

Disain Antena Mikrostrip Bentuk L Frekuensi Ganda Untuk Aplikasi IoT

Irmayani¹, Heru Abrianto², Riyadi³

¹ Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik ISTN, Jakarta

² Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik UTAMA, Jakarta

³ PT. Telkomsel, Indonesia

¹ Jl. Moh. Kahfi II, Jagakarsa, Jakarta Selatan, Indonesia 12640

^{2,3} Jl. Letjend TB Simatupang No.152, Jakarta Selatan, Indonesia 12530

e-mail: *¹ir.irmayani@istn.ac.id, ²heruab@gmail.com, ³riyadi@gmail.com

Abstrak

Perkembangan teknologi saat ini sangat pesat perubahannya, saat ini kebutuhan akan informasi yang cepat dan akurat dalam situasi dimanapun berada sangat dibutuhkan. Oleh karena itu dibutuhkan teknologi yang dapat menjangkau dimanapun dimanapun pengguna berada. Kebutuhan ini hanya dapat didukung oleh teknologi komunikasi nirkabel. Teknologi nirkabel (wireless) perlu antarmuka yaitu antena yang bekerja mengirimkan informasi dari satu tempat ke tempat lainnya tanpa harus menggelar kabel yang akan sangat kesulitan jika harus melewati hutan dan samudra. Salah satu antena yang dibutuhkan adalah antena mikrostrip yang mempunyai bentuk kecil, sederhana, ringan, dan portable. Pada makalah ini dirancang antena mikrostrip bentuk L, dengan VSWR yaitu 1,459 dan 1,441 pada frekuensi 2,4 dan 5,8 GHz. *Return Loss* yang didapat adalah -14,577 dB dan -14,862 dB untuk frekuensi 2,4 dan 5,8 GHz. Bandwidth 360 Mhz dan 620 MHz pada frekuensi 2,4 dan 5,8 GHz, *Gain* sebesar 0,81 dBm dan 2,54 dBm pada frekuensi 2,4 dan 5,8 GHz.

Kata kunci: Antena Mikrostrip; IoT, Bentuk L, Frekuensi Ganda

Abstract

The development of technology today is very rapid, currently the need for fast and accurate information in any situation is very much needed. Therefore, technology is needed that can reach wherever the user is. This need can only be supported by wireless communication technology. Wireless technology requires an interface, namely an antenna that works to send information from one place to another without having to lay cables that will be very difficult if they have to pass through forests and oceans. One of the antennas needed is a microstrip antenna that has a small, simple, lightweight, and portable shape. In this paper, an L-shaped microstrip antenna is designed, with a VSWR of 1.459 and 1.441 at frequencies of 2.4 and 5.8 GHz. Return Loss at GHz frequencies is -14.577 dB and -14.862 dB for frequencies of 2.4 and 5.8 GHz. Bandwidth 360 Mhz and 620 MHz at 2.4 and 5.8 GHz frequencies, Gain 0.81 dBm and 2.54 dBm at 2.4 and 5.8 GHz frequencies..

Keywords: Microstrip Antenna, IoT, L shape, Dual Frequencies,

1. Pendahuluan

Perkembangan teknologi elektronika pada dekade terakhir sangat cepat dan membawa dampak yang sangat besar diberbagai bidang, tak terlepas dibidang teknologi komunikasi nirkabel (wireless) yang mempunyai pergerakan sangat tinggi. Kebutuhan akan layanan informasi yang cepat, akurat dan dapat diperoleh dimana saja, serta bandwidth yang lebar menjadi hal yang utama (Zhou et al., 2019)(Abrianto et al., 2021)(Abrianto & Irmayani Husein Mukdien, 2022). Banyak usulan-usulan baru yang dikembangkan untuk meningkatkan performansi perangkat telekomunikasi. Dalam dunia komunikasi wireless, antena merupakan bagian yang penting. Banyak metode telah dikembangkan dalam bentuk, ukuran dan bahan material untuk meningkatkan kinerja antena (Sekhararao & Babu, 2016)(Babakhani et al., 2016)(Benavides et al., 2018)(Wu et al., 2016). Pengembangan dilakukan, untuk digunakan pada aplikasi antena Radar (B. Liu et al., 2018)(B. Liu et al., 2018), system transmisi komunikasi satelit (Li et al., 2011)(McMichael et al., 2017) dan system komunikasi seluler (Manjurega et al., 2019)(Ivanov et al., n.d.) yang membutuhkan ukuran kecil dengan daya pancaran yang baik. Kinerja antena yang tinggi, bentuk yang kecil dan daya pancar yang baik hanya dimiliki oleh antena mikrostrip.

Antena mikrostrip mempunyai ukuran yang kecil, sederhana, pola radiasi yang luas mudah difabrikasi (Tubbal et al., 2016)(N. W. Liu et al., 2018). Untuk meningkatkan kemampuan antena yang bekerja pada frekuensi ganda, beberapa metode dapat dilakukan yaitu reactively-loaded dual-frequency, orthogonal mode dual-frequency dan multi-patch dual-frequency (Chawanonphithak, 2016) (Padhi et al., 2018)(Lin et al., 2016) (Abrianto, 2020).

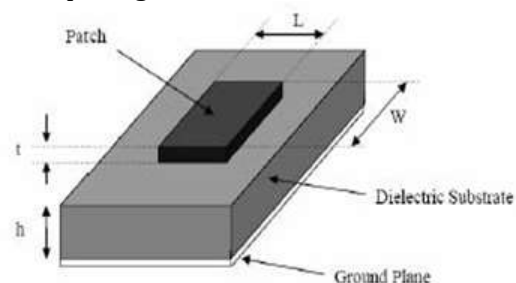
2. Metode Penelitian

2.1 Antena Mikrostrip

Antena merupakan salah satu sistem atau perangkat yang penting dalam telekomunikasi nirkabel. Pengembangan antena mikrostrip berawal dari ide dasar bagaimana menggunakan *printed circuit technology* tidak hanya untuk komponen rangkaian dan saluran transmisi pada sistem

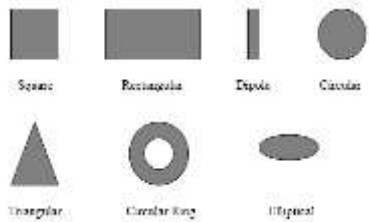
elektronika, tetapi bisa juga digunakan sebagai elemen peradiasi.

Antena mikrostrip adalah salah satu jenis antena yang mempunyai kelebihan dalam hal bentuk yang sederhana, ringan dan dapat dibuat sesuai kebutuhan (Osman et al., 2016) (Weng et al., 2010). Konsep antena mikrostrip di usulkan pertama kali oleh *Deschamps* pada awal tahun 1950 dan dibuat sekitar tahun 1970 oleh *Munson* dan *Howell*. Antena mikrostrip merupakan salah satu antena gelombang mikro yang digunakan sebagai radiator pada sejumlah sistem telekomunikasi modern. Bentuk geometri dasar antena mikrostrip dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Geometri Dasar Mikrostrip

Gambar 1 menunjukkan penampang dari sebuah antena mikrostrip, yang terdiri dari tiga bagian yaitu elemen peradiasi (*patch*), substrat dan elemen pertanahan (*ground plane*) (Annisah et al., 2021) (Annisah et al., 2021)(Syah Alam, Indra Surjati, Yuli Kurnia Ningsih, 2018) (Anthoni et al., 2021)(Yunita, 2020). Antena mikrostrip sering disebut juga sebagai *patch antena*. Elemen peradiasi dan transmission *line* biasanya di *photoetched* diatas permukaan substrat dielektrik. Elemen peradiasi terbuat dari bahan metal yang mempunyai ketebalan yang sangat tipis. Elemen ini berfungsi untuk meradiasikan gelombang listrik dan magnet. Besar, panjang, lebar maupun radius dari elemen *patch* sangat mempengaruhi frekuensi kerja antena. Elemen peradiasi dapat dibuat dalam berbagai macam bentuk, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.



Gambar 2. Bentuk Patch Mikrostrip

Substrat merupakan bagian yang membatasi elemen peradiasi dan pertanahan. Bagian ini memiliki konstanta dielektrik (ϵ_r), faktor disipasi dan ketebalan (h) tertentu, ketiga nilai tersebut mempengaruhi frekuensi kerja, *bandwidth* dan efisiensi antena yang akan dibuat. Ketebalan substrat jauh lebih besar dari ketebalan *patch* atau elemen peradiasi. Semakin tebal substrat, maka *bandwidth* akan semakin meningkat, tetapi berpengaruh terhadap timbulnya gelombang permukaan. Sedangkan elemen pertanahan (*ground*) berfungsi sebagai pembumian bagi sistem antena mikrostrip. Elemen pertanahan ini juga pada umumnya memiliki elemen yang sama dengan elemen peradiasi, yaitu berupa lempengan tembaga.

Antena mikrostrip ini juga memiliki beberapa keuntungan dibandingkan dengan antena lain, diantaranya :

- Ukuran antena yang *compact* dan fleksibel (kecil dan ringan)
- Mudah dipabrikasi dan tidak membutuhkan biaya yang besar
- Secara mekanik lebih tahan terhadap permukaan yang keras
- Dapat dibuat untuk menghasilkan beberapa frekuensi kerja (*multiband*)
- Mudah untuk dihubungkan dengan perangkat komunikasi nirkabel yang ada.

Tetapi, antena mikrostrip juga memiliki beberapa kekurangan, diantaranya:

- Mempunyai gain yang rendah
- Memiliki *bandwidth* yang sempit
- Dapat menimbulkan radiasi yang tidak diinginkan pada *feed line*-nya.

2.1.1 Return Loss

Return loss (RL) merupakan perbandingan antara amplitudo dari gelombang yang direfleksikan terhadap amplitudo gelombang yang dikirimkan. *Return loss* dapat terjadi karena adanya diskontinuitas di antara saluran transmisi dengan impedansi

masukannya (antena), sehingga tidak semua daya diradiasikan melainkan ada yang dipantulkan kembali. Pada rangkaian gelombang mikro yang memiliki refleksi antara antena dengan pemancar mengakibatkan kondisi *mismatched*. Besarnya RL bervariasi tergantung pada frekuensi seperti yang ditunjukkan oleh persamaan (1).

$$RL = 20 \log |\Gamma| \quad (1)$$

$$\Gamma = \frac{V_0^-}{V_0^+} = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0}$$

Dimana Γ adalah koefisien refleksi tegangan, V_0^- adalah tegangan yang dipantulkan (V), V_0^+ adalah tegangan yang dikirimkan (V), Z_L adalah impedansi antena (ohm) dan Z_0 adalah impedansi saluran (ohm)

Nilai *return loss* yang baik adalah dibawah -10 dB, sehingga dapat dikatakan nilai gelombang yang direfleksikan tidak terlalu besar dibandingkan dengan gelombang yang dikirimkan, atau dengan kata lain, saluran transmisi sudah dalam keadaan *matching*

2.1.2 Voltage Standing Wave Ratio

VSWR adalah singkatan dari *Voltage Standing Wave Ratio*. VSWR adalah perbandingan antara tegangan maksimum dan minimum pada suatu gelombang berdiri akibat adanya pantulan gelombang yang disebabkan impedansi *input* dengan saluran *feeder* tidak *matching*. VSWR dapat dihitung dengan persamaan (2).

$$VSWR = \frac{|V|_{max}}{|V|_{min}} = \frac{1+|\Gamma|}{1-|\Gamma|} \quad (2)$$

Dengan nilai r adalah $0 \leq |r| \leq 1$, sehingga nilai VSWR adalah $1 \leq VSWR \leq \infty$.

Kondisi VSWR=1, yaitu tidak ada refleksi dari antena ke pemancar yang artinya saluran dalam keadaan sesuai atau dikenal *matching impedance*, tetapi pada praktiknya sulit didapatkan keadaan ini. Standar VSWR yang diizinkan untuk simulasi dan pabrikan adalah $VSWR \leq 2$.

2.1.3 Bandwidth

Bandwidth adalah lebar frekuensi terendah sampai tertinggi pada frekuensi yang mempunyai $RL \leq -10$ dB

$$B = f_h - f_l \quad (3)$$

2.1.4 Gain

Gain adalah perbandingan antara rapat daya persatuan *unit* antenna terhadap rapat daya antenna referensi dalam arah dan daya masukan yang sama. *Gain* antenna merupakan salah satu parameter penting untuk pengukuran kualitas antenna. Parameter gain dapat dicari dari hasil perhitungan dengan mencari hasil direktivitasnya (D) menggunakan persamaan (4).

$$D = \frac{4\pi^2 W^2}{\lambda o^2 I} \quad (4)$$

2.2 Dimensi Antena Perancangan

Pada Makalah ini perancangan antenna menggunakan material Substrat Epoxy FR4, yang bekerja pada Frekuensi kerja 2,4 dan 5,8 GHz, parameter antenna yang diinginkan yaitu Return Loss (RL)<-10 dB dan VSWR < 2. Disain antenna menggunakan aplikasi PCCad 5.0 dan Ansofft HFSS 15. Perhitungan parameter menggunakan persamaan (5) sampai dengan persamaan (8), (Nursalam, 2016, 2013) (Dase et al., 2017)(Darmawan et al., 2018).

$$\lambda_0 = \frac{c}{f} \quad (5)$$

Lebar antenna yaitu

$$W = \frac{c}{2f_r \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2}}} \quad (6)$$

Konstanta dielektrik efektif :

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[1 + 12 \left(\frac{h}{w} \right) \right]^{-\frac{1}{2}} \quad (7)$$

Panjang antenna

$$L = L_{eff} - 2\Delta L \quad (8)$$

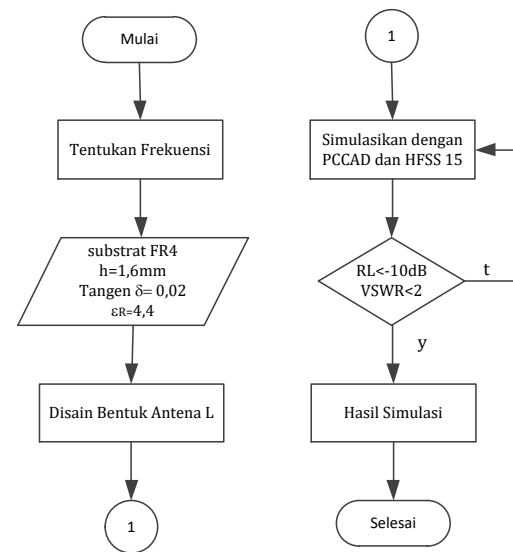
$$L_{eff} = \frac{c}{2 \times f_r \times \sqrt{\epsilon_{eff}}}$$

$$\Delta L = h \times 0.412 \times \left[\frac{(\epsilon_{eff} + 0.3) \left(\frac{w}{h} + 0.264 \right)}{(\epsilon_{eff} - 0.258) \left(\frac{w}{h} + 0.8 \right)} \right]$$

Dimana c adalah kecepatan cahaya diruang hampa, f adalah frekuensi, ϵ_{eff} adalah konstanta efektif, L adalah perubahan panjang antenna,

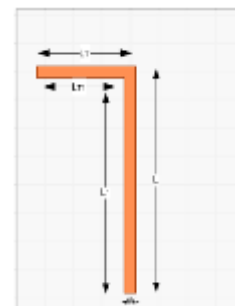
Tahapan perancangan diuraikan pada diagram alur gambar 3. Gambar 4 merupakan disain awal antenna bentuk L yang bekerja pada frekuensi tunggal, agar antenna dapat bekerja pada dua frekuensi berbeda dilakukan perubahan dimensi patch dan menambah stub pada patch terlihat pada

Gambar 5.



Gambar 3. Diagram alur disain Antena

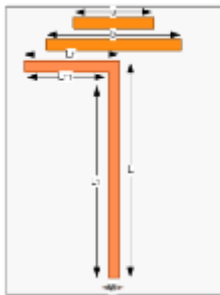
Dimensi antenna yang bekerja pada frekuensi tunggal yaitu 2,4 GHz, terlihat pada tabel 1, yang didapat dari perhitungan. Disain antenna yang bekerja pada dual frekuensi terlihat pada gambar 5.



Gambar 4. Disain Awal Antena

Tabel 1. Dimensi Hasil Perhitungan

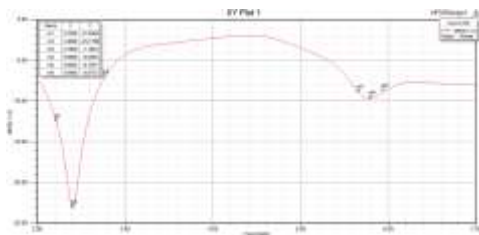
Para meter	Nilai	Keterangan
L _T	15,6 mm	Panjang lengan pencatu
L _{T1}	10 mm	Pangan lengan pencatu 1
L	30 mm	Panjang total L shape
L ₁	24 mm	Panjang L shape 1
W	6 mm	Lebar patch antenna
G	40 mm	Grounding antenna



Gambar 5. Disain Antena Frekuensi Ganda

Tabel 2. Dimensi Antena Frekuensi Ganda

Parameter	Nilai	Keterangan
A	15 mm	Detectore patch 1
B	25 mm	Detectore patch 2
L_T	15,6 mm	Panjang lengan pencatu
L_{T1}	9,9 mm	Pangan lengan pencatu 1
L	29,8 mm	Panjang total L shape
L_1	24,1 mm	Panjang L shape 1
W	5,7 mm	Lebar patch antenna
G	40 mm	Grounding antenna
S_1	50 mm	Panjang Substrat
S_2	40 mm	Lebar Substrat

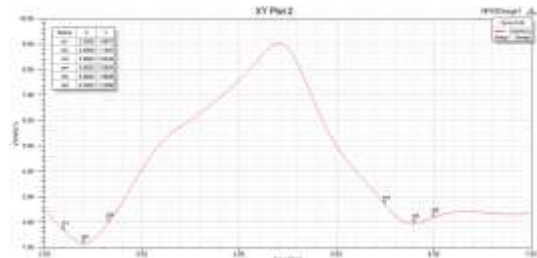


Gambar 6. Simulasi RL

Dari Gambar 6 Didapatkan Hasil Simulasi RL Pada Bandwidth 2,2 Ghz Sampai 2,7 Ghz. Return Loss Terendah Yang Dihasilkan Pada Frekuensi 2,4 Ghz Sebesar -23,17 Db Dan Pada Bandwidth 5,6 Ghz Sampai 5,9 Ghz Return Loss Terendah Yang Dihasilkan Pada Frekuensi 5,8 Ghz Sebesar -9,72. Hasil Ini Belum Mencapai Frekuensi Yang Diharapkan Yaitu Pada Frekuensi 5,8 Ghz Dengan Hasil Return Loss < -10 Db.

Tabel 3. Hasil Pengukuran RL

Frekuensi	RL (dB)
2,2 GHz	-12,62
2,4 GHz	-23,17
2,7 GHz	-7,19
5,6 GHz	-9,04
5,8 GHz	-9,72
5,9 GHz	-8,88



Gambar 7. Simulasi VSWR

Pada gambar 7 didapatkan hasil simulasi pada VSWR pada bandwidth 2,2 GHz sampai 2,6 GHz VSWR terendah yang dihasilkan pada frekuensi 2,4 GHz sebesar 1,15 dan pada bandwidth 5,5 GHz sampai 6 GHz VSWR terendah yang dihasilkan pada frekuensi 5,8 GHz sebesar 1,96. Hasil ini sudah sesuai dengan yang diharapkan yaitu VSWR < 2.

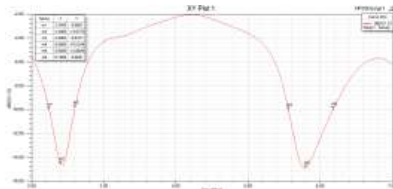
Tabel 4. Hasil Pengukuran VSWR

Frekuensi	VSWR
2,2 GHz	1,68
2,4 GHz	1,15
2,6 GHz	2,00
5,5 GHz	2,69
5,8 GHz	1,97
6 GHz	2,20

3. Hasil dan Pembahasan

Pada perancangan awal didapat RL pada frekuensi 5,8 GHz masih diatas -10 dB, perlu dilakukan optimalisasi, hasil optimalisasi didapat dari gambar 8. didapatkan hasil simulasi return loss pada bandwidth 2,2 GHz sampai 2,6 GHz return loss terendah yang dihasilkan pada frekuensi 2,4 GHz sebesar -14,58 dB dan pada bandwidth 5,5 GHz sampai 6,1 GHz return loss terendah yang

dihasikan pada frekuensi 5,8 GHz sebesar -14,86. Hasil ini sudah sesuai yang diharapkan pada frekuensi 2,4 GHz dan 5,8 GHz dengan return loss < -10 db.

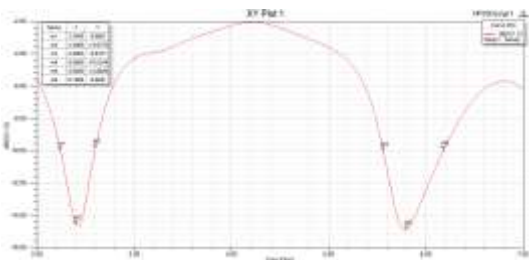


Gambar 8. Hasil Optimalisasi RL

Dari gambar 8 didapatkan hasil simulasi return loss pada bandwidth 2,2 GHz sampai 2,6 GHz return loss terendah yang dihasilkan pada frekuensi 2,4 GHz sebesar -14,570 dB dan pada bandwidth 5,5 GHz sampai 6,1 GHz return loss terendah yang dihasilkan pada frekuensi 5,8 GHz sebesar -14,86. Hasil ini sudah yang diharapkan pada frekuensi 2,4 GHz dan 5,8 GHz dengan return loss < -10 dB.

Tabel 5. Hasil Optimalisasi RL

Frekuensi	RL
2,2 GHz	-9,98
2,4 GHz	-14,58
2,6 GHz	-9,85
5,6 GHz	-10,01
5,8 GHz	-14,86
6,1 GHz	-9,95



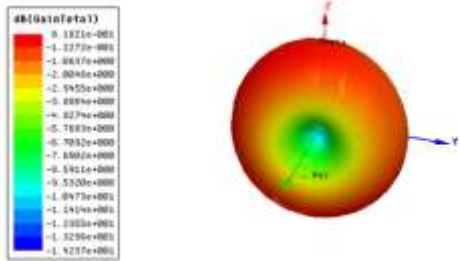
Gambar 9. Hasil Optimalisasi VSWR

Pada gambar 9 didapatkan hasil simulasi optimalisasi VSWR pada bandwidth 2,2 GHz sampai 2,6 GHz VSWR terendah yang dihasilkan pada frekuensi 2,4 GHz sebesar 1,45 dan pada bandwidth 5,7 GHz sampai 6 GHz VSWR terendah yang dihasilkan pada frekuensi 5,8 GHz sebesar 1,44. Hasil ini sudah sesuai dengan yang diharapkan yaitu $VSWR < 2$.

Tabel 5. Hasil Optimalisasi VSWR

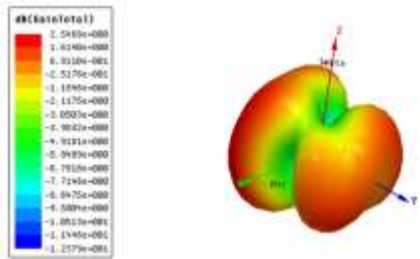
Frekuensi	VSWR
2,2 GHz	2,11
2,4 GHz	1,45
2,6 GHz	2,26
5,7 GHz	1,49
5,8 GHz	1,44
6 GHz	1,66

Bandwidth didapat dari gambar 8 yaitu hasil pengukuran return Loss setelah optimalisasi untuk RL dibawah -10 dB. Untuk frekuensi kerja 2,4 GHz, rentang frekuensi yaitu 2.240–2.600, maka Bandwidth yang didapat 360 MHz, sesangkan pada frekuensi 5,8 GHz didapat rentang frekuensi 5.560–6.180 yaitu 280 MHz.



Gambar 10. Hasil Simulasi Gain 2,4 Ghz

Gain antena hasil perancangan dan hasil simulasi HFSS pada frekuensi 2,4 GHz didapatkan sebesar 0,81 dBm dengan bentuk polaradiasi seperti terlihat pada gambar 10.



Gambar 11. Hasil Simulasi Gain 5,8 Ghz

Gain antena hasil perancangan pada simulasi hfss frekuensi 5,8 ghz didapatkan sebesar 2,54 dbm dengan bentuk polaradiasi seperti terlihat pada gambar 11.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil rancangan dan setelah dilakukan optimalisasi, parameter yang

didapat memenuhi standart yang ditentukan yaitu $RL < -10$ dB dan $VSWR < 2$, dimana hasil parameter yang didapat $VSWR$ yaitu 1,46 dan 1,44 pada frekuensi 2,4 GHz dan 5.8 GHz. *Return Loss* pada frekuensi GHz adalah -14,57 dB dan -14,86 dB untuk frekuensi 2,4 dan 5.8 GHz. Bandwidth 360 Mhz dan 620 MHz pada frekuensi 2,4 dan 5,8 GH. *Gain* sebesar 0,81 dBm pada frekuensi 2,4 GHz dan 2,54 dBm pada 5,8 GHz.

Daftar Pustaka

- Abrianto, H. H. (2020).** Reconfiguration of Double Stub Feeding in Microstrip Antenna Array for WLAN and WiMAX. *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering*, 9(1.5), 266–272. <https://doi.org/10.30534/ijatcse/2020/3891.52020>
- Abrianto, H. H., & Irmayani Husein Mukdien. (2022).** Disain Antena Mikrostrip Array Tiga Band untuk Aplikasi WiFi dan WiMax. *Teknik: Jurnal Ilmu Teknik Dan Informatika*, 2(1), 23–30. <https://doi.org/10.51903/teknik.v2i1.105>
- Abrianto, H. H., Mohamed, N., Dziyauddin, R. A., Sam, S. M., Mohd Izhar, M. A., & Ahmad, N. (2021).** Enhancement of Antenna Array Bandwidth through Matching Impedance Modification Using Double Stub Matching on Feeding. *Proceedings of the 2021 IEEE Symposium on Future Telecommunication Technologies, SOFTT 2021*, 17–21. <https://doi.org/10.1109/SOFTT54252.2021.9673147>
- Annisah, D., Alam, S., Surjati, I., Sari, L., & Trihantoro, G. (2021).** Perancangan Antena Mikrostrip Array MIMO 2x2 dengan Metode Slit pada Frekuensi Kerja 3, 5 GHz untuk Sistem Komunikasi 5G. 6(2), 253–262. <https://doi.org/10.31544/jtera.v6.i2.2021.253-262>
- Anthoni, M., Sahlendar, R., Pascawati, A., Reza, M., & Aziz, K. (2021).** Perancangan dan Simulasi Antena Mikrostrip MIMO 4 × 4 Rectangular Patch dengan Double U-Slot dan DGS pada Frekuensi 26 GHz untuk Aplikasi 5G. 5(April 2020), 371–382. <https://doi.org/10.35472/jsat.v5i2.336>
- Babakhani, B., Sharma, S. K., & Labadie, N. R. (2016).** A Frequency Agile Microstrip Patch Phased Array Antenna with Polarization Reconfiguration. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 64(10), 4316–4327. <https://doi.org/10.1109/TAP.2016.2598156>
- Benavides, J. B., Lituma, R. A., Chasi, P. A., & Guerrero, L. F. (2018).** A Novel Modified Hexagonal Shaped Fractal Antenna with Multi Band Notch Characteristics for UWB Applications. *Proceedings of the 2018 8th IEEE-APS Topical Conference on Antennas and Propagation in Wireless Communications, APWC 2018*, 830–833. <https://doi.org/10.1109/APWC.2018.8503774>
- Chawanonphithak, Y. (2016).** Miniaturized Dual-band V-Shaped Monopole Antenna fed by V-Stub. *Procedia - Procedia Computer Science*, 86(March), 43–46. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2016.05.011>
- Darmawan, P. A., Nur, L. O., Wijanto, H., Elektro, F. T., Telkom, U., & Akses, T. (2018).** ANTENA MIKROSTRIP ARRAY 1 × 4 INSET-FED PATCH PERSEGI untuk WIFI 2, 4 GHz ACCESS POINT. 5(1), 321–330.
- Dase, S., Razak, I., Studi, P., Telekomunikasi, T., Negeri, P., & Pandang, U. (2017).** RANCANG BANGUN ANTENA RECTANGULAR MICROSTRIP SLOT UNTUK. 2017(2), 5–10.
- Ivanov, I. K., Rehman, M. U., & Allen, B. (n.d.).** Printed Microstrip Antenna for Harvesting Energy from Mobile Phone Base Stations. 2–6.
- Li, Y., Chang, S., Li, M., & Yang, X. (2011).** A compact ring UWB antenna with tri-notch band characteristics using slots and tuning stub. *Proceedings - 2011 4th IEEE International Symposium on Microwave, Antenna, Propagation and EMC Technologies for Wireless Communications, MAPE 2011*, 12–15. <https://doi.org/10.1109/MAPE.2011.6156292>
- Lin, D. B., Wu, C. Y., Sung, C. H., & Lin, P. W. (2016).** Miniaturized dual-layers LTE MIMO printed antenna with hybrid

- decoupling elements to improve isolation. *2015 International Symposium on Antennas and Propagation, ISAP 2015*, 2–5.
- Manjurega, B., Saranya, M., Sasikala, R., ShayamEbenezer, D., & Yasmine, A.** (2019). Design and analysis of frequency reconfigurable U-shaped slot micro strip patch antenna using HFSS. *Proceedings of the 3rd International Conference on Computing Methodologies and Communication, ICCMC 2019, Iccmc*, 1084–1088. <https://doi.org/10.1109/ICCMC.2019.819684>
- McMichael, I. T., Lundberg, E. T., Hanna, D. L., & Kolak, F. S.** (2017). A horizon ring nulling shorted annular patch antenna with shunted stubs. *Progress In Electromagnetics Research M*, 62(2), 131–141. <https://doi.org/10.2528/PIERM17082504>
- Nursalam,** 2016, metode penelitian. (2013). HYBRID PATCH AND SLOT RECTANGULAR MICROSTRIP MIMO 4×4 ANTENNA for WIFI ACCESS POINT 2.4 GHz AND 5.8 GHz. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Osman, A. S., Islam, M. R., & Habaebi, M. H.** (2016). Modeling of Multiband/Wideband Stack Series Array Antenna Configuration for 5G Application. *Proceedings - 6th International Conference on Computer and Communication Engineering: Innovative Technologies to Serve Humanity, ICCCE 2016*, 349–354. <https://doi.org/10.1109/ICCCE.2016.80>
- Padhi, J., Mohapatra, M., & Dash, M.** (2018). A Wideband Triple U-slot Microstrip Antenna for Indoor Wireless Applications. *2018 9th International Conference on Computing, Communication and Networking Technologies, ICCCNT 2018*. <https://doi.org/10.1109/ICCCNT.2018.8493984>
- Sekhararao, K. C., & Babu, C.** (2016). *Design Of C-Shape Slot Microstrip Patch Antenna With Line Feed For WLAN Technology*. 11(6), 72–78. <https://doi.org/10.9790/2834-1106047278>
- Syah Alam, Indra Surjati, Yuli Kurnia Ningsih, M. U.** (2018). EFEK PENAMBAHAN BEBAN U SLOT PADA ANTENA MIKROSTRIP POLARISASI MELINGKAR UNTUK APLIKASI 4G/LTE. *January*.
- Tubbal, F. E., Raad, R., & Chin, K. W.** (2016). A wideband F-shaped patch antenna for S-band CubeSats communications. *2016, 10th International Conference on Signal Processing and Communication Systems, ICSPCS 2016 - Proceedings*, 18–21. <https://doi.org/10.1109/ICSPCS.2016.7843349>
- Weng, Y. F., Cheung, S. W., & Yuk, T. I.** (2010). Triple band-notched UWB antenna using meandered ground stubs. *2010 Loughborough Antennas and Propagation Conference, LAPC 2010, November*, 341–344. <https://doi.org/10.1109/LAPC.2010.5666262>
- Wu, W. J., Jun, W., Chun, W., & Ke, L.** (2016). Research on mutual coupling reduction between monopole antennas by using an E-shaped slot. *2015 IEEE 6th International Symposium on Microwave, Antenna, Propagation, and EMC Technologies, MAPE 2015*, 63–66. <https://doi.org/10.1109/MAPE.2015.7510265>
- Yunita, T.** (2020). *Desain Antena Mikrostrip Rectangular Patch Array 1 2 dengan U-Slot Frekuensi 28 GHz*. 7(1), 43–56.
- Zhou, Z., Wei, Z., Tang, Z., Yin, Y., & Ren, J.** (2019). Compact and wideband differentially fed dual-polarized antenna with high common-mode suppression. *IEEE Access*, 7, 108818–108826. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2933228>