
PROTOTYPE SISTEM PENGISIAN DAYA HIBRID BERBASIS IOT PADA MOBIL ROBOT

Septian Dicky Kurniawan^{a,1,*}, Sa'adilah Rosyadi^{b,2}

^a Sarjana Terapan Teknik Elektro, Fakultas Vokasi, Universitas Negeri Yogyakarta

^b Sarjana Terapan Teknik Elektro, Fakultas Vokasi, Universitas Negeri Yogyakarta

¹ septiandicky.2021@student.uny.ac.id ² s.rosyadi@uny.ac.id

* Corresponding Author

ARTICLE INFO

Article History

Received 7 December 2025

Revised 21 December 2025

Accepted 7 January 2026

Keywords

Hybrid electric vehicle;

Solar energy;

Internet of Things;

ESP32;

Blynk;

Charging system;

ABSTRACT

The purpose of developing this device is to: design and build a prototype of a hybrid electric vehicle charging system that utilizes solar energy and PLN (state electricity) based on the Internet of Things (IoT); identify the functionality of each component in the system; and analyze the overall performance of the system. The research method used is Research and Development (R&D) with a 4D approach (Define, Design, Develop, and Disseminate). The process includes needs analysis, hardware design (solar panel, lithium battery, TP4056 module, INA219 sensor, relay, and ESP32 microcontroller), software design (Blynk application), prototype construction, and system testing. Testing was conducted to assess sensor measurement accuracy, the reliability of the power source switching system, and the stability of real-time monitoring through the application. The results show that the system works as designed. The INA219 sensor is capable of reading voltage and current with good accuracy, while the relay can automatically switch the power source from PLN to the solar panel without disruption. The Blynk dashboard successfully displays charging data and system status in real time.

Tujuan pengembangan alat ini yaitu: (1) merancang dan membangun prototipe sistem pengisian daya mobil listrik hybrid yang memanfaatkan energi surya dan PLN berbasis Internet of Things (IoT); (2) mengidentifikasi fungsionalitas setiap komponen pada sistem; dan (3) menganalisis kinerja sistem secara keseluruhan. Metode yang digunakan adalah Research and Development (R&D) dengan pendekatan 4D (Define, Design, Develop, dan Disseminate). Proses meliputi analisis kebutuhan, perancangan perangkat keras (panel surya, baterai lithium, modul TP4056, sensor INA219, relay, dan mikrokontroler ESP32), perancangan aplikasi Blynk, pembuatan prototipe, serta pengujian sistem. Uji coba dilakukan untuk menilai akurasi pengukuran sensor, keandalan sistem switching sumber daya, dan kestabilan monitoring secara real-time melalui aplikasi. Hasil menunjukkan sistem bekerja sesuai rancangan. Sensor INA219 mampu membaca tegangan dan arus dengan akurasi baik, sementara relay dapat melakukan perpindahan sumber daya otomatis dari PLN ke panel surya tanpa gangguan. Dashboard Blynk berhasil menampilkan data pengisian dan status sistem secara real-time.

1. Pendahuluan

Mobil telah menjadi bagian penting dalam kehidupan masyarakat modern karena mampu memenuhi kebutuhan mobilitas manusia secara cepat dan efisien. Tujuan utama penggunaan mobil tidak hanya sebagai sarana transportasi, tetapi juga sebagai alat penunjang aktivitas ekonomi, sosial, dan pendidikan (Rahman, 2019). Keberadaan mobil memungkinkan individu untuk berpindah tempat dengan fleksibilitas waktu dan jarak yang lebih luas dibandingkan moda transportasi umum. Sebuah studi menyatakan bahwa “Mobilitas yang ditawarkan oleh kendaraan bermotor, khususnya mobil, memungkinkan individu untuk menjangkau lokasi yang lebih jauh dengan waktu yang lebih efisien dibandingkan dengan moda transportasi lainnya” (Smith, 2018).

Di era modern, mobil tidak lagi dipandang sekadar alat transportasi, melainkan juga bagian dari gaya hidup dan simbol kemajuan teknologi. Perkembangan industri otomotif telah menghadirkan berbagai inovasi dalam hal kenyamanan, keselamatan, serta efisiensi energi (Nasution & Prasetyo, 2020). Teknologi kendaraan yang semakin canggih menjadikan mobil sebagai pilihan utama masyarakat perkotaan dalam menunjang aktivitas sehari-hari (Kurniawan dkk., 2021). Namun, di balik kemudahan tersebut, peningkatan jumlah kendaraan juga berdampak pada tingginya konsumsi bahan bakar fosil dan peningkatan emisi gas buang yang berkontribusi terhadap pemanasan global. Seiring dengan meningkatnya kesadaran global akan isu perubahan iklim dan keterbatasan sumber daya energi fosil, kendaraan listrik (Electric Vehicle/EV) menjadi salah satu solusi alternatif dalam mengurangi emisi karbon di sektor transportasi. Berdasarkan data Kementerian Perhubungan (ESDM, 2022), jumlah kendaraan bermotor di Indonesia mencapai lebih dari 152 juta unit, yang terdiri dari kendaraan roda dua dan roda empat, di mana sebagian besar masih menggunakan bahan bakar fosil. Penggunaan bahan bakar fosil secara masif ini berdampak signifikan terhadap lingkungan karena sektor transportasi menjadi salah satu penyumbang utama emisi karbon dioksida, yaitu sekitar 23% dari total emisi nasional (IESR, 2023). Di sisi lain, Indonesia merupakan negara yang terletak di garis khatulistiwa dan mendapatkan paparan sinar matahari sepanjang tahun. Hal ini menjadikan energi surya sebagai salah satu sumber energi terbarukan yang sangat potensial untuk dimanfaatkan. Dengan menggabungkan teknologi panel surya ke dalam sistem pengisian kendaraan listrik, diharapkan tercipta solusi energi bersih, mandiri, dan ramah lingkungan.

Energi Surya adalah energi yang dihasilkan dari sinar matahari, yang dapat dimanfaatkan untuk berbagai keperluan, seperti pemanasan, pembangkit listrik, dan proses fotosintesis pada tanaman. Energi ini dapat dikonversi menjadi energi listrik melalui panel surya atau sel fotovoltaik, serta digunakan untuk pemanasan air dan ruang. Sebagai sumber energi terbarukan, energi surya memiliki potensi besar untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan mengurangi emisi gas rumah kaca, sehingga berkontribusi pada keberlanjutan lingkungan.

Menurut Rahman (2013) mobil listrik adalah jenis kendaraan yang beroperasi dengan menggunakan tenaga listrik, yang memanfaatkan satu atau lebih motor listrik untuk menggerakkan roda. Seiring dengan perkembangan zaman, transportasi terus mengalami inovasi, dan mobil listrik muncul sebagai solusi ramah lingkungan yang dapat secara signifikan mengurangi ketergantungan pada minyak atau bahan bakar fosil. Selain itu, mobil listrik dirancang untuk beroperasi dengan tingkat kebisingan yang rendah, berbeda dengan mobil konvensional yang menghasilkan suara bising saat digunakan. Oleh karena itu, mobil listrik dianggap memiliki potensi untuk bersaing di pasar global.

Kendaraan Listrik (Electric Vehicle) mencakup semua jenis kendaraan penumpang yang digerakkan oleh motor listrik, baik sepenuhnya maupun sebagian, seperti dalam sistem yang menggabungkan motor bakar. Kendaraan yang hanya menggunakan motor listrik disebut Battery Electric Vehicle (BEV), Kendaraan Listrik Baterai (KLB) adalah jenis kendaraan listrik yang memanfaatkan baterai sebagai penyimpan energi listrik, yang kemudian dikonversi menjadi energi mekanik oleh motor listrik. Energi listrik yang tersimpan dalam baterai ini diperoleh melalui proses pengisian dari sumber energi listrik eksternal. Namun tantangan utama penggunaan kendaraan listrik adalah jangkauan yang sangat terbatas dan waktu pengisian yang lama (Kumara, 2008). Oleh karena itu konsep pelepas mobil listrik dengan pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) menjadi solusi yang menarik.

Berdasarkan uraian tersebut, penulis mengangkat permasalahan ini ke dalam sebuah penelitian

yang berfokus pada perancangan inovasi teknologi berupa prototipe mobil listrik berbasis sistem hybrid PV–PLN. Dalam penelitian ini, ESP32 digunakan sebagai mikrokontroler utama untuk mengendalikan sistem. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengembangkan prototipe kendaraan listrik yang menggabungkan sumber energi surya dan listrik dari PLN, serta dikendalikan secara cerdas melalui teknologi berbasis IoT. Dengan memadukan sistem hybrid, energi terbarukan, dan kemampuan kendali dari ESP32, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan kendaraan ramah lingkungan yang efisien dan berkelanjutan. Prototipe ini diharapkan dapat menjadi bukti nyata penerapan teknologi inovatif dalam menjawab tantangan global di bidang lingkungan dan transportasi.

2. Pendekatan Masalah

Landasan teori bertujuan untuk memberikan penjelasan teoritis mengenai penelitian yang dibahas dengan perbandingan antara teori teori yang digunakan dan juga menjelaskan terkait siklus, pengertian vakum, satuan vakum, jenis pompa vakum dan valve.

2.1 Sumber PLN

Sumber listrik dari PLN atau stasiun pengisian daya (charging station) pada mobil listrik adalah tempat atau alat yang digunakan untuk mengisi ulang baterai kendaraan dengan energi listrik dari jaringan PLN. Biasanya, charging station ini bisa dipasang di rumah atau tersedia di tempat umum, dan berfungsi untuk mentransfer listrik dari jaringan PLN ke baterai mobil agar kendaraan bisa digunakan kembali. Sistem pengisian ini mengandalkan arus AC dari PLN yang kemudian diubah menjadi arus DC oleh perangkat on-board charger pada mobil (Setiawan, 2020). Charger station atau stasiun pengisian daya berfungsi sebagai tempat untuk mengisi ulang energi baterai pada kendaraan listrik. Secara umum, charger station berperan sebagai jembatan antara sumber listrik (seperti listrik dari PLN atau energi terbarukan) dan sistem penyimpanan energi pada mobil listrik.

2.2 Solar Panel

Panel surya (solar panel) adalah perangkat yang digunakan untuk mengubah energi dari sinar matahari menjadi listrik. Panel ini biasanya terdiri dari sel-sel fotovoltaik yang bisa menangkap cahaya matahari lalu mengubahnya menjadi arus listrik. Energi listrik yang dihasilkan bisa langsung digunakan atau disimpan ke dalam baterai untuk dipakai nanti. Panel surya banyak dimanfaatkan sebagai sumber energi alternatif karena ramah lingkungan dan bisa diperoleh secara gratis dari alam (Sutopo, 2019). Solar Panel atau Photovoltaik adalah salah satu sumber energi terbarukan yang ramah lingkungan. Dalam sistem ini, peran photovoltaic sangat krusial karena berfungsi sebagai sumber utama untuk menghasilkan listrik yang nantinya digunakan untuk mobil listrik. Berikut spesifikasi Photovoltaik yang digunakan pada Prototipe Sistem Pengisian Daya Hybrid Berbasis IoT Pada Mobil Robot.

2.3 Baterai Lithium

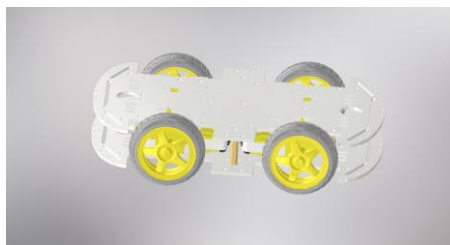
Baterai Lithium merupakan jenis baterai yang banyak digunakan pada perangkat elektronik panjang maupun kendaraan panjang karena kapasitasnya besar, ringan, dan mampu menyimpan energi dalam waktu yang lama. Baterai ini bekerja berdasarkan perpindahan ion lithium dari elektroda positif ke panjang saat digunakan, dan sebaliknya saat diisi ulang. Selain efisien, baterai lithium juga memiliki umur pakai yang cukup panjang dibandingkan jenis baterai lainnya.

2.4 Modul Charger TP4056

Modul charger TP4056 adalah modul pengisi daya (charger) yang dirancang khusus untuk baterai lithium-ion bertegangan 3.7V. Modul ini banyak digunakan dalam proyek elektronika karena ukurannya kecil, harganya terjangkau, dan sudah dilengkapi fitur pengisian otomatis serta proteksi terhadap overcharge dan overdischarge. TP4056 umumnya digunakan untuk mengisi baterai dari sumber 5V, seperti adaptor USB, dan memiliki dua jalur utama: satu untuk input (IN+ dan IN-) dan satu lagi untuk output ke baterai (B+ dan B-) (T. Santoso, 2020).

2.5 Chasis Mobil

Chasis merupakan rangka pada kendaraan, chasis memiliki fungsi sebagai penopang mesin, roda, dan komponen lainnya. Chasis mobil adalah rangka utama atau kerangka dasar dari kendaraan yang berfungsi sebagai tempat pemasangan berbagai komponen penting seperti motor, baterai, roda, dan sistem penggerak lainnya. Chassis dirancang agar kuat, ringan, dan stabil untuk mendukung kinerja mobil secara keseluruhan. Dalam pengembangan mobil, desain chasis biasanya disesuaikan agar efisien dan mampu menampung sistem kelistrikan serta komponen elektronik secara optimal (H. Santoso, 2021).



Gambar 1. Chasis Mobil

2.6 Motor Dinamo

Motor dinamo adalah komponen penggerak utama yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik berupa putaran. Dalam mobil listrik, motor dinamo digunakan untuk menggerakkan roda sehingga kendaraan bisa berjalan. Jenis motor yang sering digunakan pada kendaraan listrik adalah motor DC atau brushless DC (BLDC) karena efisien, responsif, dan mudah dikendalikan kecepatannya. Selain itu, motor dinamo juga bisa diatur melalui sistem kendali berbasis mikrokontroler seperti ESP32 (Saputra, 2021).

2.8 ESP 32

ESP32 adalah mikrokontroler canggih yang memiliki fitur Wi-Fi dan Bluetooth bawaan, sehingga sangat cocok digunakan dalam proyek berbasis IoT (Internet of Things). Dibandingkan dengan Arduino Uno, ESP32 memiliki prosesor yang lebih cepat, kapasitas memori lebih besar, dan lebih banyak pin input/output. Dalam sistem mobil listrik berbasis hybrid, ESP32 dapat berfungsi sebagai otak dari sistem, seperti mengatur pengisian daya dari dua sumber (PLN dan panel surya), memantau kapasitas baterai, hingga mengirimkan data ke aplikasi monitoring secara real-time (Arjun Praktiko, 2022)

Papan ini tersedia dalam dua versi, yakni varian dengan 30 pin dan 36 pin GPIO. Meskipun keduanya memiliki fungsi yang serupa, versi 30 pin lebih banyak digunakan karena menyediakan dua pin GND yang memudahkan proses penyambungan rangkaian. Setiap pin pada papan telah diberi label di bagian atas untuk mempermudah identifikasi. Selain itu, papan ini juga dilengkapi dengan antarmuka USB ke UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter), sehingga proses pemrograman menjadi lebih mudah melalui platform seperti Arduino IDE. Untuk sumber dayanya, papan ini dapat dihubungkan menggunakan konektor micro-USB.

2.9 Modul Driver L298N

Modul driver L298N adalah sebuah komponen elektronik yang berfungsi untuk mengendalikan motor DC dan motor stepper dengan menggunakan prinsip H-Bridge. Modul ini memungkinkan kontrol dua motor secara bersamaan, serta dapat mengubah arah putaran motor melalui pengaturan sinyal input. L298N mendukung tegangan motor hingga 46V dan arus maksimum 2A, yang membuatnya cocok untuk berbagai aplikasi seperti robotika atau kendaraan otomatis. Penggunaan driver ini sangat umum dalam proyek-proyek yang melibatkan mikrokontroler seperti Arduino, karena memudahkan pengendalian motor dengan cara yang sederhana namun efektif (Warren dkk., 2011).

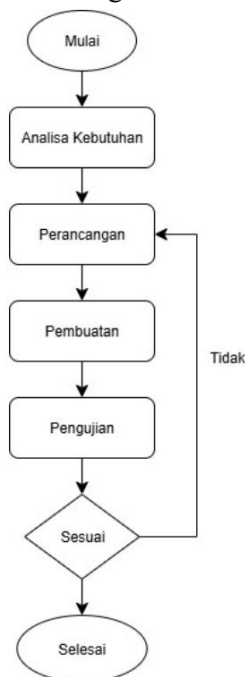
2.12 Sensor INA 219

Sensor INA219 adalah perangkat yang digunakan untuk mengukur tegangan, arus, dan daya

dalam sistem elektronik. Dengan kemampuan mengukur tegangan hingga 26V dan arus hingga 3.2A, sensor ini dapat menghitung daya secara otomatis berdasarkan rumus $P = V \times I$. Sensor ini sering diterapkan dalam proyek yang membutuhkan pemantauan daya, seperti sistem energi terbarukan atau pengukuran konsumsi daya pada baterai. INA219 berkomunikasi dengan mikrokontroler melalui protokol I2C, yang memungkinkan transfer data yang cepat dan efisien (Kusuma dkk., 2023).

3. Metode Penelitian

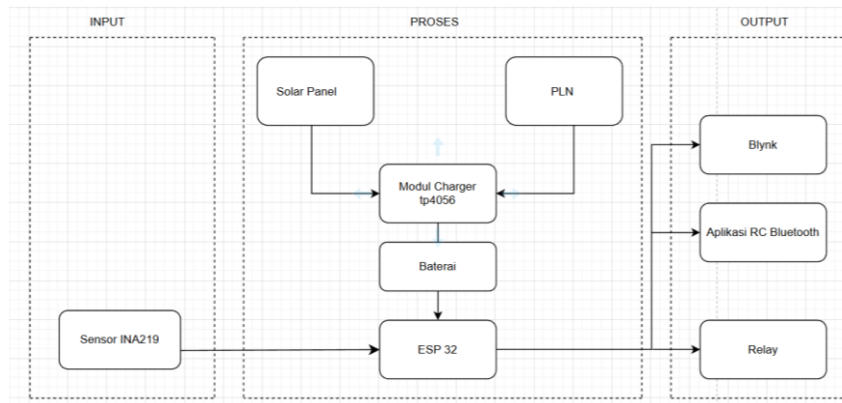
Penelitian ini menggunakan metode Research and Development (R&D). Tahap pertama adalah analisis kebutuhan, untuk mengidentifikasi permasalahan melalui observasi dan kajian literatur. Kemudian, dilakukan perancangan sistem yang mencakup desain perangkat keras seperti mikrokontroler ESP32, sensor INA219, dan aplikasi Blynk. Setelah perancangan, pembuatan prototipe dilakukan dengan merakit komponen dan memprogram mikrokontroler. Tahap terakhir adalah pengujian sistem untuk memastikan semuanya berjalan sesuai desain, dan jika ada ketidaksesuaian, perbaikan dilakukan pada tahap perancangan. Metode R&D ini mendukung pengembangan sistem yang efisien dan sesuai dengan kebutuhan.



Gambar 2. Flowchart Penelitian

3.1 Perancangan Alat

Tahap perancangan dan desain alat juga mencakup pembuatan diagram blok sebagai gambaran umum dari susunan dan hubungan antar komponen yang digunakan dalam sistem. Diagram blok ini mempermudah pemahaman tentang bagaimana alur kerja sistem berjalan, mulai dari input, proses, hingga output. Melalui diagram blok, kita bisa melihat secara jelas bagaimana tiap komponen saling terhubung dan berperan dalam sistem secara keseluruhan. Dalam proyek Prototipe Sistem Pengisian Daya Hybrid Berbasis IoT Pada Mobil Robot, diagram blok berfungsi untuk menjelaskan alur sinyal, aliran data, dan distribusi daya yang terjadi antar perangkat.

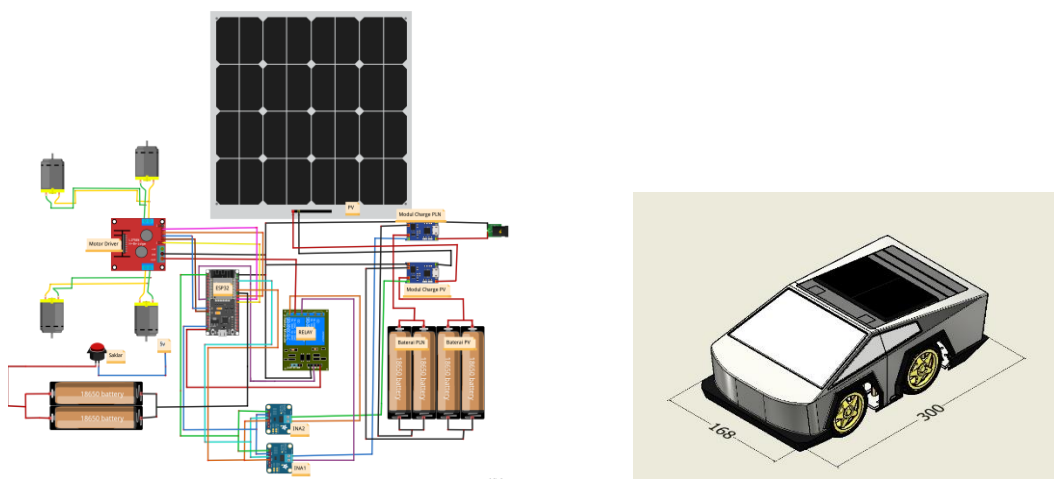


Gambar 3. Diagram Blok Perancangan Alat

Gambar 3 menunjukkan diagram blok dari Prototipe Sistem Pengisian Daya Hybrid Berbasis IoT pada Mobil Robot, yang terbagi menjadi tiga bagian utama: Input, Proses, dan Output. Input: Sistem ini menggunakan sensor INA219 untuk mengukur tegangan dan arus. Proses: Hasil pengukuran dari sensor INA219 diteruskan ke mikrokontroler ESP32 untuk diproses. Output: Tegangan yang dihasilkan oleh ESP32 ditampilkan di aplikasi Blynk, dan modul relay mengalihkan sumber daya dari PLN ke solar panel saat baterai PLN habis. Selain itu, aplikasi RC Bluetooth terhubung dengan ESP32 untuk mengontrol mobil listrik.

3.2 Desain Alat Secara Keseluruhan

Desain elektrik merupakan tahapan yang bertujuan untuk menyusun wiring diagram sebagai panduan dalam menghubungkan setiap komponen dalam sistem. Proses ini penting untuk menentukan jalur koneksi kelistrikan serta penempatan pin pada masing-masing komponen. Dengan adanya diagram wiring, proses perakitan komponen menjadi lebih sistematis dan efisien. Selain itu, diagram ini juga sangat membantu saat melakukan perawatan atau perbaikan apabila terjadi kendala teknis. Perancangan bagian elektrik ini dibuat menggunakan software Fritzing sebagai alat bantu visualisasi koneksi. Setelah tahap desain elektrik selesai, langkah selanjutnya adalah menyusun desain mekanikal. Tahap ini bertujuan untuk merancang bentuk fisik dari alat serta menentukan komponen-komponen mekanikal yang diperlukan. Desain mekanikal juga berperan penting dalam mengatur posisi dan tata letak setiap komponen, sehingga alat dapat dirakit dengan rapi dan mudah dioperasikan. Desain mekanikal ini disusun menggunakan aplikasi Tinkercad sebagai media perancangannya.



Gambar 4. Desain (a) Elektrikal (b) Mekanikal

3.3 Perancangan Pengujian

Pengujian alat dilakukan dengan tujuan untuk menilai apakah perangkat yang telah dirancang dan dirakit dapat berfungsi dengan baik. Selain itu, pengujian ini juga penting untuk memastikan bahwa setiap komponen dalam sistem bekerja sesuai dengan fungsinya masing-masing. Dengan adanya tahap ini, diharapkan Prototipe Sistem Pengisian Daya Hybrid Berbasis IoT Pada Mobil Robot dapat beroperasi sebagaimana mestinya sesuai dengan rancangan awal. Jika sistem menunjukkan performa yang baik selama proses pengujian, maka pengembangan dapat dilanjutkan ke tahap berikutnya. Namun, apabila ditemukan kendala atau sistem tidak bekerja sebagaimana yang diharapkan, maka dilakukan proses pengecekan dan perbaikan. Tahap ini biasanya kembali mengacu pada desain elektrikal sebelumnya untuk menemukan solusi dari permasalahan yang muncul. Secara umum, pengujian terbagi menjadi dua jenis, yaitu uji fungsional dan uji kinerja. Uji fungsional bertujuan untuk memastikan bahwa setiap komponen dapat bekerja sesuai dengan spesifikasi yang ditetapkan. Sementara itu, uji kinerja difokuskan pada penilaian keandalan alat ketika dijalankan dalam kondisi penggunaan sebenarnya.

a. Uji Fungsional

Uji fungsional adalah tahap pertama dalam pengujian alat yang digunakan untuk memeriksa kondisi setiap komponen. Tujuannya adalah untuk memastikan bahwa setiap bagian alat bekerja sesuai dengan desain yang sudah dibuat. Berikut adalah langkah-langkah uji fungsional yang dilakukan dalam pembuatan alat Prototipe Sistem Pengisian Daya Hybrid Berbasis IoT Pada Mobil Robot.

b. Uji Kinerja

Uji Kinerja adalah tahap pengujian yang bertujuan untuk mengukur sejauh mana performa alat yang telah dibuat. Tujuan utama dari pengujian ini adalah untuk memastikan bahwa sistem Prototipe Sistem Pengisian Daya Hybrid Berbasis IoT Pada Mobil Robot sesuai dengan desain yang telah direncanakan sebelumnya. Berikut merupakan langkah – langkah pengujian yang dilakukan dalam proses pembuatan alat ini.

4. Hasil dan Pembahasan

Penelitian ini membahas secara menyeluruh mengenai tahapan pelaksanaan, hasil yang diperoleh, serta analisis dari proses Prototipe Sistem Pengisian Daya Hybrid Berbasis IoT Pada Mobil Robot. Pada bagian ini, dijelaskan bagaimana proses pengembangan dari sisi perangkat keras (hardware) dan perangkat lunak (software) dilakukan secara bertahap. Selanjutnya, disampaikan juga hasil pengujian terhadap fungsionalitas serta kinerja sistem berdasarkan instrumen pengujian yang telah dirancang sebelumnya. Semua data hasil pengujian akan disajikan dalam bentuk tabel dan grafik untuk mempermudah proses analisis.

4.1 Proses Pembuatan Alat

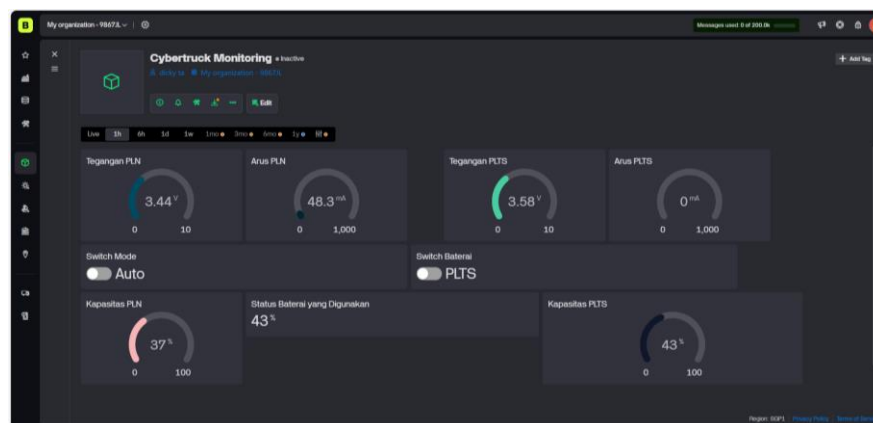
Proses perakitan alat pada proyek " Prototipe Sistem Pengisian Daya Hybrid Berbasis IoT Pada Mobil Robot." dilaksanakan melalui dua tahapan utama, yaitu tahap pengembangan perangkat keras (hardware) dan tahap pengembangan perangkat lunak (software).

a. Perangkat Keras

Pembuatan perangkat keras pada tahap perancangan sistem pengisian daya mobil listrik hybrid menggunakan energi surya dan PLN berbasis IoT mencakup pengembangan sistem elektrikal dan mekanikal. Tahapan ini meliputi proses perancangan rangkaian catu daya, sistem monitoring tegangan dan arus, integrasi sensor, serta pengendalian beban melalui mikrokontroler ESP32 yang terhubung ke platform IoT. Proses diawali dengan menyiapkan alat dan komponen yang dibutuhkan sesuai dengan rancangan. Selanjutnya dilakukan proses perakitan, yaitu dengan menghubungkan setiap komponen elektronik yang digunakan. Modul sensor INA219 ditempatkan di dalam chassis untuk menjaga keamanan rangkaian, dan koneksi antar komponen dilakukan dengan menghubungkan pin VCC dan GND dari mikrokontroler ESP32 ke masing-masing sensor dan aktuator. Hasil dari tahapan wiring ini menghasilkan susunan rangkaian yang siap digunakan untuk mengontrol dan memonitor sistem pengisian daya dari sumber PLN maupun energi surya secara otomatis sebagai berikut.

b. Perangkat Lunak

Pengembangan perangkat lunak dilakukan untuk mengatur kerja sistem dan memastikan semua komponen dalam prototipe dapat saling terhubung dan bekerja secara otomatis. Perangkat lunak ini dirancang untuk mengatur logika pengisian daya dari dua sumber energi, yaitu panel surya dan listrik PLN, serta mengontrol sistem monitoring berbasis IoT. Sistem ini menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai pusat kendali utama. Proses pengembangan dimulai dengan menyiapkan perangkat lunak Arduino IDE sebagai lingkungan pemrograman. Tahap pertama yaitu menginstal board ESP32 dan berbagai library yang diperlukan, seperti library INA219, WiFi, Blynk. Setelah itu, dilakukan penulisan kode program yang mengatur proses pembacaan data sensor, kendali switching relay sumber energi, dan pengiriman data ke platform Blynk secara real-time. Dalam sistem ini, ESP32 berperan sebagai pengendali utama yang mengelola data dari sensor INA219 (pengukur arus dan tegangan), serta mengontrol perpindahan sumber daya antara panel surya dan PLN melalui relay 5V 2 channel. Selain itu, ESP32 juga terhubung dengan platform Blynk untuk memungkinkan monitoring jarak jauh melalui smartphone. Data yang ditampilkan mencakup status pengisian, kapasitas baterai, sumber energi aktif, dan parameter listrik lainnya. Berikut adalah hasil dari pengembangan perangkat lunak pada Prototipe Sistem Pengisian Daya Mobil Listrik Hybrid Menggunakan Energi Surya dan PLN Berbasis IoT, yang memungkinkan pengendalian sistem secara otomatis, pemantauan real-time, serta mendukung efisiensi dan keberlanjutan energi dalam kendaraan listrik skala kecil.



Gambar 5. Hasil Blynk

Gambar tersebut menunjukkan hasil pemantauan sistem pengisian daya untuk mobil listrik hybrid yang memanfaatkan energi surya dan PLN, yang dikendalikan serta dipantau melalui teknologi Internet of Things (IoT). Data terkait tegangan, arus, dan kapasitas dari kedua sumber daya, yakni PLN dan tenaga surya, dikirim ke Platform Blynk untuk ditampilkan secara real-time. Dengan sistem ini, seluruh parameter pengisian daya dapat dipantau secara efisien dan mudah, memberikan kontrol yang lebih baik atas penggunaan energi dan pengisian daya mobil listrik.

4.2 Hasil Uji Fungsional

Berdasarkan rencana pengujian terhadap Prototipe Sistem Pengisian Daya Mobil Listrik Hybrid Berbasis Internet of Things (IoT) yang memanfaatkan Energi Surya dan PLN, pengujian dilakukan dalam dua tahap utama, yaitu uji fungsional dan uji kinerja. Uji fungsional bertujuan untuk memastikan bahwa setiap komponen yang digunakan pada alat ini dapat berfungsi sebagaimana mestinya. Sementara itu, uji kinerja difokuskan pada evaluasi keseluruhan sistem untuk mengetahui apakah sistem mampu berjalan secara optimal, termasuk dalam hal kemampuan pengukuran terhadap kadar gas amonia. Adapun hasil dari kedua pengujian tersebut disajikan sebagai berikut:

a. Modul Charger TP4056

Tabel 1. Hasil Uji Modul Charger TP4056

No	Tegangan Input	Output	Hasil
1	1	OFF	Indikator TP4056 tidak aktif
2	2	OFF	Indikator TP4056 tidak aktif
3	3	OFF	Indikator TP4056 tidak aktif
4	4	ON	Indikator TP4056 aktif
5	5	ON	Indikator TP4056 aktif

Tabel di atas menunjukkan pengujian modul TP4056 berdasarkan tegangan input yang diberikan. Pada tegangan input 1, 2, dan 3, output menunjukkan status "OFF" yang berarti indikator pada modul TP4056 tidak aktif. Sementara itu, pada tegangan input 4 dan 5, output berubah menjadi "ON", dan indikator TP4056 aktif. Hasil ini menunjukkan bahwa modul TP4056 berfungsi sesuai dengan harapan, mengaktifkan indikator hanya pada tegangan input yang lebih tinggi.

b. Baterai Solar Panel

Tabel 2. Hasil Uji Baterai Solar Panel

No	Parameter Uji	Metode Pengujian	Hasil yang Diharapkan	Status Pengujian
1	Kapasitas Baterai	Mengukur kapasitas baterai pada saat pengisian dan penggunaan	Baterai dapat mengisi daya hingga kapasitas yang ditentukan	Sudah Diuji
2	Waktu Pengisian Baterai	Mengukur waktu yang dibutuhkan untuk mengisi baterai dari kosong hingga penuh	Waktu pengisian sesuai dengan spesifikasi	Sudah Diuji
3	Ketahanan Baterai dalam Penggunaan	Menguji ketahanan baterai selama penggunaan pada kondisi nyata	Baterai dapat bertahan selama waktu yang diperkirakan	Sudah Diuji
4	Indikator Pengisian Baterai	Memeriksa fungsi indikator pengisian baterai (merah, hijau) pada modul TP4056	Indikator berfungsi dengan baik sesuai dengan status pengisian	Sudah Diuji

Tabel ini menggambarkan pengujian kinerja baterai pada sistem pengisian daya mobil listrik hybrid. Pengujian pertama mengukur kapasitas baterai, memastikan baterai mengisi daya hingga kapasitas yang ditentukan. Waktu pengisian diuji untuk memastikan baterai terisi penuh dalam waktu yang sesuai dengan spesifikasi. Pengujian ketahanan baterai bertujuan memastikan baterai bertahan selama penggunaan kendaraan sesuai perkiraan. Terakhir, pengujian indikator pengisian memeriksa fungsi indikator pada modul TP4056 untuk memastikan status pengisian baterai dapat terpantau dengan baik. Semua pengujian ini memastikan kinerja baterai sesuai dengan harapan dan spesifikasi.

c. Baterai PLN

Tabel 3. Hasil Uji Baterai PLN

No	Parameter Uji	Metode Pengujian	Hasil yang Diharapkan	Status Pengujian
1	Kapasitas Baterai	Mengukur kapasitas baterai pada saat pengisian dan penggunaan	Baterai dapat mengisi daya hingga kapasitas yang ditentukan	Sudah Diuji
2	Waktu Pengisian Baterai	Mengukur waktu yang dibutuhkan untuk mengisi baterai dari kosong hingga penuh	Waktu pengisian sesuai dengan spesifikasi	Sudah Diuji
3	Ketahanan Baterai dalam Penggunaan	Menguji ketahanan baterai selama penggunaan pada kondisi nyata	Baterai dapat bertahan selama waktu yang diperkirakan	Sudah Diuji
4	Indikator Pengisian Baterai	Memeriksa fungsi indikator pengisian baterai (merah,) pada modul TP4056	Indikator berfungsi dengan baik sesuai dengan status pengisian	Sudah Diuji

Tabel ini menunjukkan pengujian kinerja baterai dalam sistem pengisian daya mobil listrik hybrid. Pada pengujian pertama, kapasitas baterai diukur untuk memastikan baterai dapat mengisi daya hingga mencapai kapasitas yang telah ditentukan. Pengujian waktu pengisian bertujuan untuk memastikan baterai dapat terisi penuh dalam waktu yang sesuai dengan spesifikasi yang diharapkan. Pengujian ketahanan baterai dilakukan untuk memastikan baterai dapat bertahan selama penggunaan kendaraan sesuai dengan estimasi yang ada. Terakhir, pengujian indikator pengisian memeriksa fungsionalitas indikator pada modul TP4056 untuk memastikan status pengisian baterai terlihat dengan jelas. Seluruh pengujian ini bertujuan untuk memastikan baterai berfungsi optimal sesuai dengan spesifikasi yang ditetapkan.

d. ESP32

Tabel 4. Hasil Uji ESP32

No	Pengujian	Input	Output	Hasil
1	Pin Vcc-Ground	Power Supply 5V	5V	Tegangan Sesuai
2	Pin 3,3 Vcc - Ground	Power Supply 5V	3,3V	Tegangan sesuai
3	GPIO 12	Program aktif penuh	3,29V	Normal
4	GPIO 13	Program aktif penuh	3,29V	Normal
5	GPIO 14	Program aktif penuh	3,29V	Normal
6	GPIO 21	Program aktif penuh	3,29V	Normal
7	GPIO 22	Program aktif penuh	3,29V	Normal
8	GPIO 26	Program aktif penuh	3,29V	Normal
9	Wi-fi connection	Menyambungkan SSID Wi-Fi	NodeMCU is Connected	Terkoneksi dengan baik

Berdasarkan Tabel 7 dan 8, hasil pengujian pada relay MY4N 24 VDC 5A dan MK2P-I 24 VDC 10A menunjukkan kondisi normal dan stabil. Relai dengan arus kerja 5A berjumlah 6 buah, sedangkan relai 10A berjumlah 4 buah. Pengujian dilakukan dengan memberikan tegangan pada coil untuk memastikan bahwa coil dapat berpindah atau merespons dengan baik.

e. Tegangan INA219

Tabel 5. Hasil Uji Tegangan INA219

No	Pengujian	Input Variasi Tegangan	Output Tegangan (V) V	Akurasi datasheet	Deviasi %	Hasil
1	Pembacaan Tegangan INA219	5	4,9V	±1%	2.00%	Normal
2		6	5,8V		3.33%	Normal
3		8	7,9V		1.25%	Normal
4		12	11,8V		1.67%	Normal

Pada pengujian ini dilakukan pengukuran tegangan input dan output dengan sensor INA219. Hasil pengujian menunjukkan adanya sedikit deviasi antara tegangan input dan output, namun tetap berada dalam batas toleransi datasheet sensor INA219 ($\pm 1\%$). Misalnya, pada input 5V, output tercatat 4.9V (deviasi 2.00%), dan pada 6V, output 5.8V (deviasi 3.33%). Meskipun terdapat perbedaan kecil, sistem tetap berfungsi dengan baik dan hasil pengujian dinyatakan normal. Secara keseluruhan, pengujian ini menunjukkan bahwa sistem dapat diandalkan dalam memantau tegangan secara real-time.

f. Arus INA219

Tabel 6. Hasil Uji Nilai Arus INA219

No	Pengujian	Input Variasi Tegangan	Output Arus (A)	Akurasi datasheet	Deviasi %	Hasil
1	Pembacaan Arus INA219	5	0,2	±1%	1%	Normal
2		6	0,3		2,00%	Normal
3		8	0,5		1,5%	Normal
4		12	0,7		1,43%	Normal

Pada Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem pengisian daya bekerja dengan baik, dengan deviasi yang terukur berada dalam batas toleransi $\pm 1\%$ sesuai dengan datasheet sensor INA219. Semua hasil arus normal, meskipun ada sedikit deviasi yang masih dalam kisaran yang dapat diterima, menunjukkan kinerja yang stabil.

g. Relay 5V

Tabel 7. Hasil Uji Relay 5V

No	Tegangan Input	Output	Hasil
1	1V	OFF	Relay tidak aktif
2	3V	OFF	Relay tidak aktif
3	5V	ON	Relay aktif

Pengujian terhadap relay 5V dilakukan dengan memberikan tegangan input yang bervariasi untuk memverifikasi apakah relay dapat berfungsi dengan baik. Tegangan yang digunakan dalam pengujian ini adalah 1V, 3V, dan 5V. Pada pengujian pertama, ketika diberikan tegangan 1V, relay tidak aktif dan output tetap dalam kondisi OFF, yang menunjukkan bahwa tegangan tersebut tidak cukup untuk mengoperasikan relay. Begitu juga pada pengujian kedua, saat diberikan tegangan 3V, relay tetap tidak aktif dan output tetap OFF, mengindikasikan bahwa tegangan tersebut juga tidak mencukupi komponen sangat penting untuk menunjang tahapan pengujian selanjutnya, pengujian ini juga memastikan komponen-komponen siap digunakan pada sistem yang utuh. Gambar dokumentasi disertakan dalam lampiran.

4.3 Hasil Uji Kinerja Alat

Uji kinerja bertujuan untuk mengukur seberapa baik sistem yang dirancang berfungsi sesuai dengan tujuan yang telah ditetapkan. Pada pengujian ini, beberapa aspek diuji, seperti kestabilan sistem pengisian daya, kecepatan pengisian, serta pemantauan data yang dihasilkan oleh sistem.

Tabel 8. Pengujian Akurasi Pengukuran Baterai Solar Panel

Waktu	Blynk	Alat Ukur Multimeter (V)	Selisih Pembacaan (V)	Deviasi (%)
09.00	6.12	6.15	0.03	0.49%
10.00	6.35	6.40	0.05	0.78%
11.00	6.58	6.60	0.02	0.30%
12.00	6.75	6.78	0.03	0.44%
13.00	6.85	6.88	0.03	0.44%

Pengujian dilakukan untuk mengukur akurasi sistem pemantauan tegangan baterai dalam prototipe sistem pengisian daya mobil listrik hybrid yang menggunakan energi surya dan PLN, dengan memanfaatkan aplikasi Blynk dan alat ukur multimeter sebagai referensi. Pengukuran dilakukan pada beberapa waktu yang berbeda, yaitu pada pukul 09:00, 10:00, 11:00, 12:00, dan 13:00. Setiap pengukuran dilakukan dengan mencatat tegangan yang terbaca pada Blynk dan alat ukur multimeter, kemudian menghitung selisih pembacaan antara kedua alat tersebut untuk melihat perbedaan hasil pengukuran. Hasil pengujian menunjukkan bahwa selisih antara kedua alat pengukuran relatif kecil, dengan deviasi berkisar antara 0,30% hingga 0,78%. Misalnya, pada pukul 09:00, Blynk menunjukkan tegangan 6.12V, sementara multimeter mencatat 6.15V, dengan selisih 0.03V yang menghasilkan deviasi sebesar 0.49%.

Pengujian serupa pada waktu lain juga menunjukkan deviasi yang sangat kecil, yang mengindikasikan bahwa aplikasi Blynk dapat memberikan hasil pengukuran tegangan yang akurat. Deviasi yang tercatat pada setiap pengukuran dapat dijelaskan oleh beberapa faktor. Pertama, toleransi atau ketelitian yang dimiliki oleh kedua alat pengukuran, di mana meskipun multimeter lebih presisi, sensor yang digunakan pada Blynk berbasis IoT mungkin memiliki keterbatasan akurasi. Selain itu, faktor lingkungan seperti suhu dan kelembapan dapat mempengaruhi pembacaan sensor pada aplikasi Blynk, sedangkan multimeter biasanya lebih stabil dalam kondisi tersebut. Keterlambatan dalam transmisi data pada sistem IoT juga dapat berkontribusi pada perbedaan pembacaan yang kecil. Meskipun demikian, deviasi yang ditemukan sangat kecil dan masih dalam batas toleransi yang dapat diterima, menunjukkan bahwa Blynk berfungsi dengan baik sebagai sistem pemantauan tegangan dalam prototipe ini. Pengujian ketahanan baterai bertujuan memastikan baterai bertahan selama penggunaan kendaraan sesuai perkiraan. Terakhir, pengujian indikator pengisian memeriksa fungsi indikator pada modul TP4056 untuk memastikan status pengisian baterai dapat terpantau dengan baik. Semua pengujian ini memastikan kinerja baterai sesuai dengan harapan dan spesifikasi.

Tabel 9. Hasil Uji Pengujian Baterai PLN

Waktu	Blynk	Alat Ukur Multimeter (V)	Selisih Pembacaan (V)	Deviasi (%)
19.00	6.12	6.15	0.03	0.49%
20.00	6.35	6.40	0.05	0.78%
21.00	6.58	6.60	0.02	0.30%
22.00	6.75	6.78	0.03	0.44%
23.00	6.85	6.88	0.03	0.44%

Pengujian pada sistem pengisian daya mobil listrik hybrid yang menggunakan energi surya dan PLN berbasis Internet of Things (IoT) dilakukan dengan memantau tegangan baterai pada lima titik waktu yang berbeda, yaitu pukul 19:00, 20:00, 21:00, 22:00, dan 23:00. Pengukuran tegangan dilakukan dengan menggunakan dua alat, yaitu Blynk, sebagai platform berbasis IoT, dan Alat Ukur Multimeter sebagai alat ukur konvensional. Hasil pengujian menunjukkan adanya perbedaan kecil antara pembacaan yang dilakukan oleh kedua alat tersebut, dengan selisih pembacaan tegangan antara 0.02 V hingga 0.05 V pada setiap waktu pengujian. Deviasi antara pembacaan kedua alat dihitung untuk mengukur seberapa besar perbedaan relatif yang terjadi. Deviasi yang dihitung berada dalam kisaran 0.30% hingga 0.78%, yang menunjukkan bahwa perbedaan antara kedua alat

ukur sangat kecil. Hal ini mengindikasikan bahwa sistem pengisian daya yang diuji memberikan hasil yang konsisten dan akurat. Meskipun terdapat perbedaan yang sangat kecil, hasil pengujian ini membuktikan bahwa pembacaan tegangan yang dilakukan oleh Blynk cukup andal dan mendekati pembacaan yang dilakukan dengan Alat Ukur Multimeter, yang menunjukkan bahwa sistem berfungsi sesuai dengan yang diharapkan.

Tabel 10. Hasil Uji Swiching Baterai

No	Parameter Pengujian	Metode Pengujian	Hasil yang diharapkan	Status Pengujian
1	Pengalihan Sumber Daya (PLN ke Surya)	Pengujian dilakukan dengan mengosongkan baterai PLN	Sistem otomatis beralih ke energi surya	Normal
2	Pengendalian Manual via Blynk	Menggunakan aplikasi Blynk untuk mengalihkan sumber daya	Pengalihan dapat dilakukan dengan Blynk	Normal
3	Pengisian Daya dengan Energi Surya	Panel surya diaktifkan dengan intensitas sinar matahari variatif	Daya yang terisi sesuai dengan pengukuran	Normal
1	Pengalihan Sumber Daya (PLN ke Surya)	Pengujian dilakukan dengan mengosongkan baterai PLN	Sistem otomatis beralih ke energi surya	Normal
2	Pengendalian Manual via Blynk	Menggunakan aplikasi Blynk untuk mengalihkan sumber daya	Pengalihan dapat dilakukan dengan Blynk	Normal

Pengujian sistem pengisian daya mobil listrik hybrid ini melibatkan beberapa parameter utama untuk memastikan kinerja yang optimal. Pertama, dilakukan pengujian pengalihan sumber daya dari PLN ke energi surya, di mana sistem diuji untuk beralih otomatis ke energi surya saat baterai PLN habis. Hasil yang diharapkan adalah pengalihan yang berjalan lancar dan sistem berfungsi dengan normal. Selanjutnya, diuji pengendalian manual via aplikasi Blynk, yang memungkinkan pengguna mengalihkan sumber daya antara PLN dan surya secara manual. Pengujian ini menunjukkan bahwa pengalihan dapat dilakukan dengan mudah melalui aplikasi. Terakhir, dilakukan pengujian pengisian daya menggunakan energi surya untuk memastikan bahwa panel surya dapat mengisi daya baterai dengan efisien sesuai dengan intensitas sinar matahari. Hasil pengujian menunjukkan bahwa daya yang terisi sesuai dengan pengukuran yang dilakukan, dan sistem berjalan normal sesuai harapan. Secara keseluruhan, sistem menunjukkan kinerja yang baik dan stabil pada setiap pengujian yang dilakukan.

Tabel 11. Hasil Uji Pengisian Baterai

No	Parameter Uji	Metode Pengujian	Hasil yang diharapkan	Status Pengujian
1	Pengecasan Baterai PLN	Menguji sistem pengecasan dengan indikator merah pada modul TP4056 saat baterai kosong dan indikator hijau saat penuh	Indikator merah saat baterai kosong, hijau saat penuh	Sudah Diuji
2	Pengecasan dengan Energi Surya	Menguji pengecasan menggunakan energi surya dengan indikator merah pada modul TP4056 saat baterai kosong dan indikator hijau saat penuh	Indikator merah saat baterai kosong, hijau saat penuh	Sudah Diuji

4.4 Hasil Pembahasan

Prototipe sistem pengisian daya mobil listrik hybrid yang menggabungkan sumber energi surya dan PLN dirancang untuk menciptakan solusi pengisian daya yang fleksibel, efisien, dan ramah lingkungan. Sistem ini menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai pusat kendali yang mengatur aliran daya antara dua sumber energi secara otomatis, dengan panel surya sebagai prioritas utama dan PLN sebagai cadangan. Sensor INA219 digunakan untuk memonitor tegangan dan arus secara real-time, sementara pengisian daya diatur menggunakan modul charger TP4056. Semua data dari sistem dapat dipantau dan dikendalikan melalui aplikasi Blynk yang terhubung ke ESP32 via Wi-Fi, memungkinkan pengguna untuk memantau status pengisian dan mengontrol sistem dari jarak jauh. Sistem ini dirancang untuk meningkatkan efisiensi dan ketersediaan daya bagi kendaraan listrik dengan menggunakan energi terbarukan dan sumber energi konvensional secara bersamaan.

Penelitian ini menggunakan metodologi Research and Development (R&D) yang terdiri dari beberapa tahapan. Pada tahap pertama, dilakukan analisis kebutuhan melalui observasi lapangan dan kajian literatur untuk memahami permasalahan pengisian daya pada kendaraan listrik dan memilih teknologi yang tepat. Selanjutnya, dilakukan perancangan sistem, yang mencakup desain perangkat keras seperti panel surya, sensor INA219, ESP32, dan relay, serta perangkat lunak untuk pemantauan dan kendali sistem menggunakan platform Blynk. Pada tahap pembuatan, komponen perangkat keras dirakit dan diprogram untuk memastikan sistem berjalan sesuai dengan desain. Terakhir, pengujian dilakukan untuk mengevaluasi kinerja sistem, memastikan pengalihan sumber daya yang efisien, dan memverifikasi akurasi data yang dikirim ke aplikasi Blynk. Dengan pendekatan R&D ini, penelitian ini menghasilkan prototipe yang siap

diuji dan digunakan untuk memberikan solusi pengisian daya kendaraan listrik berbasis IoT dan energi terbarukan. Uji fungsional merupakan langkah awal dalam memastikan bahwa setiap komponen sistem bekerja sesuai dengan spesifikasi yang telah dirancang. Pada tahap ini, berbagai perangkat, seperti modul charger TP4056, baterai dari panel surya, mikrokontroler ESP32, sensor INA219, relay, aplikasi RC Bluetooth, dan platform Blynk diuji secara terpisah. Hasil pengujian menunjukkan bahwa setiap komponen berfungsi dengan baik. Modul charger TP4056 mampu menjaga kestabilan tegangan output pada 4,2V, sesuai dengan standar pengisian baterai lithium-ion. Baterai yang menggunakan sumber energi dari panel surya menunjukkan performa yang optimal, bahkan dalam cuaca mendung. Mikrokontroler ESP32 berhasil terhubung ke Wi-Fi dan mengirim data secara real-time ke server. Sensor INA219 mampu mengukur tegangan dan arus dari kedua sumber energi, baik PLN maupun solar panel, dengan error yang sangat minim.

Uji kinerja dilakukan untuk mengevaluasi sejauh mana sistem dapat bekerja dengan optimal di kondisi nyata. Pengujian ini dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan sensor terhadap alat ukur referensi (multimeter). Pada pengujian dengan panel surya, tegangan baterai meningkat secara konsisten dari 6,3V menjadi 7,3V dalam waktu empat jam, dengan rata-rata error di bawah 2%. Pengukuran arus juga menunjukkan perbedaan yang sangat kecil, berada di bawah 3%, yang menandakan bahwa sistem dapat diandalkan untuk memantau kinerja baterai dalam kondisi nyata. Begitu pula dengan pengujian pengisian menggunakan PLN, di mana tegangan meningkat dari 5,2V menjadi 7,4V dan arus menurun secara bertahap. Error pengukuran pada pengisian menggunakan PLN tetap berada di bawah 3%, menunjukkan bahwa sistem mampu bekerja dengan baik dan memiliki tingkat akurasi yang dapat diterima

4.5 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan pembahasan pada proyek akhir Prototipe Sistem Pengisian Daya Hybrid Berbasis IoT Pada Mobil Robot. Maka dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Prototipe sistem pengisian daya mobil listrik hybrid berhasil dirancang dengan mengintegrasikan sumber energi surya dan PLN berbasis Internet of Things (IoT). Sistem menggunakan solar panel sebagai sumber energi utama dan PLN sebagai cadangan, dengan rangkaian charger TP4056, baterai lithium-ion, sensor INA219, relay, serta mikrokontroler ESP32 yang terhubung ke aplikasi Blynk untuk monitoring dan kontrol jarak jauh. Perancangan ini mampu mengakomodasi kebutuhan fleksibilitas pengisian daya secara

- otomatis dan efisien.
2. Pada uji fungsi komponen, setiap elemen sistem diuji untuk memastikan bahwa komponen-komponen tersebut berfungsi dengan baik. Panel surya berhasil menghasilkan daya yang cukup untuk mengisi baterai dalam kondisi sinar matahari yang memadai, menunjukkan bahwa panel surya dapat menjadi sumber energi utama yang efisien. Modul charger TP4056 juga berfungsi dengan baik dalam mengatur pengisian baterai, dengan kemampuan mengisi baterai lithium hingga mencapai tegangan penuh (4,2V), serta proteksi terhadap overcharge dan overdischarge yang berfungsi dengan baik. Sensor INA219 mampu mengukur tegangan dan arus dengan akurat, dan data yang dihasilkan diteruskan dengan tepat ke mikrokontroler ESP32 untuk pemantauan sistem. Relay bekerja efektif dalam mengalihkan sumber daya antara panel surya dan PLN secara otomatis, memastikan sistem dapat berfungsi meskipun salah satu sumber daya tidak tersedia. Mikrokontroler ESP32 bertindak sebagai pusat kendali yang stabil, mengatur aliran daya, membaca data dari sensor INA219, serta mengirimkan informasi ke aplikasi Blynk melalui Wi-Fi, memungkinkan pemantauan jarak jauh. Secara keseluruhan, uji fungsi menunjukkan bahwa semua komponen berfungsi dengan baik dan bekerja secara sinergis dalam sistem pengisian daya.
 3. Pada uji kinerja, sistem secara keseluruhan diuji untuk memastikan bahwa prototipe dapat beroperasi dengan baik dalam kondisi nyata. Pengisian daya menggunakan panel surya berjalan efisien saat cuaca cerah, dengan pengisian yang cepat dan stabil. Saat panel surya tidak cukup menghasilkan daya, sistem beralih secara otomatis ke sumber PLN, dan relay bekerja dengan baik untuk mengalihkan sumber daya tanpa gangguan. Pemantauan status pengisian baterai dilakukan secara real-time melalui aplikasi Blynk, yang menampilkan data arus, tegangan, dan status pengisian secara akurat. Selain itu, pengujian daya baterai menunjukkan bahwa baterai lithium memiliki daya tahan yang memadai setelah pengisian, dengan penggunaan kendaraan listrik yang berlangsung lebih lama tanpa perlu sering mengisi daya dari PLN. Secara keseluruhan, prototipe ini terbukti efektif, efisien, dan dapat diandalkan untuk pengisian daya kendaraan listrik hybrid. kebutuhan pengisian maupun pemantauan jarak jauh.

Daftar Pustaka

- [1] Ajija, S. R. (2022, April 9). Mengenal Lebih Dalam Profil Pengguna PV Rooftop di Indonesia. Unair.ac.id.
- [2] Aldhi, M. (2023). RANCANG BANGUN PROTOTYPE MOBIL LISTRIK SISTEM UNIVERSITAS MEDAN AREA.
- [3] Alfian, M. F. (2023). PENGEMBANGAN SISTEM JEMURAN PAKAIAN OTOMATIS BERBASIS INTERNET OF THINGS.
- [4] Alvino Octaviano. (2023). Penerapan IoT untuk Atap Warung Kopi Melalui Telegram. <http://pijarpemikiran.com/index.php/Scientia>
- [5] Ardiansyah, R., Maulana, M., & Subekti, R. (2021). Desain sistem pengisian daya mobil listrik menggunakan energi matahari. *Jurnal Rekayasa Energi*, 19(1), 90–98.
- [6] Ari Ramadhan, M., Noertjahjono, S., & Santi Wahyuni, F. (2020). RANCANG BANGUN AKSES KUNCI PINTU GERBANG INDEKOS MENGGUNAKAN E-KTP (ELEKTRONIK KARTU TANDA PENDUDUK) BERBASIS MIKROKONTROLLER. Dalam *Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika* (Vol. 4, Nomor 2).
- [7] Arjun Praktiko, N. P. A. (2022). Simulasi Kendali Dan Monitoring Daya Listrik Peralatan Rumah Tangga Berbasis ESP32. *elektro.itn.ac.id*, 3(1).
- [8] Arrahma, S. A., & Mukhaiyar, R. (2023). Pengujian Esp32-Cam Berbasis Mikrokontroler ESP32. *Jurnal Teknik Elektro Indonesia*, 4(1), 60–66.
- [9] artikel-1-untuk-vol-i-no-2-1-7-pdf (1). (t.t.).
- [10] Budiarso, Z., Nurraharjo, E., & Listiyono, H. (t.t.). REKAYASA ROBOT MOBIL DENGAN EMPAT MOTOR PENGGERAK MENGGUNAKAN METODE PENGACAKAN DELAY TIME VALUE BERBASIS ARDUINO. *Dinamika*

- Informatika, 13(1), 36–43.
- [11] ESDM. (2022). Direktorat Jenderal Energi Baru, Terbarukan, dan Konservasi Energi.
- [12] Faris, A. M. , M. M. , & M. M. A. (2023). Kaji Eksperimental Kekakuan Sasis Mobil Listrik KMLI Jenis Tubular Space Frame. . Jurnal Rekayasa Energi dan Mekanika, 3(1).
- [13] fika,+Jurnal+Machine+Vol+7+No+1+(30-37)+an+Aris+T+(Politeknik+Negeri+Bengkalis). (t.t.).
- [14] Gabbar, H. A., Othman, A. M., & Abdussami, M. R. (2021). Review of Battery Management Systems (BMS) Development and Industrial Standards. Dalam Technologies (Vol. 9, Nomor 2). MDPI. <https://doi.org/10.3390/technologies9020028>
- [15] Gultom, C., Abrianto, H., Sidik, A. D., & Sembiring, N. (t.t.). PROTOTIPE ROBOT PEMADAM API DENGAN MENGGUNAKAN ARDUINO UNO BERBASIS SENSOR LM393 DAN SENSOR ULTRASONIC.
- [16] Hariyati, R., Muchamad, ;, Qosim, N., Aas, ;, Hasanah, W., Elektro, T., Tinggi, S., & Pln, T. (2019). Konsep Fotovoltaik Terintegrasi On Grid dengan Gedung STT-PLN. Jurnal Ilmiah, 11(1).
- [17] Harly, S., & Febriansyah, R. (2024). Perancangan Alat Untuk Media Belajar Logika Pemrograman Menggunakan STM32. Jurnal Cakrawala Akademika, 1(1), 116–136.
- [18] Hidayat, M. T. (2020). Pengaruh dimensi roda terhadap efisiensi energi kendaraan listrik ringan. Jurnal Teknik Mesin, 9(2), 67–74.
- [19] Hilal, Y. N. , M. P. , & A. E. N. (2023). Analisa Balancing Bms (Battery Management System) Pada Pengisian Baterai Lithium-Ion Tipe Inr 18650 Dengan Metode Cut Off. Jurnal Simetris, 14.
- [20] Hutasuhut, A. T. R. I., Pahutar, P., Suhaila, A., Roza, M. A., & Juliani, R. (2023). ATASI KERUSAKAN DINAMO MOBIL DENGAN APLIKASI 3D-DINAMO YANG TERSINKRONISASI ALAT GULUNGAN ROTARY DINAMO.
- [21] IESR. (2023). Indonesia Energy Transition Outlook.
- [22] Isrofi, A. (t.t.). RANCANG BANGUN ROBOT PEMOTONG RUMPUT OTOMATIS MENGGUNAKAN WIRELESS KONTROLER MODUL ESP32-CAM BERBASIS INTERNET of THINGS (IoT).
- [23] Kismanti, S. T., & Nurdin, M. F. (2022). Rancang Bangun Dan Analisis Kekuatan Poros Roda Belakang Pada Mobil Listrik. Journal BEARINGS: Borneo Mechanical Engineering and Science, 1(1).
- [24] Kumara, N. S. (2008). Tinjauan perkembangan kendaraan listrik dunia hingga sekarang. Transmisi: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro, 10(2), 89–96.
- [25] Kurniawan, B., Setiawan, R., & Lestari, F. (2021). Perkembangan Transportasi Modern dan Dampaknya terhadap Lingkungan. Jurnal Energi dan Transportasi, 9(1), 33–40.
- [26] Kusuma, H. A., Ariandhi, R., Refly, S., & Nugraha, S. (2023). Development Arduino Data Logger using INA219 Sensor for Battery Capacity Monitoring. Jurnal Teknik Elektro dan Komputasi (ELKOM), 5(1), 9–15. <https://doi.org/10.32528/elkom.v5i1.8352>
- [27] Lulu Sabillah, & Hidayat, R. (2023). Sistem Monitoring Pemakaian Energi Listrik Pada Kamar Kost Menggunakan Aplikasi Blynk Berbasis Internet of Things. Jurnal Komputer dan Elektro Sains, 1(2), 25–29. <https://doi.org/10.58291/komets.v1i2.104>
- [28] Luqman, M., Anggraheny, B., Herwandi, H., & Murtono, A. (2025). Aplikasi dan unjuk kerja motor driver L-298 dan BTS7960 sebagai power switching pada inverter. URNAL ELTEK, 23(1), 9–15.
- [29] Martinus, A. J. I. P. D. A. (2018). PEMBUATAN SISTEM KONTROL MOTOR DC UNTUK PROTOTIPE KENDARAAN LISTRIK RADEN INTAN 2. Unsika.ac.id, 18(2). <https://doi.org/10.3390/s18020530>
- [30] Nasution, D., & Prasetyo, A. (2020). Tren Perkembangan Teknologi Otomotif dalam Industri Modern. Jurnal Rekayasa Mesin, 11(3), 210–219.

-
- [31] Otong, M., & Aribowo, D. (2019). PERANCANGAN MODULAR BATERAI LITHIUM ION(LI-ION) UNTUK BEBAN LAMPU LED. *Jurnal Ilmiah Setrum Article In Press*, 8(2), 260–273.
- [32] Pendidikan Tinggi Teknik Elektro Indonesia, F., Pendeteksi Nominal Uang Kertas Sebagai Alat Bantu Tunanetra Dengan Output Suara Berbasis IoT, S., Perdana Tarihoran, B., Amelia, A., & Rekayasa Jaringan Telekomunikasi, T. (2025). SNTE-FORTEI Seminar Nasional Teknik Elektro.
- [33] PLN PERSERO. (2023, Juli 16). Perkuat Ekosistem Kendaraan Listrik, PLN Gandeng 4 Perusahaan Bangun Charging Station. <https://web.pln.co.id/media/siaran-pers/2023/07/perkuat-ekosistem-kendaraan-listrik-pln-gandeng-4-perusahaan-bangun-charging-station>.
- [34] Qodri, M. A., Rahaningsih, N., & Dana, R. D. (2024). Sistem Pengendalian Lampu Rumah Dan Kantor Berbasis Internet of Things Menggunakan Mikrokontroler Nodemcu Esp8266. *Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika*, 8(1), 681–686.
- [35] Rahman, A. (2019). Analisis Perkembangan Transportasi Darat di Era Modernisasi. *Jurnal Transportasi dan Teknologi*, 7(2), 45–52.
- [36] Rahman, F. (2013). Sistem pengisian baterai kendaraan listrik berbasis energi terbarukan. *Jurnal Teknologi Elektro*, 12(1), 45–52.
- [37] Refly, S., Arief Kusuma, H., Teknik Elektro, J., Teknik, F., Maritim Raja Ali Haji, U., & Politeknik Senggarang, J. (2022). *Jurnal Sustainable: Jurnal Hasil Penelitian dan Industri Terapan Analisis Konsumsi dan Fluktuasi Arus dan Daya pada Mikrokontroler Menggunakan Sensor INA219*. 11(01), 44–48.
- [38] Refly, S., & Kusuma, H. A. (2022). Analisis Konsumsi dan Fluktuasi Arus dan Daya pada Mikrokontroler Menggunakan Sensor INA219. *Jurnal Sustainable: Jurnal Hasil Penelitian dan Industri Terapan*, 11(1), 44–48.
- [39] Revansa Arya Pradhana, D., Ichsan Pradana, A., & Hartanti, D. (2024). Implementasi Internet Of Things Pada Sistem Kontrol RC-car Pemantau Area Berbasis Esp32 cam. *Jurnal Teknologi*, 11(2), 149–159. <https://doi.org/10.31479/jtek.v11i2.306>
- [40] Rizki Amelia, S., Sodiq, D., & Daud, A. (2022). PEMBUATAN ALAT UKUR DEBIT AIR. *Politeknik Negeri Bandung*, 11.
- [41] Rizky, A. , & Latifa, U. (2024). Smart Parking Distance System Menggunakan Aplikasi Android. *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan*, 10(3), 63–72.
- [42] Santoso, H. (2021). Rancang bangun sistem pengisian kendaraan listrik dengan panel surya menggunakan metode MPPT.
- [43] Santoso, T. (2020). Perkembangan kendaraan listrik dan infrastruktur pendukungnya di Indonesia. *Jurnal Rekayasa Energi*, 18(1), 1–7.
- [44] Saputra, R. A. (2021). Analisis efektivitas sistem solar charging untuk kendaraan listrik roda dua. *Jurnal Energi Terbarukan*, 3(2), 23–30.
- [45] Setiawan, A. D. (2020). Sistem penyimpanan energi berbasis baterai untuk mobil listrik. *Jurnal Teknologi dan Inovasi Energi*, 9(3), 78–85.
- [46] Siregar, A. , & H. N. (2018). Perencanaan sistem panel surya portabel untuk kebutuhan listrik darurat. *Jurnal Energi dan Kelistrikan*, 6(2), 60–67.
- [47] Smith, J. (2018). *Urban Mobility and Modern Transportation Systems*.
- [48] Sutopo, D. (2019). Manajemen rantai pasok kendaraan listrik di Indonesia. *Jurnal Logistik dan Rantai Pasok*, 7(2), 112–120.
- [49] Sutra Kamajaya, F., & Muzmi Ulya, M. (2015). Analisis Teknologi Charger Untuk Kendaraan Listrik-Review. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 6(3), 163–166.
- [50] Tri Monda, H., & Santi Rudati, P. (t.t.). *Sistem Pengukuran Daya pada Sensor Node Wireless Sensor Network*.
- [51] Warren, J. D., Adams, J., & Molle, H. (2011). *Arduino Robotics*. Apress.
-

- <https://books.google.co.id/books?id=qXrelX4uLgQC>
- [52] Wibowo, A. , & H. F. (2020). Implementasi sistem tenaga surya untuk kendaraan listrik berbasis Arduino. *Jurnal Ilmu Teknik Elektro*, 14(1), 37–44.
 - [53] Wicaksono, R., Haryo, R. J. K., Santoso, A., Wibowo, E., & Hanafi, P. R. (2024). Perancangan Time Synchronization Sebagai Alat Bantu Pengujian Intertrip Relay Distance. *urnal JEETech*, 5(2), 151–163.
 - [54] Widayana, I. G. N. (2012). Teknologi panel surya dan penerapannya di Indonesia. *Jurnal Pendidikan Teknik Mesin UNDIKSHA* , 6(2), 89–98.
 - [55] Williams, J. (2020). Relay module application in microcontroller projects.
 - [56] Yuliana, S. , W. F. , & N. D. (2022). Pemanfaatan energi surya sebagai sumber utama dalam sistem pengisian kendaraan listrik. *Jurnal Teknik Mesin*, 10(1), 45–53.