

PERANCANGAN *RECTIFIER* PADA *RECTENNA* FREKUENSI 1,8 – 2,4 GHz SEBAGAI *WIRELESS POWER TRANSFER*

1st Tubagus Qadafi Ibrahimovic
School of Electrical Engineering
Telkom University
Bandung, Indonesia

tubagusqadafi@student.telkomuniversity.ac.id

2nd Levy Olivia Nur
School of Electrical Engineering
Telkom University
Bandung, Indonesia

levyolivia@telkomuniversity.ac.id

3rd Budi Prasetya
School of Electrical Engineering
Telkom University
Bandung, Indonesia

budiprasetya@telkomuniversity.ac.id

Abstrak — Penelitian ini membahas perancangan dan realisasi sistem *Wireless Power Transfer* (WPT) berbasis *rectenna* untuk menyalakan beban lampu LED. Sistem terdiri dari antena mikrostrip yang beroperasi pada frekuensi 1,8 GHz dan 2,4 GHz, serta rangkaian *rectifier* dengan konfigurasi *voltage multiplier* untuk mengonversi sinyal RF menjadi tegangan DC. Proses perancangan meliputi simulasi, optimasi desain antena, pembuatan rangkaian *rectifier*, fabrikasi komponen, dan pengujian performa masing-masing bagian sistem. Hasil pengujian menunjukkan bahwa antena yang direalisasikan memiliki *return loss* masing-masing sebesar –16,423 dB (1,8 GHz) dan –15,695 dB (2,4 GHz), dengan *VSWR* di bawah 1,5, yang menandakan *matching impedansi* yang baik. Nilai *gain* sedikit menurun dibandingkan hasil simulasi, diduga akibat rugi-rugi pada substrat FR-4 dan toleransi fabrikasi. Rangkaian *rectifier* dengan dioda 1N5711 menghasilkan tegangan output lebih tinggi dibandingkan BAS 40-04, terutama pada daya input rendah, meskipun efisiensi konversi masih terbatas. Pengujian beban LED menunjukkan sistem mampu menyalakan lampu, namun intensitas cahaya belum stabil. Secara keseluruhan, sistem *rectenna* berhasil membuktikan prinsip kerja transfer daya nirkabel, tetapi diperlukan optimasi lebih lanjut pada desain *matching network*, pemilihan komponen, dan material substrat untuk meningkatkan efisiensi daya.

Kata kunci— antena, LED, *rectifier*, *rectenna*, *wireless power transfer*

I. PENDAHULUAN

Kebutuhan akan sumber energi yang efisien, fleksibel, dan ramah lingkungan semakin mendesak, terutama untuk wilayah dengan keterbatasan pasokan listrik atau kualitas daya yang tidak stabil. Lampu Light Emitting Diode (LED) banyak digunakan karena hemat energi, namun umumnya bergantung pada sambungan listrik konvensional. Kondisi ini menjadi kendala di daerah terpencil, sekaligus meningkatkan ketergantungan pada pembangkit berbahan bakar fosil yang berdampak negatif terhadap lingkungan.

Seiring kemajuan teknologi, sistem *Wireless Power Transfer* (WPT) menawarkan pendekatan baru dalam penyediaan energi tanpa kabel melalui pemanfaatan gelombang elektromagnetik. Konsep ini memungkinkan suplai daya yang lebih praktis, mengurangi penggunaan kabel, serta memberi peluang penerapan pada berbagai perangkat portabel. Meski demikian, penerapan WPT masih menghadapi sejumlah tantangan teknis, seperti efisiensi penerimaan daya, penyesuaian impedansi, serta kestabilan

suplai pada beban. Oleh karena itu, diperlukan penelitian untuk merancang sistem penerima daya berbasis antena (*rectenna*) yang mampu bekerja pada rentang frekuensi tertentu, dengan desain yang optimal dan dapat direalisasikan secara manufaktur.

Tujuan penelitian ini adalah merancang dan menguji *rectenna* pada frekuensi 1,8–2,4 GHz untuk menyalakan LED secara nirkabel, dengan fokus pada optimasi gain, *return loss*, dan performa konversi daya pada rangkaian penyearah (*rectifier*).

II. KAJIAN TEORI

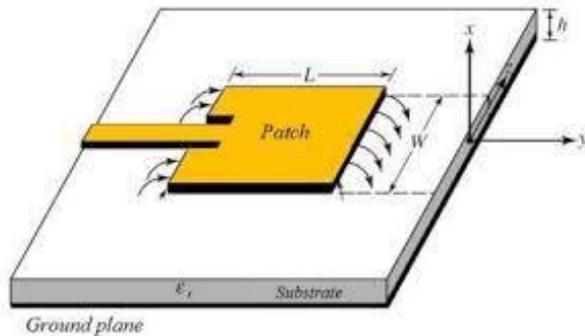
A. *Wireless Power Transfer* (WPT)

Wireless Power Transfer (WPT) merupakan teknologi yang memungkinkan penyaluran daya listrik tanpa sambungan kabel dengan memanfaatkan gelombang elektromagnetik sebagai media transmisi. Proses ini dapat dilakukan melalui beberapa pendekatan, di antaranya resonansi magnetik yang menggunakan kesesuaian frekuensi antara kumparan pemancar dan penerima, transmisi gelombang mikro yang mengirimkan energi menggunakan frekuensi tinggi dengan bantuan antena pengarah, serta induksi elektromagnetik yang memanfaatkan medan magnet untuk menginduksi arus pada kumparan penerima[4]. Metode berbasis radio frequency (RF) unggul dalam hal fleksibilitas jarak dan ukuran sistem yang ringkas, serta memiliki potensi melayani beberapa perangkat sekaligus. Namun, efisiensi sistem dapat menurun akibat rugi propagasi maupun hambatan lingkungan, sehingga dibutuhkan perancangan antena yang tepat dan pencocokan impedansi yang optimal untuk meminimalkan kehilangan daya.

B. Antena Mikrostrip

Antena mikrostrip banyak digunakan dalam sistem WPT karena bentuknya yang tipis, bobotnya ringan, serta kemudahan fabrikasi dan integrasi dengan perangkat lain. Struktur antena ini terdiri dari patch konduktif di bagian atas sebagai elemen peradiasi, lapisan substrate dielektrik yang memisahkan patch dengan ground plane, dan ground plane di bagian bawah yang berfungsi memantulkan gelombang sehingga membentuk pola radiasi yang diinginkan[6]. Kinerja antena dinilai dari parameter seperti *return loss*, *VSWR*, gain, bandwidth, pola radiasi, dan polarisasi. Dalam perancangan untuk WPT, antena harus dioptimalkan pada

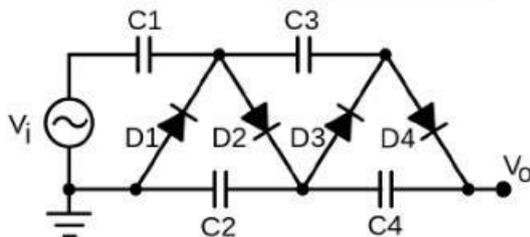
frekuensi sumber daya agar memiliki return loss rendah, gain memadai, dan bandwidth yang sesuai sehingga penerimaan energi lebih efektif.



GAMBAR 1
(Antena Mikrostrip)

C. Rangkaian Rectifier

Rectifier adalah rangkaian elektronik yang berfungsi mengubah sinyal arus bolak-balik (AC) menjadi arus searah (DC) dengan menggunakan dioda sebagai komponen utama. Untuk aplikasi pada frekuensi tinggi, dioda Schottky menjadi pilihan umum karena memiliki tegangan jatuh (*forward voltage drop*) rendah dan kecepatan switching yang tinggi[5]. Salah satu konfigurasi rectifier yang sering digunakan adalah voltage multiplier tipe Cockcroft–Walton, yang tersusun atas kapasitor dan dioda dalam beberapa tahap. Setiap tahap menambahkan tegangan hasil penyearahan sehingga keluaran dapat berlipat ganda dari tegangan masukan awal. Pemilihan nilai kapasitor, jenis dioda, serta jumlah tahap harus diperhitungkan dengan cermat untuk menjaga keseimbangan antara tegangan keluaran, arus, dan efisiensi sistem.



GAMBAR 2
(Skema voltage multiplier tipe Cockcroft–Walton)

D. Integrasi Antena dan Rectifier (Rectenna)

Rectenna merupakan gabungan antara antena penerima sinyal RF dan rangkaian rectifier yang terintegrasi menjadi satu sistem. Antena berfungsi menangkap gelombang elektromagnetik, sedangkan rectifier mengubahnya menjadi energi listrik DC yang siap digunakan oleh beban. Efisiensi rectenna sangat dipengaruhi oleh tingkat pencocokan impedansi antara antena dan rectifier, di mana ketidaksesuaian impedansi dapat menyebabkan daya terbuang. Dalam pengujian skala kecil, LED sering digunakan sebagai beban karena memerlukan daya rendah, mudah diamati secara visual, dan dapat memberikan indikasi langsung terhadap keberhasilan transfer daya. Nyala LED yang stabil menunjukkan kinerja sistem yang baik, sementara nyala redup atau berkedip menandakan perlunya optimasi desain.

E. Aplikasi pada Beban LED

Light Emitting Diode (LED) adalah komponen semikonduktor yang memancarkan cahaya ketika dialiri arus listrik searah. Komponen ini memiliki konsumsi daya rendah, umur pakai panjang, dan efisiensi pencahayaan tinggi, sehingga banyak digunakan pada sistem penerangan hemat energi. Dalam pengujian Wireless Power Transfer (WPT) berbasis rectenna, LED sering dipilih sebagai beban karena dapat memberikan indikator visual secara langsung terhadap keberhasilan transfer daya. Jika daya keluaran DC yang dihasilkan rectenna memenuhi kebutuhan tegangan dan arus LED sesuai spesifikasinya, lampu akan menyala stabil. Sebaliknya, jika daya tidak mencukupi, nyala lampu akan redup atau berkedip. Penggunaan LED sebagai beban juga mempermudah evaluasi awal sistem sebelum dilakukan pengukuran kuantitatif menggunakan instrumen elektronik

III. METODE

A. Spesifikasi Sistem

Dalam proses pengembangan solusi yang telah dirancang, diperlukan penetapan spesifikasi teknis secara sistematis guna memastikan bahwa *capstone design* yang dikembangkan dapat memenuhi kebutuhan dan harapan pengguna. Penentuan spesifikasi ini juga berfungsi sebagai acuan dalam proses perancangan dan implementasi sistem agar tetap berada dalam batasan yang telah ditentukan. Adapun tabel-tabel yang disajikan pada bagian ini memberikan gambaran secara rinci mengenai kemampuan sistem, sehingga dapat memperjelas nilai guna dan manfaat yang akan diterima oleh pengguna.

TABEL 1
(Spesifikasi Rectifier)

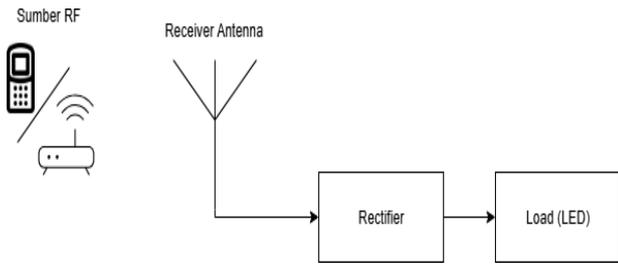
| Parameter | Keterangan |
|-----------|------------|
| Tegangan | 3 V |
| Arus | 200 mA |

TABEL 2
(Spesifikasi LED)

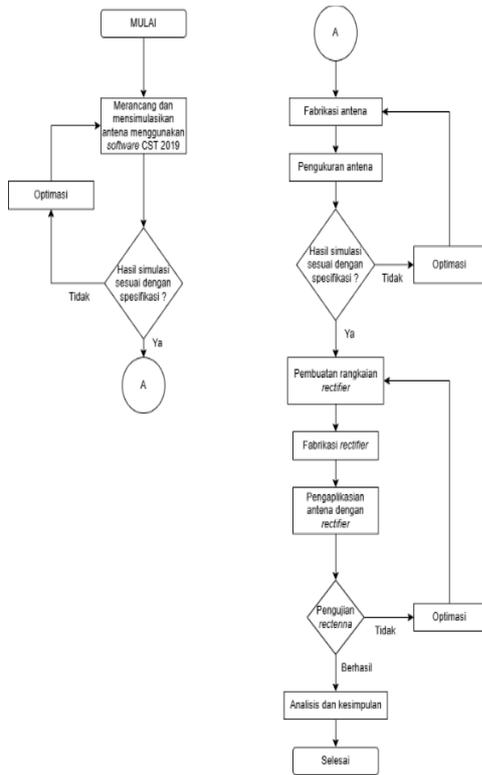
| Parameter | Keterangan |
|-----------|------------|
| Tegangan | 2 V |
| Arus | 20 mA |

B. Desain Sistem

Sistem Wireless Power Transfer (WPT) berbasis rectenna dirancang untuk mengalirkan daya listrik dari sumber ke beban tanpa sambungan fisik. Sumber daya RF dihasilkan oleh pemancar yang dihubungkan dengan antena pengarah sehingga energi dapat difokuskan menuju penerima. Antena penerima pada modul rectenna berfungsi menangkap sinyal elektromagnetik tersebut, lalu menyalurkannya ke rangkaian penyearah (rectifier) untuk diubah menjadi tegangan DC. Tegangan DC ini digunakan untuk menyalakan beban LED sebagai indikator visual keberhasilan transfer daya. Blok diagram sistem menggambarkan urutan proses ini mulai dari tahap pemancaran, penerimaan, penyearahan, hingga konsumsi daya oleh beban.



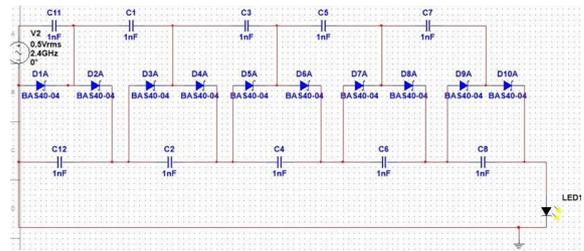
GAMBAR 3
(Blok diagram sistem)



GAMBAR 4
(Flowchart implementasi sistem)

C. Desain Rangkaian Rectifier

Rangkaian yang ditunjukkan pada Gambar 5 adalah sebuah rectifier multistage, atau biasa dikenal sebagai voltage multiplier, yang dirancang menggunakan software NI Multisim 14.2. Fungsinya adalah mengubah sinyal RF (Radio Frequency) menjadi tegangan DC (Direct Current). Pada skematik ini, digunakan sumber tegangan AC dengan frekuensi 2,4 GHz dan amplitudo 0,5 V_{rms} sebagai input. Rangkaian terdiri dari sepuluh dioda Schottky tipe BAS 40-04 serta kapasitor 1 nF yang disusun secara bertingkat untuk meningkatkan tegangan keluaran. Dioda berperan menyearahkan sinyal AC menjadi DC, sementara kapasitor menyimpan dan memindahkan muatan dari satu tahap ke tahap berikutnya, sehingga tegangan output semakin bertambah pada setiap stage.



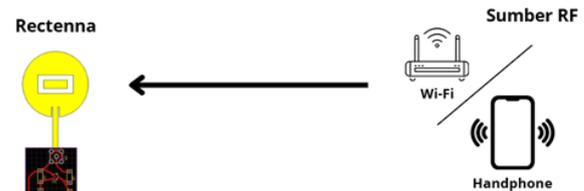
GAMBAR 5
(Skematik rangkaian rectifier)

D. Metode Pengukuran yang Sesuai

Pengujian sistem *Wireless Power Transfer* (WPT) berbasis rectenna dilakukan secara bertahap untuk memastikan performa setiap komponen memenuhi spesifikasi desain. Tahapan verifikasi meliputi pengujian rangkaian rectifier, dan rectenna.

Tahap verifikasi *rectifier* bertujuan mengukur efisiensi konversi sinyal RF menjadi tegangan DC pada beberapa level daya masukan. Pengujian menggunakan *signal generator* sebagai sumber sinyal RF, serta multimeter atau oscilloscope untuk mengukur tegangan output DC. Keluaran *signal generator* dihubungkan ke input rectifier melalui *connector SMA to female*, lalu frekuensi diatur pada 1,8 GHz dan 2,4 GHz. Daya input diberikan 7 dBm,

Tahap terakhir adalah pengujian sistem *rectenna* yang dilakukan pada sebuah ruangan. Pengujian ini menggunakan konfigurasi di mana Wi-Fi dan handphone berfungsi sebagai pemancar, sedangkan rectenna bertindak sebagai penerima sinyal. Sinyal elektromagnetik yang dipancarkan oleh Wi-Fi dan handphone diarahkan ke rectenna. Pada pengujian ini diharapkan sistem rectenna ini mampu menerima daya dan mengkonversinya menjadi energi listrik DC sehingga tegangan output yang dihasilkan mencukupi untuk menyalakan lampu LED.



GAMBAR 6
(Pengujian Sistem)

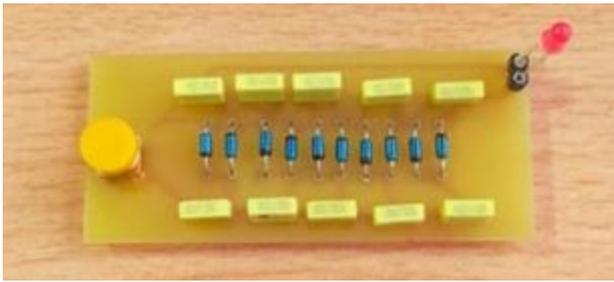
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Deskripsi Umum Implementasi

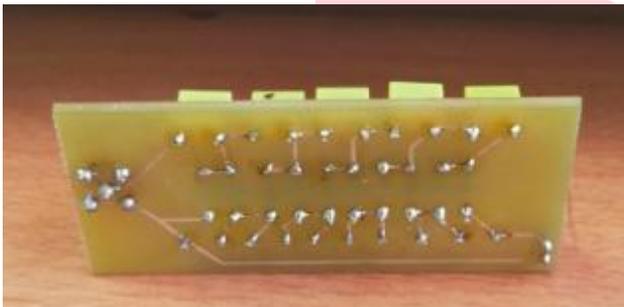
Implementasi sistem *Wireless Power Transfer* (WPT) berbasis rectenna dimulai dengan fabrikasi antena mikrostrip sesuai desain optimasi, pembuatan rangkaian rectifier dengan konfigurasi *voltage multiplier*, dan integrasi keduanya dengan beban lampu LED. Proses implementasi ditunjukkan pada Gambar 4, yang memuat alur dari tahap desain hingga pengujian.

Rectifier difabrikasi menggunakan PCB FR-4 dengan ketebalan 1,6 mm. Hasil fabrikasi ditunjukkan pada Gambar 7 (tampak depan) dan Gambar 8 (tampak belakang). Rangkaian rectifier dibuat pada PCB sesuai desain pada

Gambar 9 dan Gambar 10, dengan penggunaan dioda Schottky (BAS 40-04 dan 1N5711) untuk memaksimalkan efisiensi konversi RF-DC.

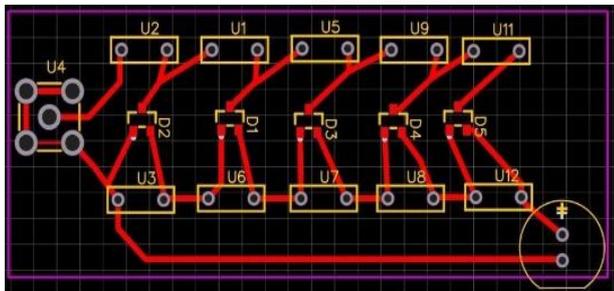


GAMBAR 7
(Tampak depan *rectifier* dengan dioda 1N5711)

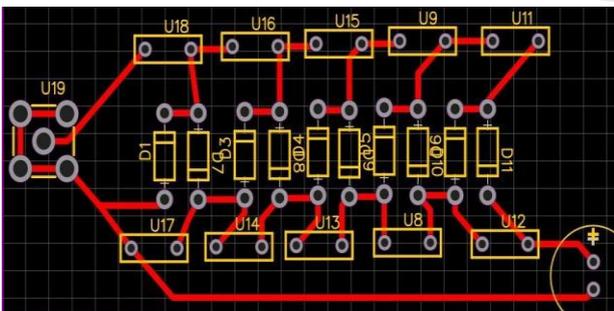


GAMBAR 8
(Tampak belakang *rectifier* dengan dioda 1N5711)

Pada Gambar 9 dan Gambar 10 merupakan sebuah desain PCB yang menggunakan 2 dioda berbeda. Pada gambar 8 menggunakan dioda BAS40-04 yang berbentuk lebih kecil jika dibandingkan dengan gambar 9 yang menggunakan dioda 1N5711. Perancangan desain PCB untuk setiap *rectifier* menggunakan aplikasi online yaitu *EASYEDA*.



GAMBAR 9
(Desain PCB *rectifier* 1)

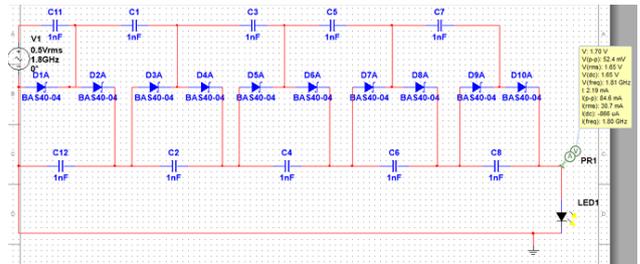


GAMBAR 10
(Desain PCB *rectifier* 2)

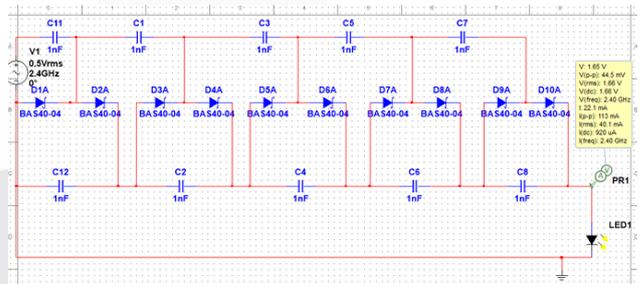
B. Hasil Simulasi Rangkaian *Rectifier*

Pada perancangan simulasi rangkaian *rectifier* ini menggunakan aplikasi NI *Multisim 14.2* yang digunakan untuk menganalisis rangkaian.

Hasil simulasi rangkaian voltage multiplier 5 tahap menunjukkan bahwa desain mampu mengubah sinyal RF bertegangan rendah menjadi tegangan DC yang dapat dimanfaatkan. Pada frekuensi 1,8 GHz dihasilkan tegangan keluaran sebesar 1,7 V dengan arus 2,19 mA, sedangkan pada frekuensi 2,4 GHz diperoleh tegangan 1,65 V dengan arus 22,1 mA, meskipun arus cenderung berfluktuasi. Nilai tegangan ini cukup untuk menyalakan LED bertegangan rendah seperti merah, kuning, atau hijau yang membutuhkan 1,6–2,0 V, namun LED terlihat berkedip akibat ketidakstabilan arus. Rangkaian terdiri dari 10 dioda Schottky BAS40-04 dan 10 kapasitor 1 nF yang tersusun sedemikian rupa sehingga dapat menggandakan tegangan secara bertingkat. Hasil simulasi membuktikan bahwa desain ini telah sesuai dengan spesifikasi untuk aplikasi wireless power transfer, walaupun untuk kebutuhan pengisian baterai atau catu daya sensor aktif masih diperlukan tegangan keluaran yang lebih besar dan kestabilan arus yang lebih baik.



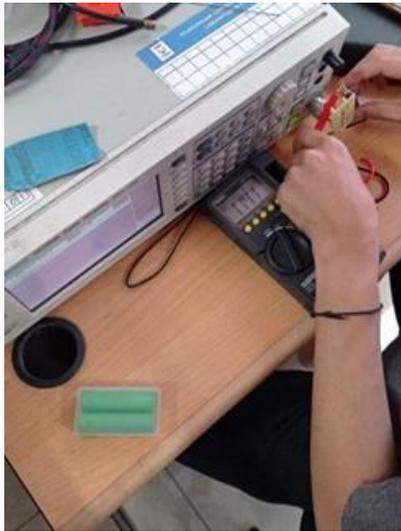
GAMBAR 11
(Hasil simulasi frekuensi 1,8 GHz)



GAMBAR 12
(Hasil simulasi frekuensi 2,4 GHz)

C. Hasil Pengujian Rectifier

Pengujian *rectifier* dilakukan dengan memasukkan sinyal RF dari signal generator pada frekuensi 1,8 GHz dan 2,4 GHz dengan variasi daya input. Hasil menunjukkan bahwa *rectifier* mampu menghasilkan tegangan DC pada output, namun besarnya bergantung pada daya input dan jenis dioda yang digunakan. *Rectifier* dengan dioda 1N5711 menghasilkan tegangan output lebih tinggi dibandingkan BAS 40-04, terutama pada level daya input yang rendah. Efisiensi konversi relatif masih rendah untuk menyalakan LED secara stabil. Hal ini diduga disebabkan oleh rugi-rugi pada jalur PCB, impedansi yang belum sepenuhnya match antara antenna dan *rectifier*, serta keterbatasan karakteristik dioda pada frekuensi tinggi.



GAMBAR 13
(Pengujian *rectifier*)

TABEL 3
(Hasil pengujian *rectifier*)

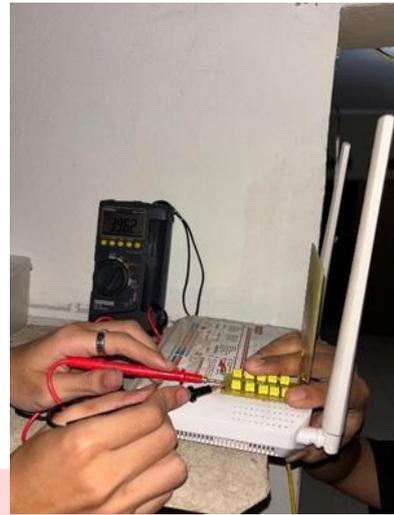
| Dioda | Output Tegangan (V) | |
|-----------|---------------------|---------|
| | 1,8 GHz | 2,4 GHz |
| BAS 40-04 | 1,141 | 1 |
| 1N5711 | 1,116 | 1,240 |

D. Hasil Pengujian *Rectenna*

Pengujian *rectenna* menunjukkan bahwa sistem *rectenna* belum mampu membuat LED menyala, pengujian terhadap kinerja *rectenna* dalam menangkap dan mengubah gelombang RF menjadi energi listrik menggunakan *handphone* dan Wi-Fi sebagai sumber sinyal dengan rentang jarak yang berbeda. Hasil dari kedua pengujian menunjukkan bahwa *rectenna* mampu menghasilkan tegangan output, namun belum cukup untuk menyalakan LED secara langsung. Salah satu faktor utama yang menyebabkan kegagalan LED menyala adalah keterbatasan komponen dioda penyearah yang digunakan dalam rangkaian *rectenna*. Akibatnya, meskipun sinyal dapat disearahkan, tegangan output yang dihasilkan tetap belum cukup untuk menyalakan LED.



GAMBAR 14
(Pengujian *Rectenna* dengan *handphone*)



GAMBAR 15
(Pengujian *Rectenna* dengan Wi-Fi)

TABEL 4
(Seluruh hasil pengujian)

| Jarak (cm) | Output Tegangan (mV) | | | | Tercapai/ Tidak Tercapai |
|------------|----------------------|--------|-----------|--------|-----------------------------|
| | <i>Handphone</i> | | Wi-Fi | | |
| | BAS 40-04 | 1N5711 | BAS 40-04 | 1N5711 | |
| 1 | 31,9 | 80,8 | 239,8 | 396,2 | Tidak tercapai |
| 2 | 10,9 | 57,2 | 99,3 | 334,9 | Tidak tercapai |
| 3 | 10,1 | 67,7 | 69 | 369,8 | Tidak tercapai |
| 4 | 18,6 | 72,9 | 28,2 | 55,3 | Tidak tercapai |
| 5 | 14,5 | 106 | 22,9 | 51,5 | Tidak tercapai |
| 6 | 5,9 | 108,9 | 20,1 | 66,3 | Tidak tercapai |
| 7 | 4,7 | 129 | 178 | 43,9 | Tidak tercapai |
| 8 | 3,1 | 108,6 | 120 | 174,2 | Tidak tercapai |
| 9 | 11 | 81,1 | 99 | 189,5 | Tidak tercapai |
| 10 | 15,9 | 67 | 65,6 | 52,4 | Tidak tercapai |

E. Eksperimen

Hasil pengujian *rectifier*, dioda 1N5711 memberikan tegangan output lebih tinggi dibandingkan BAS 40-04, terutama pada level daya input rendah. Hal ini dapat dikaitkan dengan *forward voltage* yang lebih kecil dan respon frekuensi tinggi yang lebih baik dari dioda 1N5711. Meski begitu, efisiensi konversi RF-DC masih terbatas, yang kemungkinan disebabkan oleh rugi-rugi pada jalur PCB, serta penurunan performa dioda pada frekuensi tinggi. Pengujian membuktikan bahwa sistem tidak mampu menyalakan beban. Kondisi ini menunjukkan bahwa tegangan DC yang dihasilkan berada di bawah batas kebutuhan LED, sehingga LED tidak dapat menyala karena tegangan *output* yang dihasilkan belum cukup untuk menyalakan LED.

V. KESIMPULAN

Penelitian ini telah berhasil merancang, merealisasikan, dan menguji sistem Wireless Power Transfer (WPT) berbasis *rectenna* yang digunakan untuk menyalakan beban LED.

Proses perancangan meliputi pembuatan antena mikrostrip dengan optimasi pada frekuensi kerja 1,8 GHz dan 2,4 GHz, perancangan rangkaian rectifier dengan konfigurasi voltage multiplier, serta integrasi keduanya untuk membentuk sistem lengkap. Hasil pengujian antena menunjukkan bahwa spesifikasi return loss di bawah -15 dB dan VSWR di bawah 1,5 dapat dicapai pada kedua frekuensi kerja, yang menandakan pencapaian matching impedansi yang baik. Namun, nilai gain hasil realisasi mengalami sedikit penurunan dibandingkan hasil simulasi, yang kemungkinan disebabkan oleh rugi-rugi konduktif pada substrat FR-4, toleransi proses fabrikasi, serta perbedaan sifat material nyata dengan model simulasi. Selain itu, terjadi perubahan polarisasi dari linear menjadi elips, yang dapat mengurangi efisiensi penerimaan daya jika sumber memiliki polarisasi berbeda.

Pada bagian rectifier, pengujian menunjukkan bahwa dioda 1N5711 menghasilkan tegangan DC yang lebih tinggi dibandingkan BAS 40-04, terutama pada daya input rendah, berkat forward voltage yang lebih kecil dan respon frekuensi tinggi yang lebih baik. Meskipun demikian, efisiensi konversi RF-DC masih relatif rendah akibat rugi-rugi pada jalur PCB dan ketidakcocokan komponen dioda dengan frekuensi kerja. Pengujian *rectenna* membuktikan bahwa sistem *rectenna* tidak mampu menyalakan lampu. Hal ini menunjukkan bahwa tegangan DC yang dihasilkan berada di bawah minimum kebutuhan LED, sehingga LED tidak dapat menyala karena tegangan *output* yang dihasilkan belum cukup untuk menyalakan LED. Secara keseluruhan, sistem ini telah berhasil membuktikan prinsip kerja *rectenna* untuk transfer daya nirkabel, namun efisiensinya masih dapat ditingkatkan. Perbaikan yang disarankan mencakup pemilihan dioda dengan kapasitansi junction rendah dan forward voltage kecil, penggunaan substrat dengan rugi dielektrik rendah, serta peningkatan gain antena untuk memaksimalkan daya yang diterima.

REFERENSI

- [1] M. M. Amri and L. Y. Sabila, "2.4 GHz Rectifier Antenna for Radiofrequency-based Wireless Power Transfer: Recent Developments, Opportunities, and Challenges," *J. Elektron. dan Telekomun.*, vol. 23, no. 1, p. 16, 2023, doi: 10.55981/jet.541.
- [2] H. Zheng, Z. Wang, Y. Li, and P. Deng, "Data transmission through energy coil of wireless power transfer system," *2017 IEEE PELS Work. Emerg. Technol. Wirel. Power Transf. WoW 2017*, pp. 4–7, 2017, doi: 10.1109/WoW.2017.7959373.
- [3] O. C. Onar *et al.*, "20-kW Bi-directional Wireless Power Transfer System with Energy Storage System Connectivity," *Conf. Proc. - IEEE Appl. Power Electron. Conf. Expo. - APEC*, vol. 2020-March, pp. 3208–3214, 2020, doi: 10.1109/APEC39645.2020.9124047.
- [4] T. Tidwell, "Membongkar Rahasia Transfer Daya Nirkabel: Teknologi, Manfaat, dan Keterbatasannya." Accessed: Jul. 06, 2025. Available: <https://www.nemko.com/blog/wireless-power-transfer>
- [5] Z. Shulham, "Penerapan Teknologi Wireless Power Transfer (Wpt) Dalam Pengisian Baterai Perangkat Elektronik Bergerak," *Tugas Mhs. Elektro*, pp. 1–12, 2023. Available: <https://coursework.uma.ac.id/index.php/elektro/article/view/606%0Ahttps://coursework.uma.ac.id/index.php/elektro/article/download/606/746>
- [6] C. A. Balanis, "[ENG_C.A.Balanis]_Antenna.Theory.Analysis.and.Design_2ed_(Wiley_1997).pdf," 1997.
- [7] L. Aprilita, "Pengertian Rectifier." Accessed: Jun. 20, 2025. Available: <https://www.scribd.com/document/514799729/Pengertian-Rectifier>.
- [8] A. A. K. Khalid, "RANCANG BANGUN PENYIMPAN DAYA RECTIFIER ANTENNA MULTIFREQUENCY UNTUK ENERGY HARVESTING," no. 8.5.2017, 2022.
- [9] N. Mustofa, D. Jatmiko, and E. Suseno, "Studi Rectenna (Rectifier Antenna) Untuk Mengubah Gelombang Elektromagnetik Rf Menjadi Sumber Tegangan Dc," *Youngster Phys. J.*, vol. 5, no. 1, pp. 27–34, 2016.
- [10] L. H. Nugraha, L. O. Nur, S. T. Mt, and S. T. Mt, "RECTIFIER ANTENNA (RECTENNA) PADA FREKUENSI KERJA 470 - 770 MHz UNTUK RF ENERGY HARVESTING RECTIFIER ANTENNA (RECTENNA) IN DTV WORK FREQUENCY 470 - 770 MHz FOR RF ENERGY HARVESTING Pada saat ini masalah besar yang sedang dialami oleh manusia diseluruh ," vol. 7, no. 1, pp. 1015–1022, 2020.
- [11] S. Buwarda, "Rectifier Antenna Untuk Energy Harvesting Gelombang Elektromagnetik," *J. Sci. Eng.*, vol. 5, no. 2, p. 143, 2022, doi: 10.33387/josae.v5i2.5629.
- [12] J. Zhang, "Rectennas for Rf Wireless," no. September, 2013.
- [13] C. Mukta, M. Rahman, and A. Z. M. T. Islam, "Design of a Compact Circular Microstrip Patch Antenna for WLAN Applications," *Int. J. AdHoc Netw. Syst.*, vol. 11, no. 03, pp. 01–11, 2021, doi: 10.5121/ijans.2021.11301.
- [14] M. Kuwazuru and M. Nunokawa, "Design of an Ultrawideband," vol. 56, no. 2, pp. 430–434, 2014.