

Computer Program Monitoring Rectifier Design For Wireless Power Transfer Applications Using Dipole Antenna

[Program Komputer Monitoring Desain Rectifier Untuk Aplikasi Wireless Power Transfer Menggunakan Antenna Dipole]

Indra Bhekki Utomo¹⁾, Shazana Dhiya Ayuni²⁾

¹⁾ Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

²⁾ Dosen Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

*Email Penulis Korespondensi²: shazana@umsida.ac.id

Abstract. This research presents the design and monitoring of a Wireless Power Transfer (WPT) system at 470 MHz using a dipole antenna and Villard-Dickson rectifier. The RF signal is emitted by a Handy Talkie and converted into DC voltage. The INA219 sensor and ESP32 microcontroller provide real-time monitoring, with output data displayed on an OLED screen. Tests show the system generates 7.84 V and 152 mA at 10 cm, but performance drops significantly with distance, reaching 1.89 V and 33 mA at 100 cm. The system effectively powers low-energy devices at short range and gives accurate voltage, current, and power readings. Its compact and efficient design is suitable for RF energy harvesting in small electronics. The findings support further development of eco-friendly, real-time monitored WPT systems. With future integration into IoT platforms and energy storage modules, this system has strong potential to support portable, wireless charging for various low-power electronic applications.

Keywords – Wireless Power Transfer, Rectifier, Dipole Antenna, ESP32, DC Voltage

Abstrak. Penelitian ini menyajikan perancangan dan pemantauan sistem Wireless Power Transfer (WPT) pada frekuensi 470 MHz menggunakan antena dipole dan rectifier Villard-Dickson. Sinyal RF dipancarkan oleh Handy Talkie dan dikonversi menjadi tegangan DC. Sensor INA219 dan mikrokontroler ESP32 digunakan untuk pemantauan real-time, dengan data keluaran ditampilkan pada layar OLED. Pengujian menunjukkan sistem menghasilkan 7,84 V dan 152 mA pada jarak 10 cm, namun performa menurun drastis seiring bertambahnya jarak, hanya mencapai 1,89 V dan 33 mA pada jarak 100 cm. Sistem ini efektif menghidupkan perangkat berdaya rendah dalam jarak pendek serta memberikan pembacaan tegangan, arus, dan daya secara akurat. Desain yang ringkas dan efisien cocok untuk aplikasi pemanenan energi RF pada perangkat kecil. Temuan ini mendukung pengembangan sistem WPT yang ramah lingkungan dengan pemantauan real-time. Dengan integrasi ke platform IoT dan modul penyimpanan energi, sistem ini berpotensi menjadi solusi pengisian daya nirkabel portabel untuk berbagai perangkat berdaya rendah.

Kata Kunci - Wireless Power Transfer, Rectifier, Antena Dipole, ESP32, Tegangan DC

I. PENDAHULUAN

Dalam era teknologi modern, kebutuhan akan sistem energi yang efisien dan berkelanjutan semakin meningkat. Salah satu solusi yang dikembangkan adalah teknologi Wireless Power Transfer (WPT), yaitu metode transfer daya listrik tanpa kabel yang memanfaatkan gelombang radio (Radio Frequency/RF). Teknologi ini memiliki potensi besar dalam berbagai aplikasi seperti pengisian daya perangkat portabel, sensor nirkabel, dan perangkat Internet of Things (IoT), karena dapat mengurangi ketergantungan pada baterai serta mengurangi limbah elektronik akibat penggantian baterai secara berkala [1][2].

Salah satu komponen utama dalam sistem WPT adalah rectifier, yang berfungsi mengubah sinyal RF menjadi tegangan arus searah (Direct Current/DC) agar dapat digunakan oleh perangkat elektronik. Untuk meningkatkan efisiensi konversi, digunakan rangkaian Villard-Dickson, yaitu rangkaian pengganda tegangan yang memanfaatkan kombinasi dioda dan kapasitor. Rangkaian ini dikenal efektif dalam meningkatkan tegangan output dari sinyal input bertegangan rendah, terutama ketika digunakan di frekuensi tinggi seperti pada spektrum UHF [3][4].

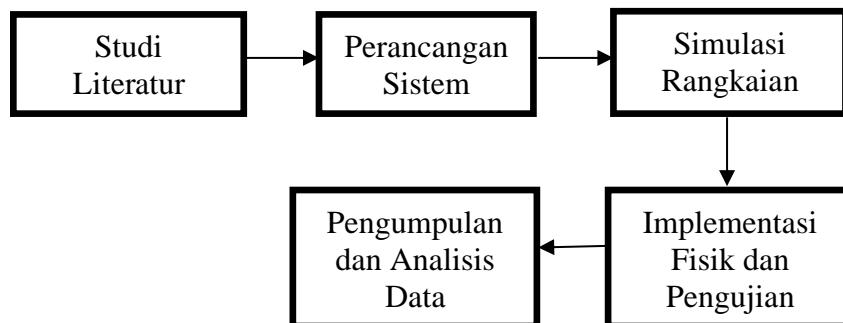
Penelitian ini secara khusus memfokuskan pada penerapan sistem WPT pada frekuensi 470 MHz, yaitu frekuensi maksimum dari rentang Handy Talkie (HT) dalam pita Ultra High Frequency (UHF). Frekuensi ini dipilih karena kemampuannya dalam memberikan hasil penerimaan sinyal RF yang optimal oleh antena dipole. Sinyal RF yang ditangkap oleh antena dipole dikonversi menjadi tegangan DC oleh rangkaian Villard-Dickson, dan hasil konversi ini dipantau menggunakan sensor tegangan INA219 serta mikrokontroler ESP32, dengan data ditampilkan secara real-time melalui layar LCD OLED [5][6].

Dengan pendekatan ini, sistem memungkinkan pemantauan efisiensi konversi daya secara langsung dan real-time. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi performa sistem konversi RF ke DC berbasis rangkaian Villard-Dickson pada frekuensi 470 MHz, serta menilai efektivitas sistem monitoring dalam menampilkan data tegangan dan arus. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat mendukung pengembangan sistem WPT yang efisien, aplikatif, dan ramah lingkungan dalam berbagai perangkat elektronik berdaya rendah [4][7].

II. METODE

A. Alur Penelitian

Alur penelitian ini disusun secara sistematis untuk memastikan setiap tahapan pengembangan dan evaluasi sistem Wireless Power Transfer (WPT) berjalan sesuai tujuan. Tahapan-tahapan tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut:



1. Studi Literatur

Tahap awal dilakukan dengan mengumpulkan referensi ilmiah terkait teknologi WPT, rectifier Villard-Dickson, pemantauan sistem berbasis mikrokontroler, serta karakteristik antena dipole dan frekuensi RF pada 470 MHz. Informasi dari studi ini menjadi dasar dalam merancang sistem secara teknis dan teoritis.

2. Perancangan Sistem

Rangkaian Villard-Dickson dirancang menggunakan software Fritzing dengan konfigurasi komponen seperti dioda Schottky dan kapasitor keramik. Sistem pemantauan dirancang menggunakan sensor INA219 dan mikrokontroler ESP32. Antena dipole dikalibrasi untuk menerima sinyal pada frekuensi 470 MHz. Selanjutnya, dilakukan pembuatan blok diagram dan skematik rangkaian secara menyeluruh.

3. Simulasi Rangkaian

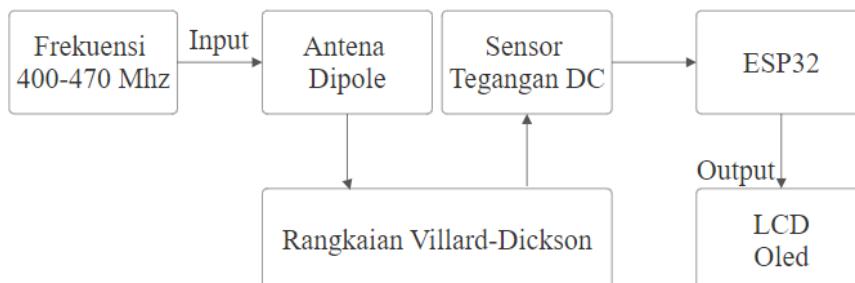
Sebelum implementasi fisik, dilakukan simulasi menggunakan software Proteus untuk menguji kestabilan dan respons rangkaian terhadap sinyal input AC. Tahap ini bertujuan untuk mendeteksi potensi error, mengevaluasi efisiensi penggandaan tegangan, dan mengoptimalkan pemilihan komponen.

4. Implementasi Fisik dan Pengujian

Setelah rangkaian dikonfirmasi secara simulasi, dilakukan perakitan secara fisik pada PCB. Handy Talkie (HT) digunakan sebagai sumber sinyal RF dengan frekuensi tetap 470 MHz. Sistem dioperasikan, dan data tegangan, arus, serta daya yang dihasilkan oleh rangkaian Villard-Dickson dipantau secara real-time menggunakan layar LCD OLED.

5. Perancangan Sistem

Data yang diperoleh dari sensor dan multimeter dianalisis untuk membandingkan stabilitas output, dan respon sistem terhadap variasi posisi penerima sinyal.



Gambar 1. Diagram blok sistem

Dari diagram blok diatas menjelaskan :

a. Sumber Sinyal RF (Handy Talkie)

Sinyal RF dipancarkan menggunakan perangkat Handy Talkie (HT) pada frekuensi 470 MHz. Pemilihan frekuensi ini bertujuan untuk menguji kinerja sistem pada rentang frekuensi UHF yang umum digunakan dan stabil untuk eksperimen jarak dekat. Antena dipole akan menerima sinyal RF dan mengubahnya menjadi energi listrik. Antena ini dirancang untuk beroperasi optimal pada frekuensi yang ditentukan, sehingga dapat memaksimalkan penerimaan sinyal.

b. Antena Dipole

Antena dipole berfungsi sebagai penerima sinyal RF yang dipancarkan dari HT. Antena ini dirancang dan dikalibrasi agar bekerja optimal pada frekuensi 470 MHz. Sinyal RF yang diterima kemudian diarahkan ke rangkaian rectifier untuk proses konversi.

c. Rangkaian Villard-Dickson (Rectifier)

Rangkaian ini bertugas mengubah sinyal RF menjadi tegangan DC. Villard-Dickson dipilih karena kemampuannya dalam mengandakan tegangan input rendah. Rangkaian terdiri dari dioda Schottky 1N5711 dan kapasitor 100 pF yang dirancang sedemikian rupa untuk menghasilkan output DC yang cukup stabil.

d. Sensor Tegangan dan Arus (INA219)

Tegangan dan arus yang dihasilkan oleh rectifier diukur menggunakan modul sensor INA219. Sensor ini mampu membaca tegangan dan arus secara akurat, serta menghitung daya output secara langsung sebelum diteruskan ke mikrokontroler.

e. Mikrokontroler ESP32

Mikrokontroler ESP32 berfungsi sebagai unit pemrosesan utama. Data yang diterima dari sensor INA219 diproses dan kemudian ditampilkan secara real-time. ESP32 juga memungkinkan ekspansi sistem ke dalam jaringan IoT pada tahap pengembangan selanjutnya.

f. Tampilan Data (LCD OLED 128x64)

Hasil pemrosesan data tegangan dan arus ditampilkan melalui layar LCD OLED berukuran 128x64 piksel. Tampilan ini memungkinkan pengguna memantau performa sistem secara langsung dan mendeteksi perubahan output secara cepat.

B. Perancangan perangkat lunak

Perancangan perangkat lunak dalam penelitian ini bertujuan untuk mendukung proses akuisisi, pengolahan, dan visualisasi data hasil konversi energi dari sistem Wireless Power Transfer (WPT). Sistem dibangun menggunakan bahasa pemrograman Arduino C++ dan dijalankan pada mikrokontroler ESP32 yang berfungsi sebagai unit pengendali utama. Proses pemrograman dilakukan melalui Arduino IDE, dengan memanfaatkan pustaka (*library*) Adafruit_SSD1306 untuk antarmuka tampilan OLED dan Adafruit_INA219 untuk pengolahan data dari sensor arus dan tegangan.

Langkah awal dalam pengembangan perangkat lunak adalah menginisialisasi antarmuka I2C antara ESP32 dengan sensor INA219 dan layar OLED. Konfigurasi ini memungkinkan ESP32 membaca data tegangan (V), arus (mA), dan daya (mW) secara digital dari sensor, serta menampilkannya dalam bentuk teks pada layar OLED 128x32 piksel. Algoritma utama terdiri dari dua bagian, yaitu fungsi setup() untuk inisialisasi dan fungsi loop() untuk pembacaan sensor secara terus-menerus, penghitungan daya, serta pembaruan tampilan antarmuka setiap satu detik.

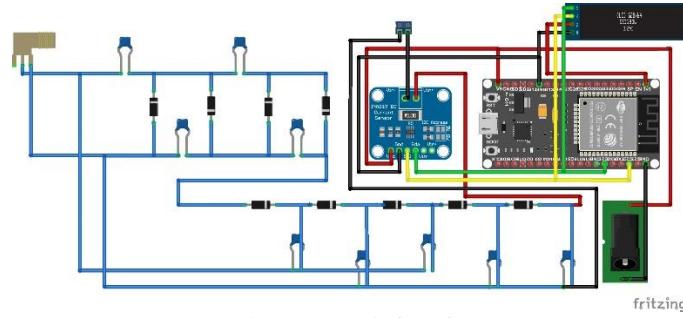
Perhitungan tegangan beban dilakukan dengan menjumlahkan nilai bus voltage dengan hasil bagi dari tegangan shunt terhadap 1000 (dalam satuan volt), sesuai dengan rumus:

$$V_{load} = V_{bus} + \frac{V_{shunt}}{1000}$$

Perhitungan ini bertujuan untuk memperoleh nilai tegangan total yang jatuh pada beban setelah dikonversi dari sinyal RF oleh rangkaian Villard-Dickson. Nilai arus dan daya diambil langsung dari pembacaan sensor INA219 dan digunakan untuk mengukur performa sistem secara real-time.

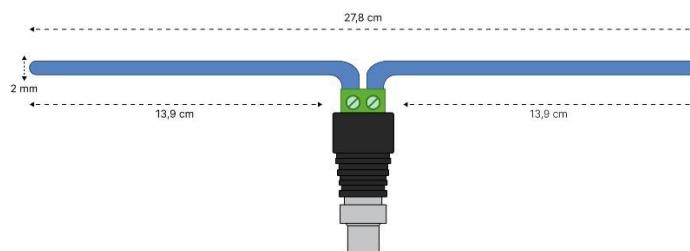
Hasil pembacaan kemudian ditampilkan melalui OLED display dalam format tiga baris informasi: tegangan (Volt), arus (mA), dan daya (mW). Untuk keperluan validasi dan dokumentasi, data juga dapat dipantau melalui Serial Monitor pada Arduino IDE dengan kecepatan baud rate 115200. Perangkat lunak ini dirancang untuk bekerja stabil pada kondisi tegangan minimal 0.3V, sehingga sistem hanya menampilkan data yang valid dan menghindari pembacaan error akibat sinyal RF yang terlalu lemah[8].

C. Perancangan perangkat keras



Gambar 2. Rangkaian sistem

Gambar 2. Merupakan rancangan perangkat keras bertujuan untuk membangun sistem Wireless Power Transfer (WPT) yang mampu mengonversi sinyal RF menjadi tegangan DC secara efisien dan dapat dimonitor secara real-time. Perangkat keras dirancang dalam bentuk prototipe menggunakan teknologi Through-Hole (THT) pada PCB, sehingga memudahkan perakitan dan pengujian. Sistem ini terdiri dari beberapa komponen utama: antena dipole, rangkaian rectifier Villard-Dickson, sensor INA219, mikrokontroler ESP32, dan OLED display 128x32[9].



Gambar 2. Desain antena dipole

Gambar 4 merupakan desain antena dipole yang dirancang menggunakan kabel NYA 2 mm dengan panjang masing-masing elemen 13,9 cm. Ukuran ini disesuaikan untuk mendekati resonansi pada frekuensi 470 MHz, frekuensi maksimal pada perangkat Handy Talkie (HT) yang digunakan sebagai pemancar sinyal RF. Antena dipasang menggunakan konektor BNC-SMA untuk menjamin kestabilan sambungan sinyal.

Sinyal RF yang diterima oleh antena dialirkan ke rangkaian Villard-Dickson, yang berfungsi sebagai penyearah dan pengganda tegangan. Rangkaian ini dibangun dengan menggunakan dioda Schottky 1N5711, yang dipilih karena memiliki tegangan maju rendah sehingga meminimalkan kehilangan daya, serta kapasitor 100 pF untuk menyimpan dan memperkuat tegangan output. Output dari rectifier berupa tegangan DC kemudian disalurkan ke sensor untuk diukur.

Tabel 1. Pinout sistem

No	Komponen	Nama Pin	Terhubung ke	Fungsi
1	ESP32	GPIO21 (SDA)	SDA INA219 & OLED	Jalur data I2C
2	ESP32	GPIO22 (SCL)	SCL INA219 & OLED	Jalur clock I2C
3	ESP32	GND	GND INA219, OLED, Power Jack	Ground sistem
4	ESP32	3.3V	OLED	Sumber daya 3.3V
5	ESP32	5V / Vin	Power Jack	Sumber daya 5V dan Vin
6	INA219	SDA	GPIO21 ESP32	Komunikasi data I2C
7	INA219	SCL	GPIO22 ESP32	Komunikasi clock I2C
8	INA219	VIN	5V ESP32	Sumber daya sensor
9	INA219	GND	GND ESP32	Ground sensor

10	OLED Display	SDA	GPIO21 ESP32	Komunikasi data I2C
11	OLED Display	SCL	GPIO22 ESP32	Komunikasi clock I2C
12	OLED Display	VCC	3.3V ESP32	Sumber daya layar
13	OLED Display	GND	GND ESP32	Ground layar
14	Villard-Dickson	Output (V+)	Input INA219 (V+ dan V-)	Input tegangan & arus yang diukur
15	Villard-Dickson	Output (V+ dan V-)	Screw Terminal	Untuk beban

Tabel 1. Merupakan pinout sistem dimana sensor INA219 digunakan untuk mengukur tegangan, arus, dan daya yang dihasilkan oleh rectifier. Sensor ini mendukung komunikasi digital berbasis protokol I2C, sehingga hanya memerlukan dua jalur utama (SDA dan SCL) untuk komunikasi data dengan mikrokontroler ESP32. Sensor terhubung ke input V+ dan V- yang berasal dari keluaran rangkaian Villard-Dickson.

Mikrokontroler ESP32 berperan sebagai unit pengolah utama yang menerima data dari sensor INA219 dan mengirimkannya ke layar OLED. ESP32 menggunakan pin GPIO21 (SDA) dan GPIO22 (SCL) untuk komunikasi I2C. Board ESP32 juga menerima catu daya melalui jack DC 5V atau koneksi USB yang langsung masuk ke pin Vin, dan mendistribusikan daya ke seluruh sistem.

Sebagai keluaran visual, digunakan layar OLED 128x32 untuk menampilkan nilai tegangan, arus, dan daya secara real-time. Layar ini dihubungkan secara paralel ke jalur I2C yang sama dengan sensor INA219. Semua komponen dirakit pada PCB prototipe, dan koneksi antar pin disesuaikan sesuai kebutuhan daya dan jalur komunikasi untuk memastikan sistem dapat bekerja secara stabil dan akurat [10].

Pemasangan komponen dilakukan berdasarkan tinggi fisik komponen, dimulai dari dioda dan kapasitor, dilanjutkan dengan sensor dan konektor. Setelah seluruh komponen terpasang, dilakukan proses penyolderan dari sisi bawah PCB dan pengujian koneksi menggunakan multimeter. Hal ini bertujuan untuk memastikan tidak terjadi hubungan pendek antar jalur, yang dapat mengganggu fungsi sistem.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian sistem Wireless Power Transfer (WPT) dilakukan untuk mengevaluasi performa konversi daya dan kestabilan sistem monitoring secara real-time. Parameter yang diamati meliputi tegangan (V), arus (mA), dan daya (mW) yang dihasilkan oleh rangkaian Villard-Dickson dari sinyal RF yang dipancarkan oleh Handy Talkie (HT) pada frekuensi 470 MHz. Jarak antara antena pemanca dan antena penerima di variasikan untuk mengamati pengaruhnya terhadap efisiensi sistem.

A. Hasil Monitoring Tegangan

Tegangan output yang dihasilkan sistem direkam menggunakan sensor INA219 dan divalidasi menggunakan multimeter digital. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pada jarak 10 cm, tegangan maksimum yang terbaca mencapai 7,84 V (INA219) dan 7,63 V (multimeter). Tegangan menurun signifikan seiring bertambahnya jarak, dengan nilai hanya sekitar 1,89 V pada jarak 100 cm. Penurunan ini terjadi karena pelemahan intensitas sinyal RF yang diterima oleh antena dipole.

Tabel 2. Hasil monitoring tegangan

No	Jarak (cm)	Tegangan INA219 (V)	Tegangan Multimeter (V)
1	10	7,84	7,63
2	20	4,92	4,70
3	50	2,21	2,17
4	100	1,89	1,70

Pada Tabel 2. Hasil monitoring tegangan terlihat perbedaan kecil antara pembacaan sensor dan multimeter disebabkan oleh waktu sampling INA219 yang lebih cepat, yang membuatnya mampu menangkap nilai tegangan se saat lebih tinggi dibanding multimeter konvensional.

B. Hasil Monitoring Arus

Arus output menunjukkan tren penurunan seiring bertambahnya jarak. Pada jarak 10 cm, arus mencapai 152 mA (INA219) dan 150 mA (multimeter), sedangkan pada jarak 100 cm turun menjadi 33 mA. Arus sangat dipengaruhi

oleh jumlah energi aktual yang mengalir ke beban, bukan hanya tegangan sesaat. Karena arus bergantung pada daya riil, penurunan yang konsisten mengindikasikan pelemahan sumber energi dari sinyal RF yang terlihat pada Tabel 3. Hasil monitoring arus.

Tabel 3. Hasil monitoring arus

No	Jarak (cm)	Arus INA219 (mA)	Arus Multimeter (mA)
1	10	152	150
2	20	128	125
3	50	76	73
4	100	33	33

C. Hasil Monitoring Daya

Daya dihitung sebagai hasil perkalian tegangan dan arus. Pada jarak 10 cm, daya output sistem mencapai 1192 mW (INA219) dan 1160 mW (multimeter), cukup untuk menyalakan beban berupa lampu DC 12V 30W dengan intensitas terang. Seiring bertambahnya jarak, daya turun secara konsisten, hingga hanya mencapai sekitar 62 mW pada jarak 100 cm, yang sudah tidak mencukupi untuk menghidupkan beban yang terlihat pada Tabel 4. Hasil pengukuran daya.

Tabel 4. Hasil pengukuran daya

No	Jarak (cm)	Daya INA219 (mW)	Daya Multimeter (mW)
1	10	1192	1160
2	20	629	598
3	50	168	158
4	100	62	56

D. Pembahasan

Dari hasil pengujian, dapat disimpulkan bahwa sistem WPT bekerja paling optimal pada jarak pendek (< 30 cm). Penurunan kinerja secara eksponensial pada jarak lebih dari 50 cm menunjukkan keterbatasan jangkauan sistem dalam menangkap dan mengonversi energi RF. Selain itu, sistem monitoring berbasis INA219 dan ESP32 terbukti mampu menampilkan data tegangan, arus, dan daya secara akurat dan real-time. Grafik perbandingan hasil sensor dan multimeter menunjukkan bahwa toleransi pembacaan masih dalam batas wajar dan konsisten.

Penurunan daya yang signifikan juga dipengaruhi oleh faktor-faktor eksternal seperti orientasi antena, sudut pantulan sinyal, dan interferensi lingkungan. Sistem ini masih dapat dikembangkan lebih lanjut, misalnya dengan penggunaan antena berpenguatan tinggi atau penambahan rangkaian resonansi untuk memperluas jangkauan efektif dan meningkatkan efisiensi konversi daya.

IV. SIMPULAN

Penelitian ini berhasil merancang dan mengimplementasikan sistem Wireless Power Transfer (WPT) menggunakan antena dipole dan rangkaian Villard-Dickson yang bekerja pada frekuensi 470 MHz. Sinyal RF dari perangkat Handy Talkie dikonversi menjadi tegangan DC yang dapat digunakan untuk menyalakan beban berdaya rendah. Sistem dilengkapi dengan modul ESP32 dan sensor INA219 untuk memantau parameter tegangan, arus, dan daya secara real-time melalui tampilan OLED.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu menghasilkan tegangan maksimum sebesar 7,84 V dan arus hingga 152 mA pada jarak 10 cm. Namun, performa sistem menurun signifikan seiring bertambahnya jarak, dengan daya output hanya sekitar 62 mW pada jarak 100 cm. Hal ini menunjukkan bahwa sistem WPT yang dirancang efektif digunakan dalam jarak pendek, dengan efisiensi konversi terbaik di bawah 30 cm.

Sistem monitoring berbasis INA219 dan ESP32 terbukti memberikan pembacaan yang akurat dan konsisten, dengan perbedaan yang kecil terhadap pembacaan multimeter. Hal ini menunjukkan keandalan sistem dalam pengukuran parameter kelistrikan secara digital. Dengan demikian, sistem ini dapat menjadi dasar pengembangan solusi pengisian daya nirkabel untuk perangkat elektronik berdaya rendah secara portabel dan ramah lingkungan.

Saran untuk pengembangan lebih lanjut, sistem Wireless Power Transfer (WPT) ini dapat dioptimalkan dengan menggunakan antena beresonansi tepat pada frekuensi 470 MHz atau antena dengan gain lebih tinggi agar efisiensi dan jangkauan meningkat. Selain itu, integrasi dengan modul penyimpanan energi seperti superkapasitor atau baterai

akan memungkinkan sistem menyimpan daya dan tetap berfungsi meski sinyal RF tidak tersedia secara terus-menerus. Mikrokontroler ESP32 juga berpotensi dikembangkan untuk terhubung dengan platform Internet of Things (IoT), sehingga pemantauan daya dapat dilakukan secara jarak jauh dan real-time. Pengujian tambahan terhadap berbagai jenis beban dan penambahan fitur proteksi seperti over-voltage atau thermal shutdown akan meningkatkan keandalan dan kelayakan sistem untuk aplikasi praktis jangka panjang.

V. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis ingin mengucapkan terima kasih dan syukur kepada Allah SWT atas segala rahmat, petunjuk, dan pertolongan-Nya sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik dan lancar. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan kontribusi dalam berbagai bentuk selama proses penelitian ini berlangsung. Ucapan terima kasih khusus penulis sampaikan kepada para dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, arahan, dan dukungan yang sangat berarti sepanjang proses penelitian. Segala bantuan yang diberikan menjadi bagian penting dalam keberhasilan penyusunan dan penyelesaian penelitian ini.

REFERENSI

- [1] S. D. Ayuni, E. Setijadi, and W. Wirawan, "PENGUKURAN EFEKTIFITAS ENERGI SOLAR CELL SEBAGAI SUMBER DAYA PADA JARINGAN SENSOR NIRKABEL," in *Prosiding SENTRA (Seminar Teknologi dan Rekayasa)*, 2018.
- [2] F. Yakine and A. Kenzi, "Energy Harvesting in Wireless Communication: A Survey," *E3s Web of Conferences*, vol. 336, p. 00074, 2022, doi: 10.1051/e3sconf/202233600074.
- [3] C. Baytöre, C. Göcen, A. Kaya, M. Palandöken, F. C. Can, and F. Güneş, "A Novel Split-Ring Resonator and Voltage Multiplier Based Rectenna Design for 900 MHz Energy Harvesting Applications," *Radioengineering*, vol. 27, no. 3, pp. 711–717, 2018, doi: 10.13164/re.2018.0711.
- [4] I. Adam, M. N. M. Yasin, S. Z. Ibrahim, and N. Haris, "Development of Cascaded Voltage Doubler Rectifier for Rf Energy Harvesting," *J Teknol*, vol. 84, no. 2, pp. 153–161, 2022, doi: 10.11113/jurnalteknologi.v84.17405.
- [5] G.-M. Sung, C.-K. Chung, Y. Lai, and J.-Y. Syu, "Small-Area Radiofrequency-Energy-Harvesting Integrated Circuits for Powering Wireless Sensor Networks," *Sensors*, vol. 19, no. 8, p. 1754, 2019, doi: 10.3390/s19081754.
- [6] D. Xu and H. Zhu, "Outage Minimized Resource Allocation for Multiuser OFDM Systems With SWIPT," *Ieee Access*, vol. 7, pp. 79714–79725, 2019, doi: 10.1109/access.2019.2922965.
- [7] D. E. Setyawan, Wirawan, and E. Setijadi, "Experimental Study of 500 MHz Low-Power Radiative WPT for Low-Power Home Electronic Appliances," in *Proceeding - COMNETSAT 2023: IEEE International Conference on Communication, Networks and Satellite*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2023, pp. 47–52. doi: 10.1109/COMNETSAT59769.2023.10420775.
- [8] A. R. Al-Ali, A. El-Hag, M. Bahadiri, M. Harbaji, and Y. Haj, "Smart Home Renewable Energy Management System," *Energy Procedia*, vol. 12, pp. 120–126, Jul. 2011, doi: 10.1016/j.egypro.2011.10.017.
- [9] H. El-Khozondar *et al.*, "A Smart Energy Monitoring System using ESP32 Microcontroller," *e-Prime - Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy*, vol. 9, p. 100666, Jul. 2024, doi: 10.1016/j.prime.2024.100666.
- [10] K. Khandare and D. Jape, "Research on Smart Power Monitoring System Using IoT," *IJIREEICE*, vol. 12, Jul. 2024, doi: 10.17148/IJIREEICE.2024.12606.

Conflict of Interest Statement:

The author declares that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.