Antena Mikrostrip Dual-Band Menggunakan Metode Parasitik, *Defected Ground Structure* dan U Slot

Hanny Madiawati[1], Adisti Nastiti[2]

[1,2]Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012
[1]E-mail : hannymadiawati@polban.ac.id
[2]E-mail : adisti.nastiti.tkom421@polban.ac.id

ABSTRAK

Antena mikrostrip memainkan peran penting dalam sistem komunikasi nirkabel, terutama untuk mendukung aplikasi Wi-Fi yang berada pada frekuensi 2.4 GHz dan 5.1 Ghz. Dalam penelitian ini, telah dirancang dan direalisasikan antena mikrostrip dual band yang mampu bekerja secara optimal pada kedua frekuensi tersebut dengan metode parasitik dan slot berbentuk U pada patch utama serta tambahan DGS untuk memperluas *bandwidth* dan meningkatkan *gain*. Desain antena menggunakan bahan substrat Rogers Duroid 5880 dengan εr sebesar 2.2, h sebesar 1.575 mm dan tan δ yaitu 0.0009. Elemen parasitik ditambahkan di sekitar patch utama untuk menghasilkan resonansi dual band, sedangkan teknik pencatuan proximity coupled digunakan untuk meningkatkan *bandwidth*. Spesifikasi antena pada penelitian ini adalah band frekuensi 2.4 GHz dan 5.1 GHz dengan *bandwidth* ≥ 100 MHz, serta *gain* ≥ 5 dB di setiap frekuensi kerja. Hasil simulasi didapat *bandwidth* 309 MHz dan 171 MHz serta *gain* 5.266 dBi dan 8.695 dBi untuk masing – masing frekuensi. Sementara, hasil pengukuran memperoleh *bandwidth* masing – masing 388 MHz dan 388 MHz, serta *gain* 8.84 dBi dan 11.3 dBi.

Kata Kunci
Antena mikrostrip, dual band, elemen parasitic, DGS, U slot, bandwidth

Microstrip antennas play an important role in wireless communication systems, especially to support Wi-Fi applications at 2.4 GHz and 5.1 GHz frequencies. In this study, a dual band microstrip antenna has been designed and realized that is able to work optimally at both frequencies with a parasitic method and a U-shaped slot on the main patch and additional DGS to expand the bandwidth and increase the gain. The antenna design uses Rogers Duroid 5880 substrate material with an εr of 2.2, h of 1.575 mm and tan δ of 0.0009. Parasitic elements are added around the main patch to produce dual band resonance, while the proximity coupled feeding technique is used to increase the bandwidth. The antenna specifications in this study are the 2.4 GHz and 5.1 GHz frequency bands with a bandwidth of ≥ 100 MHz, and a gain of ≥ 5 dB at each working frequency. The simulation results yielded bandwidths of 309 MHz and 171 MHz, with gains of 5.266 dBi and 8.695 dBi for each frequency. Meanwhile, the measurements yielded bandwidths of 388 MHz and 388 MHz, with gains of 8.84 dBi and 11.3 dBi, respectively.

Keywords
Antena mikrostrip, dual band, elemen parasitic, DGS, U slot, bandwidth

1. PENDAHULUAN

Antena mikrostrip banyak dipakai dalam berbagai aplikasi-aplikasi gelombang mikro, baik dari bidang akademis, industri maupun untuk penelitian (1). Hal itu dikarenakan antena mikrostrip memiliki keunggulan yaitu bentuk yang sederhana, efisien, ekonomis, dan mudah pembuatannya (2). Pita frekuensi 2.4 GHz umumnya digunakan pada antena Wi-Fi *single-band* yang merupakan salah satu teknologi utama yang digunakan untuk memenuhi kebutuhan berbagai perangkat komunikasi modern, tidak hanya untuk komputer dan laptop, tetapi juga untuk perangkat IOT, *smartphone*, dan berbagai teknologi modern (3). Oleh karena tingginya jumlah perangkat yang menggunakan frekuensi ini, pita 2.4 GHz menjadi padat dan tidak mampu merespons permintaan secara optimal (4).

Pita frekuensi 5 GHz juga telah digunakan pada perangkat Wi-Fi yang memiliki tingkat kepadatan yang lebih rendah dibandingkan pita 2.4 GHz, sehingga memungkinkan pencapaian kecepatan transmisi data yang lebih tinggi (5). Oleh karena itu, diperlukan metode yang dapat meningkatkan performa antena dalam mendukung komunikasi nirkabel dual-band pada frekuensi 2.4 GHz dan 5.1 GHz.

Penelitian sebelumnya telah mengkaji antena mikrostrip dengan metode parasitik, seperti penelitian oleh (6) yang menggunakan struktur parasitik untuk meningkatkan *gain*. Meskipun berhasil meningkatkan *gain*, kelemahan utama dari penelitian ini adalah *bandwidth* yang tetap terbatas. Adapun pada penelitian (7) yang melakukan penelitian dengan metode tambahan parasitik dan u-slot masih ditemukan masalah pada *gain* yang rendah. Meskipun *gain* antena sudah memenuhi spesifikasi, tetapi peningkatannya belum cukup maksimal sehingga disarankan untuk menggabungkan elemen parasitik dengan elemen lain yang mampu meningkatkan *gain* antena. Sementara itu, penelitan (8) membuktikan bahwa DGS dengan bentuk dumbbell berpengaruh terhadap pelebaran *bandwidth*, terbukti dengan

peningkatan *bandwidth* sebesar 31% dibandingkan dengan antena konvensional. Penggunaan teknik pencatuan *proximity coupled* yang dilakukan oleh (9), di mana patch diletakkan di atas substrat untuk meningkatkan *bandwidth*.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Antena Mikrostrip

Antena mikrostrip secara umum terdiri dari tiga bagian utama (4). Bagian pertama adalah patch, yang berada pada lapisan paling atas dan berfungsi meradiasikan gelombang elektromagnetik ke ruang bebas. Bagian kedua adalah substrat, yaitu material dengan nilai dielektrik tertentu yang dapat menyimpan energi medan listrik sekaligus meneruskan gelombang elektromagnetik dari saluran pencatuan. Bagian ketiga adalah groundplane, yang terletak pada lapisan paling bawah dan berfungsi memantulkan gelombang elektromagnetik yang tidak diinginkan melalui substrat menuju ruang bebas. Dua hal terpenting yang mempengaruhi seberapa baik antena mikrostrip bekerja, yaitu ukuran dan bentuk (10).

Perhitungan dimensi antena menggunakan rumus dari (4) ditunjukkan pada persamaan berikut:

$$W = \frac{c}{2f}\sqrt{\frac{2}{\varepsilon_r + 1}} \quad (1)$$

$$L = \frac{C}{2f\sqrt{\varepsilon_{reff}}} - 2\Delta L \quad (2)$$

$$\varepsilon_{reff} = \frac{\varepsilon_r + 1}{2} + \frac{\varepsilon_r - 1}{2}\left([1 + \frac{12h}{W}]^{-\frac{1}{2}}\right) \quad (3)$$

$$\frac{\Delta L}{h} = 0{,}412\,\frac{(\varepsilon_{reff} + 0{,}3)(\frac{W}{h} + 0{,}264)}{(\varepsilon_{reff} - 0{,}258)(\frac{W}{h} + 0{,}813)} \quad (4)$$

Dengan keterangan W adalah lebar patch dan L adalah panjang patch, c adalah kecepatan cahaya ruang hampa, ε_r adalah permitivitas relatif bahan, ε_{reff} adalah permitivitas efektif konstan, h adalah ketebalan substrat dan ΔL adalah perubahan panjang L.

2.2 Metode Parasitik

Metode parasitik merupakan metode penambahan elemen parasitik berupa *patch* sekunder yang diletakkan berdekatan dengan *patch* utama (7). Metode ini bertujuan untuk meningkatkan atau memperlebar *bandwidth* dengan menambahkan beban pada patch antena (11) dan juga untuk menghasilkan dua rentang frekuensi kerja yang berbeda (12).

2.3 Metode U-Slot

Antena mikrostrip memiliki bandwidth sempit, namun dapat diperluas dengan menambahkan slot pada patch-nya (13). Metode u-slot dilakukan dengan memotong bagian patch dengan bentuk huruf U (7). Slot pada patch selain untuk memperbesar nilai *bandwidth* ternyata pada beberapa pengujian dapat juga meningkatkan nilai parameter-parameter antena lainnya menjadi lebih baik (14).

2.4 Defected Ground Structure

Defected ground structure (DGS) merupakan metode pencacatan *ground*, menghilangkan sebagian bidang *ground* sehigga dapat menekan gelombang permukaan dan meningkatkan kinerja *bandwidth* suatu antena (15). Dalam penelitian ini DGS yang digunakkan berbentuk *dumbell* dengan cara menentukan ukuran yang tepat guna mendapatkan hasil yang optimal.

2.5 Spesifikasi Antena

Antena mikrostrip yang dirancang memiliki spesifikasi yang ditunjukkan pada Tabel 1 berikut:

Tabel 1. Spesifikasi Antena

Parameter	Spesifikasi
Frekuensi Kerja	2.4 GHz dan 5.1 GHz
Bandwidth pada 10 dB	≥ 100 MHz pada masing-masing frekuensi
Gain	≥ 5 dBi

2.6 Perancangan Antena

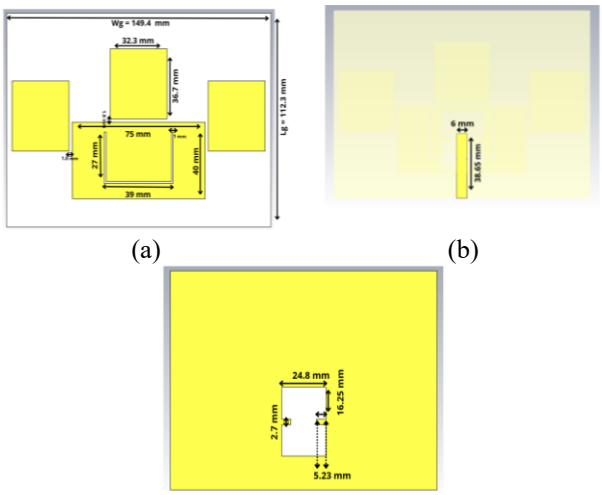
Perancangan antena dimulai dengan menetapkan spesifikasi serta perhitungan dimensi antena menggunakan persamaan yang telah dijelaskan sebelumnya. Substrat yang digunakan pada perancangan antena yaitu Rogers Duroid 5880 dengan yaitu εr 2.2, h yaitu 1.575 mm dan tan δ yaitu 0.0009. Berikut hasil perhitungan dimensi antena yang akan dirancang pada Tabel 2.

Tabel 2. Parameter Antena yang Akan Dirancang

Parameter	Nilai	Keterangan
W	53.5	Lebar *Patch*
L	37.5	Panjang *Patch*
Wg	72	Lebar *Ground*
Lg	63	Panjang *Ground*
Wf	6	Lebar *Feed*
Lf	15.3	Panjang *Feed*
t	0.035	Tebal *Copper*
h	1.575	Tebal Substrat

2.7 Simulasi

Antena dirancang dengan menggabungkan tiga metode secara bersamaan, yaitu elemen parasitik, U-slot, dan DGS tipe dumbbell, untuk menghasilkan performa dual-band yang optimal pada frekuensi 2.4 GHz dan 5.1 GHz. Berdasarkan hasil simulasi, kombinasi ketiga metode ini terbukti mampu memenuhi spesifikasi desain, baik dari segi *bandwidth*, *return loss*, maupun *gain*. Penggunaan U-slot pada patch utama berperan dalam mengarahkan karakteristik frekuensi kerja antena. Sebelumnya, penerapan elemen parasitik dan DGS saja menghasilkan respons multiband yang tidak sesuai dengan frekuensi target. Penambahan U-slot membantu menstabilkan pola resonansi, menghilangkan frekuensi-frekuensi tak diinginkan, dan secara efektif memunculkan dual-band yang tepat pada 2.4 GHz dan 5.1 GHz. Gambar 3 menunjukan rancangan antena dengan elemen parasitik dan penambahan struktur DGS serta U Slot.



(a) (b)

(c)

Gambar 1. Desain Antena Mikrostrip Menggunakan Elemen Parasitik dengan tambahan DGS dan U-Slot (a) Tampak Depan; (b) Jalur Feedline; (c) Tampak Belakang

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Simulasi

Hasil simulasi dari antena mikrostrip dual – band menggunakan elemen parasitik dengan tambahan DGS dan U-Slot terdapat pada Tabel 3 dan Tabel 4 untuk frekuensi 2.4 GHz dan 5.1 GHz.

Tabel 3. Tabel Perbandingan Spesifikasi dan Simulasi Antena pada Frekuensi 2.4 GHz

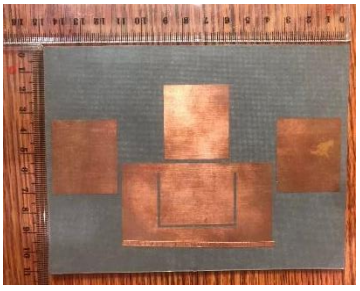
Parameter	Spesifikasi	Hasil Simulasi
Band Frekuensi (GHz)	2.4 -2.483,5	2.331 – 2.640
Bandwidth pada Return Loss ≥ 10 dB (MHz)	83,5	309
Gain (dBi)	≥ 5	5.266

Tabel 4. Tabel Perbandingan Spesifikasi dan Simulasi Antena pada Frekuensi 5.1 GHz

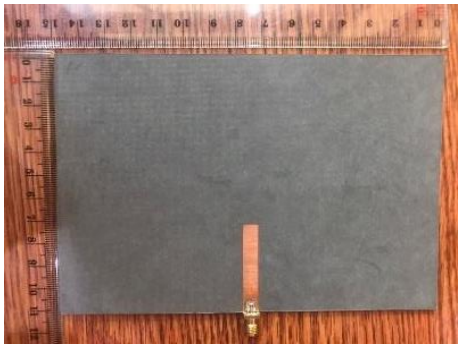
Parameter	Spesifikasi	Hasil Simulasi
Band Frekuensi (GHz)	5.15 – 5.25	5.123 – 5.294
Bandwidth pada Return Loss ≥ 10 dB (MHz)	100	171
Gain (dBi)	≥ 5	8.695

3.2 Hasil Fabrikasi Antena

Gambar 2, Gambar 3, Gambar 4 dan Gambar 5 menunjukkan desain antena yang telah difabrikasi sesuai dengan dimensi antena sebelumnya.



Gambar 2. Tampak Depan Antena



Gambar 3. Jalur Feedline Antena menggunakan *Proximity Couple*

Gambar 4. Tampak Belakang Antena

Gambar 5. Tampak Samping Antena

3.3 Hasil Pengujian

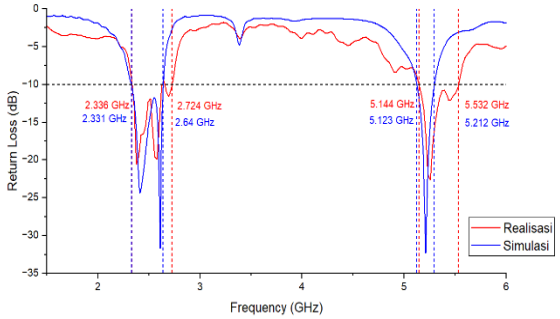
Antena yang telah di fabrikasi kemudian diuji menggunakan *Vector Network Analyzer* untuk memperoleh nilai – nilai parameter dari antena sebagai acuan kesesuaian terhadap spesifikasi yang telah dirancang sebelumnya. Parameter antena yang diuji yaitu frekuensi kerja, *bandwidth*, *gain* dan pola radiasi. Dari hasil pengukuran didapatkan nilai *bandwidth* yang tersaji pada Tabel 5 dan Tabel 6 beserta perbandingan dengan hasil dari simulasi yang di dapat.

Tabel 5. Hasil Pengukuran S-Parameter Antena pada Frekuensi 2.4 GHz

Hasil Antena	Band Frekuensi (GHz)	*Bandwidth* (MHz)
Spesifikasi	2.4 – 2.483,5	83,5
Pengukuran	2.336 – 2.724	388

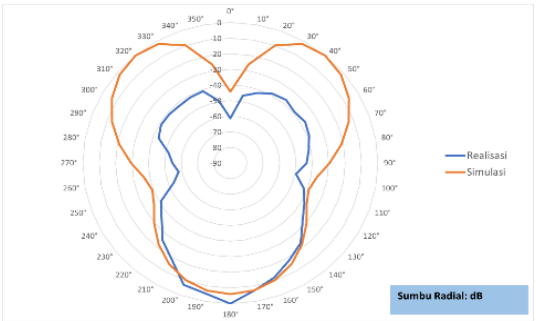
Tabel 6. Perbandingan Hasil Pengukuran dan Simulasi S-Parameter Antena pada Frekuensi 5.1 GHz

Hasil Antena	Band Frekuensi (GHz)	*Bandwidth* (MHz)
Spesifikasi	5.15 - 5.250	100
Pengukuran	5.144 – 5.532	388



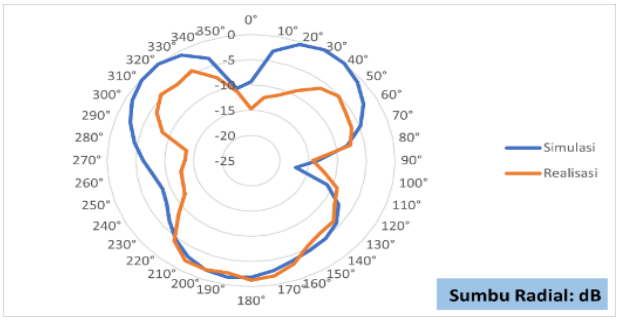
Gambar 6. Perbandingan Spesifikasi, Simulasi, dan Pengukuran S-parameter Antena

Hasil pengujian terhadap antena mikrostrip dual-band yang telah dirancang menunjukkan bahwa antena mampu beroperasi pada dua frekuensi utama, yaitu pada frekuensi 2.4 GHz dan 5.1 GHz sesuai dengan tujuan teknis untuk mendukung sistem komunikasi Wi-Fi. Gambar 6 merupakan grafik perbandingan S-Parameter hasil simulasi dengan hasil pengukuran yang telah di lakukan. Pada hasil pengukuran di dapatkan *bandwidth* sebesar 388 MHz untuk frekuensi 2.4 GHz dan 388 MHz untuk frekuensi 5.1 GHz. Sementara, hasil simulasi menunjukkan bahwa *bandwidth* pada frekuensi 2.4 GHz adalah 309 MHz dan pada frekuensi 5.1 GHz sebesar 171 MHz. Untuk frekuensi 2.4 GHz, terjadi selisih sebesar 79 MHz, yang berarti terdapat peningkatan sekitar 25,57 % terhadap hasil simulasi. Sementara itu, pada frekuensi 5.1 GHz, *bandwidth* meningkat sebesar 217 MHz, yang menunjukkan peningkatan sekitar 126,9% dari hasil simulasi.

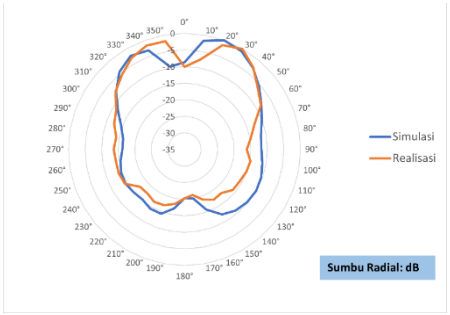


Gambar 7. Perbandingan simulasi dan pengukuran pola radiasi E-Field Frekuensi 2.4 GHz

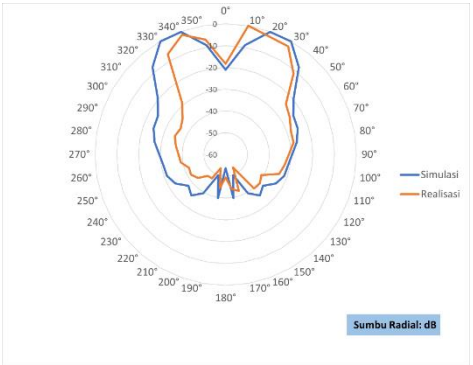
Gambar 7 dan Gambar 8 menunjukkan pola radiasi pada frekuensi 2.4 GHz. Pola radiasi medan listrik hasil simulasi dan pengukuran menunjukkan bahwa antena memancarkan energi utama ke arah 0°, sesuai dengan arah *main lobe* yang diharapkan. Ini menandakan bahwa antena telah berhasil diarahkan untuk memancarkan daya maksimum ke arah depan, yang penting untuk efisiensi sistem Wi-Fi. *Side lobe* terdeteksi pada beberapa sudut, namun dengan daya yang lebih rendah pada hasil pengukuran dibandingkan simulasi, menandakan pancaran sekunder yang lebih teredam secara nyata. Sementara itu, pola radiasi medan magnet memperlihatkan arah utama pancaran pada sudut 180°, ditandai dengan intensitas daya terbesar. Dibandingkan simulasi, hasil pengukuran menunjukkan penurunan level daya pada *main lobe* serta kemunculan *side lobe* pada sudut tertentu. Meski *side lobe* ini lebih dominan dalam simulasi, hasil pengukuran menunjukkan bahwa daya pada area tersebut lebih rendah, mengindikasikan performa antena yang lebih terfokus ke arah utama.



Gambar 8. Perbandingan simulasi dan pengukuran pola radiasi H-Field Frekuensi 2.4 GHz



Gambar 9. Perbandingan simulasi dan pengukuran pola radiasi E-Field Frekuensi 5.1 GHz



Gambar 10. Perbandingan simulasi dan pengukuran pola radiasi H-Field Frekuensi 5.1 GHz

Pola radiasi pada frekuensi 5.1 GHz yang terlihat pada Gambar 9 menunjukkan pola radiasi E-Field berada di sekitar 0° yang menunjukkan antena memancarkan daya terbesar ke arah depan. Selain itu, terdapat juga side lobe yang terlihat baik di simulasi maupun pengukuran dengan perbedaan pada tingkat intensitas dan lebar lobus. Sementara itu, pola radiasi H-Field juga mengarahkan main lobe di

sekitar sudut 0°, pada bidang ini pun terlihat sude lobe yang muncul secara signifikan dengan intensitas yang lebih rendah. Pada bagian 180° terdapat daya pancar yang relative rendah.

Parameter lainnya yaitu *gain* hasil pengukuran menunjukkan peningkatan dibandingkan dengan hasil simulasi, baik pada frekuensi 2.4 GHz maupun 5.1 GHz. Pada frekuensi 2.4 GHz, *gain* hasil simulasi adalah 5.266 dBi, sedangkan hasil pengukuran menunjukkan *gain* sebesar 8.84 dBi yang terdapat selisih sebesar 3.574 dBi atau peningkatan sekitar 67,9% dari nilai simulasi. Sementara pada frekuensi 5.1 GHz, *gain* hasil simulasi sebesar 8.695 dBi, sedangkan hasil pengukuran menunjukkan nilai *gain* sebesar 11.3 dBi atau sekitar 29,95% lebih tinggi dari nilai simulasi. Meskipun terdapat selisih nilai antara simulasi dan pengukuran, hasil realisasi tetap memenuhi spesifikasi desain awal yang membuktikan bahwa metode yang digunakan dalam desain antena ini efektif dalam menghasilkan performa *gain* yang tinggi.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan seluruh proses dari mulai perancangan, simulasi, dan pengujian dapat disimpulkan bahwa antena mikrostrip dual-band yang dirancang telah berhasil memenuhi tujuan utama, yaitu beroperasi pada frekuensi 2.4 GHz dan 5.1 GHz untuk mendukung sistem komunikasi Wi-Fi. Proses perancangan dilakukan secara bertahap dengan menerapkan metode elemen parasitik, U-slot, dan *Defected ground structure* (DGS) tipe dumbbell untuk membentuk karakteristik dual-band dan memperluas *bandwidth*.

Hasil simulasi menunjukkan *bandwidth* sebesar 309 MHz pada 2.4 GHz dan 171 MHz pada 5.1 GHz, sedangkan hasil pengukuran menunjukkan kenaikan *bandwidth* yaitu 388 MHz dan 388 MHz, masing-masing pada 2.4 GHz dan 5.1 GHz. Perbedaan ini mengindikasikan bahwa realisasi antena memiliki performa yang cukup baik dalam kondisi nyata, meskipun terdapat sedikit deviasi akibat faktor lingkungan laboratorium dan ketidaktepatan presisi saat fabrikasi.

Dari sisi *gain*, hasil simulasi pada frekuensi 2.4 GHz mendapatkan nilai 5.266 dBi sedangkan untuk frekuensi 5.1 GHz didapat nilai *gain* 8.695 dBi. Pada pengukuran antena terdapat kenaikan nilai *gain* yaitu menjadi 8.85 dBi dan 11.3 dBi. Kedua nilai baik dari simulasi maupun realisasi hasilnya tetap memenuhi spesifikasi. Sedangkan pola radiasi menunjukkan arah pancaran utama yang searah antara hasil simulasi dan pengukuran, dengan perbedaan kecil pada *back lobe* dan *side lobe*.

Secara keseluruhan, antena mikrostrip yang telah dirancang menunjukkan performa baik secara teknis, baik dari segi *bandwidth*, return loss, *gain*, maupun arah radiasi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak – pihak yang telah membantu dalam penelitian ini, terutama kepada Politeknik Negeri Bandung yang telah menyediakan pendanaan sehingga penelitian ini dapat terwujud.

DAFTAR PUSTAKA

1. Nikhaldo MA, Yulindon, Zurnawita, Firdaus. Mikrostrip Triple-Band Antena Untuk Aplikasi WLAN / WIMAX. Prosiding Seminar Nasional Terapan Riset Inovatif. 2020;6(1):828–835.
2. Paolo Y, Sojuaon P, Adya Pramudita A, Yunita T. Antena Mikrostrip Persegi Dengan Slot Bentuk N Pada Frekuensi 2,4 Ghz Untuk Sistem RFID. eProceedings of Engineering. 2021;5:1261-1268.
3. Susanti DT, Ulfah M. Desain Antena Mikrostrip MIMO Circular Patch Linear Array Untuk Aplikasi LTE 1,8 GHZ. Prosiding Seminar Nasional Terapan Riset Inovatif. 2020;6(1):811–819.
4. Balanis CA. Antenna Theory: Analysis and Design, Third Edition [Internet]. 3rd ed. Hoboken, NJ, USA: Wiley; 2016. Available from:https://mrce.in/ebooks/Antenna%20Theory%20Analysis%20&%20Design%204th%20Ed.pdf.
5. Kaplan Y, Gocen C. A Dual-Band Antenna Design for 2.4 and 5 GHz Wi-Fi Applications. *European Journal of Science and Technology*. 2022;(34):685–688.
6. Alam S, Media Rizka N, Surjati I, Marlina D. Rancang Bangun Antena Mikrostrip Patch Rectangular dengan Metode Parasitic untuk Meningkatkan Bandwidth. TEKTRIKA. 2020;5(1):1–5.
7. Marchellia, Barnas Simanjuntak A, Madiawati H. Desain Antena Mikrostrip Persegi Menggunakan Kombinasi U-Slot dan Elemen Parasitik pada Frekuensi 2.4 GHz. IRWNS. 2021 Aug 4;724–730.
8. Supriadi MP, Madhatillah N, Ludiyati H. Pengaruh *Defected Ground Structure* (DGS) Geometri Vertikal terhadap Antena Mikrostrip Berbahan Material Dielektrik Artifisial. IRWNS. 2021;638-644.
9. Aulia N, Elisma. Desain Antena Mikrostrip Array 2x4 dengan Teknik Pencatuan Proximity Coupled untuk Aplikasi 5G pada Frekuensi 2,6 GHz. IRWNS. 2021 Aug;12:717–723.
10. Briantoko ER, Firdaus RA, Dzulkiflih D, Khoiro M, Winarno N. Desain Antena Mikrostrip Dengan T-Shape Bentuk Slot Pada Jaringan Selular 5G. Jurnal Inovasi Fisika Indonesia. 2024;13(2):51–58.
11. Madiawati H, Rahmansyah R, Barnas Simanjuntak A. Antena Mikrostrip Multilayer Parasitik pada Frekuensi C Band Radar Cuaca. ELKOMIKA. 2023;11(4):933-944.
12. Alam S, Media Rizka N, Surjati I, Dewi Marlina P, Tjahjadi G. Desain Antena Mikrostrip dengan Multi Band Frekuensi Menggunakan Metode Parasitik. Jurnal Teknik: Media Pengembangan Ilmu dan Aplikasi Teknik. 2020;19(01):18–23.
13. Ardianto FW, Renaldy S, Lanang FF, Yunita T. Desain Antena Mikrostrip Rectangular Patch Array 1x2 dengan U-Slot Frekuensi 28 GHz. ELKOMIKA. 2019;7(1):43–56.
14. Septayadi ME, Arseno D, Wahyu Y. Perancangan dan Realisasi Antena Mikrostrip Patch Persegi Panjang dengan U Slot dan Proximity Coupled untuk WiFi 5,5 GHz. eProceedings Engineering. 2018;5:5328–5335.
15. Anthoni M, Asthan RS, Pascawati A, Maryopi D, Aziz MRK. Perancangan dan Simulasi Antena Mikrostrip MIMO 4×4 Rectangular Patch dengan Double U-Slot dan DGS pada Frekuensi 26 GHz untuk Aplikasi 5G. Journal of Science and Applicative Technology. 2021;5(2):371-381