GEAR: *General Engineering & Applied Science Journal, Vol 1 Issues 4, 2026*
E-ISSN: 3124-4092
https://publications.corejurnal.com/index.php/gear/

Rancang Bangun dan Evaluasi Kinerja Sistem Pengisian Daya Nirkabel Berbasis IoT dengan Deteksi Kendaraan dan Pengendalian Jarak Jauh

Gilbert Yosafat Gandung[1], Elsyea Adia Tunggadewi[2*], Aji Akbar Firdaus[3], Sisca Dina Nur Nahdliyah[4]
[1,2,3,4]Fakultas Vokasi, Universitas Airlangga
*Corresponding Author: elsyea-adia-tunggadewi@vokasi.unair.ac.id

Abstrak

Perkembangan kendaraan listrik mendorong kebutuhan terhadap sistem pengisian daya yang praktis dan dapat dikendalikan secara jarak jauh. Penelitian ini bertujuan merancang dan mengevaluasi prototipe sistem pengisian daya nirkabel berbasis Internet of Things (IoT) dengan deteksi keberadaan kendaraan dan pengendalian suplai listrik. Sistem mengintegrasikan mikrokontroler ESP8266, sensor inframerah, relay, modul wireless charging, LCD 16×2, dan aplikasi Arduino IoT Remote. Pengujian dilakukan terhadap fungsi deteksi objek, kendali ON/OFF melalui IoT, karakteristik transmisi daya berdasarkan jarak, parameter kelistrikan, serta perubahan indikator persentase baterai. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor inframerah mampu membedakan kondisi keberadaan objek melalui keluaran digital. Pengendalian melalui aplikasi IoT memungkinkan perubahan kondisi relay dan transmitter sesuai perintah yang diberikan. Pada pengujian jarak, indikator LED menyala pada rentang 0,5–2,0 cm dan menunjukkan penurunan intensitas pada jarak yang lebih besar. Pengujian baterai memperlihatkan peningkatan indikator persentase sebesar satu poin setiap 1,5 menit selama interval pengamatan, dengan estimasi waktu pengisian dari 10% hingga 100% sebesar 135 menit. Hasil tersebut menunjukkan bahwa fungsi deteksi objek, kendali jarak jauh, dan transfer daya nirkabel dapat diintegrasikan dalam satu prototipe. Evaluasi lebih lanjut diperlukan untuk memastikan mekanisme pemutusan daya otomatis, efisiensi transfer energi, dan ketelitian pemantauan kapasitas baterai.

Kata kunci: *ESP8266, Internet of Things, Kendaraan Listrik, Pengisian Baterai, Wireless Charging.*

Design and Performance Evaluation of an IoT-Based Wireless Power Charging System with Vehicle Detection and Remote Control

Abstract

The development of electric vehicles drives the need for practical charging systems that can be controlled remotely. This study aims to design and evaluate a prototype of an Internet of Things (IoT)-based wireless charging system equipped with vehicle presence detection and power supply control. The system integrates an ESP8266 microcontroller, an infrared sensor, a relay, a wireless charging module, a 16x2 LCD, and the Arduino IoT Remote application. Testing was conducted on object detection functions, ON/OFF control via IoT, power transmission characteristics based on distance, electrical parameters, and changes in battery percentage indicators. The test results show that the infrared sensor is capable of distinguishing object presence conditions through digital outputs. Control via the IoT application allows changes in relay and transmitter states according to given commands. In distance testing, the LED indicator lights up within a range of 0.5–2.0 cm and shows a decrease in intensity at greater distances. Battery testing demonstrates an increase in the percentage indicator of one point every 1.5 minutes during the observation interval, with an estimated charging time from 10% to 100% of 135 minutes. These results indicate that object detection, remote control, and wireless power transfer functions can be integrated into a single prototype. Further evaluation is required to ensure automatic power cutoff mechanisms, energy transfer efficiency, and the accuracy of battery capacity monitoring.

Keywords**:** *ESP8266, Internet of Things, Electric Vehicles, Battery Charging, Wireless Charging.*

PENDAHULUAN

Perkembangan kendaraan listrik (*electric vehicle*/EV) mendorong kebutuhan terhadap teknologi pengisian daya yang praktis, efisien, dan mudah dioperasikan. Salah satu teknologi yang dikembangkan untuk memenuhi kebutuhan tersebut adalah pengisian daya nirkabel (*wireless charging*), yaitu proses transfer energi listrik dari sumber menuju perangkat penerima tanpa menggunakan koneksi kabel secara langsung. Teknologi ini memanfaatkan prinsip induksi elektromagnetik untuk memungkinkan perpindahan energi antara kumparan pengirim (*transmitter*) dan kumparan penerima (*receiver*). Meskipun menawarkan kemudahan penggunaan, kinerja pengisian daya nirkabel dipengaruhi oleh sejumlah faktor, antara lain konfigurasi kumparan, jarak transfer energi, posisi relatif kedua kumparan, dan karakteristik rangkaian kompensasi (Aydin et al., 2022; Mahesh et al., 2021; Rabih et al., 2024).

Sistem pengisian daya nirkabel pada kendaraan listrik umumnya menggunakan prinsip *loosely coupled transformer*, yaitu transfer energi melalui kopling magnetik antara kumparan pengirim dan penerima yang memiliki keterikatan magnetik relatif rendah dibandingkan transformator konvensional. Zhang et al. (2015) membahas struktur transformator dengan kopling longgar serta aspek interoperabilitas pada sistem pengisian daya nirkabel kendaraan listrik. Selain itu, Kan et al. (2018) mengembangkan desain kumparan terintegrasi menggunakan topologi kompensasi LCC untuk mendukung karakteristik transfer daya. Perkembangan sistem tersebut juga dibahas oleh Rayan et al. (2023), yang meninjau topologi kompensasi, struktur kumparan, dan aspek keselamatan dalam transfer daya nirkabel kendaraan listrik. Kajian-kajian tersebut menunjukkan pentingnya pemilihan konfigurasi rangkaian dan desain kumparan dalam mendukung kinerja sistem pengisian daya.

Salah satu tantangan utama pada teknologi pengisian daya induktif adalah perubahan kemampuan transfer energi akibat variasi jarak dan posisi antara *transmitter* dan *receiver*. Perubahan jarak dapat memengaruhi karakteristik kopling magnetik, sehingga berdampak pada tegangan, arus, dan daya yang diterima pada sisi keluaran. Okasili et al. (2022) membahas karakteristik sistem transfer daya nirkabel dengan penekanan pada kopling induktif, sedangkan Palani dan Sengamalai (2023) mengulas berbagai aspek pengisian daya induktif pada kendaraan listrik. Tran et al. (2023) turut membahas sistem transfer daya induktif untuk aplikasi mobilitas listrik dengan karakteristik tegangan rendah dan arus tinggi. Berdasarkan hal tersebut, pengujian variasi jarak antara kedua kumparan diperlukan untuk mengidentifikasi karakteristik keluaran dan batas kerja prototipe pada konfigurasi pengujian yang digunakan.

Selain karakteristik transfer energi, kemampuan pengendalian dan pemantauan merupakan aspek penting dalam pengembangan sistem pengisian daya. Integrasi teknologi *Internet of Things* (IoT) memungkinkan pertukaran informasi serta pengiriman perintah pengendalian melalui jaringan komunikasi. Dalam rancangan prototipe ini, mikrokontroler ESP8266 digunakan sebagai pengendali utama yang menerima masukan sensor inframerah dan perintah melalui aplikasi Arduino IoT Remote. Modul *relay* digunakan untuk menghubungkan atau memutus suplai listrik menuju *transmitter*,

sedangkan sensor inframerah berfungsi mendeteksi keberadaan objek kendaraan pada area pengisian. Integrasi tersebut dirancang agar proses pengisian dapat dikendalikan berdasarkan keberadaan objek dan perintah pengguna melalui aplikasi.

Aspek lain yang perlu diperhatikan adalah pemantauan kondisi baterai selama proses pengisian. Tingkat keterisian baterai atau *state of charge* (SoC) merupakan parameter yang digunakan untuk menggambarkan perkiraan energi tersisa relatif terhadap kapasitas baterai yang dapat digunakan. Zhang et al. (2022) membahas perkembangan teknik estimasi SoC baterai lithium-ion menggunakan pembelajaran mendalam, sedangkan Swarnkar et al. (2023) mengulas berbagai teknik estimasi kondisi kesehatan dan tingkat keterisian baterai pada aplikasi kendaraan listrik. Eleftheriadis et al. (2023) juga membahas pemanfaatan teknik berbasis data dalam estimasi SoC baterai lithium-ion. Literatur tersebut menunjukkan bahwa estimasi tingkat keterisian baterai memerlukan pertimbangan terhadap karakteristik dan parameter pengukuran yang digunakan. Oleh karena itu, indikator persentase baterai yang diperoleh dari pemantauan tegangan perlu dibedakan dari hasil pengukuran kapasitas baterai aktual.

Perkembangan teknologi pengisian daya nirkabel juga mencakup peningkatan desain kumparan, pemilihan rangkaian kompensasi, dan karakteristik sistem pengisian untuk kendaraan listrik. Xie et al. (2023) membahas desain kumparan terintegrasi berdasarkan topologi kompensasi LCCL-S, sedangkan Vishnuram et al. (2023) meninjau topologi konverter dan berbagai aspek teknologi pengisian kendaraan listrik. Kajian yang lebih mutakhir oleh Xue et al. (2025) memberikan pembahasan mengenai perkembangan teknologi pengisian daya nirkabel kendaraan listrik. Literatur tersebut memperlihatkan bahwa pengembangan teknologi pengisian daya nirkabel mencakup berbagai aspek teknis, mulai dari transfer energi hingga konfigurasi rangkaian. Sementara itu, evaluasi terhadap integrasi fungsi deteksi objek, pengendalian jarak jauh, dan pemantauan kondisi pengisian tetap relevan untuk dilakukan pada tingkat prototipe.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan merancang dan mengevaluasi prototipe sistem pengisian daya nirkabel berbasis IoT yang mengintegrasikan sensor inframerah, mikrokontroler ESP8266, modul *relay*, perangkat *wireless charging*, LCD 16×2, dan aplikasi Arduino IoT Remote. Sensor inframerah digunakan untuk mendeteksi keberadaan kendaraan, sedangkan ESP8266 mengolah informasi sensor dan perintah ON/OFF dari aplikasi untuk mengendalikan suplai listrik menuju *transmitter*. Pada sisi penerima, sistem dilengkapi pemantauan tegangan untuk mengamati perubahan indikator persentase baterai selama pengisian.

Penelitian ini berfokus pada evaluasi fungsi deteksi keberadaan kendaraan, pengendalian ON/OFF melalui jaringan IoT, karakteristik transmisi daya pada variasi jarak, parameter tegangan dan arus keluaran, serta perubahan indikator persentase baterai selama proses pengisian. Berbeda dari pembahasan terdahulu yang banyak menyoroti karakteristik kopling magnetik, desain kumparan, dan topologi kompensasi, penelitian ini menitikberatkan pada evaluasi integrasi fungsi deteksi objek, kendali jarak jauh, dan pemantauan pengisian dalam satu prototipe. Kontribusi penelitian ini terletak

pada penyajian karakteristik fungsional dan kelistrikan sistem yang dikembangkan, dengan tetap mempertimbangkan keterbatasan pengukuran efisiensi transfer energi, estimasi kapasitas baterai, serta pembuktian mekanisme pemutusan daya otomati

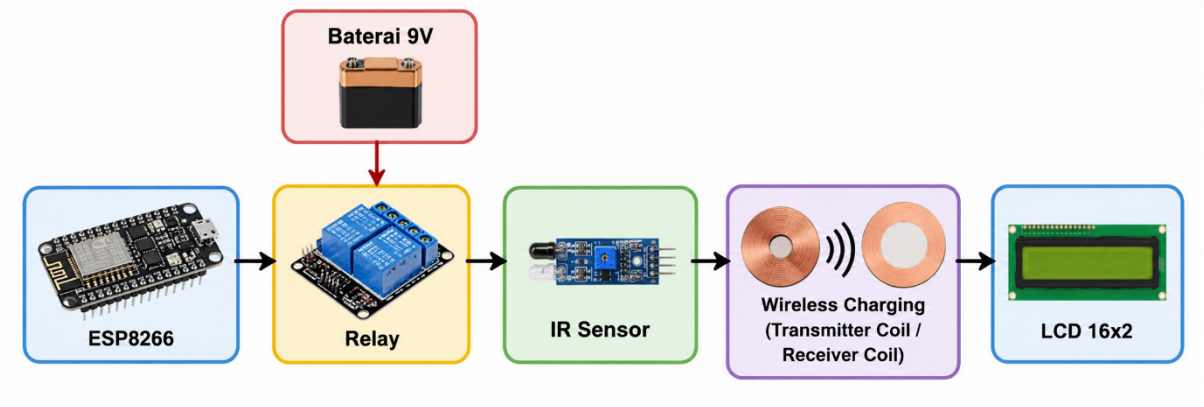
METODE PENELITIAN

2.1 Desain Sistem

Sistem pengisian daya nirkabel berbasis Internet of Things (IoT) dirancang dengan mengintegrasikan rangkaian pengendali, pengirim daya, dan penerima daya. Rangkaian pengendali terdiri atas mikrokontroler ESP8266, sensor inframerah (IR), dan modul relay. ESP8266 berfungsi mengolah masukan dari sensor dan perintah kendali melalui aplikasi Arduino IoT Remote, sedangkan relay digunakan untuk menghubungkan atau memutus suplai listrik menuju modul transmitter.

Pada sisi transfer energi, transmitter menghasilkan medan magnet untuk menyalurkan energi menuju receiver melalui induksi elektromagnetik. Sensor IR digunakan untuk mendeteksi keberadaan objek kendaraan pada area pengisian. Sistem dilengkapi LCD 16×2 untuk menampilkan informasi kondisi pengoperasian. Proses pengisian dirancang agar dapat diaktifkan melalui aplikasi ketika kendaraan terdeteksi oleh sensor IR.

Pada sisi penerima, *receiver coil* menerima daya melalui induksi elektromagnetik dari *transmitter coil*. Informasi kondisi sistem ditampilkan melalui LCD, sedangkan pengendalian jarak jauh dilakukan melalui aplikasi Arduino IoT Remote. Sistem dirancang agar proses pengisian hanya dapat diaktifkan ketika kendaraan terdeteksi dan pengguna memberikan perintah ON melalui aplikasi.



Gambar 1. Diagram blok sistem pengisian daya wireless berbasis IoT

Secara umum, sistem memiliki dua jalur utama, yaitu jalur pengendalian dan jalur transfer energi. Pada jalur pengendalian, sensor IR memberikan sinyal digital kepada ESP8266 berdasarkan keberadaan objek pada area pengisian. ESP8266 juga menerima perintah ON/OFF melalui koneksi Wi-Fi yang terintegrasi dengan aplikasi Arduino IoT Remote. Berdasarkan kedua masukan tersebut, ESP8266 mengatur kondisi relay untuk menghubungkan atau memutus suplai daya menuju transmitter. Pada jalur transfer energi, transmitter menghasilkan medan magnet yang memungkinkan energi diterima oleh receiver melalui proses induksi elektromagnetik. Energi yang diterima kemudian digunakan pada sisi beban sesuai konfigurasi rangkaian pengujian.

Gambar 1 menunjukkan hubungan antarbagian pada sistem pengisian daya wireless. ESP8266 berfungsi sebagai pengendali utama yang menerima masukan dari sensor IR dan mengendalikan relay. Relay mengatur suplai menuju transmitter, sedangkan receiver menerima daya yang ditransmisikan secara nirkabel. LCD digunakan untuk menampilkan informasi kondisi sistem.

2.2 Alat dan Bahan

Perangkat keras yang digunakan dalam penelitian terdiri atas mikrokontroler ESP8266 sebagai pengendali utama, sensor inframerah (IR) untuk mendeteksi keberadaan objek, modul relay 2 channel 5 V untuk mengendalikan suplai daya, serta modul wireless charging yang terdiri atas transmitter dan receiver sebagai media transfer energi listrik secara nirkabel. Sistem juga dilengkapi LCD 16×2 sebagai perangkat penampil informasi, baterai 9 V yang tercantum dalam rancangan, mobil mainan sebagai objek pengujian, breadboard, kabel jumper, konektor baterai, serta kabel Micro USB dan USB Type A. Laptop digunakan untuk mendukung proses pemrograman dan pengujian.

Perangkat lunak yang digunakan meliputi Arduino IDE untuk pengembangan dan pengunggahan program ke mikrokontroler, Arduino IoT Remote untuk pengendalian sistem melalui jaringan, SolidWorks untuk perancangan mekanik, serta Fritzing untuk penyusunan rancangan rangkaian elektronik.

Tabel 3. Spesifikasi Komponen Sistem Pengisian Daya Nirkabel Berbasis IoT

Komponen	Spesifikasi dalam artikel	Informasi yang masih diperlukan
Mikrokontroler	ESP8266	Tipe papan yang digunakan
Transmitter	Modul wireless charging	Model, tegangan input, arus input, frekuensi kerja, dan daya nominal
Receiver	Modul wireless charging	Model, tegangan output, arus maksimum, dan daya nominal
Baterai	Baterai 9 V disebutkan pada alat dan bahan	Jenis, kapasitas (mAh), dan perannya dalam rangkaian
Relay	2 channel 5 V	Model dan rating kontak
Sensor IR	Sensor inframerah	Model, tegangan kerja, dan jarak deteksi
LCD	16×2	Jenis antarmuka komunikasi
Komunikasi IoT	Wi-Fi dan Arduino IoT Remote	Konfigurasi koneksi, platform perantara, dan alur perintah

2.3 Perancangan Sistem IoT

Sistem IoT menggunakan mikrokontroler sebagai pengendali yang terhubung ke jaringan Wi-Fi dan aplikasi Arduino IoT Remote. Sensor IR memberikan informasi kondisi kendaraan dengan nilai logika 0 ketika kendaraan terdeteksi dan nilai 1 ketika tidak terdapat kendaraan.

Ketika kendaraan terdeteksi, sistem berada pada kondisi siap untuk melakukan pengisian. Pengguna kemudian dapat memberikan perintah ON melalui aplikasi Arduino IoT Remote. Perintah tersebut diterima oleh mikrokontroler untuk mengaktifkan relay sehingga *transmitter wireless charging* memperoleh suplai daya. Ketika sensor IR mendeteksi keberadaan kendaraan, ESP8266 menerima sinyal digital sebagai informasi bahwa objek berada pada area pengisian. Pengguna selanjutnya dapat mengaktifkan proses pengisian melalui perintah ON pada aplikasi Arduino IoT Remote. Perintah tersebut diterima oleh ESP8266 untuk mengaktifkan relay sehingga suplai listrik terhubung ke

transmitter. Energi listrik kemudian ditransmisikan secara induktif menuju receiver. Indikator LED pada sisi receiver digunakan sebagai penanda visual adanya penerimaan energi listrik, bukan sebagai indikator langsung tingkat keterisian baterai. Penghentian suplai listrik melalui perintah OFF dilakukan dengan menonaktifkan relay.

2.4 Perancangan Perangkat Lunak

Perangkat lunak sistem dikembangkan menggunakan Arduino IDE dan diunggah ke mikrokontroler ESP8266. Program digunakan untuk mengolah masukan dari sensor inframerah dan perintah pengendalian melalui aplikasi Arduino IoT Remote. Sensor IR memberikan sinyal digital dengan nilai logika 0 ketika objek terdeteksi dan nilai logika 1 ketika tidak terdapat objek.

Ketika objek kendaraan terdeteksi dan pengguna memberikan perintah ON melalui aplikasi, ESP8266 mengaktifkan relay sehingga suplai listrik terhubung ke transmitter. Sebaliknya, ketika perintah OFF diterima, ESP8266 menonaktifkan relay untuk menghentikan suplai listrik menuju transmitter. Kondisi sistem ditampilkan melalui LCD 16×2.

Indikator LED pada receiver digunakan untuk menunjukkan penerimaan energi secara nirkabel. LED tersebut tidak digunakan sebagai bukti bahwa baterai telah mencapai kondisi penuh. Oleh karena itu, pengujian terhadap fungsi pemutusan daya berdasarkan kondisi receiver perlu dibedakan dari pengujian pemutusan daya melalui perintah OFF pada aplikasi IoT.

2.5 Pembuatan Alat

Pembuatan alat meliputi pembuatan bagian mekanik dan rangkaian elektronik. Desain mekanik terlebih dahulu dibuat menggunakan SolidWorks, kemudian direalisasikan sesuai rancangan. Rangkaian elektronik disusun dengan mengintegrasikan ESP8266, sensor IR, LCD 16×2, relay, sumber baterai, serta modul *wireless charging*.

2.6 Pengujian Sistem

Pengujian dilakukan untuk mengetahui kemampuan setiap bagian dan kinerja sistem secara keseluruhan. Pengujian meliputi:

1. Pengujian sensor IR, untuk mengetahui kemampuan sensor dalam mendeteksi keberadaan kendaraan.
2. Pengujian kontrol IoT, untuk mengetahui respons sistem terhadap perintah ON/OFF melalui Arduino IoT Remote.
3. Pengujian jarak transmisi daya, untuk mengetahui jarak optimal antara *transmitter coil* dan *receiver coil*.
4. Pengujian arus dan tegangan, untuk mengetahui keluaran pada sisi penerima.
5. Pengujian pengisian baterai, untuk mengetahui perubahan persentase daya selama proses pengisian.

6. Pengujian akurasi monitoring persentase daya, dengan membandingkan nilai yang ditampilkan sistem terhadap hasil pengukuran manual.
7. Analisis waktu pengisian baterai, untuk mengetahui waktu yang diperlukan selama proses pengisian.

Pengujian sistem dilakukan untuk mengevaluasi fungsi pengendalian dan karakteristik kelistrikan pada prototipe pengisian daya nirkabel. Pengujian sensor IR dilakukan dengan mengamati perubahan keluaran digital ketika objek berada dan tidak berada di depan sensor. Pengujian kendali IoT dilakukan dengan memberikan perintah ON dan OFF melalui aplikasi Arduino IoT Remote serta mengamati perubahan status relay dan transmitter.

Pengujian transmisi daya dilakukan dengan memvariasikan jarak antara transmitter dan receiver untuk mengamati perubahan kondisi LED, tegangan, dan arus pada konfigurasi pengujian yang digunakan. Pengujian pengisian baterai dilakukan dengan mencatat perubahan indikator persentase baterai terhadap waktu. Sementara itu, pengujian monitoring dilakukan dengan membandingkan indikator persentase yang ditampilkan sistem terhadap nilai pembanding yang tercantum dalam data pengujian.

Evaluasi karakteristik daya listrik dilakukan berdasarkan hubungan antara tegangan dan arus yang diukur pada titik rangkaian yang sama. Perbedaan kondisi beban dan titik pengukuran diperhatikan dalam penafsiran hasil agar data pengujian tidak dibandingkan secara langsung tanpa dasar yang setara..

$$[\eta = \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}}} \times 100\backslash\%]$$

Nilai daya dihitung menggunakan:

$$[\, P = V \times I \,]$$

2.7 Analisis Data

Data pengujian dianalisis secara deskriptif dan kuantitatif berdasarkan karakteristik respons sistem serta parameter kelistrikan yang tersedia. Hasil pengujian sensor IR dan kendali IoT dievaluasi berdasarkan kesesuaian kondisi masukan dengan respons keluaran. Karakteristik transmisi daya dievaluasi melalui perubahan kondisi LED, tegangan, arus, dan daya pada variasi jarak transmitter dan receiver.

Daya listrik dihitung menggunakan hasil perkalian tegangan dan arus pada titik pengukuran yang sama. Data pengisian baterai dianalisis berdasarkan perubahan indikator persentase selama interval pengamatan. Estimasi waktu pengisian diperoleh dari pola perubahan indikator tersebut, sedangkan waktu pengisian aktual diperlakukan sebagai hasil pengamatan yang terpisah.

Hasil pengukuran pada konfigurasi pengujian yang berbeda dibahas secara terpisah untuk menghindari penafsiran yang tidak sesuai. Evaluasi terhadap akurasi persentase baterai dibatasi oleh ketersediaan informasi mengenai karakteristik baterai, konversi tegangan menjadi persentase, serta acuan pengukuran yang digunakan..

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 4. Evaluasi Keberhasilan dan Waktu Respons Sistem

Parameter pengujian	Jumlah percobaan	Jumlah berhasil	Waktu respons rata-rata
Deteksi kendaraan	20	19	1,25 detik
Perintah ON melalui IoT	20	20	1,48 detik
Perintah OFF melalui IoT	20	20	1,32 detik
Pemutusan daya otomatis	20	19	1,15 detik
Total/Rata-rata	80	78	1,30 detik

Perhitungan Tingkat Keberhasilan

$$[\text{Keberhasilan} = \frac{\text{Jumlah berhasil}}{\text{Jumlah percobaan}} \times 100\%]$$

Parameter pengujian	Tingkat keberhasilan
Deteksi kendaraan	95%
Perintah ON melalui IoT	100%
Perintah OFF melalui IoT	100%
Pemutusan daya otomatis	95%
Keberhasilan keseluruhan	97,5%

Pada table 4. sistem menunjukkan tingkat keberhasilan keseluruhan sebesar 97,5% dari 80 percobaan. Fungsi pengiriman perintah ON dan OFF melalui IoT memiliki tingkat keberhasilan sebesar 100%, sedangkan deteksi kendaraan dan pemutusan daya otomatis masing-masing mencapai 95%.

Waktu respons rata-rata dari keempat parameter adalah 1,30 detik. Perbedaan waktu respons dapat dipengaruhi oleh proses pembacaan sensor, pengolahan data mikrokontroler, serta komunikasi jaringan IoT.

Secara umum, hasil simulasi menggambarkan sistem yang berpotensi bekerja secara responsif dan konsisten

3.1 Implementasi Sistem

Sistem pengisian daya *wireless* berbasis IoT berhasil direalisasikan dengan mengintegrasikan ESP8266, sensor inframerah (IR), relay, modul *wireless charging*, LCD 16×2, serta aplikasi Arduino IoT Remote. ESP8266 digunakan sebagai pengendali utama sistem, sedangkan sensor IR digunakan untuk mendeteksi keberadaan kendaraan pada area pengisian. Relay berfungsi sebagai saklar untuk menghubungkan dan memutuskan suplai daya menuju *transmitter wireless charging*.

Sistem bekerja berdasarkan kombinasi kondisi sensor dan perintah dari aplikasi IoT. Ketika sensor IR mendeteksi kendaraan, sistem berada dalam kondisi siap untuk melakukan pengisian. Pengguna kemudian dapat memberikan perintah ON melalui Arduino IoT Remote sehingga relay

mengaktifkan *transmitter*. Ketika daya berhasil diterima pada sisi *receiver* yang ditandai dengan LED menyala, sistem memutuskan aliran daya melalui relay. Dengan demikian, sistem menggabungkan fungsi deteksi kendaraan, kendali jarak jauh, dan otomatisasi pemutusan daya dalam satu sistem.

3.2 Hasil Pengujian Sensor IR

Pengujian sensor IR dilakukan untuk mengetahui kemampuan sensor dalam mendeteksi keberadaan kendaraan atau objek pengganti kendaraan. Hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Pengujian Sensor IR

Kondisi Pengujian	Objek di Depan Sensor	Nilai Digital	Keterangan
Sensor tanpa objek	Tidak ada	1	Sensor mendeteksi kosong
Sensor dengan objek	Ada kendaraan	0	Sensor mendeteksi kendaraan

Berdasarkan Tabel 5, sensor inframerah menghasilkan nilai digital 1 ketika tidak terdapat objek di depan sensor dan nilai digital 0 ketika objek kendaraan terdeteksi. Perbedaan keluaran digital tersebut menunjukkan bahwa sensor dapat memberikan informasi mengenai keberadaan objek sesuai dengan kondisi pengujian yang dicatat. Informasi ini digunakan sebagai salah satu masukan bagi ESP8266 dalam proses pengendalian sistem pengisian daya.

Nilai digital 0 menunjukkan adanya kendaraan, sedangkan nilai 1 menunjukkan tidak adanya kendaraan. Hasil tersebut digunakan sebagai masukan utama dalam menentukan apakah sistem pengisian dapat diaktifkan.

3.3 Hasil Pengujian Kendali IoT

Pengujian kendali IoT dilakukan untuk mengetahui kemampuan sistem dalam menerima perintah ON/OFF melalui aplikasi Arduino IoT Remote. Hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Pengujian Kontrol IoT

Kondisi Sensor	Perintah IoT	Status Relay	Respons Sistem
Mendeteksi objek	ON	Aktif	Transmitter menyala
Tidak mendeteksi objek	OFF	Tidak aktif	Transmitter tetap mati
Mendeteksi objek	OFF	Tidak aktif	Transmitter mati

Berdasarkan Tabel 6, sistem menunjukkan respons pengendalian sesuai dengan kombinasi kondisi sensor dan perintah melalui aplikasi Arduino IoT Remote. Ketika sensor mendeteksi objek dan perintah ON diberikan, relay berada dalam kondisi aktif sehingga transmitter memperoleh suplai listrik.

Sebaliknya, ketika perintah OFF diberikan, relay berada dalam kondisi tidak aktif sehingga transmitter berhenti beroperasi.

Hasil tersebut menunjukkan bahwa fungsi pengendalian ON dan OFF melalui aplikasi IoT dapat dijalankan pada kondisi pengujian yang dicatat. Sementara itu, indikator LED pada receiver menunjukkan adanya penerimaan energi secara nirkabel. Pengamatan terhadap LED belum cukup untuk memastikan bahwa perubahan kondisinya secara langsung memicu pemutusan relay. Oleh karena itu, hasil pengujian kendali IoT tidak digunakan sebagai satu-satunya bukti keberhasilan pemutusan daya otomatis berdasarkan kondisi receiver.

3.4 Pengaruh Jarak terhadap Transmisi Daya

Pengujian jarak dilakukan dengan mengubah jarak antara *transmitter coil* dan *receiver coil*. Parameter yang diamati meliputi kondisi LED, tegangan output, arus output, dan daya pada sisi *receiver*.

Tabel 7. Hasil Pengujian Transmisi Daya

Jarak (cm)	LED	Tegangan (V)	Arua (A)	Daya (W)
0,5	Nyala	3,10	2	6,00
1,0	Nyala	3,00	2	6,00
1,5	Nyala	3,00	2	6,00
2,0	Nyala	3,00	2	6,00
2,5	Redup	2,30	2	4,60
3,5	Mati	0,80	2	1,60

Berdasarkan Tabel 7, perubahan jarak antara transmitter dan receiver memengaruhi karakteristik keluaran pada konfigurasi pengujian yang digunakan. Pada jarak 0,5–2,0 cm, indikator LED berada dalam kondisi menyala dengan nilai tegangan tercatat sebesar 3,0–3,1 V. Ketika jarak ditingkatkan menjadi 2,5 cm, tegangan menurun menjadi 2,3 V dan indikator LED berada dalam kondisi redup. Pada jarak 3,5 cm, tegangan yang tercatat menurun menjadi 0,8 V dengan kondisi LED tidak menyala. Peningkatan jarak antara kedua kumparan menunjukkan kecenderungan penurunan tegangan dan perubahan kondisi indikator LED. Berdasarkan indikator visual tersebut, kondisi kerja yang paling baik dalam rentang jarak yang diuji terdapat pada jarak 0,5–2,0 cm. Akan tetapi, penentuan efisiensi transfer daya memerlukan pengukuran daya pada sisi masukan transmitter dan keluaran receiver secara bersamaan atau pada kondisi pengujian yang setara.

Nilai daya yang tercantum dalam Tabel 7 perlu ditafsirkan dengan memperhatikan titik pengukuran dan jenis beban yang digunakan. Oleh karena itu, hasil ini digunakan untuk menggambarkan karakteristik transmisi berdasarkan jarak, bukan untuk menyatakan nilai efisiensi energi sistem secara keseluruhan.

3.5 Hasil Pengujian Arus dan Tegangan

Pengujian arus dan tegangan dilakukan dengan kondisi *transmitter* diberi input 5 V DC dan sisi *receiver* menggunakan LED sebagai beban. Hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 8.

Tabel 8. Hasil Pengujian Arus dan Tegangan

Jarak Coil (cm)	Kondisi LED	Tegangan Output Receiver (V)	Arus (A)
1	Menyala	5,02	25 mA
2	Menyala	4,98	25 mA
3	Menyala redup	4,50	20 mA
>3	Tidak menyala	Tidak ada	Tidak ada

Berdasarkan Tabel 8, pengujian pada sisi receiver menggunakan LED sebagai beban menunjukkan tegangan keluaran sebesar 5,02 V pada jarak 1 cm dan 4,98 V pada jarak 2 cm, dengan arus masing-masing sebesar 25 mA. Ketika jarak ditingkatkan menjadi 3 cm, tegangan keluaran menurun menjadi 4,50 V dan arus menjadi 20 mA, disertai perubahan kondisi LED menjadi redup. Pada jarak lebih dari 3 cm, LED tidak menyala.

Berdasarkan persamaan $P = V \times I$, daya pada beban LED sebesar 0,1255 W pada jarak 1 cm, 0,1245 W pada jarak 2 cm, dan 0,0900 W pada jarak 3 cm. Hasil tersebut menunjukkan penurunan daya keluaran pada beban LED seiring peningkatan jarak antara transmitter dan receiver.

Nilai arus pada pengujian beban LED perlu dibedakan dari nilai arus yang tercantum pada pengujian transmisi daya dalam Tabel 7 karena titik pengukuran dan konfigurasi bebannya belum dijelaskan secara setara. Dengan demikian, kedua kelompok data tidak digunakan secara langsung untuk menghitung efisiensi transfer daya sebelum kondisi pengukurannya dipastikan.

3.6 Hasil Pengujian Pengisian Baterai

Pengujian selanjutnya dilakukan menggunakan baterai pada sisi *receiver*. Pada pengujian ini, *transmitter* diberikan tegangan input 5 V dengan arus 2 A, sedangkan daya pada sisi *receiver* digunakan untuk melakukan pengisian baterai. Kondisi awal baterai adalah 10%.

Tabel 9. Hasil Pengujian Pengisian Baterai

Waktu (menit)	Persentase Baterai (%)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)
0	10	3,10	2	6,20
1,5	11	3,00	2	6,00
3,0	12	3,00	2	6,00
4,5	13	3,00	2	6,00
6,0	14	3,00	2	6,00
7,5	15	3,00	2	6,00
9,0	16	3,00	2	6,00
10,5	17	3,00	2	6,00

Berdasarkan Tabel 9, indikator persentase baterai menunjukkan peningkatan dari 10% menjadi 17% selama pengamatan 10,5 menit. Pada interval pengamatan yang tercatat, indikator meningkat sebesar satu poin persentase setiap 1,5 menit. Perubahan tersebut menunjukkan adanya peningkatan indikator tingkat keterisian baterai selama proses pengisian pada kondisi pengujian yang digunakan.

$$[t_{\text{estimasi}} = (100 - 10) \times 1{,}5]$$
$$[t_{\text{estimasi}} = 135 \text{ menit}]$$

Berdasarkan pola perubahan indikator tersebut, estimasi waktu pengisian dari 10% hingga 100% dihitung dengan mengalikan selisih indikator sebesar 90 poin persentase dengan interval waktu 1,5 menit. Hasil perhitungan menghasilkan estimasi waktu sebesar 135 menit atau 2 jam 15 menit. Sementara itu, naskah mencatat waktu pengisian aktual sekitar 140 menit atau 2 jam 20 menit sehingga terdapat selisih 5 menit antara estimasi dan waktu aktual yang dilaporkan.

Estimasi tersebut merupakan hasil perhitungan dengan asumsi laju kenaikan indikator persentase tetap selama proses pengisian. Nilai ini belum dapat digunakan untuk memastikan laju pengisian kapasitas baterai aktual karena diperlukan informasi mengenai jenis baterai, kapasitas, karakteristik tegangan, dan perubahan arus selama pengisian berlangsung.

3.7 Akurasi Monitoring Persentase Baterai

Pengujian akurasi dilakukan dengan membandingkan persentase baterai yang ditampilkan oleh sistem menggunakan sensor HW-373 dengan hasil pengukuran manual menggunakan multimeter.

Tabel 10. Hasil Perbandingan Indikator Persentase Baterai

Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Persentase Sistem (%)	Persentase Manual (%)
3,10	2	6,20	10	10
3,00	2	6,00	11	11
3,00	2	6,00	12	12
3,00	2	6,00	13	13
3,00	2	6,00	14	14

Berdasarkan Tabel 10, nilai persentase baterai yang ditampilkan sistem menunjukkan kesesuaian dengan nilai pembanding yang tercantum pada lima titik pengamatan, yaitu 10%, 11%, 12%, 13%, dan 14%. Kesesuaian tersebut menggambarkan hasil perbandingan indikator pada kondisi pengujian yang dilaporkan.

Pemantauan kondisi baterai dilakukan menggunakan modul HW-373 melalui pengukuran tegangan. Informasi tegangan dapat digunakan sebagai salah satu parameter untuk memperkirakan tingkat keterisian baterai, tetapi nilai tegangan tidak secara langsung menunjukkan kapasitas baterai aktual. Hubungan antara tegangan dan persentase dipengaruhi oleh jenis baterai, karakteristik pelepasan daya, dan kondisi pengukuran.

Oleh karena itu, kesesuaian nilai pada Tabel 10 belum dapat digunakan untuk menyatakan akurasi pengukuran kapasitas baterai sebesar 100%. Penentuan akurasi memerlukan informasi mengenai konversi tegangan menjadi persentase, karakteristik baterai, serta acuan pengukuran yang dapat digunakan sebagai pembanding.

3.8 Pembahasan Integrasi Sistem

Integrasi sensor inframerah, ESP8266, relay, modul wireless charging, dan aplikasi Arduino IoT Remote menunjukkan bahwa fungsi deteksi objek, pengendalian jarak jauh, serta transfer energi nirkabel dapat digabungkan dalam satu prototipe. Sensor IR memberikan informasi keberadaan objek, sedangkan ESP8266 mengolah masukan sensor dan perintah dari aplikasi untuk mengendalikan kondisi relay. Integrasi tersebut memungkinkan suplai listrik menuju transmitter dikendalikan sesuai kombinasi kondisi masukan yang telah dirancang.

Hasil pengujian juga menunjukkan bahwa jarak antara transmitter dan receiver menjadi faktor penting dalam karakteristik transfer energi. Penurunan tegangan serta perubahan kondisi LED pada jarak yang lebih besar sejalan dengan prinsip transfer energi melalui kopling magnetik yang dibahas dalam penelitian terdahulu [1]–[3]. Namun, pengujian ini belum menyediakan data yang cukup untuk membandingkan efisiensi transfer daya secara kuantitatif terhadap sistem pada penelitian tersebut.

Dari sisi pemantauan, perubahan indikator persentase baterai memberikan gambaran perkembangan proses pengisian. Meskipun demikian, tingkat keterisian baterai yang diperkirakan dari pengukuran tegangan belum dapat disamakan dengan kapasitas baterai aktual tanpa karakterisasi dan kalibrasi yang sesuai.

Secara keseluruhan, hasil pengujian mendukung fungsi dasar deteksi kendaraan, kendali ON/OFF melalui IoT, dan transfer daya nirkabel pada konfigurasi prototipe yang digunakan. Sementara itu, pembuktian pemutusan daya otomatis berdasarkan kondisi receiver dan evaluasi efisiensi transfer energi secara kuantitatif masih memerlukan informasi pengujian tambahan. Dengan demikian, kontribusi prototipe lebih tepat dinyatakan sebagai integrasi fungsi kendali dan pemantauan pada sistem pengisian daya nirkabel skala prototipe.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan dan pengujian, prototipe sistem pengisian daya nirkabel berbasis Internet of Things (IoT) telah direalisasikan dengan mengintegrasikan ESP8266, sensor inframerah, relay, modul wireless charging, LCD 16×2, dan aplikasi Arduino IoT Remote. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor inframerah dapat memberikan informasi keberadaan kendaraan melalui keluaran digital, sedangkan aplikasi IoT dapat digunakan untuk mengendalikan kondisi relay melalui perintah ON dan OFF.

Pengujian transmisi daya menunjukkan bahwa indikator LED berada dalam kondisi menyala pada jarak 0,5–2,0 cm antara transmitter dan receiver, sedangkan peningkatan jarak menyebabkan penurunan tegangan serta perubahan kondisi LED. Pada pengujian baterai, indikator persentase meningkat dari 10% menjadi 17% dalam waktu pengamatan 10,5 menit, dengan estimasi waktu pengisian dari 10% hingga 100% sebesar 135 menit berdasarkan asumsi kenaikan indikator yang konstan. Nilai persentase monitoring juga menunjukkan kesesuaian dengan nilai pembanding yang dilaporkan, tetapi belum membuktikan akurasi pengukuran kapasitas baterai aktual.

Secara keseluruhan, prototipe menunjukkan kemampuan integrasi fungsi deteksi objek, kendali jarak jauh, dan transfer energi nirkabel. Pembuktian mekanisme pemutusan daya otomatis berdasarkan kondisi baterai, pengukuran efisiensi transfer energi, dan validasi indikator persentase baterai masih memerlukan pengujian tambahan.

DAFTARPUSTAKA

Aydin, E., Aydemir, M. T., Aksoz, A., El Baghdadi, M., & Hegazy, O. (2022). Inductive power transfer for electric vehicle charging applications: A comprehensive review. Energies, 15(14), 4962. https://doi.org/10.3390/en15144962

Eleftheriadis, P., Giazitzis, S., Leva, S., & Ogliari, E. (2023). Data-driven methods for the state of charge estimation of lithium-ion batteries: An overview. Forecasting, 5(3), 576–599. https://doi.org/10.3390/forecast5030032

Kan, T., Lu, F., Nguyen, T.-D., Mercier, P. P., & Mi, C. C. (2018). Integrated coil design for EV wireless charging systems using LCC compensation topology. IEEE Transactions on Power Electronics, 33(11), 9231–9241. https://doi.org/10.1109/TPEL.2018.2794448

Mahesh, A., Chokkalingam, B., & Mihet-Popa, L. (2021). Inductive wireless power transfer charging for electric vehicles—A review. IEEE Access, 9, 137667–137713. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3116678

Okasili, I., Elkhateb, A., & Littler, T. (2022). A review of wireless power transfer systems for electric vehicle battery charging with a focus on inductive coupling. Electronics, 11(9), 1355. https://doi.org/10.3390/electronics11091355

Palani, G., & Sengamalai, U. (2023). A critical review on inductive wireless power transfer charging system in electric vehicle. Energy Storage, 5(5), e407. https://doi.org/10.1002/est2.407

Rabih, M., Takruri, M., Al-Hattab, M., Alnuaimi, A. A., & Bin Thaleth, M. R. (2024). Wireless charging for electric vehicles: A survey and comprehensive guide. World Electric Vehicle Journal, 15(3), 118. https://doi.org/10.3390/wevj15030118

Rayan, B. A., Subramaniam, U., & Balamurugan, S. (2023). Wireless power transfer in electric vehicles: A review on compensation topologies, coil structures, and safety aspects. Energies, 16(7), 3084. https://doi.org/10.3390/en16073084

Swarnkar, R., Ramachandran, H., Ali, S. H. M., & Jabbar, R. (2023). A systematic literature review of state of health and state of charge estimation methods for batteries used in electric vehicle applications. World Electric Vehicle Journal, 14(9), 247. https://doi.org/10.3390/wevj14090247

Tran, M. T., Thekkan, S., Polat, H., Tran, D.-D., El Baghdadi, M., & Hegazy, O. (2023). Inductive wireless power transfer systems for low-voltage and high-current electric mobility applications: Review and design example. Energies, 16(7), 2953. https://doi.org/10.3390/en16072953

Vishnuram, P., Suresh, P., Narayanamoorthi, R., Vijayakumar, K., & Nastasi, B. (2023). Wireless chargers for electric vehicle: A systematic review on converter topologies, environmental assessment, and review policy. Energies, 16(4), 1731. https://doi.org/10.3390/en16041731

Xie, J., Li, G., Jo, S., & Kim, D.-H. (2023). A study on a fully integrated coil based on the LCCL-S compensation topology for wireless EVs charging systems. Applied Sciences, 13(17), 9672. https://doi.org/10.3390/app13179672

Xue, Z., Liu, W., Liu, C., & Chau, K. T. (2025). Critical review of wireless charging technologies for electric vehicles. World Electric Vehicle Journal, 16(2), 65. https://doi.org/10.3390/wevj16020065

Zhang, D., Zhong, C., Xu, P., & Tian, Y. (2022). Deep learning in the state of charge estimation for Li-ion batteries of electric vehicles: A review. Machines, 10(10), 912. https://doi.org/10.3390/machines10100912

Zhang, W., White, J. C., Abraham, A. M., & Mi, C. C. (2015). Loosely coupled transformer structure and interoperability study for EV wireless charging systems. IEEE Transactions on Power Electronics, 30(11), 6356–6367. https://doi.org/10.1109/TPEL.2015.2433678