

## MOBIL LISTRIK TENAGA SURYA DENGAN KENDALI BLUETOOTH HANDPHONE

Deni Tri Laksono <sup>\*1</sup>  
Ahmad Herliyanto <sup>2</sup>  
Achmad Ahsan Kamil <sup>3</sup>  
Farhan Aditya Syahputra <sup>4</sup>  
Ahmad Gilang Akhsan Al Fani <sup>5</sup>  
Andika Budi Prastia <sup>6</sup>

<sup>1,2,3,4,5,6</sup> Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Trunojoyo Madura

\*e-mail: [deni.laksono@trunojoyo.ac.id](mailto:deni.laksono@trunojoyo.ac.id), [230431100035@student.trunojoyo.ac.id](mailto:230431100035@student.trunojoyo.ac.id),  
[230431100004@student.trunojoyo.ac.id](mailto:230431100004@student.trunojoyo.ac.id), [230431100012@student.trunojoyo.ac.id](mailto:230431100012@student.trunojoyo.ac.id),  
[230431100093@student.trunojoyo.ac.id](mailto:230431100093@student.trunojoyo.ac.id), [230431100100@student.trunojoyo.ac.id](mailto:230431100100@student.trunojoyo.ac.id).

### Abstrak

Perkembangan teknologi di bidang energi terbarukan dan sistem kendali cerdas telah mendorong inovasi kendaraan listrik yang ramah lingkungan dan hemat energi. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sebuah prototipe mobil listrik skala kecil yang menggunakan tenaga surya sebagai sumber energi utama dan dikendalikan secara nirkabel melalui smartphone menggunakan koneksi Bluetooth. Sistem ini dirancang dengan mengintegrasikan beberapa komponen utama, yaitu panel surya sebagai penghasil energi listrik, modul TP4056 sebagai pengatur pengisian daya baterai lithium-ion, mikrokontroler Arduino Uno sebagai pusat kendali logika sistem, serta modul Bluetooth HC-05 sebagai media komunikasi nirkabel antara pengguna dan perangkat. Untuk mengatur gerakan mobil, digunakan motor driver L298N yang mengontrol motor DC dalam arah maju, mundur, serta belok kanan dan kiri. Seluruh sistem dirakit pada chassis mobil dengan penempatan panel surya di bagian atas kendaraan agar dapat menerima pencahayaan maksimal. Melalui aplikasi Android Bluetooth RC Car, pengguna dapat mengendalikan pergerakan kendaraan secara langsung dan responsif dalam radius  $\pm 5,5$  meter. Pengujian dilakukan untuk mengevaluasi efektivitas pengisian daya dari panel surya, kestabilan komunikasi Bluetooth, efisiensi konsumsi energi, serta kemampuan manuver kendaraan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu bekerja secara optimal dalam kondisi pencahayaan matahari yang baik, dengan waktu pengisian baterai sekitar 90–120 menit dan durasi operasional kendaraan antara 10–20 menit per siklus penggunaan. Kelebihan dari sistem ini antara lain bersifat portabel, hemat energi, tidak bergantung pada sumber listrik konvensional, dan mudah dikendalikan oleh pengguna. Sementara itu, beberapa keterbatasan seperti kapasitas baterai yang masih terbatas dan ketergantungan terhadap intensitas sinar matahari menjadi tantangan yang dapat dikembangkan lebih lanjut. Inovasi ini tidak hanya memberikan kontribusi dalam eksplorasi teknologi kendaraan listrik skala kecil, tetapi juga relevan sebagai media edukatif dalam pengenalan konsep energi terbarukan dan sistem kendali nirkabel berbasis mikrokontroler. Diharapkan, prototipe ini dapat menjadi langkah awal menuju pengembangan kendaraan listrik cerdas yang lebih efisien, berkelanjutan, dan ramah lingkungan.

**Kata Kunci :** Mobil listrik, panel surya, baterai lithium-ion, Bluetooth HC-05, Arduino Uno, TP4056, energi terbarukan, sistem kendali nirkabel.

### Abstract

The development of technology in the field of renewable energy and intelligent control systems has driven the innovation of environmentally friendly and energy-efficient electric vehicles. This study aims to design and implement a prototype of a small-scale electric car that uses solar power as the main energy source and is controlled wirelessly via a smartphone using a Bluetooth connection. This system is designed by integrating several main components, namely solar panels as a generator of electrical energy, TP4056 module as a regulator of lithium-ion battery charging, Arduino Uno microcontroller as a logic system control center, and Bluetooth HC-05 module as a wireless communication medium between users and devices. To control the movement of the car, an L298N motor driver is used to control the DC motor in the forward, backward, and right and left directions. The entire system is assembled on a car chassis with the placement of solar panels on the top of the vehicle so that it can receive maximum lighting. Through the Android Bluetooth RC Car application, users can control the movement of the vehicle directly and responsively within a radius of  $\pm 5.5$  meters. Tests were carried out for the efficiency of charging from solar panels, the stability of Bluetooth communication, the efficiency of energy consumption, and the maneuverability of the vehicle. The test results

*show that the system is able to work optimally in good sunlight conditions, with a battery charging time of around 90–120 minutes and a vehicle operating duration of between 10–20 minutes per usage cycle. The advantages of this system include being portable, energy efficient, independent of conventional power sources, and easy to control by the user. Meanwhile, several limitations such as limited battery capacity and dependence on sunlight intensity are challenges that can be further developed. This innovation not only contributes to the exploration of small-scale electric vehicle technology, but is also relevant as an educational medium in introducing the concept of renewable energy and microcontroller-based wireless control systems. It is estimated that this prototype can be the first step in developing smart electric vehicles that are more efficient, sustainable, and environmentally friendly.*

**Keywords:** *Electric cars, solar panels, lithium-ion batteries, Bluetooth HC-05, Arduino Uno, TP4056, renewable energy, wireless control systems.*

## PENDAHULUAN

Mobil listrik merupakan salah satu inovasi teknologi di bidang transportasi yang dirancang untuk mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil serta menekan emisi gas rumah kaca yang menjadi penyebab utama pencemaran udara dan pemanasan global. Kendaraan berbasis listrik ini bekerja dengan memanfaatkan energi dari baterai sebagai sumber tenaga utama untuk menggerakkan motor, sehingga tidak menghasilkan emisi karbon selama beroperasi. Seiring dengan meningkatnya kesadaran terhadap pentingnya kelestarian lingkungan dan efisiensi energi, pengembangan mobil listrik semakin mendapatkan perhatian luas baik dari kalangan industri, akademisi, maupun pemerintah. Dalam penelitian ini, dikembangkan sebuah prototipe mobil listrik skala kecil yang tidak hanya mengandalkan tenaga baterai konvensional, tetapi juga dilengkapi dengan panel surya (solar panel) sebagai sumber energi terbarukan. Panel surya tersebut bertugas menangkap energi dari sinar matahari dan mengubahnya menjadi energi listrik melalui prinsip efek fotovoltai, kemudian disimpan ke dalam baterai lithium-ion untuk digunakan sebagai sumber daya kendaraan. Dengan demikian, kendaraan ini dapat mengisi ulang baterai secara mandiri tanpa bergantung pada listrik dari jaringan PLN, sehingga meningkatkan kemandirian energi dan mengurangi jejak karbon. Selain itu, sistem pada prototipe ini juga dirancang agar dapat dikendalikan secara nirkabel menggunakan smartphone melalui koneksi Bluetooth.



Gambar 1. Mobil Listrik Tenaga Surya

Dengan memanfaatkan modul Bluetooth HC-05 dan mikrokontroler Arduino Uno, pengguna dapat mengoperasikan mobil seperti menggerakkan maju, mundur, berbelok, dan berhenti melalui aplikasi berbasis Android yang dirancang khusus untuk komunikasi dengan perangkat Bluetooth. Hal ini memberikan fleksibilitas dan kemudahan dalam pengendalian kendaraan, sekaligus memperkenalkan konsep Internet of Things (IoT) dalam dunia transportasi. Gabungan antara energi terbarukan dan sistem kendali nirkabel ini tidak hanya memberikan efisiensi dan kemudahan, tetapi juga membuka peluang besar dalam pengembangan kendaraan listrik cerdas dan ramah lingkungan yang dapat diterapkan di masa depan. Dengan desain yang portabel dan hemat energi, prototipe ini diharapkan menjadi langkah awal yang menjanjikan menuju transformasi teknologi transportasi yang lebih berkelanjutan dan inovatif.

## LANDASAN TEORI

### 2.1 Panel Surya ( PV Solar )

Panel surya, atau dikenal juga sebagai Photovoltaic Solar (PV-Solar), merupakan perangkat yang berfungsi untuk mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik menggunakan prinsip efek fotovoltaiik. Ketika cahaya matahari jatuh pada permukaan panel yang terbuat dari bahan semikonduktor seperti silikon, foton dari cahaya tersebut akan melepaskan elektron dari atom-atomnya, menciptakan aliran arus listrik. Panel surya terdiri atas sejumlah sel surya yang dihubungkan secara seri maupun paralel untuk menghasilkan tegangan dan arus sesuai kebutuhan.

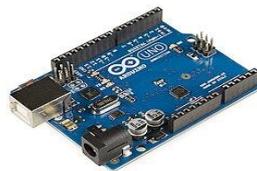
Pada prototipe mobil listrik ini, panel surya berperan sebagai sumber energi utama yang menyuplai listrik secara langsung ke baterai melalui rangkaian pengisian. Panel surya tidak hanya ramah lingkungan dan bebas emisi, tetapi juga memberikan kemandirian energi karena tidak memerlukan pasokan listrik dari PLN. Efisiensi konversi cahaya ke listrik memang tergantung pada intensitas sinar matahari, sudut pencahayaan, serta kualitas panel, tetapi penggunaannya sangat tepat untuk aplikasi mobil listrik yang hemat energi dan beroperasi di luar ruangan.



Gambar 2. Panel Surya

### 2.2. Arduino Uno

Sebuah mikrokontroler berbasis ATmega328P yang sering digunakan dalam berbagai proyek elektronika dan otomasi karena kemudahannya. Arduino Uno memiliki 14 pin digital input/output (6 di antaranya bisa digunakan sebagai output PWM), 6 pin input analog, sebuah osilator kristal 16 MHz, konektor USB, jack daya, header ICSP, dan tombol reset. Dalam sistem mobil listrik tenaga surya ini, Arduino Uno berfungsi sebagai unit pengendali utama (main controller) yang mengatur logika gerak kendaraan. Ia menerima sinyal perintah dari modul Bluetooth HC-05, kemudian memprosesnya dan mengirimkan output ke motor driver L298N untuk mengatur arah dan kecepatan motor DC. Arduino juga menangani pengolahan sinyal kontrol dan pengaktifan output digital sesuai logika program yang ditanamkan melalui Arduino IDE. Mikrokontroler ini memungkinkan sistem bekerja secara otomatis dan real-time, menjadikannya otak dari keseluruhan sistem.



Gambar 3. Arduino Uno

### 2.3 Bluetooth HC-05

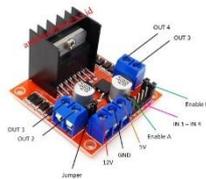
Perangkat komunikasi nirkabel berbasis teknologi Bluetooth versi 2.0 yang bekerja pada frekuensi 2.4 GHz. Modul ini sangat populer untuk menghubungkan mikrokontroler (seperti Arduino) dengan perangkat Android atau komputer secara wireless. HC-05 memiliki dua mode operasi: command mode (untuk konfigurasi) dan data mode (untuk pertukaran data). Dalam prototipe mobil listrik ini, HC-05 digunakan untuk menerima perintah dari smartphone pengguna melalui aplikasi kontrol berbasis Android (misalnya Bluetooth RC Car). Setelah tersambung melalui pairing Bluetooth, setiap tombol yang ditekan pada aplikasi akan dikirim sebagai karakter ASCII (misalnya 'F', 'B', 'L', 'R', 'S'), yang kemudian dibaca oleh Arduino untuk mengontrol motor. Modul ini memungkinkan sistem bekerja tanpa kabel, memberikan kemudahan pengendalian jarak dekat secara praktis dan murah.



Gambar 4. Bluetooth HC-05

#### 2.4 Motor Driver L298N

Modul driver motor berbasis IC L298, yang mampu mengendalikan dua motor DC atau satu motor stepper dalam arah maju dan mundur. Modul ini dapat menangani arus hingga 2A per channel dan tegangan hingga 35V. Dalam proyek kendaraan, motor driver sangat penting karena mikrokontroler seperti Arduino tidak dapat secara langsung memberikan arus tinggi ke motor. Pada sistem ini, L298N berfungsi sebagai jembatan antara Arduino dan motor DC, menerima sinyal logika dari pin output Arduino untuk mengatur arah rotasi dan kecepatan motor. Modul ini biasanya dilengkapi dengan terminal input (ENA, IN1, IN2, IN3, IN4, ENB) dan terminal output ke motor. L298N juga memiliki fitur PWM (Pulse Width Modulation) yang memungkinkan pengaturan kecepatan motor dengan mengubah siklus kerja sinyal. Penggunaan L298N memastikan bahwa kendaraan dapat bergerak secara maju, mundur, berbelok, dan berhenti dengan presisi dan kestabilan.



Gambar 5. Motor Driver L298N

#### 2.5 TP4056

Modul charger baterai lithium-ion 3.7V yang dilengkapi dengan proteksi overcharge, over-discharge, dan overcurrent, menjadikannya sangat ideal untuk proyek sistem daya yang aman. Modul ini menggunakan chip TP4056 sebagai pengendali pengisian daya yang dikombinasikan dengan proteksi dari IC DW01A dan dua transistor MOSFET. Dalam proyek mobil listrik tenaga surya ini, TP4056 bertugas untuk mengatur proses pengisian daya dari panel surya ke baterai lithium. Ia memastikan bahwa arus pengisian tetap stabil dan mencegah pengisian berlebih yang bisa merusak sel baterai. Modul ini biasanya dilengkapi dengan dua LED indikator, satu untuk menunjukkan pengisian (merah) dan satu untuk fully-charged (biru/hijau), sehingga memudahkan monitoring pengguna. Tanpa modul ini, sistem pengisian bisa membahayakan baterai dan mengurangi usia pakainya. Oleh karena itu, TP4056 menjadi komponen vital dalam menjamin efisiensi dan keamanan sistem pengisian daya.



Gambar 6. TP4056

### METODE

Berikut adalah pembahasan mengenai alat dan bahan, serta penjelasan metode dari penelitian ini.

### 3.1 Alat dan Bahan

Pada pembuatan project ini alat dan bahan yang diperlukan sebagai peralatan sistem adalah sebagai berikut.

Tabel 1. Alat

No.	Nama Alat	Jumlah
1	Tang Kombinasi	1
2	Tang Potong	1
3	Obeng	1
4	Taspen	1
5	Smartphone	1
6	Stop Kontak	1
7	Solder	1
8	Bor Mini	1

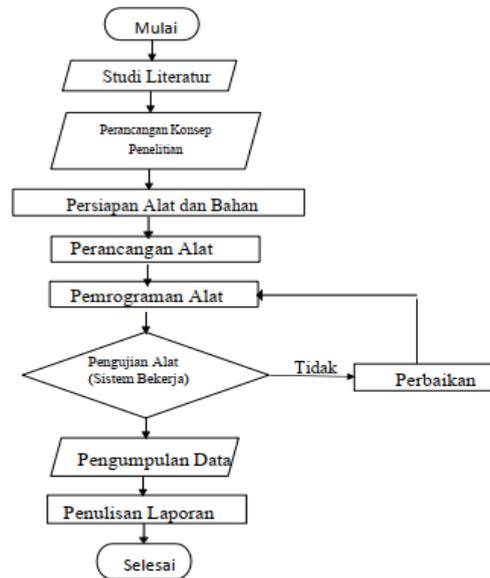
Tabel 2. Bahan

No.	Nama Bahan	Jumlah
1	Kabel Jumper	Secukupnya
2	Timah	1
3	Baterai	1
4	Lampu LED	1
5	Roda	2
6	Buzzer	1
7	Chasis Mobil	1
8	Sekrup	Secukupnya
9	Baut	Secukupnya
10	Arduino	1
11	Modul Charger TP4056	1
12	Step up DC to DC	1
13	Dioda	Secukupnya
14	PV-Solar	1

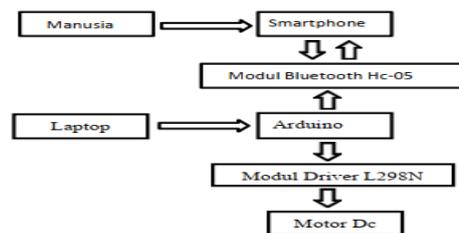
### METODE

Metode yang digunakan dalam penelitian ini didasarkan pada pendekatan pengembangan model fisik dan fungsional secara komprehensif terhadap sistem mobil listrik tenaga surya yang dilengkapi dengan kendali Bluetooth. Model ini disusun dengan mempertimbangkan setiap komponen utama yang terlibat dalam sistem, seperti panel surya sebagai sumber energi terbarukan, modul pengisi daya TP4056 sebagai pengatur proses pengisian baterai lithium-ion, mikrokontroler Arduino Uno sebagai pusat pengendali logika, modul komunikasi Bluetooth HC-05 sebagai penghubung antara sistem dan aplikasi Android, serta motor driver L298N yang mengatur arah dan kecepatan putar motor DC. Seluruh komponen ini tidak hanya dipetakan secara individual dalam hal fungsi dan karakteristiknya, tetapi juga dianalisis secara terpadu untuk memahami bagaimana mereka berinteraksi satu sama lain dalam berbagai kondisi operasional. Pendekatan ini memungkinkan perancang sistem untuk memperoleh gambaran menyeluruh mengenai perilaku sistem secara real-time, termasuk dalam situasi saat intensitas cahaya matahari berubah-ubah, daya baterai menurun, atau koneksi Bluetooth mengalami gangguan. Dengan membangun model fungsional yang menyatukan alur pengisian daya, distribusi energi, proses pengendalian arah mobil, serta komunikasi nirkabel, penelitian ini memberikan dasar yang kuat dalam mengevaluasi performa sistem sebelum dan sesudah implementasi fisik dilakukan. Model ini juga digunakan sebagai acuan dalam pembuatan

flowchart dan diagram blok sistem, yang menggambarkan jalur kerja sistem secara terstruktur dan mempermudah analisis fungsionalnya. Dengan demikian, pendekatan model ini tidak hanya berfungsi sebagai panduan perancangan alat, tetapi juga sebagai sarana untuk mengoptimalkan efisiensi energi, keandalan komunikasi, serta respons kendali kendaraan dalam konteks kendaraan listrik berbasis energi terbarukan dan sistem kendali cerdas.



Gambar 7. Flowchart Perancangan



Gambar 8. Diagram Blok Perancangan

### 3.3 Langkah – Langkah

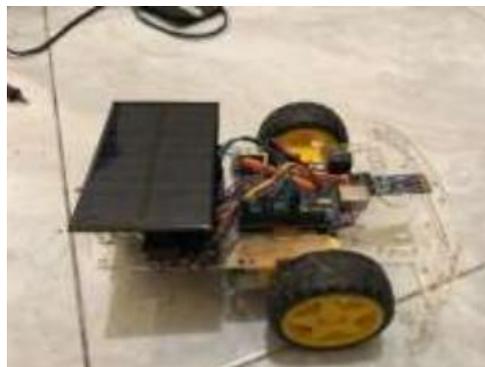
Pelaksanaan kegiatan perancangan dan pengembangan prototipe mobil listrik tenaga surya dengan kendali Bluetooth dilakukan melalui serangkaian tahapan yang saling terintegrasi dan disusun secara sistematis. Kegiatan diawali dengan tahap persiapan alat dan bahan, yang mencakup pemilihan serta pengadaan komponen utama seperti panel surya sebagai sumber energi, baterai lithium-ion untuk penyimpanan daya, modul pengisi daya TP4056, mikrokontroler Arduino Uno sebagai otak sistem, motor DC sebagai penggerak roda, modul komunikasi Bluetooth HC-05, serta motor driver L298N. Selain itu, turut disiapkan komponen pendukung seperti kabel jumper, chassis mobil, roda, buzzer, serta aplikasi Bluetooth RC Car untuk sistem kendali berbasis smartphone. Setelah seluruh komponen tersedia, tim pelaksana melanjutkan dengan tahap perancangan rangkaian dan desain struktur fisik kendaraan. Penyesuaian bentuk chassis, penempatan panel surya, dan perakitan komponen elektronik dilakukan secara hati-hati agar sistem dapat berfungsi optimal dan efisien dalam ukuran yang terbatas. Langkah selanjutnya adalah pemrograman mikrokontroler menggunakan Arduino IDE. Di tahap ini, kode program ditulis untuk mengatur logika gerakan kendaraan berdasarkan sinyal masukan dari aplikasi smartphone, seperti maju, mundur, belok kanan, belok kiri, dan berhenti. Fungsi tambahan seperti pengendalian kecepatan dan manajemen arus listrik juga diperhitungkan dalam skrip pemrograman. Tahap berikutnya adalah proses perakitan sistem secara menyeluruh. Panel surya dipasang pada bagian atas kendaraan untuk mendapatkan pencahayaan maksimal, dan

dihubungkan dengan modul TP4056 untuk mengatur proses pengisian baterai secara aman. Komponen elektronik dirakit pada papan sirkuit dengan pengkabelan yang rapi dan sistematis agar tidak terjadi gangguan dalam operasional. Setelah sistem dirakit, dilakukan pengujian awal dan uji fungsionalitas sistem kendali. Pengujian dilakukan secara bertahap dengan menghubungkan Bluetooth ke smartphone dan mengoperasikan kendaraan melalui aplikasi. Respons kendaraan terhadap setiap perintah dinilai dari ketepatan arah, kecepatan reaksi, dan kestabilan daya. Setelah kendaraan dinyatakan berfungsi, dilakukan pengujian lanjutan pada sistem pengisian daya berbasis panel surya. Pengamatan difokuskan pada seberapa cepat dan stabil baterai dapat terisi pada kondisi pencahayaan alami di luar ruangan. Selain itu, jangkauan sinyal Bluetooth juga diuji, yang menunjukkan kestabilan koneksi hingga jarak  $\pm 5,5$  meter. Hasil pengujian kemudian dicatat dan dianalisis untuk mengevaluasi efisiensi sistem secara keseluruhan, mencakup pengisian daya, durasi operasional kendaraan, serta stabilitas kendali nirkabel. Sebagai bagian dari pembelajaran dan pengembangan berkelanjutan, dokumentasi kegiatan dilakukan melalui pencatatan desain rangkaian, foto alat, kode program, dan hasil uji coba. Dokumentasi ini tidak hanya digunakan sebagai bahan pelaporan, tetapi juga sebagai acuan teknis untuk pengembangan lebih lanjut atau replikasi prototipe oleh pihak lain yang tertarik dalam bidang kendaraan listrik berbasis energi terbarukan. Melalui pendekatan ini, diharapkan prototipe mobil listrik tenaga surya ini dapat menjadi inspirasi awal dalam menciptakan kendaraan cerdas, hemat energi, dan ramah lingkungan yang relevan untuk kebutuhan teknologi masa depan.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Perancangan Alat

Mobil listrik tenaga surya ini dirancang untuk memanfaatkan energi matahari sebagai sumber daya utama yang ramah lingkungan. Mobil dilengkapi dengan panel surya yang mengonversi energi matahari menjadi listrik, kemudian menyimpannya dalam baterai Li-Ion untuk menggerakkan motor DC sebagai penggerak roda. Kendali mobil dilakukan menggunakan aplikasi Bluetooth RC Car pada smartphone, memungkinkan pengguna untuk mengontrol arah dan kecepatan mobil secara nirkabel melalui konektivitas Bluetooth. Sistem ini memanfaatkan modul NodeMCU ESP32 atau HC-05 sebagai penghubung antara aplikasi dan sistem kontrol mobil, serta driver motor L298N untuk mengatur arah dan kecepatan motor. Dengan fitur pengisian daya otomatis dari panel surya, pengguna dapat mengoperasikan mobil tanpa bergantung pada sumber daya eksternal. Sistem juga dilengkapi indikator status untuk memantau baterai, koneksi Bluetooth, dan mode operasional secara realtime. Kombinasi teknologi tenaga surya dan kendali Bluetooth ini menawarkan solusi inovatif yang ramah lingkungan, hemat energi, dan mudah digunakan, sehingga menjadi langkah awal dalam pengembangan kendaraan listrik cerdas di masa depan.



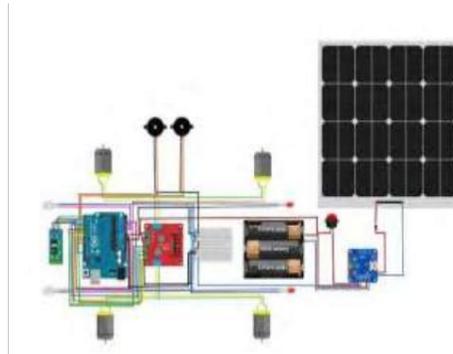
Gambar 8. Tampilan alat.

### 4.2 Analisa Kebutuhan

Dalam merancang sistem mobil listrik tenaga surya dengan kendali Bluetooth, diperlukan analisis kebutuhan teknis yang mencakup aspek sumber energi, kapasitas penyimpanan daya, sistem kendali, mekanisme penggerak, serta kompatibilitas antar komponen. Analisis ini menjadi penting untuk memastikan bahwa seluruh subsistem dapat bekerja secara sinergis, efisien, dan handal dalam kondisi nyata di lapangan. Berdasarkan rancangan sistem dan skematik yang telah dibuat, berikut adalah rincian kebutuhan yang dianalisis secara teknis: Pertama, kebutuhan energi menjadi faktor utama yang harus dihitung secara akurat. Motor DC yang digunakan sebagai penggerak roda membutuhkan tegangan 6–12V dengan arus kerja antara 0,5–1 A saat bergerak dalam beban ringan. Dengan estimasi konsumsi daya sekitar 6–12 watt, dan waktu operasional berkisar antara 10 hingga 20 menit per sesi pengujian, total energi yang dibutuhkan sistem per siklus pemakaian adalah sekitar 2–4 Wh. Untuk memasok energi tersebut secara mandiri, digunakan panel surya 5–10 WP yang mampu menghasilkan 20–40 Wh energi per hari dengan asumsi intensitas penyinaran matahari sekitar 4 jam efektif di wilayah kampus Universitas Trunojoyo Madura. Ini cukup untuk memenuhi kebutuhan pengisian baterai lithium-ion berkapasitas 3.7V 2200 mAh (sekitar 8.1 Wh) yang digunakan dalam sistem. Kedua, sistem penyimpanan energi menggunakan baterai lithium-ion yang ringan dan memiliki efisiensi pengisian tinggi. Dalam sistem ini, baterai digunakan sebagai sumber utama untuk menggerakkan motor DC dan memberi daya pada Arduino serta modul Bluetooth. Kapasitas baterai dipilih berdasarkan kebutuhan energi harian kendaraan serta mempertimbangkan margin keamanan agar tidak terjadi over-discharge. Untuk menjamin keamanan dan memperpanjang usia pakai baterai, modul TP4056 digunakan sebagai pengatur pengisian. Modul ini dilengkapi proteksi overcharge dan overcurrent, serta dapat menyesuaikan arus pengisian agar sesuai dengan karakteristik baterai lithium. Ketiga, sistem kendali mengandalkan mikrokontroler Arduino Uno yang bertugas memproses sinyal dari modul Bluetooth HC-05 dan menerjemahkannya menjadi logika gerakan pada motor. Arduino bekerja pada tegangan 5V dan konsumsi daya yang relatif rendah, sehingga tetap efisien meskipun menggunakan sumber energi terbatas. Sinyal kendali dikirimkan dari aplikasi smartphone melalui Bluetooth dalam bentuk karakter ASCII yang diterima oleh Arduino, lalu diolah untuk mengaktifkan motor driver L298N. Driver ini mengatur arah dan kecepatan motor dengan menggunakan prinsip PWM (Pulse Width Modulation). Keempat, struktur mekanik prototipe dirancang agar ringan namun kokoh untuk menampung panel surya dan sistem elektronik. Chassis kendaraan dibuat dari bahan akrilik atau papan ringan yang tahan getaran dan guncangan ringan. Panel surya diletakkan di bagian atas kendaraan dengan posisi miring untuk menangkap cahaya matahari secara optimal. Rangkaian elektronik dipasang pada bagian tengah atau belakang kendaraan, dilindungi dengan casing transparan atau box akrilik agar aman dari sentuhan langsung dan benturan. Kelima, sistem pengkabelan antar komponen dirancang ringkas dan efisien, dengan kabel jumper yang disesuaikan panjangnya agar tidak menimbulkan resistansi tinggi maupun koneksi yang longgar. Penyusunan kabel juga memperhatikan sirkulasi udara dan meminimalkan tumpang tindih agar tidak mengganggu performa kendaraan. Konektor modular digunakan untuk memudahkan pembongkaran dan pemeliharaan, sehingga sistem dapat dirakit ulang oleh pelajar atau peserta edukasi dengan cepat. Dari hasil analisis kebutuhan ini, dapat disimpulkan bahwa sistem mobil listrik tenaga surya sederhana ini telah memenuhi syarat teknis dasar sebagai prototipe edukatif dan demonstratif. Dengan efisiensi energi yang baik, kendali yang responsif, serta desain modular yang mudah dirakit dan dirawat, sistem ini berpotensi dikembangkan lebih lanjut, misalnya dengan penambahan fitur sensor jarak, pelacakan GPS, atau integrasi sistem pengisian otomatis berbasis intensitas cahaya. Prototipe ini juga dapat dijadikan media pembelajaran yang menarik dan aplikatif dalam bidang energi terbarukan, kendali elektronik, dan otomasi sistem transportasi ramah lingkungan.

#### *4.3 Rangkaian Kontrol*

Adapun gambar rangkaian kontrol mobil listrik pada penelitian ini adalah sebagai berikut :



Gambar 9. Rangkaian Kontrol

Pada gambar di atas merupakan rangkaian kontrol dari mobil listrik berbasis panel surya. Komunikasi antara smartphone dan Arduino melalui koneksi Bluetooth. Proses pertama adalah pairing untuk menyambungkan smartphone ke arduino mobil listrik menggunakan sensor Hc-06. Setelah berhasil memasang, Arduino akan dapat menerima perintah dari smartphone melalui Bluetooth. Kemudian proses pairing pada sumber baterai menggunakan Sumber PLN dan juga dengan Sumber Solar Cell yang di hubungkan kedalam sebuah Modul Charger tp4056, di mana modul charger ini berfungsi sebagai inverter untuk pengisian daya pada baterai lithium.

4.4 Tabel Hasil Pengujian

Mobil Listrik Tenaga Surya (Kendali Bluetooth Handphone) adalah inovasi yang menggabungkan teknologi tenaga surya dengan sistem kendali berbasis Bluetooth. Prototype ini memanfaatkan panel surya untuk mengisi daya baterai internal yang digunakan sebagai sumber energi untuk motor penggerak dan sistem elektronik lainnya. Baterai tersebut memberikan daya yang stabil, memungkinkan mobil untuk beroperasi dalam waktu yang cukup lama tanpa memerlukan pengisian daya eksternal. Kendali mobil dilakukan menggunakan aplikasi Bluetooth RC Car, yang memungkinkan pengguna mengontrol arah (maju, mundur, belok kanan, dan kiri) serta kecepatan mobil secara nirkabel melalui koneksi Bluetooth dari smartphone matahari, ramah lingkungan, dan operasional yang sederhana. Selain itu, sistem dapat menampilkan indikator status seperti tingkat baterai dan status konektivitas, memberikan pengalaman pengguna yang lebih baik. Dengan fitur hemat energi dan kendali yang intuitif, prototype ini dirancang untuk mendukung upaya pengembangan kendaraan listrik berteknologi cerdas dan ramah lingkungan.. Sistem ini mengandalkan modul seperti NodeMCU ESP32 atau HC-05 sebagai penghubung antara aplikasi dan kontrol elektronik mobil, serta driver motor L298N yang bertugas mengatur pergerakan motor DC sesuai perintah dari aplikasi. Keunggulan dari prototype ini meliputi kemampuan pengisian daya otomatis melalui energi

Tabel 3. Hasil pengujian alat

No.	Waktu Pengisian	Kondisi Awal Baterai (V)	Tegangan Akhir (V)
1	08.00 - 09.00	3.45	3.85
2	09.00 - 10.00	3.85	4.10
3	10.00 - 11.00	4.10	4.35
4	12.00 - 13.00	4.35	4.50
5	13.00 - 14.00	4.50	4.65

6	14.00 15.00	-	4.65	4.80
7	15.00 16.00	-	4.80	4.95
8	08.00 09.00	-	3.60	3.95
9	09.00 10.00	-	3.95	4.20
10	10.00 11.00	-	4.20	4.40
11	12.00 13.00	-	4.40	4.55
12	13.00 14.00	-	4.55	4.70
13	14.00 15.00	-	4.70	4.85
14	15.00 16.00	-	4.85	5.00
15	08.00 09.00	-	3.50	3.90
16	09.00 10.00	-	3.90	4.15
17	10.00 11.00	-	4.15	4.35
18	12.00 13.00	-	4.35	4.50
19	13.00 14.00	-	4.50	4.65
20	14.00 15.00	-	4.65	4.80
21	15.00 16.00	-	4.80	4.95
22	08.00 09.00	-	3.55	3.95
23	09.00 10.00	-	3.95	4.25
24	10.00 11.00	-	4.25	4.45
25	12.00 13.00	-	4.45	4.60
26	13.00 14.00	-	4.60	4.75
27	14.00 15.00	-	4.75	4.90
28	15.00 16.00	-	4.90	5.00
29	08.00 - 09.00		3.40	3.80
30	09.00 - 10.00		3.80	4.05

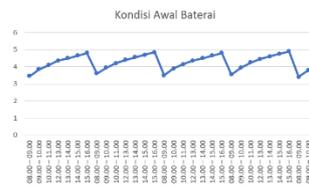
#### 4.5 Hasil Pengujian Alat



Gambar 9. Hasil Pengujian Alat

Sistem mobil listrik tenaga surya dengan kendali Bluetooth mampu melakukan pengisian baterai secara bertahap dari kondisi awal tegangan sekitar 3.40 – 3.60 V hingga mencapai tegangan maksimum sekitar 5.00 V. Waktu pengisian dilakukan dalam interval jam operasional mulai pukul 08.00 hingga 16.00 WIB, dengan peningkatan tegangan yang cukup stabil pada setiap jamnya. Proses pengisian daya berjalan optimal saat intensitas matahari cukup baik, menunjukkan bahwa panel surya mampu menghasilkan energi listrik yang cukup untuk mengisi baterai lithium-ion secara efektif. Selain pengisian daya, sistem kendali Bluetooth juga berjalan stabil dalam radius ±5,5 meter, memungkinkan pengguna mengontrol mobil secara nirkabel tanpa gangguan berarti. Secara umum, hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh sistem mulai dari pengisian daya, pengendalian motor, hingga komunikasi nirkabel berjalan efektif dan sesuai perancangan.

4.6 Hasil Grafik Pengujian



Gambar 10. Hasil Pengujian Grafik Kondisi Awal Baterai



Gambar 10. Hasil Pengujian Grafik Tegangan Akhir

Dari grafik pengujian yang ditampilkan, terlihat adanya kenaikan tegangan baterai yang konsisten seiring waktu pengisian. Grafik kondisi awal baterai menunjukkan variasi tegangan awal antara 3.40 V sampai 3.60 V pada beberapa sesi pengujian. Sedangkan grafik tegangan akhir menunjukkan bahwa baterai mampu mencapai tegangan hingga 5.00 V setelah beberapa jam pengisian. Hal ini menunjukkan efisiensi panel surya yang baik dalam memanfaatkan energi matahari pada rentang waktu pengujian. Kestabilan peningkatan tegangan juga mengindikasikan bahwa sistem pengisian (modul TP4056) bekerja optimal dalam mengatur arus pengisian dan proteksi baterai. Secara keseluruhan, grafik pengujian mengonfirmasi bahwa integrasi sistem pengisian tenaga surya berjalan efektif dan konsisten selama pengujian berlangsung.

**KESIMPULAN**

Mobil listrik tenaga surya dengan kendali Bluetooth melalui aplikasi RC Car merupakan sebuah terobosan teknologi yang mengintegrasikan energi terbarukan dengan sistem kendali nirkabel untuk menciptakan kendaraan yang efisien, ramah lingkungan, dan mudah digunakan. Prototype ini memanfaatkan panel surya sebagai sumber daya utama, di mana energi matahari diubah menjadi listrik dan disimpan dalam baterai untuk menggerakkan motor DC. Dengan kemampuan pengisian daya secara mandiri, mobil ini menawarkan solusi hemat energi yang sesuai dengan upaya global untuk mengurangi emisi karbon dan ketergantungan pada bahan bakar fosil. Kendali mobil dilakukan melalui aplikasi Bluetooth RC Car yang terhubung dengan modul seperti NodeMCU ESP32 atau HC-05. Aplikasi ini memungkinkan pengguna untuk mengoperasikan mobil secara nirkabel menggunakan smartphone, dengan kontrol yang meliputi arah (maju, mundur, belok kiri/kanan) dan kecepatan. Selain itu, sistem ini dilengkapi fitur indikator status yang menampilkan informasi real-time, seperti tingkat daya baterai dan status koneksi Bluetooth, yang membantu pengguna memantau kinerja kendaraan dengan lebih baik. Desain prototype yang ringan dan portabel membuatnya mudah digunakan di berbagai medan, sementara biaya operasionalnya yang rendah menjadi nilai tambah, terutama karena tidak memerlukan pengisian daya eksternal yang mahal. Namun, prototype ini juga memiliki beberapa kelemahan yang perlu diperhatikan untuk pengembangan lebih lanjut. Salah satu kendala utama adalah ketergantungan pada intensitas sinar matahari untuk pengisian daya, yang membuat kinerjanya kurang optimal saat cuaca mendung atau pada malam hari. Kapasitas baterai yang terbatas dapat membatasi durasi operasional mobil, terutama jika energi dari panel surya tidak mencukupi.

#### DAFTAR PUSTAKA

- M. Prabowo, et al., "Desain dan Implementasi Sistem PV-Solar untuk Kendaraan Listrik," *Jurnal Teknologi Energi Terbarukan*, vol. 5, no. 2, pp. 45–52, 2020.
- A. Ariawan, *Pengisian Daya pada Mobil Listrik Tenaga Surya Menggunakan TP4056*. Surabaya: Teknik Press, 2020.
- L. Aditya and F. Rahmat, "Analisis Efisiensi Penggunaan Motor DC pada Mobil Listrik," *Jurnal Teknologi Elektro*, vol. 6, no. 1, pp. 65–72, 2021.
- M. Pratama, "Pengaruh Intensitas Matahari pada Efisiensi Panel Surya," *Jurnal Energi Terbarukan*, vol. 12, no. 3, pp. 88–94, 2020.
- F. Nugroho, *Implementasi Bluetooth untuk Kendaraan Elektrik Berbasis Mikrokontroler*. Malang: Teknik Informatika Press, 2019.
- R. Santoso, et al., "Studi Kelayakan Kendaraan Listrik dengan Sumber Energi Terbarukan," *Jurnal Rekayasa Energi Terbarukan*, vol. 7, no. 2, pp. 78–85, 2018.