.75 \text{ mm}$$

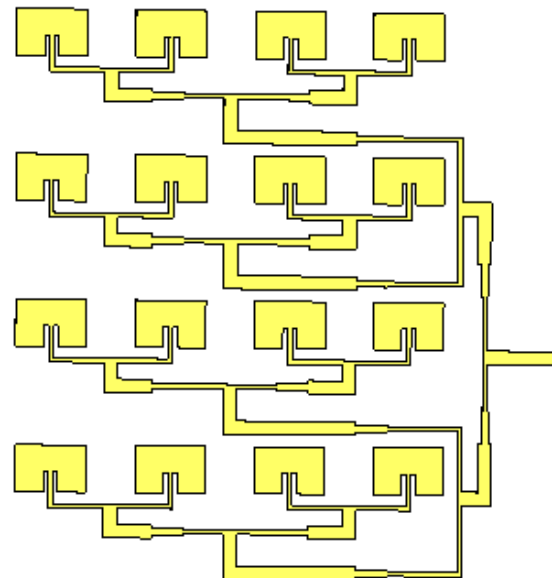
- q. Menentukan panjang Feedline (L_f)

$$L_f = \frac{\lambda_d}{4}$$

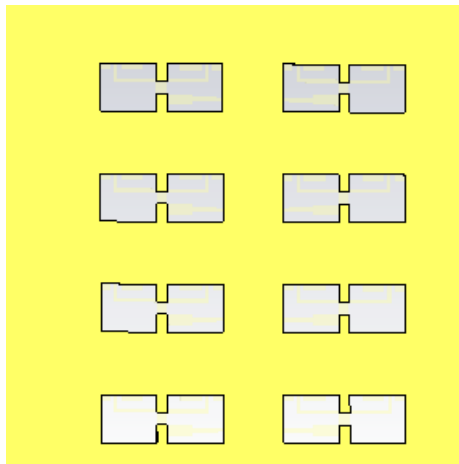
$$L_f = \frac{24.851 \text{ mm}}{4}$$

$$L_f = 6.21 \text{ mm}$$

Selanjutnya dari semua hasil perhitungan diatas dapat digunakan untuk simulasi pada aplikasi CST Studio Suite untuk setiap bagian- bagian antenanya dan menghasilkan hasil visual yang tampak seperti Gambar 3 dan 4.



Gambar 3. Desain Visual pada CST Studio Suite



Gambar 4. Desain Visual Ground DGS Boolean

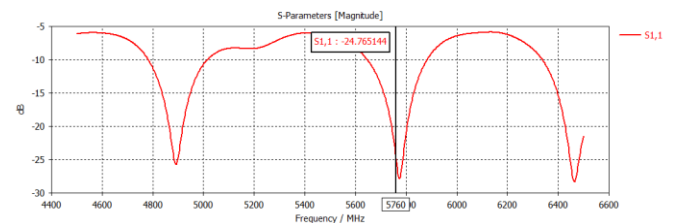
Setelah desain antenna telah dibuat berdasarkan dimensi-dimensi yang ditentukan, langkah selanjutnya adalah melakukan simulasi untuk melihat hasil dari parameter antenna yang lain apakah sudah sesuai dengan kebutuhan atau belum. Jika sudah maka tahap selanjutnya adalah fabrikasi sedangkan belum akan dilakukan optimasi terlebih dahulu. Untuk hasil simulasi *Return loss* dan VSWR bisa dilihat pada Gambar 5 dan Gambar 6.

Hasil simulasi *Return Loss* dan VSWR yang didapat dari desain antenna ini memiliki angka *Return Loss* -24,7654144 dan VSWR 1,1226361 pada frekuensi 5760 MHz yang dimana masih pada rentang frekuensi kerja Wi-Fi 5. Jika sebelumnya hasil belum memenuhi spesifikasi parameter, maka akan dilakukan optimisasi. Optimasi desain antenna dilakukan agar hasil dari desain antenna memenuhi spesifikasi parameter yang dilakukan dengan cara melakukan perubahan pada ukuran *Patch*, *Transformer*, *Stripline*, *Stripline Parallel* dan *Feed*, sehingga hasil desain antenna bisa dilanjutkan pada tahap fabrikasi antenna.

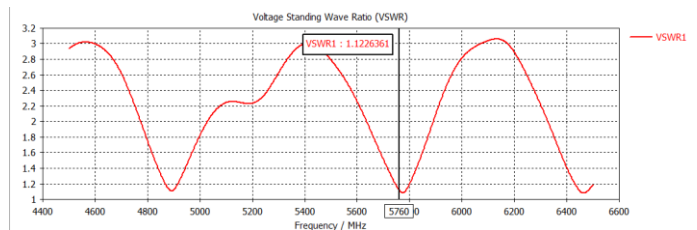
3.4 Fabrikasi Antena

Setelah dilakukan simulasi dan optimasi pada perangkat lunak *CST Studio Suite*, dilanjutkan dengan fabrikasi antenna dari hasil perhitungan optimasi. Tahapan-tahapan dalam fabrikasi antenna yaitu:

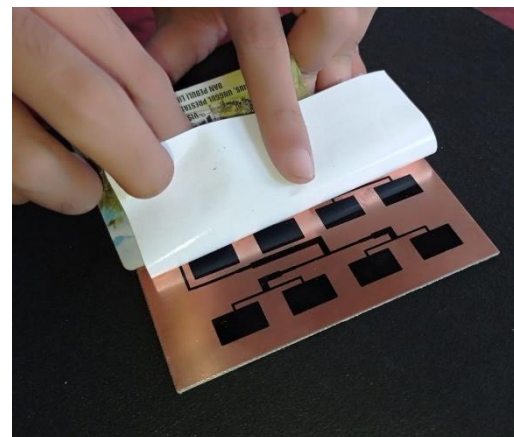
- PCB dan substrat yang akan digunakan dipotong sesuai ukuran antenna.
- Bagian substrat diberikan dengan sedikit air untuk persiapan penempelan stiker sablon antenna.
- Stiker antenna ditempelkan pada PCB sampai menutupi seluruh bagian PCB, kemudian di lepas secara perlahan sambil ditekan per-bagian agar stiker menempel secara sempurna seperti pada Gambar 7.



Gambar 5. Hasil Simulasi *Return Loss*



Gambar 6. Hasil Simulasi VSWR



Gambar 7 Proses penempelan stiker pada PCB

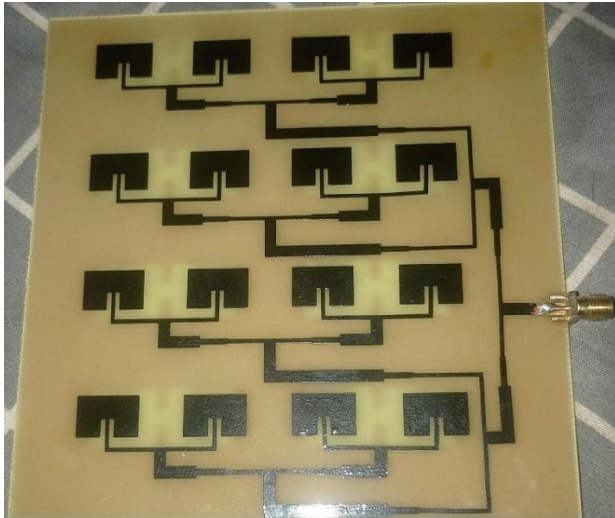
- Langkah selanjutnya yaitu proses *etching*, PCB yang sudah ada stiker sablon dilarutkan menggunakan campuran larutan air, H_2O_2 , dan HCl dengan perbandingan 3:2:1 seperti pada Gambar 8.



Gambar 8 Proses *Etching*

- Sisa stiker yang masih menutupi bagian *feeding line* dibersihkan untuk persiapan pemasangan konektor.
- Langkah terakhir yaitu memasang konektor SMA-50 *female* dan antenna siap diuji dengan hasil akhir seperti

pada Gambar 9.



Gambar 9 Antena mikrostrip yang telah di fabrikasi

3.5 Pengujian dan Pengumpulan data

Setelah dilakukan fabrikasi antena, dilanjutkan pada tahap pengujian paramter parameter dari antena seperti *Return Loss*, *VSWR*, *Gain*, pola radiasi, dan polarisasi antena. Tempat pengujian dilaksanakan di Politeknik Negeri Semarang. Alat ukur yang digunakan untuk pengujian antena yaitu *Lite Vector Network Analyzer* dan *Trainer Kit*.

3.5.1 Pengujian menggunakan Lite VNA

Pada pengujian *Return Loss*, *VSWR*, dan Impedansi menggunakan *LiteVNA*. Langkah – langkah proses pengujian menggunakan *LiteVNA* sebagai berikut:

- Mempersiapkan antena mikrostrip yang akan diuji dan alat.
- Mengatur frekuensi di *LiteVNA* pada stimulus dengan rentang frekuensi 5,7 GHz hingga 5,8 GHz dan 5,6 GHz pada center.
- Melakukan kalibrasi pada *LiteVNA* dengan hubungan open, short, load dan through secara bergantian untuk validasi pengukuran dengan cara membuat kondisi alat ukur sesuai standar.
- Setelah dilakukan kalibrasi, menghubungkan antena uji dengan konektor port 1 *LiteVNA* menggunakan kabel penghubung konektor 50 Ω .
- Tampilan parameter yang akan dilihat hasil pengukuran pada display setup yaitu impedansi, grafik *Return Loss*, dan grafik *VSWR*. Setelahnya catat hasil dari pengujian tersebut.

3.5.2 Pengujian pada antena trainer kit

Untuk pengujian pola radiasi, polarisasi, *Directivity* dan *Gain* akan menggunakan antena *trainer kit*. Berikut adalah langkah langkah dalam mempersiapkan dan menggunakan antena *trainer kit*:

- Menyiapkan antena mikrostrip yang akan diuji, dan antena referensi dari *Access Point*. Untuk alat ujinya

menggunakan antena *trainer kit*, sinyal generator, dan *spectrum analyzer*. Untuk perangkat lunak pendukungnya memakai *Arint SSA* dan *Origin 2024*.

- Kalibrasi perangkat yang akan digunakan untuk mengukur antena dengan menyambungkan *RF Out* pada *Signal Generator* secara langsung ke *RF In* pada *Spectrum Analyzer*. Selanjutnya hubungkan *Spectrum Analyzer* dengan port power ke USB pada laptop kemudian nyalakan *Spectrum Analyzer* dan atur ke frekuensi kerja sesuai *Signal Generator*. Setelah itu hidupkan *Signal Generator* dan ubah frekuensi sesuai dengan *Spectrum Analyzer* lalu tekan *Point* untuk membangkitkan frekuensi tersebut. Setelah terkalibrasi matikan *Signal Generator* dengan menekan *Stop* dan lepaskan kabel dari *Spectrum Analyzer* dengan *Signal Generator*.
- Setelah dilakukan kalibrasi, hubungkan antena mikrostrip yang akan di uji dengan *Spectrum Analyzer* dan Antena Referensi dengan *Signal Generator*.
- Menghidupkan *Signal Generator* dan atur frekuensi kerja antena (pada pengujian kali ini diatur pada 5760 MHz) dan pilih *Point* maka *Signal Generator* sudah mengirimkan daya ke Antena Referensi.
- menghidupkan *Spectrum Analyzer* pada bagian *Frequency* dan atur sesuai dengan frekuensi kerja antena (5760 MHz).
- Menghitung jarak *near field* dan *far field* pada antena referensi dan AUT, karakteristik medan listrik (*E-field*) dan medan magnet (*H-field*) dapat berubah tergantung pada jarak antara kedua antena. Semakin dekat jarak antar antena, intensitas medan akan meningkat, tetapi fase gelombang akan berlawanan 90° sehingga daya efektif yang diterima menurun, disebut *near field*. Sebaliknya, semakin jauh jaraknya, intensitas medan menurun, terjadi delay, tetapi fase selaras sehingga daya efektif yang diterima meningkat. Setiap antena memiliki karakteristik berbeda sesuai desain dan tujuan. Untuk pengukuran, penting memahami perbedaan jarak ini. Persamaan jarak *Far Field* dapat dihitung dengan rumus berikut ini:

$$R > \frac{2D^2}{\lambda}$$

Keterangan :
 λ = Panjang Gelombang dari Frekuensi Kerja Antena
D = Dimensi Antena
- Posisikan antena yang akan di tes pada posisi horizontal dan vertikal untuk mendapatkan hasil variasi pola radiasi, *Directivity* dan *Gain*.
- Untuk tes polarisasi bisa dengan memposisikan antena referensi diatas dari antena yang akan di tes
- Selanjutnya amati dan catat perubahan daya yang diterima antena mikrostrip pada setiap 10° dengan software *ArintSSA* . Amati perubahan daya yang

diterima dari 0° sampai 360° .

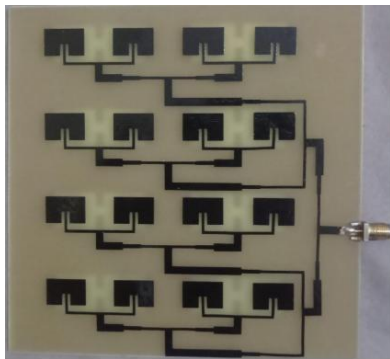
- j. Catat hasil daya yang didapatkan pada Antena di kemudian lakukan normalisasi dengan perhitungan normalisasi yaitu $power\ (dB) - max\ power\ (dB)$.
- k. Setelah didapatkan hasil dari pengukuran *Trainer Kit* kemudian lakukan olah data plotting menggunakan aplikasi *Excel* dan *Origin2024* untuk mendapatkan hasil pola radiasi, polarisasi, *Directivity*, dan *Gain*.

IV. HASIL PERANCANGAN

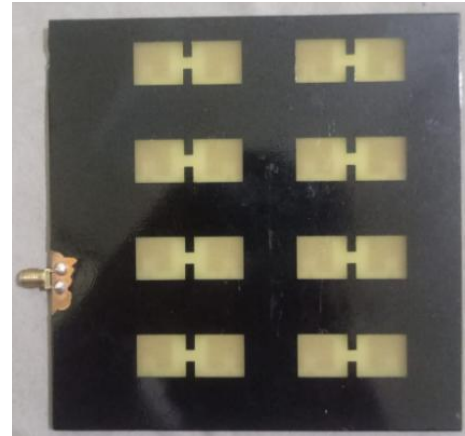
Bagian ini menguraikan hasil dari desain dan realisasi fisik antena yang telah disimulasikan serta hasil pengujian pada Lite VNA dan antena trainer kit pada bab sebelumnya.

4.1 Antena dengan ground DGS

Pada bagian depan antena mikrostrip *array* merupakan sisi atas substrat yang memperlihatkan susunan elemen *patch* antena dalam konfigurasi *array* dengan pola pencatutan menggunakan jalur mikrostrip 4x4. Pada bagian tepi substrat dipasang konektor tipe SMA sebagai penghubung antena dengan perangkat pengukuran. Sisi belakang antena merupakan lapisan *ground plane* yang telah dimodifikasi. Pada bagian *ground* dibuat pola celah persegi panjang berlekuk (*Defected Ground Structure/DGS*) yang tersusun seperti pada Gambar 10 dan Gambar 11. Celah-celah ini terlihat simetris dan sejajar terhadap susunan *patch* di sisi atas substrat, sesuai dengan desain awal.



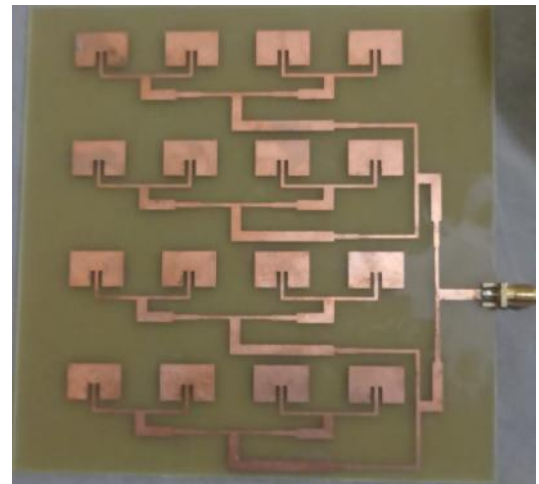
Gambar 10. Hasil Antena Mikrostrip Array 4x4



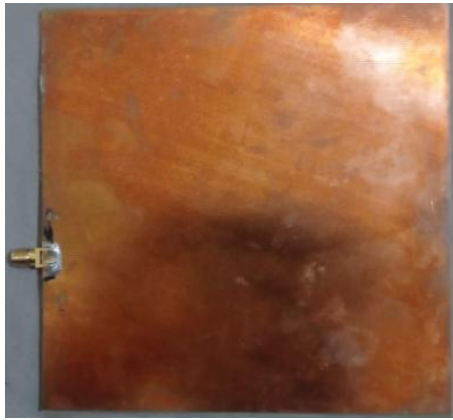
Gambar 11 Hasil fisik Ground DGS

4.2 Antena Tanpa ground DGS

Bagian depan antena mikrostrip *array* merupakan sisi atas substrat yang memperlihatkan susunan elemen *patch* antena dalam konfigurasi *array* dengan pola pencatutan menggunakan jalur mikrostrip 4x4. Pada bagian tepi substrat dipasang konektor tipe SMA sebagai penghubung antena dengan perangkat pengukuran. Sisi belakang antena merupakan lapisan *ground plane* antena yang membedakan adalah pada antena ini tidak menggunakan DGS boolean. Seperti pada Gambar 12 dan Gambar 13. Dimana ini akan mempengaruhi hasil pengujian antena nantinya.



Gambar 12. Hasil Antena Mikrostrip Array 4x4



Gambar 13 Hasil fisik antenna tanpa Ground DGS

V. HASIL PENGUJIAN

5.1 Pengujian Parameter Antena

Pengujian parameter antena ini akan menggunakan Lite VNA dan juga Trainer kit untuk melihat beberapa parameter antena yang akan dihasilkan seperti *Return Loss*, *VSWR*, *Bandwidth*, Impedansi, Pola Radiasi, Polarisasi, Directivity, dan juga Gain. Untuk hasil pengujiannya adalah pada Tabel 1.

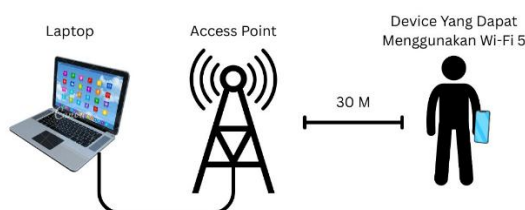
Tabel 1 Hasil Pengujian Parameter Antena

No	Pengujian	Antena DGS A	Antena DGS B	Antena tanpa DGS
1.	<i>Return Loss</i>	-30,72 dB	-18,81 dB	-31,23 dB
2.	VSWR	1,09	1,26	1,12
3.	<i>BW</i>	100 MHz	180 MHz	179 MHz
4.	Impedansi	53,00 Ω	62,96 Ω	56,14 Ω
5.	Pola Radiasi	<i>Omnidirectional</i>	<i>Omnidirectional</i>	<i>Omnidirectional</i>
6.	Polarisasi	<i>Ellipse</i>	<i>Ellipse</i>	<i>Ellipse</i>
7.	<i>Directiviti</i>	8,83 dBi	7,70 dBi	9,52 dBi
8.	<i>Gain</i>	5,85 dBi	3,95 dBi	3,45 dBi

Hasil menunjukan antena DGS A memiliki parameter yang lebih bagus dibandingkan antena dua lainnya kecuali pada parameter *bandwidth* dan juga *directivity*

5.2 Pengujian Antena pada aplikasi WireShark

Pengujian Wireshark adalah aplikasi *capture* paket data berbasis *open-source* yang memiliki kemampuan untuk memindai dan mengumpulkan trafik data dari jaringan internet. Selain itu, sebagai alat dekripsi yang terintegrasi, Wireshark memungkinkan peneliti untuk menilai kinerja jaringan yang diuji sekaligus menganalisa terkait perubahan data tiap waktunya.



Gambar 14 Skema Pengujian Antena pada Software WireShark

Pada gambar 14 menunjukkan pengujian kali ini akan berfokus pada bagaimana kinerja *Access Point* dari yang awalnya memakai antena referensi kemudian diganti menggunakan antena mikrostrip 4x4 *array rectangular patch* baik salah satu maupun keduanya dengan menggunakan laptop sebagai perangkat pengirim dan *handphone* sebagai perangkat penerima. Tabel 2 berikut adalah perbandingan dari pengujian menggunakan aplikasi WireShark.

Tabel 2 Perbandingan Hasil Pengujian aplikasi WireShark

No	Kanan	Kiri	Throughput (Mbps)	Packet Hilang	Delay (ms)	litter (ms)
1	Antena <i>Access Point</i>	Antena <i>Access Point</i>	36,05	17	5,60	1,77
2	Antena <i>Access Point</i>	Antena DGS A	38,54	19	3,38	2,05
3	Antena DGS B	Antena DGS A	50,66	31	3,22	2,62
4	Antena AP	Antena tanpa DGS	41,84	48	4,70	1,95
5	Antena DGS A	Antena tanpa DGS	32,94	25	3,68	6,96

Dengan beberapa data yang diuji adalah sekitar 750 hingga 1000 data dikirimkan dalam jarak 1 meter yang akan ditampilkan rata-ratanya pada Tabel 3.

Tabel 3 Rata-rata data hasil uji menggunakan WireShark

Data	Waktu	Raw Throughput	Packet Dikirim	Packet Diterima	Raw Jitter
502.776.891	111,62	36.034.896,33	480.609	480.592	0,001772
505.962.795	105,02	38.542.204,91	471.006	470.987	0,002053
496.898.183	78,47	50.484.956,36	433.064	433.033	0,002619
502.832.540	96,14	41.841.692,53	464.900	464.852	0,48
506.558.920	123,04	32.936.210,66	457.235	457.210	0,25

Hasil dari kelima pengujian tersebut menunjukkan bahwa dua antena DGS yang digunakan pada *access point* mampu menambah performa pengiriman data ditunjukan dengan throughput yang paling besar dengan angka 50,66 Mbps dan delay paling sedikit yaitu 3,22 ms meskipun masih lebih banyak data yang hilang saat pengiriman kemungkinan disebabkan oleh faktor lain seperti lingkungan pengukuran dan pengukur sendiri. Selanjutnya adalah pengujian performa berdasarkan jarak yang telah ditentukan yaitu kelipatan 30 meter hingga 150 meter.

Tabel 4 Hasil pengujian pada jarak 30 meter

Aspek	I (Antena <i>Access Point</i>)	II (Antena DGS A dan B)	III (Antena DGS A dan TA)
Throughput	38,13 Mbps	42,26 Mbps	37,14 Mbps

Aspek	I (Antena Access Point)	II (Antena DGS A dan B)	III (Antena DGS A dan TA)
RSSI	-57 dBm	-56 dBm	-59 dBm
EIRP	27 dBm	27,85 dBm	25,45 dBm
Delay	11,66 ms	7,95 ms	19,79 ms
Packet Loss	1,35%	1,40%	1,63%

Data menunjukkan bahwa antenna DGS yang digunakan untuk mengganti antenna bawaan *Access Point* berhasil meningkat dari sisi kecepatan pengiriman data, RSSI, EIRP, dan *delay*. Namun masih sedikit mengalami kehilangan beberapa paket data dibandingkan pengujian antenna bawaan.

Tabel 5 Tabel Pengujian Access Point Pada Jarak 60 meter

Aspek	I (Antena Access Point)	II (Antena DGS A dan B)	III (Antena DGS A dan TA)
Throughput	26,66 Mbps	33,45 Mbps	37,74 Mbps
RSSI	-61 dBm	-59 dBm	-64 dBm
EIRP	27 dBm	27,85 dBm	25,45 dBm
Delay	5,65 ms	7,21 ms	6,80 ms
Packet Loss	2,81%	2,50%	2,65%

Data menunjukkan bahwa antenna DGS yang digabung dengan antenna dengan *groundplane* biasa mendapatkan kecepatan pengiriman data yang lebih tinggi. Namun untuk aspek lain seperti RSSI, EIRP, dan sedikitnya paket yang hilang masih diungguli dengan dua antenna DGS walaupun *delay*nya paling tinggi.

Tabel 6 Tabel Pengujian Access Point Pada Jarak 90 meter

Aspek	I (Antena Access Point)	II (Antena DGS A dan B)	III (Antena DGS A dan TA)
Throughput	17,97 Mbps	13,69 Mbps	19,54 Mbps
RSSI	-67 dBm	-68 dBm	-70 dBm
EIRP	27 dBm	27,85 dBm	25,45 dBm
Delay	8,68 ms	11,68 ms	6,81 ms
Packet Loss	4,43%	4,82%	5,09%

Data menunjukkan bahwa *Access Point* mulai menurun performanya dengan menggunakan antenna bawaan sekaligus. Untuk pengujian ketiga didapatkan nilai *throughput* dan *delay* yang paling kecil pada jarak ini, namun untuk paket yang hilang selama pengiriman data jadi yang paling besar.

Tabel 7 Tabel Pengujian Access Point Jarak 120 meter

Aspek	I (Antena Access Point)	II (Antena DGS A dan B)	III (Antena DGS A dan TA)
Throughput	15,59 Mbps	12,80 Mbps	12,77 Mbps
RSSI	-71 dBm	-70 dBm	-73 dBm
EIRP	27 dBm	27,85 dBm	25,45 dBm
Delay	5,45 ms	8,44 ms	4,40 ms
Packet Loss	7,09%	8,14%	7,73%

Data menunjukkan bahwa performa dari ketiga antenna fabrikasi yang digunakan mengalami penurunan lagi meskipun untuk dua antenna DGS mendapatkan RSSI yang lebih kecil dan pengujian ketiga mendapatkan *delay* yang lebih kecil.

Tabel 8 Tabel Pengujian Access Point Jarak 150 meter

Aspek	I (Antena Access Point)	II (Antena DGS A dan B)	III (Antena DGS A dan TA)
Throughput	15,37 Mbps	12,79 Mbps	12,17 Mbps
RSSI	-78 dBm	-73 dBm	-75 dBm
EIRP	27 dBm	27,85 dBm	25,45 dBm
Delay	6,73 ms	9,38 ms	6,23 ms
Packet Loss	9,84%	10,65%	10,76%

Data menunjukkan bahwa performa *Access Point* hampir mirip dengan jarak 120 meter. Pada jarak ini antenna DGS kembali memiliki performa yang lebih bagus namun dengan *delay* dan paket yang hilang selisih sedikit dengan antenna bawaan *Access Point*.

Dari kelima hasil pengujian jarak diatas bisa disimpulkan bahwa di beberapa situasi antenna DGS unggul dalam menambah performa *Access Point* yang digunakan. Beberapa situasi seperti paket yang hilang lebih banyak, *delay* lebih besar ataupun kecepatan transfer data yang lebih rendah kemungkinan disebabkan karena toleransi redaman kabel tambahan yang digunakan untuk konektor antenna ke *Access Point*, kondisi lingkungan pengujian yang pada beberapa situasi dilewati oleh kendaraan ataupun orang, dan juga faktor perangkat yang digunakan.

VI. KESIMPULAN

Berdasarkan rangkaian pengujian dan analisis yang telah dilakukan menghasilkan beberapa kesimpulan berikut, yaitu :

1. Antena mikrostrip yang telah dirancang dan difabrikasi menggunakan DGS maupun yang tidak menggunakan DGS pada frekuensi kerja 5.760 MHz memiliki hasil *return loss* dan VSWR sebesar -30,72 dB dan -31,23 dB dengan nilai VSWR 1,09 dan 1,12 dengan nilai

- impedansi 53 Ω dan 56,14 Ω .
2. Antena fabrikasi memiliki *bandwidth* 100 MHz untuk antena yang menggunakan DGS dan 179 MHz dengan *gain* sebesar 5,85 dBi dan 3,45 dBi.
 3. Kedua antena fabrikasi memiliki pola radiasi dan polarisasi yang sama, berpola radiasi *directional* dan berpolarisasi elips.
 4. Berdasarkan hasil perhitungan dan pengujian, antena memiliki EIRP sebesar 27,85 dBm lebih tinggi dibandingkan antena referensi yang memiliki EIRP 27 dBm. Peningkatan ini bisa dipengaruhi oleh *gain* dari antena fabrikasi yang lebih besar dan saluran transmisi yang memiliki redaman dengan *loss* lebih sedikit. Dengan demikian, antena mikrostrip terbukti mampu memancarkan daya yang lebih efektif tanpa redaman yang terlalu besar.
 5. Antena yang difabrikasi berhasil bekerja pada frekuensi yang dibutuhkan oleh Wi-Fi 5 dan siap digunakan untuk mengganti atau menambah performa Wi-Fi 5 ditunjukan dengan adanya peningkatan *throughput* sebesar 10,83% dari antena bawaan dan menghasilkan nilai rata-rata sebesar 42,26 Mbps sampai jarak 90 meter.

DAFTAR PUSTAKA

- Gurbilek, G., & Onalan, A. G. (2023, July). Work-in-Progress: An Empirical Study of the Joint Effects of WiFi Coverage and Channel Congestion on Quality of Experience in 5 GHz Band. In *2023 IEEE International Black Sea Conference on Communications and Networking (BlackSeaCom)* (pp. 396-401). IEEE.
- Septayadi, M. E., Arseno, D., & Wahyu, Y. (2018). Perancangan dan Realisasi Antena Mikrostrip Patch Persegi Panjang dengan U Slot dan Proximity Coupled untuk WiFi 5, 5 GHz. *Bandung: Universitas Telkom*.
- Subagio, B. B., Nursyahid, A., Anggraeni, D., Khusna, E. M., & Khamami, K. (2023, May). PERANCANGAN ANTENA MICROSTRIP MENGGUNAKAN SUBSTRAT DIELEKTRIK KEVLAR-TEPUNG KACA KOMPOSIT. In *Prosiding Seminar Hasil Penelitian dan Pengabdian Masyarakat* (Vol. 5, No. 1).
- Mathur, P., & Arrawatia, M. (2020, July). High gain series fed planar microstrip antenna array using printed I—probe feed. In *2020 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation and North American Radio Science Meeting* (pp. 589-590). IEEE.
- Prakoso, T., Sukoriyanti, E., Novitasari, K. L., & Riyadi, M. A. (2023, November). A 5.8 GHz Circularly Polarized Microstrip Antenna Array for 1U CubeSat. In *2023 IEEE International Conference on Communication, Networks and Satellite (COMNETSAT)* (pp. 33-38). IEEE.
- Olawoye, T. O., & Kumar, P. (2020, August). A high gain microstrip patch antenna with slotted ground plane for sub-6 GHz 5G communications. In *2020 International Conference on Artificial Intelligence, Big Data, Computing and Data Communication Systems (icABCD)* (pp. 1-6). IEEE.
- Rusdiyanto, D., Muslim, M., Astuti, D. W., Adhiyoga, Y. G., & Apriono, C. (2025). The Design of Microstrip Antenna Using DGS and Series Parasitic Methods for C-Band Applications in Satellite Communications. *JOURNAL OF INFORMATICS AND TELECOMMUNICATION ENGINEERING*, 8(2), 303-312.
- Sherila, A. M. (2025). MIMO Antenna Design with Defected Ground Structure and Stub Slot for 5G Application. *Journal of Telecommunication Electronics and Control Engineering (JTECE)*, 7(2), 188-198.
- Khaikal, A., Akbar, F. S., & Rachmaningrum, N. (2024). Rancang Bangun Buttlar Matrix 4X4 Untuk Beamforming Antena Array Pada Aplikasi 5G. *Journal of Computer, Electronic, and Telecommunication (COMPLETE)*, 5(1).
- Handayani, E. (2025). Rancang Bangun Antena Mikrostrip Mimo 2× 2 Square Patch U-Slot Untuk Komunikasi 5g Frekuensi 2, 3 GHz. *JURNAL TEKNOLOGI INDUSTRI*, 14(2), 77-83.

