

Perancangan Antena Mikrostrip *Dual Band Patch* Persegi Panjang dengan Slot pada Frekuensi 2,6 dan 5 GHz

Eva Yovita Dwi Utami¹, Nadia Permatasari Syailendra², dan Andreas Ardian Febrianto³

^{1,2,3} Program Studi Teknik Elektro, Universitas Kristen Satya Wacana, Salatiga

Copresponder Author : eva.utami@uksw.edu

Abstract — In this study, a dual-band rectangular patch microstrip antenna with a slot was designed at frequencies 2.6 GHz and 5 GHz. The antenna was simulated and fabricated using Duroid 5880 material with a dielectric constant of 2.2 and a thickness of 1.57 mm. The rectangular antenna is designed at a frequency of 2.6 GHz then a frequency of 5 GHz is obtained by adding two I-shaped slots on the patch. The simulation results show that for the frequency of 2.6 GHz, the VSWR value is 1.0807, the reflection coefficient is -28.225 dB, the gain is 7.34 dBi, and for the frequency of 5 GHz, the VSWR obtained is 1.0684, the reflection coefficient is -29.607 dB, and the gain is 7.68 dBi. The antenna is fabricated and measured. The measurement results show that for 2.6 GHz the antenna has a VSWR of 1.092, a reflection coefficient of -27.1 dB, and a gain of 10.6 dBi. As well as the results for 5 GHz show the antenna has a VSWR of 1.411, a reflection coefficient of -15.3 dB, a gain of 8.1 dBi, and a bandwidth of 124 MHz. Both simulation and measurement results show slotted dual-band rectangular patch microstrip antenna with frequencies of 2.6 GHz and 5 GHz is realizable.

eyword — microstrip, slot, dual-band, LTE

Abstrak — Pada penelitian ini dirancang antena mikrostrip *patch* persegi panjang *dual-band* dengan slot pada frekuensi 2,6 GHz dan 5 GHz. Antena *dual-band* disimulasikan dan difabrikasi menggunakan bahan Duroid 5880 dengan nilai konstanta dielektrik 2,2 dan ketebalan 1,57 mm. Antena *patch* persegi panjang dirancang pada frekuensi 2,6 GHz. Frekuensi 5 GHz diperoleh dengan penambahan dua slot berbentuk huruf “I”. Hasil simulasi menunjukkan antena dengan frekuensi 2,6 GHz memiliki *VSWR* sebesar 1,0807, koefisien refleksi sebesar -28,225 dB, *gain* mencapai 7,34 dBi dan untuk frekuensi 5 GHz diperoleh nilai *VSWR* sebesar 1,0684, koefisien refleksi senilai -29,607 dB, dan *gain* mencapai 7,68 dBi. Setelah antena direalisasikan, diperoleh hasil pengujian pada frekuensi 2,6 GHz adalah *VSWR* sebesar 1,092, nilai koefisien refleksinya -27,1 dB, *gain* mencapai 10,6 dBi, dan *bandwidth* sebesar 38 MHz. Sementara untuk frekuensi 5 GHz diperoleh *VSWR* bernilai 1,411, koefisien refleksi sebesar -15,3 dB, *gain* sebesar 8,1 dBi, dan *bandwidth* sebesar 124 MHz. Hasil simulasi maupun pengujian menunjukkan bahwa antena mikrostrip *patch* persegi panjang *dual-band* dengan dua slot pada frekuensi 2,6 GHz dan 5 GHz dapat direalisasikan.

Kata kunci — mikrostrip, slot, pita ganda, LTE.

I. PENDAHULUAN

Pesatnya perkembangan teknologi komunikasi nirkabel dengan berbagai macam standar, memunculkan integrasi perangkat pengguna yang mampu mengakomodasi beberapa standar sekaligus. Sistem komunikasi nirkabel yang digunakan secara luas misalnya komunikasi bergerak seluler dengan standar *Long Term Evolution (LTE)* dan akses

jaringan data nirkabel melalui *wireless local area network*. *LTE* merupakan teknologi seluler generasi keempat (4G) yang memiliki kelebihan dibandingkan generasi pendahulunya, yaitu kapasitas dan koneksi data yang lebih cepat [1]. Salah satu frekuensi kerja *LTE* menurut *3GPP* adalah pada frekuensi 2,6 GHz [1]-[3]. Sedangkan *wireless local area network* atau *WLAN* merupakan teknologi komunikasi nirkabel yang banyak dipakai saat ini, baik di dalam rumah-rumah maupun gedung perkantoran. Salah satu frekuensi kerja *WLAN* adalah frekuensi 5 GHz seperti dalam standar IEEE 802.11a [4].

Berbagai standar komunikasi nirkabel maupun bergerak bekerja pada frekuensi yang berbeda, sehingga dibutuhkan antena yang dapat bekerja pada frekuensi yang berbeda. Antena *dual-band* memungkinkan antena bekerja dengan dua pita frekuensi dalam satu antena saja. Antena mikrostrip dengan slot memiliki keuntungan ukurannya yang kompak, *bandwidth* yang lebar dan kemudahan integrasi dengan perangkat lain sehingga menjadi pilihan rancangan antena *dual band* dan *multiband*.

Berdasar kebutuhan beberapa frekuensi kerja dalam satu perangkat antena saja, maka telah berkembang perancangan antena *dual-band*. Beberapa teknik yang dilakukan adalah dengan menggabungkan dua macam *patch* menjadi satu yang disebut juga multi resonan atau dengan disusun bertingkat disebut juga *stacked*, dan bisa juga menambahkan *slot* [5],[6] atau irisan. Dalam perancangan ini, teknik yang digunakan untuk menghasilkan frekuensi kedua yaitu pada 5 GHz adalah menambahkan slot pada *patch* antena. Metode ini digunakan karena tekniknya yang mudah dan juga dapat menambah impedansi masukan [7]

Dalam makalah ini dilaporkan hasil perancangan dan realisasi antena mikrostrip *dual-band* dengan frekuensi kerja 2,6 GHz dan 5 GHz untuk *LTE* dan *WLAN* dengan teknik penambahan dua slot berbentuk huruf “I” pada *patch* persegi panjang atau *rectangular* dan teknik pencatutan *inset feed* pada *patch*.

II. METODE

Dalam perancangan antena mikrostrip, dilakukan beberapa tahap yaitu penentuan spesifikasi dan bahan, perhitungan dimensi antena, simulasi perancangan, fabrikasi antena dan pengujian.

A. Spesifikasi dan Bahan Antena

Antena yang dirancang berjenis mikrostrip. Antena ini merupakan bentuk antena tercetak, yang terdiri dari *patch* peradiasi dari bahan logam yang dicetak di atas substrat dielektrik dan di bawah substrat terdapat *ground plane* [8]. Dalam perancangan ini bahan substrat yang digunakan dalam simulasi maupun realisasi antena adalah Duroid 5880 yang mempunyai konstanta dielektrik sebesar 2,2 dan ketebalan 1,57 mm. Bahan ini termasuk dalam kategori material yang tipis dan memiliki konstanta dielektrik yang rendah agar diperoleh efisiensi radiasi yang baik [8]. Sebagai bahan peradiasi digunakan tembaga.

Sebuah antena harus memenuhi suatu parameter kinerja yang menunjukkan bahwa antena bekerja dengan baik pada frekuensi kerja yang dipilih. Oleh karena itu ditetapkan spesifikasi perancangan untuk memenuhinya. Spesifikasi antena yang dirancang ditunjukkan pada Tabel I. Nilai koefisien refleksi dan VSWR mengacu pada rancangan antena yang baik dalam referensi [8] dan [9].

TABEL I
SPESIFIKASI ANTENA

Parameter	Nilai
Frekuensi	2,6 GHz dan 5 GHz
VSWR	<2
Koefisien refleksi	-9,54 dB
Gain	>3 dB
Bandwidth	40 MHz

B. Penghitungan Dimensi Antena

Dalam perancangan antena mikrostrip, perlu dihitung ukuran substrat, *patch* dan *ground plane* berdasarkan frekuensi kerja. Penghitungan panjang dan lebar *patch* untuk bentuk persegi panjang adalah sebagai berikut [8],[10]-[12].

$$W_p = \frac{c}{2f_0 \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2}}} \quad (1)$$

$$\epsilon_{reff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \frac{1}{\sqrt{1 + 12H/W}} \quad (2)$$

$$\Delta L = 0.412h \frac{(\epsilon_e + 0.3) \left(\frac{W}{H} + 0.264\right)}{(\epsilon_e + 0.258) \left(\frac{W}{H} + 0.8\right)} \quad (3)$$

$$L_{eff} = \frac{c}{2f_0 \sqrt{\epsilon_{reff}}} \quad (4)$$

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

dengan W_p adalah lebar *patch* (mm), c adalah kecepatan gelombang di udara sebesar 3×10^8 m/s, f_0 adalah frekuensi kerja (Hz), ϵ_{eff} merupakan nilai konstanta dielektrik efektif substrat; ΔL adalah pertambahan panjang karena adanya

fringing effect; L_{eff} adalah panjang *patch* efektif; L_p adalah panjang *patch* secara fisik.

Untuk menghitung panjang dan lebar *ground plane* digunakan persamaan berikut.

$$L_g = 2L_p \quad (6)$$

$$W_g = 2W_p \quad (7)$$

dengan L_g merupakan panjang *ground plane*; dan W_g adalah lebar *ground plane*.

Pada perancangan ini digunakan pencatuan *inset feed*. Untuk menentukan panjang dan lebar *inset feed* dilakukan perhitungan berikut.

$$L_i = 10^{-4} [(0.001699\epsilon_r^7) + (0.13761\epsilon_r^6) - (6.1783\epsilon_r^5) + (93.187\epsilon_r^4) - (682.69\epsilon_r^3) + (2561.9\epsilon_r^2) - 4043\epsilon_r + 6697] \quad (8)$$

dan

$$Z_c = \begin{cases} \frac{60}{\sqrt{\epsilon_{reff}}} \ln \left[\frac{8h}{W_0} + \frac{W_0}{4h} \right], & \text{untuk } \frac{W_0}{h} \leq 1 \\ \sqrt{\epsilon_{reff} \left[\frac{W_0}{h} + 1.393 + 0.667 \ln \left(\frac{W_0}{h} + 1.444 \right) \right]}, & \text{untuk } \frac{W_0}{h} > 1 \end{cases} \quad (9)$$

Dengan memasukkan nilai-nilai yang sudah diketahui yaitu frekuensi kerja, kecepatan gelombang di udara dan karakteristik bahan ke dalam Persamaan (1) – (7), maka diperoleh dimensi antena hasil penghitungan. Frekuensi kerja yang dimasukkan dalam Persamaan (1) adalah frekuensi 2,6 GHz. Hasil tersebut dimasukkan dalam rancangan antena pada *software* dan kemudian simulasi dijalankan untuk mendapatkan grafik kinerja antena, yang akan dijelaskan pada bagian berikutnya.

IV. HASIL SIMULASI

Dalam tahap simulasi antena, hasil penghitungan lebar dan panjang *patch* persegi panjang pada frekuensi 2,6 GHz yaitu 45,6 mm × 38,01 mm dimasukkan ke dalam *software*. Frekuensi kedua yaitu 5 GHz didapatkan dengan menambahkan slot pada *patch* dengan dimensi awal 1 mm × 36,1 mm. Hasil perhitungan dimensi antena selengkapnya diperlihatkan pada Tabel II.

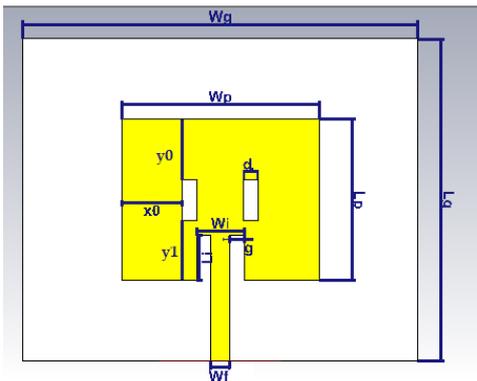
Pada saat simulasi, jika hasil simulasi antena belum menghasilkan nilai parameter kinerja antena yang sesuai dengan spesifikasi, maka perlu dilakukan proses optimasi. Optimasi dilakukan untuk mendapatkan hasil rancangan antena yang optimal yaitu dengan melakukan perubahan dimensi *patch* antena. Apabila hasil simulasi mendekati spesifikasi atau sudah sesuai, maka dilanjutkan ke tahap fabrikasi antena. Optimasi pada antena mikrostrip *dual-band* dilakukan dengan mengubah-ubah panjang *patch*, lebar *patch*, mengubah letak posisi dan lebar slot, dan dimensi *inset feed* sampai didapatkan frekuensi *dual-band* sesuai

dengan spesifikasi yang diinginkan. Ilustrasi perancangan antenna mikrostrip *dual-band* dengan slot hasil optimasi ditunjukkan pada Gambar 1.

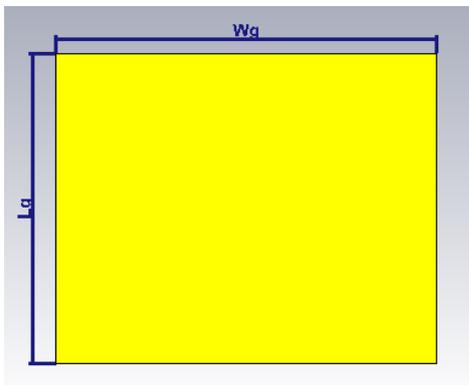
TABEL II

DIMENSI ANTENA HASIL PENGHITUNGAN DAN OPTIMASI

Notasi	Perhitungan	Optimasi	Keterangan
x_0	1	14	Jarak slot dari tepi samping patch
x_1	1	14	Jarak slot dari tepi atas patch
y_1	1	14	Jarak slot dari tepi bawah patch
W_g	90,96	65,7	Lebar ground
W_p	45,48	45,7	Lebar patch
W_i	15	15,3	Lebar inset
W_f	4,85	4,3	Lebar feed
L_g	76,18	75,2	Panjang ground
L_p	38,09	37,6	Panjang patch
L_i	9,15	10,5	Panjang inset
g	1	5,5	Lebar Gap inset
d	1	3,5	Lebar slot kiri dan kanan



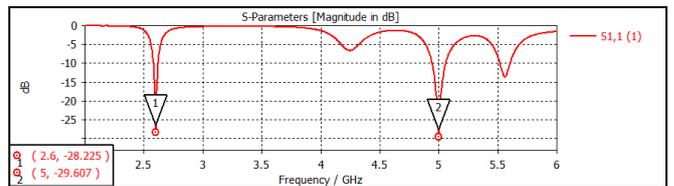
(a)



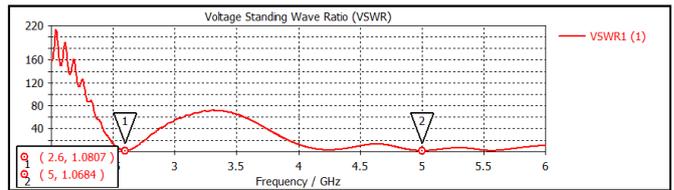
(b)

Gambar 1. Rancangan antenna pada *software* simulasi (a) tampak depan (b) tampak belakang

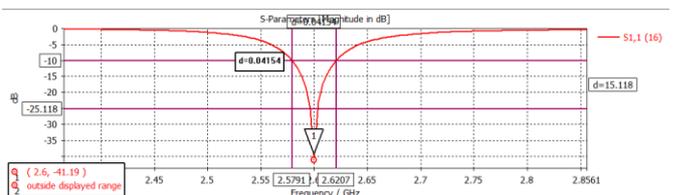
Hasil optimasi ditunjukkan pada Gambar 2 sampai dengan Gambar 5. Gambar 2 menunjukkan, pada frekuensi 2,6 GHz dan 5 GHz antenna menghasilkan nilai koefisien refleksi sebesar -28,2 dB dan -29,6 dB. Ditunjukkan juga pada Gambar 3, nilai *VSWR* pada frekuensi 2,6 GHz dan 5 GHz didapatkan masing-masing sebesar 1,0807 dan 1,0684. Pada Gambar 4, dapat dilihat bahwa nilai frekuensi 2,579 GHz dan 2,62 GHz merupakan batas bawah dan batas atas untuk frekuensi kerja 2,6 GHz. Sedangkan, nilai frekuensi 4,94 GHz dan 5,05 GHz merupakan batas bawah dan batas atas untuk frekuensi kerja 5 GHz. Dengan demikian untuk *bandwidth* diperoleh nilai sebesar 40,5 MHz dan 115 MHz.



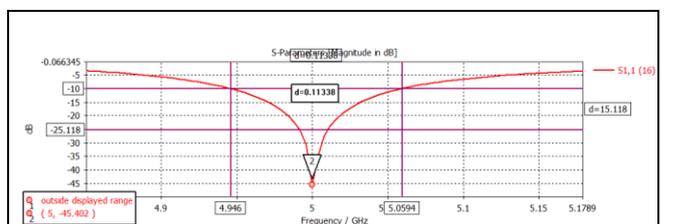
Gambar 2. Grafik Koefisien Refleksi pada Simulasi



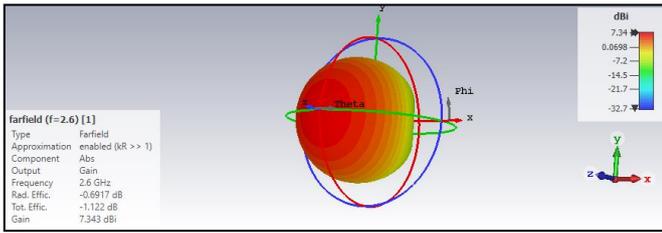
Gambar 3. Grafik *VSWR* pada simulasi



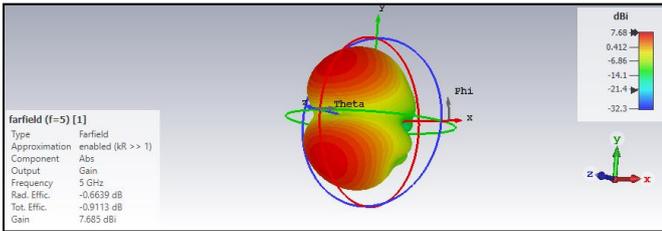
Gambar 4. Batas nilai *VSWR* < 2 untuk menentukan *bandwidth* pada frekuensi 2,6 GHz.



Gambar 5. Batas nilai *VSWR* < 2 untuk menentukan *bandwidth* pada frekuensi 5 GHz.

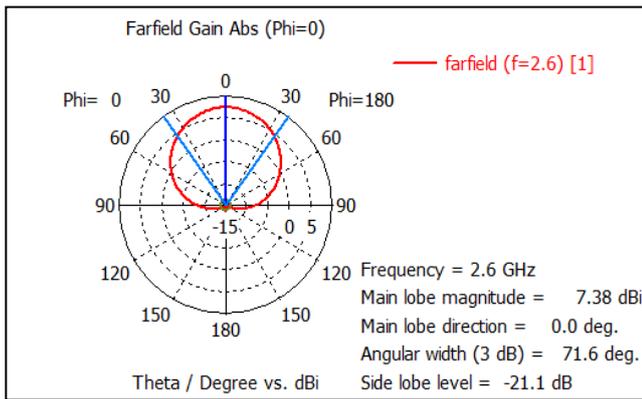


(a)

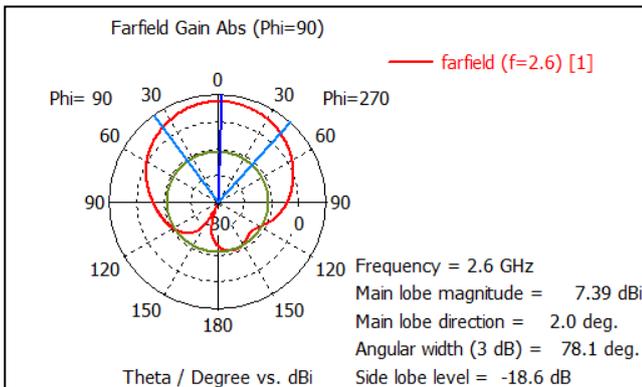


(b)

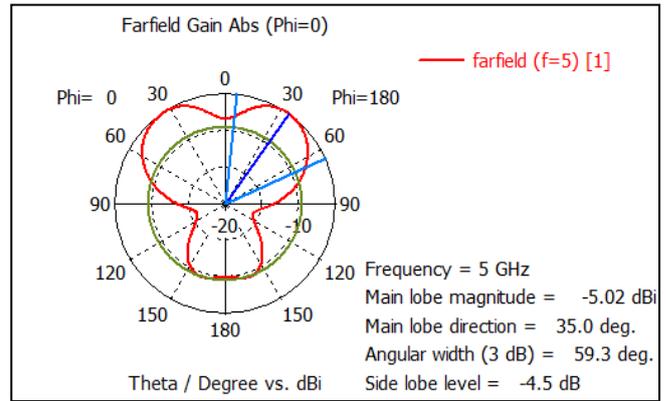
Gambar 6. Gain antenna pada simulasi (a) frekuensi 2,6 GHz dan 5 GHz.



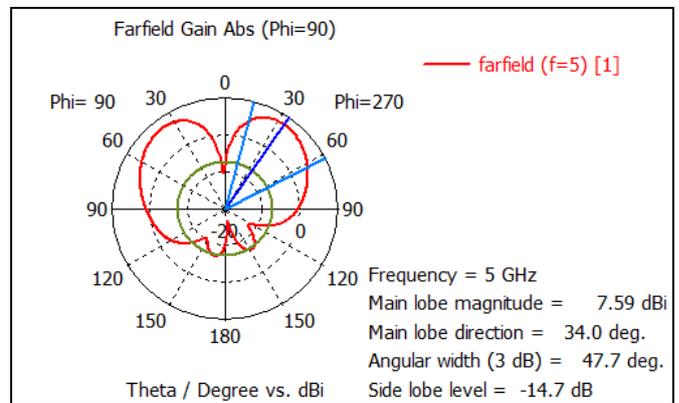
Gambar 7. Pola radiasi sudut azimuth frekuensi 2,6 GHz.



Gambar 8. Pola radiasi sudut elevasi frekuensi 2,6 GHz.



Gambar 9. Pola radiasi sudut azimuth pada frekuensi 5 GHz.



Gambar 10. Pola radiasi sudut elevasi pada frekuensi 5 GHz.

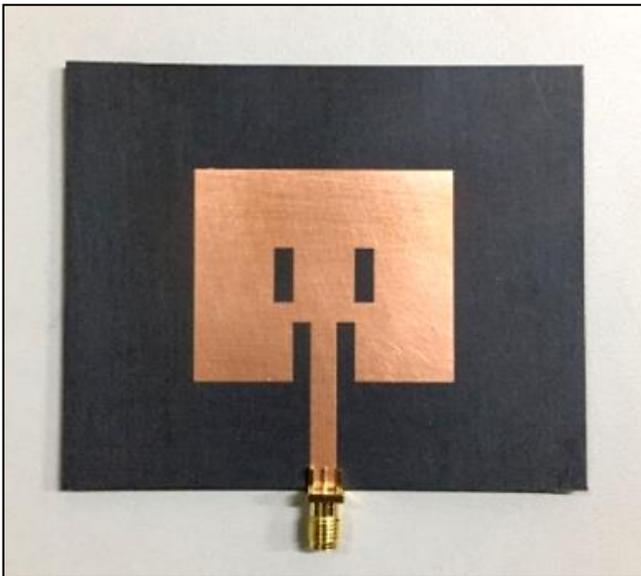
Gambar 6 menunjukkan nilai gain sebesar 7,34 dBi untuk frekuensi 2,6 GHz dan 7,68 dBi untuk frekuensi 5 GHz. Grafik pola radiasi azimuth dan pola radiasi elevasi pada frekuensi 2,6 GHz ditunjukkan pada Gambar 7 dan Gambar 8. Sementara itu Gambar 9 dan Gambar 10 menunjukkan pola radiasi azimuth dan pola radiasi elevasi pada frekuensi 5 GHz. Pola radiasi azimuth mempresentasikan pola radiasi pada arah phi=0, sedangkan pola radiasi elevasi mempresentasikan pola radiasi pada arah phi=90°. Untuk frekuensi 2,6 GHz, pola radiasi azimuth pada Gambar 7 dan pola elevasi pada Gambar 8 berbentuk unidireksional. Sementara itu untuk frekuensi 5 GHz, pola radiasi azimuth berbentuk unidireksional dan pola elevasi berbentuk bi-direksional.

Grafik maupun nilai-nilai parameter kinerja antenna yang diperoleh dari optimasi menunjukkan bahwa rancangan antenna mikrostrip persegi panjang dual-band telah memenuhi spesifikasi yang diinginkan dan bisa melanjutkan ke tahap fabrikasi dan pengukuran antenna.

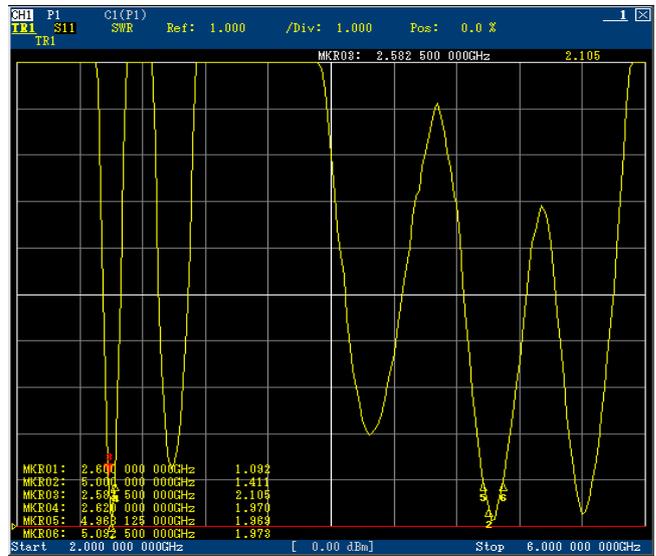
V. PENGUJIAN ANTENA HASIL FABRIKASI

Dari hasil simulasi perancangan antenna menggunakan *software*, didapatkan nilai parameter sesuai dengan parameter yang diinginkan. Selanjutnya, hasil simulasi direalisasikan menggunakan bahan substrat Rogers Duroid 5880 dengan nilai permitivitas relatif sebesar 2,2 dan ketebalan 1,57 mm. Hasil fabrikasi antenna berdimensi fisik sebesar 75,2 mm × 91,4 mm ditunjukkan pada Gambar 11. Berikutnya dilakukan pengujian antenna yang telah direalisasikan untuk mendapatkan nilai koefisien refleksi, *VSWR*, *bandwidth*, dan *gain*.

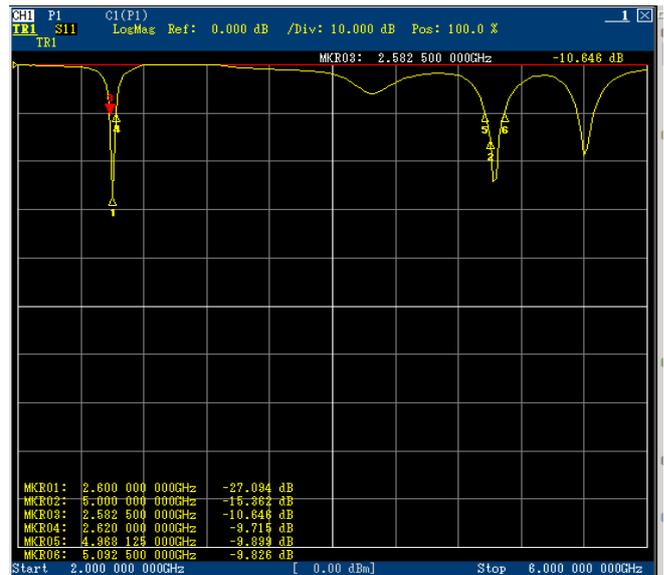
Dari pengukuran yang dilakukan, diperoleh Gambar 12 yang menunjukkan bahwa pada frekuensi 2,6 GHz dan 5 GHz antenna menghasilkan nilai koefisien refleksi masing-masing sebesar -27,1 dB dan -15,3 dB. Ditunjukkan juga pada gambar yang sama nilai frekuensi 2,582 GHz dan 2,620 GHz merupakan batas bawah dan batas atas untuk frekuensi 2,6 GHz. Sedangkan, nilai frekuensi 4,968 GHz dan 5,092 GHz merupakan batas bawah dan batas atas untuk frekuensi 5 GHz. Dengan demikian untuk *bandwidth* diperoleh nilai sebesar 38 MHz pada frekuensi kerja 2,6 GHz dan 124 MHz pada frekuensi kerja 5 GHz. Pada Gambar 13, dapat dilihat nilai *VSWR* pada frekuensi 2,6 GHz dan 5 GHz diperoleh sebesar 1,092 dan 1,411.



Gambar 11. Hasil Fabrikasi Antena *Dual-Band*.



Gambar 12. Grafik Hasil Pengujian Koefisien Refleksi

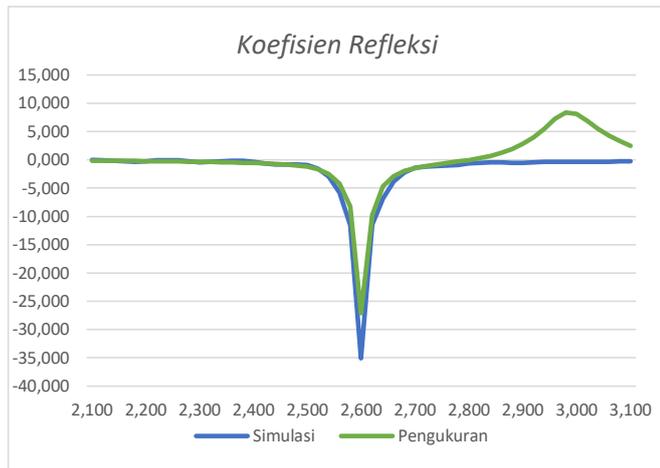


Gambar 13. Grafik Hasil Pengujian *VSWR*

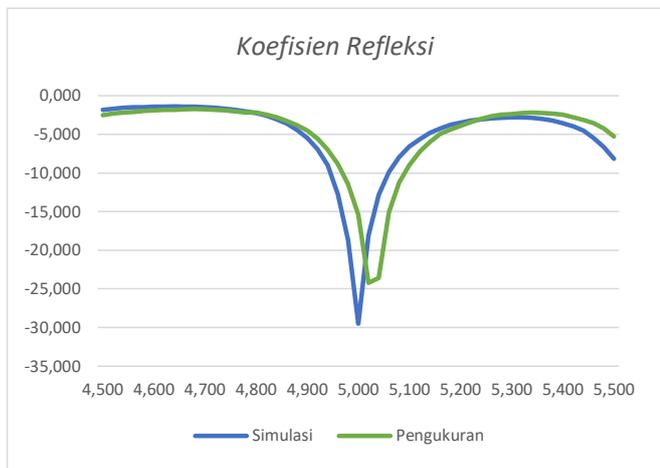
Untuk mengukur *gain* antenna digunakan *spectrum analyzer*, *function generator* dan antenna *horn* sebagai antenna referensi. Antena referensi untuk frekuensi 2,6 GHz dan 5 GHz masing-masing memiliki nilai *gain* sebesar 11 dB dan 13 dB. Pengukuran yang dilakukan mengikuti prosedur yang dijelaskan dalam [13]. *Gain* yang diperoleh dari pengukuran sebesar 10,6 dBi pada frekuensi 2,6 GHz dan 8,1 dBi pada frekuensi 5 GHz.

Berikutnya, nilai hasil simulasi dibandingkan dengan data hasil pengukuran. Gambar 14 dan Gambar 15 memperlihatkan bahwa terdapat perbedaan antara hasil

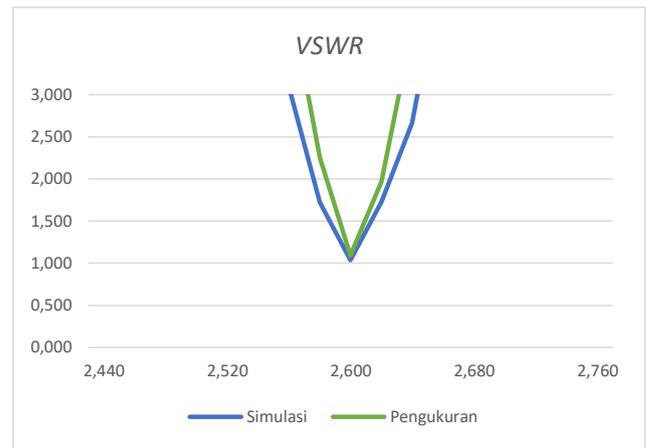
simulasi dan hasil pengukuran pada koefisien refleksi. Nilai koefisien refleksi pada hasil pengukuran untuk frekuensi 2,6 GHz dan 5 GHz sedikit lebih besar, dan pada frekuensi 5 GHz terdapat pergeseran grafik menjadi lebih ke kanan. Hal yang sama terjadi pada nilai VSWR di Gambar 16 dan Gambar 17, nilai hasil pengukuran menjadi sedikit lebih besar dan pada frekuensi 5 GHz terdapat pergeseran grafik ke kanan.



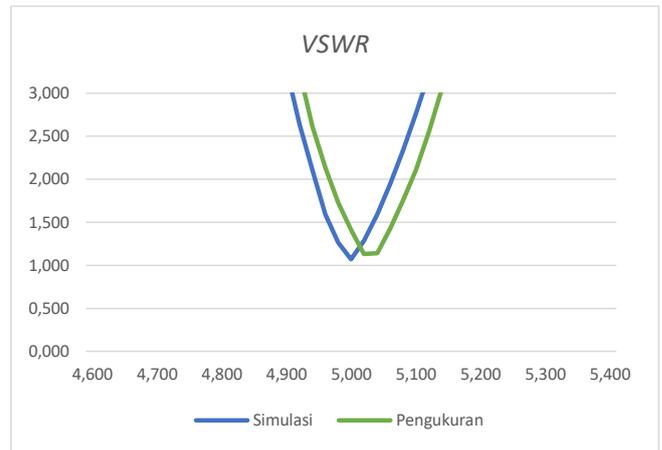
Gambar 14. Grafik Perbandingan nilai koefisien refleksi simulasi dan pengujian pada frekuensi 2,6 GHz



Gambar 15. Grafik Perbandingan nilai koefisien refleksi simulasi dan pengujian pada frekuensi 5 GHz

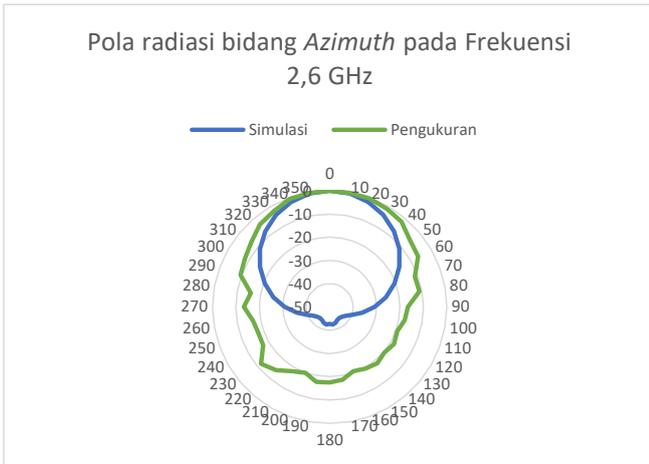


Gambar 16. Grafik Perbandingan nilai VSWR simulasi dan pengujian pada frekuensi 2,6 GHz

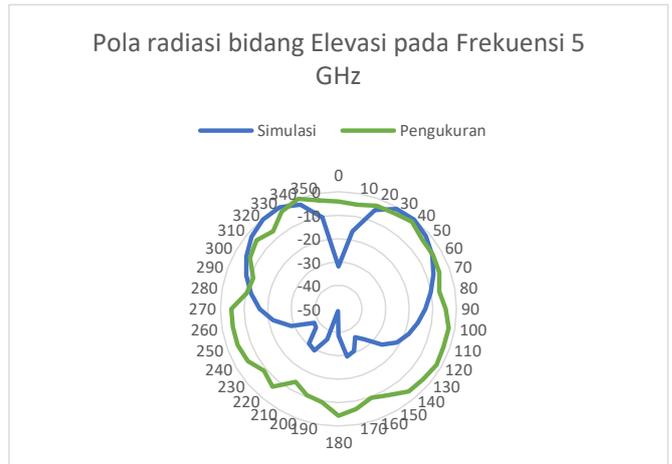


Gambar 17. Grafik Perbandingan nilai VSWR simulasi dan pengujian pada frekuensi 5 GHz

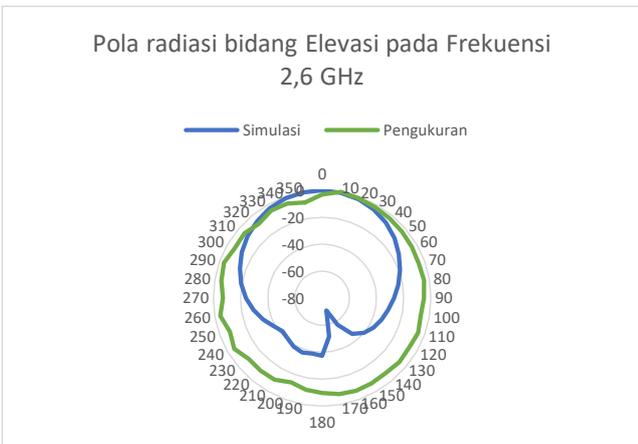
Pada Gambar 18, 19, 20 dan 21 menunjukkan adanya perbedaan antara hasil simulasi dan hasil pengukuran pola radiasi pada bidang *azimuth* dan bidang elevasi pada frekuensi 2,6 GHz dan 5 GHz. Berdasarkan Gambar 18 dan 19, antenna pada bidang *azimuth* dan elevasi pada frekuensi 2,6 GHz memiliki pola radiasi direksional, sedangkan berdasarkan Gambar 20 dan 21, pada bidang *azimuth* dan bidang elevasi pada frekuensi 5 GHz memiliki pola radiasi omnidireksional. Perbandingan nilai hasil simulasi dan hasil pengukuran dapat dilihat pada Tabel III.



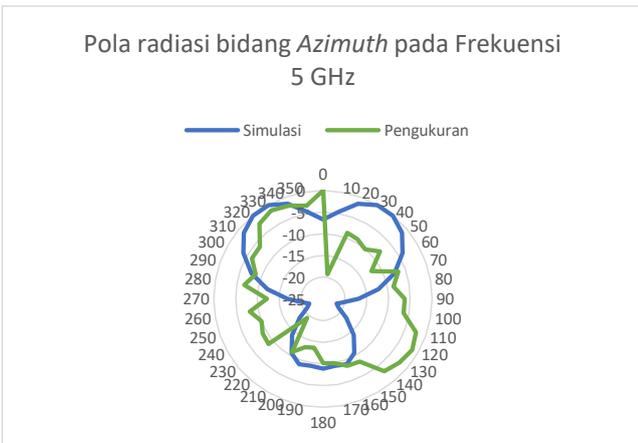
Gambar 18. Pola radiasi azimuth simulasi dan pengukuran pada 2,6 GHz



Gambar 21. Pola radiasi elevasi simulasi dan pengukuran pada 5 GHz



Gambar 19. Pola radiasi elevasi simulasi dan pengukuran pada 2,6 GHz



Gambar 20. Pola radiasi azimuth simulasi dan pengukuran pada 5 GHz

TABEL III
PERBANDINGAN HASIL SIMULASI DAN PENGUJIAN

Parameter	Hasil Simulasi		Hasil Pengujian	
	2,6 GHz	5 GHz	2,6 GHz	5 GHz
VSWR	1,0807	1,0684	1,092	1,411
Koefisien refleksi	-28,225 dB	-29,607 dB	-27,1 dB	-15,3 dB
Gain	7,34 dBi	7,68 dBi	10,6 dBi	8,1 dBi
Bandwidth	40,5 MHz	115 MHz	38 MHz	124 MHz

Berdasarkan Tabel III, pengujian antenna pada frekuensi 2,6 GHz menghasilkan bandwidth yang lebih sempit dibandingkan dengan hasil simulasi. Sementara itu nilai gain yang diperoleh pada pengujian menunjukkan nilai yang lebih tinggi baik pada frekuensi 2,6 GHz maupun 5 GHz.

VII. KESIMPULAN

Berdasarkan perancangan, fabrikasi dan pengujian antenna, dapat ditarik kesimpulan bahwa antenna mikrostrip dual-band dengan slot pada frekuensi 2,6 GHz dan 5 GHz dapat direalisasikan. Hasil yang diperoleh dari pengukuran antenna mikrostrip dual-band dengan slot untuk frekuensi 2,6 GHz dan 5 GHz secara berturut-turut yaitu koefisien refleksi sebesar -27,1 dB dan -15,3 dB, VSWR dengan nilai 1,092 dan 1,411, bandwidth sebesar 38 MHz dan 124 MHz, dan gain mencapai 10,6 dB dan 8,1 dB. Dari hasil simulasi dan pengujian antenna, didapatkan bahwa antenna mikrostrip dual-band dapat direalisasikan. Terdapat perbedaan nilai hasil simulasi dan hasil pengukuran pada beberapa parameter, namun hasil masih sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan.

DAFTAR ACUAN

- [1] Herudin, "Perancangan Antena Mikrostrip Frekuensi 2,6 GHz untuk Aplikasi LTE (Long Term Evolution)," *Jurnal Setrum.*, vol. 1, no. 1, pp. 41-45, Juni 2012.
- [2] U. K. Usman,, G. Prihatmoko,, D. K.Hendraningrat, & S. D. Purwanto, *Fundamental Teknologi Seluler LTE*, Bandung: Rekayasa Sains. 2012.
- [3] S. Y. P. Cahyanto and E. Y. D. Utami, "Planar Multiband MIMO Antenna for LTE and WLAN Applications," *2018 International Seminar on Intelligent Technology and Its Applications (ISITIA)*, pp. 5-8, 2018
- [4] S. Soltani, P. Lotfi, and R. D. Murch, "A Dual-Band Multiport MIMO Slot Antenna for WLAN Applications", *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 16, 2017
- [5] Hutasuhut, Zul H., Rambe, Ali H. "Perancangan Antena Mikrostrip Patch Segi Empat Slots Dual-Band pada Frekuensi 2,4 GHz dan 3,3 GHz," *Jurnal Singuda ENSIKOM*, vol. 9, no. 3, pp. 155-161, 2014
- [6] R. Yosefariko, A. Tengku, Y.Wahyu, "Perancangan dan Realisasi Antena Mikrostrip Dual Band Menggunakan Slot Berbentuk U untuk Aplikasi Wi-Fi," *e-Proceeding of Engineering*, vol. 2, no. 2, pp. 2582-2589, 2015.
- [7] J. Ghalibafan, A. R. Attari, F. H. Kashani, "A New Dual-Band Microstrip Antenna With U-Shaped Slot," *Progress In Electromagnetic Research*, vol. 12, pp. 215-223, 2010.
- [8] W.L. Stutzman, G.A Thiele, *Antenna Theory and Design, 3rd ed.*, New Jersey: John Wiley & Sons, 2013.
- [9] C.A. Balanis, *Antenna Theory: Analysis and Design, 4th ed.*, New Jersey: John Wiley & Sons, 2016.
- [10] A.A. Yassin, R.A. Saeed, R.A. Mokhtar, "Dual-Band Microstrip Patch Antenna Design Using C-Slot for Wi-Fi and WiMax Application" , *5th International Conference on Computer & Communication Engineering*, vol. 3, no. 2, pp. 212-220, 2015.
- [11] Atchay Jahanath S., Srinidhi S., Yamini P., Venkatesh D., "Dual Band Microstrip Antenna for Wi-Fi Applications", *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, vol. 07, no. 04, pp. 414-417, April 2018.
- [12] A.D. Khaleel, *Design and Simulation Microstrip Patch Antenna using CST Microwave Studio*, Bangi: Universiti Kebangsaan Malaysia, 2019.
- [13] E. Y. D. Utami, J. C. Novaldy, A. A. Febrianto, "Antena Mikrostrip Lingkaran untuk Komunikasi MIMO 4x4 pada Frekuensi 15 GHz" *InComTech: Jurnal Telekomunikasi dan Komputer*, vol. 11, no. 3, pp. 221-232, 2021