

Tugas Akhir Haq Abdul Aziz bab 1 2 3 4 5 Final.pdf

by Turnitin Arise

Submission date: 02-Jul-2026 08:16PM (UTC-0700)

Submission ID: 2992827123

File name: Tugas_Akhir_Haq_Abdul_Aziz_bab_1_2_3_4_5_Final.pdf (1.48M)

Word count: 7279

Character count: 45170

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Penggunaan kendaraan listrik di Indonesia terus mengalami peningkatan setiap tahunnya sebagai bagian dari upaya pemerintah dan masyarakat untuk mengurangi emisi karbon pada sektor transportasi. Kendaraan listrik dipandang efektif dalam mengurangi emisi karbon dibandingkan kendaraan konvensional berbahan bakar fosil, mengingat sektor transportasi tercatat sebagai salah satu penyumbang emisi CO₂ terbesar di Indonesia (Putri et al., 2025). Salah satu instrumen regulasi yang mendorong tren ini adalah Peraturan Presiden Nomor 55 Tahun 2019 tentang Percepatan Program Kendaraan Bermotor Listrik Berbasis Baterai untuk Transportasi Jalan, yang menjadi dasar bagi proyeksi masa depan kendaraan listrik di Indonesia dari perspektif regulasi dan pengendalian dampak perubahan iklim (Nur & Kurniawan, 2021).

Meskipun tren penggunaannya meningkat, performa dan umur pakai sepeda listrik sangat bergantung pada bagaimana proses pengisian dayanya dikelola. Sebagian besar sepeda listrik kelas menengah ke bawah masih mengandalkan baterai jenis *Sealed Lead Acid (SLA)* yang disusun seri untuk mencapai tegangan kerja sebesar 48 Volt. Permasalahan yang umum terjadi adalah belum tersedianya sistem yang dapat memantau kapasitas dan kondisi baterai kendaraan listrik secara otomatis, sehingga pengguna sering tidak menyadari kapan baterai benar-benar telah penuh dan membiarkan proses pengisian berlangsung lebih lama dari yang diperlukan (Zain et al., 2023).

Kondisi pengisian yang dibiarkan berlangsung melewati kapasitas penuh inilah yang memicu terjadinya *Overcharge*. Pada baterai berbasis *lead-acid*, kondisi arus lebih (*overcurrent*) yang tidak segera diputus berisiko menimbulkan kerusakan pada komponen baterai maupun rangkaian pengisi dayanya, sehingga diperlukan sistem proteksi yang dapat mendeteksi dan memutus arus secara otomatis ketika ambang batas tertentu terlampaui (Lestyanto et al., 2023). Dampak jangka panjang dari *Overcharge* yang berulang adalah penurunan performa baterai dan

pemendekan umur pakainya, sehingga pengguna harus mengganti baterai lebih cepat dari yang semestinya.

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, diperlukan sebuah sistem proteksi otomatis berbasis mikrokontroler yang mampu memantau parameter kelistrikan baterai secara *real-time* dan memutus aliran daya dari charger ketika kondisi penuh terdeteksi. Mikrokontroler ESP32 dipilih sebagai pengendali utama pada penelitian ini karena telah banyak diimplementasikan pada sistem monitoring baterai dan besaran fisis kendaraan listrik berbasis *IoT* dengan hasil pengiriman data dan akurasi pembacaan sensor yang baik (Irfan et al., 2023). Selain itu, ESP32 juga telah digunakan secara luas pada rancangan sistem manajemen dan proteksi baterai 48 Volt, di mana parameter *over voltage*, *low voltage*, *over current*, dan *over charge protection* dipantau langsung melalui pembacaan sensor pada mikrokontroler tersebut (Gunawan et al., 2024). Untuk mempermudah pengguna dalam memantau kondisi pengisian daya tanpa harus berada di dekat alat secara langsung, sistem ini juga dilengkapi dengan tampilan antarmuka berbasis web yang menampilkan data tegangan, arus, dan status *relay* pemutus secara *real-time*, sehingga pengguna dapat memeriksa kondisi baterai sepeda listrik kapan saja melalui perangkat yang terhubung ke internet.

Pada penelitian ini, sensor arus ACS712 dengan kapasitas pengukuran 20 Ampere digunakan untuk membaca besarnya arus pengisian baterai, sedangkan pembacaan tegangan baterai dilakukan melalui rangkaian pembagi tegangan (*voltage divider*) yang disusun dari resistor 180 k Ω dan 10 k Ω . Penggunaan sensor arus jenis *Hall-effect* seperti ACS712 telah banyak diadopsi pada berbagai rancangan sistem proteksi kelistrikan karena kemampuannya membaca arus secara *invasive* dengan tingkat akurasi yang baik dibandingkan sensor arus *non-invasive* sejenis (Suteja & Antara, 2021). Karena keluaran analog dari ACS712 dan rangkaian pembagi tegangan tersebut memerlukan pembacaan yang presisi, kedua sinyal analog ini diproses melalui modul ADC eksternal 16-bit ADS1115 yang berkomunikasi dengan mikrokontroler melalui jalur I2C, di mana sensor arus ACS712 dihubungkan ke kanal A1 dan rangkaian pembagi tegangan dihubungkan ke kanal A0 pada modul tersebut. Pemanfaatan ADS1115 sebagai *transducer* antara sensor dan mikrokontroler semacam ini telah diterapkan pada sistem instrumentasi

sepeda motor listrik, di mana tegangan baterai dibaca melalui rangkaian pembagi tegangan dan arus diukur menggunakan sensor arus berbasis *Hall-effect*, dengan hasil pengujian menunjukkan selisih pembacaan tegangan dan arus yang relatif kecil terhadap alat ukur standar (Adi & Ulinuha, 2022).

Hasil pengujian akurasi pembacaan sensor arus dan tegangan pada penelitian lain juga menunjukkan bahwa ESP32 memberikan tingkat kesalahan pembacaan yang lebih kecil dibandingkan mikrokontroler Arduino Uno pada kondisi pengujian yang sama, sehingga semakin memperkuat alasan pemilihan ESP32 sebagai pengendali utama pada sistem yang dibangun (Widyatmika et al., 2021). Karena baterai sepeda listrik bekerja pada tegangan tinggi yang dapat mencapai sekitar 55 Volt saat proses pengisian berlangsung, maka digunakan modul *step-down wide-input* berkapasitas 9–120 Volt menuju 5 Volt untuk menyuplai daya ke ESP32 secara langsung dari sistem kelistrikan baterai, sehingga rangkaian kontrol tidak memerlukan sumber daya tambahan dari luar.

Pada sistem yang dirancang, *relay* digunakan sebagai aktuator pemutus daya yang akan memutus aliran arus dari charger menuju baterai ketika kondisi pengisian penuh terdeteksi. Penentuan titik pemutusan tidak hanya didasarkan pada nilai tegangan, tetapi juga pada penurunan arus pengisian yang terjadi secara alami saat baterai mendekati kondisi jenuh (metode *drop current*). Pendekatan berbasis pemantauan penurunan arus pengisian semacam ini sejalan dengan metode *constant voltage* pada sistem proteksi arus lebih untuk pengisian baterai berbasis *lead-acid*, di mana *relay* akan memutus rangkaian begitu parameter arus melewati ambang yang telah ditetapkan (Lestyanto et al., 2023). Pada penelitian ini, nilai ambang batas pemutusan arus pengisian disetel pada 0,70 Ampere, yaitu kondisi saat arus pengisian sudah mendekati nol namun belum benar-benar nol, sebagai indikator bahwa baterai telah mencapai kapasitas penuh.

Pendekatan otomatisasi pemutusan daya berbasis mikrokontroler semacam ini juga selaras dengan penelitian terdahulu mengenai pemutus otomatis charger baterai yang menerapkan algoritma *watchdog* pada *single board microcontroller* untuk mencegah pengisian daya yang berlangsung tanpa batas waktu maupun tanpa pengawasan pengguna (Pradana et al., 2021). Dengan demikian, kombinasi antara ESP32, sensor arus ACS712, modul ADC eksternal ADS1115, rangkaian pembagi

tegangan, modul *step-down wide-input* , dan *relay* pemutus diharapkan dapat menghasilkan sistem proteksi *Overcharge* yang andal sekaligus mendukung pengisian daya yang lebih cerdas pada baterai sepeda listrik.

Berdasarkan seluruh urgensi permasalahan dan solusi teknologi yang dijabarkan di atas, maka dilakukan penelitian Tugas Akhir dengan judul “Rancang Bangun Proteksi *Overcharge* Baterai Sepeda Listrik Berbasis ESP32 dan Sistem Pengisian Daya Cerdas”.

B. Batasan Masalah

Untuk menjaga fokus penelitian agar tidak melebar, maka ditetapkan beberapa batasan masalah. Batasan ini penting agar penelitian lebih terarah dan sesuai dengan tujuan yang ingin dicapai. Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Penelitian ini hanya berfokus pada baterai jenis *Sealed Lead Acid (SLA)* 48 Volt yang disusun dari 4 buah baterai 12 Volt yang dihubungkan secara seri, dan tidak membahas jenis baterai lain.
2. Mikrokontroler yang digunakan sebagai pengendali utama adalah ESP32.
3. Pembacaan arus pengisian menggunakan sensor ACS712 dengan kapasitas maksimum 20 Ampere, dan pembacaan tegangan menggunakan rangkaian pembagi tegangan (*voltage divider*) berbasis resistor 180 k Ω dan 10 k Ω yang dihubungkan ke modul ADC eksternal ADS1115.
4. Titik pemutusan arus pengisian (*cut-off*) ditetapkan pada ambang 0,70 Ampere berdasarkan metode penurunan arus (*drop current method*), dan tidak membahas metode penentuan ambang batas lainnya secara mendalam.
5. Tampilan antarmuka berbasis web hanya digunakan untuk menampilkan data tegangan, arus, dan status *relay* secara *real-time*.
6. Pengujian alat dilakukan dalam skala prototipe pada satu unit sepeda listrik, dan tidak mencakup pengujian pada berbagai merek atau kapasitas baterai sepeda listrik lain secara luas.

C. Rumusan Masalah

Setiap penelitian perlu memiliki rumusan masalah yang jelas agar arah kajian lebih terfokus. Rumusan masalah dalam penelitian ini disusun berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, sehingga dapat dirumuskan sebagai berikut :

1. Bagaimana merancang dan membangun sistem proteksi *Overcharge* pada baterai *SLA* 48 Volt sepeda listrik menggunakan mikrokontroler ESP32 yang mampu memutus aliran daya secara otomatis ketika baterai telah mencapai kondisi penuh?
2. Bagaimana mengintegrasikan sensor arus ACS712, rangkaian pembagi tegangan, dan modul ADC eksternal ADS1115 agar dapat membaca parameter arus dan tegangan pengisian baterai secara akurat?
3. Bagaimana menentukan dan menerapkan ambang batas pemutusan arus pengisian berdasarkan metode *drop current* pada sistem yang dirancang?
4. Bagaimana merancang sistem monitoring berbasis web yang dapat menampilkan data tegangan, arus, dan status *relay* secara *real-time* kepada pengguna?

D. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian merupakan arah yang ingin dicapai dari kegiatan perancangan dan pengujian sistem. Berdasarkan rumusan masalah di atas, maka tujuan penelitian ini adalah :

1. Mewujudkan rancang bangun sistem proteksi *Overcharge* pada baterai *SLA* 48 Volt sepeda listrik berbasis mikrokontroler ESP32 yang dapat memutus aliran daya dari charger secara otomatis ketika baterai telah mencapai kondisi penuh.
2. Membangun keterpaduan antara sensor arus ACS712, rangkaian pembagi tegangan, dan modul ADC eksternal ADS1115 agar dapat membaca parameter arus dan tegangan pengisian baterai secara akurat.
3. Menetapkan dan mengimplementasikan ambang batas pemutusan arus pengisian sebesar 0,70 Ampere berdasarkan metode *drop current* pada sistem yang dirancang.
4. Mengembangkan sistem monitoring berbasis web yang dapat menampilkan data tegangan, arus, dan status *relay* secara *real-time* kepada pengguna.

E. Manfaat Penelitian

Secara akademik, penelitian ini diharapkan dapat menambah referensi dan wawasan keilmuan di bidang sistem proteksi baterai serta teknologi *Internet of Things (IoT)* berbasis mikrokontroler ESP32. Selain itu, rancang bangun sistem ini dapat dijadikan rujukan bagi penelitian lanjutan dalam mengembangkan *Battery Management System (BMS)* yang lebih kompleks pada kendaraan listrik roda dua.

Bagi masyarakat pengguna sepeda listrik, perangkat ini memberikan solusi praktis untuk mencegah *Overcharge* sehingga mampu memperpanjang umur pakai aki kendaraan. Melalui sistem monitoring jarak jauh berbasis web, pengguna dapat memantau pengisian daya secara *real-time* untuk meminimalkan risiko kelalaian sekaligus menghemat biaya operasional akibat penggantian aki yang rusak atau kembung.

KAJIAN PUSTAKA

A. Kajian Hasil Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu sangat penting untuk menunjukkan posisi penelitian yang akan dilakukan. Pada topik ini, kajian difokuskan pada penelitian yang berkaitan dengan sistem pengisian baterai, monitoring pengisian, proteksi baterai 48 V, baterai *VRLA*, penggunaan ESP32, sensor arus, sensor tegangan, dan *relay* sebagai pemutus otomatis.

Irfan et al., (2023) dalam penelitiannya yang berjudul “Rancang Bangun Sistem Monitoring Baterai serta Besaran Fisis Sepeda Listrik Berbasis *IoT*” merancang sistem yang dapat memantau parameter baterai sepeda listrik secara *real-time* dan mengirimkan datanya melalui jaringan *IoT*. Hasil penelitian menunjukkan akurasi pembacaan sensor yang baik serta pengiriman data yang stabil. Perbedaan dengan penelitian ini terletak pada fokus penelitian tersebut yang hanya pada aspek monitoring, sedangkan penelitian ini juga menambahkan fungsi proteksi otomatis berupa pemutusan *relay* berdasarkan *metode drop current*.

Lestyanto et al., (2023) dalam penelitiannya yang berjudul “Sistem Proteksi Arus Lebih pada Proses Pengisian Baterai Menggunakan *Buck converter Metode Constant Voltage*” merancang sistem proteksi yang memutus arus pengisian baterai *lead-acid* secara otomatis ketika parameter arus melewati ambang yang ditetapkan, menggunakan rangkaian *buck converter*. Hasil penelitian menunjukkan sistem proteksi yang dirancang berhasil membatasi arus pengisian sesuai ambang yang ditentukan. Penelitian ini memiliki kesamaan metode acuan proteksi (*drop current/constant voltage*) dan jenis baterai (*lead-acid*), namun berbeda pada penambahan fitur monitoring berbasis web dan penggunaan modul ADC eksternal ADS1115 untuk pembacaan ganda arus dan tegangan.

Hilal et al., (2023) dalam penelitiannya yang berjudul “Analisa Balancing *BMS (Battery Management System)* pada Pengisian Baterai *Lithium-Ion Tipe INR 18650* dengan Metode *Cut Off*” merancang sistem proteksi pengisian baterai yang memutus aliran arus pengisian secara otomatis ketika baterai mencapai kondisi tegangan tinggi (*high voltage cut-off*), serta memutus aliran pengurusan ketika

baterai mencapai kondisi tegangan rendah (*low voltage cut-off*). Hasil penelitian menunjukkan sistem *cut off* berhasil membatasi tegangan pengisian dan pengurasan baterai sesuai ambang yang ditetapkan. Perbedaan dengan penelitian ini terletak pada jenis baterai yang digunakan, yaitu *Lithium-Ion* pada penelitian tersebut, sedangkan penelitian ini menggunakan baterai *Sealed Lead Acid (SLA)* dengan parameter *cut off* berupa penurunan arus pengisian, bukan ambang tegangan sel.

Berdasarkan kajian terhadap penelitian-penelitian terdahulu tersebut, dapat disimpulkan bahwa penelitian mengenai sistem proteksi dan monitoring baterai berbasis mikrokontroler telah banyak dilakukan dengan berbagai variasi jenis baterai dan parameter acuan proteksi. Namun, kombinasi spesifik antara baterai *SLA* 48 Volt, sensor arus ACS712, modul ADC eksternal ADS1115 sebagai pembaca ganda arus dan tegangan, metode *drop current* dengan ambang 0,70 Ampere, serta antarmuka monitoring berbasis web pada satu sistem proteksi *Overcharge* yang terintegrasi, belum ditemukan pada penelitian-penelitian terdahulu yang dikaji. Hal ini menjadi salah satu posisi kebaruan (*novelty*) dari penelitian yang dilakukan.

B. Landasan Teori

Pada Rancang bangun sistem pengisian daya cerdas dan proteksi *Overcharge* pada penelitian ini didasarkan pada integrasi fungsional antara komponen sensor, pemroses data, aktuator, dan sistem catu daya. Secara umum, sistem ini bekerja dengan cara memantau parameter utama baterai, yaitu tegangan dan arus selama proses pengisian berlangsung, guna menentukan kondisi jenuh pada sel baterai secara akurat (Zain et al., 2023). Pengelolaan rangkaian baterai tegangan tinggi seperti sistem 48 Volt memerlukan pengawasan parameter listrik secara kontinu dan presisi untuk menjaga stabilitas performa serta memastikan keamanan operasional perangkat (Gunawan et al., 2024). Oleh karena itu, pemilihan komponen yang andal menjadi aspek krusial dalam meminimalkan kesalahan pembacaan nilai fisis sirkuit.

Dalam penerapannya, kombinasi antara sensor analog berkemampuan tinggi dengan pengondisi sinyal (*transducer*) eksternal sangat direkomendasikan untuk mengatasi keterbatasan resolusi pada unit pemroses utama (Adi & Ulinuha,

2022). Pemutusan arus pengisian secara otomatis juga membutuhkan aktuator elektromekanis yang dikendalikan langsung oleh algoritma mikrokontroler berdasarkan metode penurunan arus (*drop current method*) (Lestyanto et al., 2023). Selain itu, integrasi teknologi nirkabel untuk pengiriman data monitoring secara *real-time* ke platform *cloud* atau web juga terbukti mempermudah pengguna dalam memantau kondisi perangkat dari jarak jauh tanpa melakukan pengukuran manual (Solahuddin et al., 2025). Berdasarkan prinsip kerja tersebut, maka komponen utama yang digunakan dalam sistem ini meliputi baterai *VRLA*, mikrokontroler *ESP32*, modul ADC eksternal *ADS1115*, sensor arus *ACS712*, rangkaian pembagi tegangan, modul *step-down*, dan *relay*. Masing-masing komponen memiliki peran spesifik yang saling terintegrasi dengan penjelasan sebagai berikut:

1. Baterai *Sealed Lead Acid (SLA)* 48V

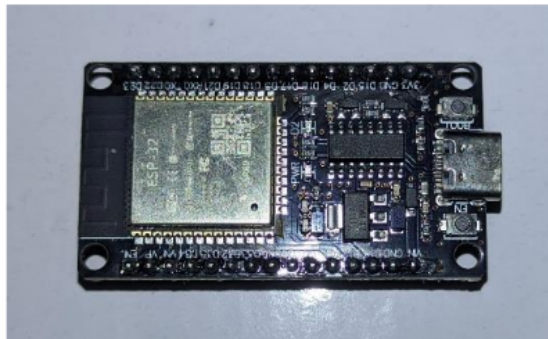
Baterai *Sealed Lead Acid (SLA)* adalah jenis baterai berbasis timbal-asam (*lead-acid*) dengan konstruksi tertutup rapat dan bebas perawatan, dengan pelat timbal yang terendam dalam larutan elektrolit berupa asam sulfat dan air. Setiap sel tunggal pada baterai ini menghasilkan tegangan nominal sekitar 2,1 Volt, sehingga satu unit baterai 12 Volt umumnya tersusun dari 6 sel yang dihubungkan secara seri. Baterai *SLA* banyak digunakan pada sepeda listrik kelas menengah ke bawah karena harganya yang relatif murah, konstruksinya yang tertutup, serta keandalannya pada berbagai kondisi suhu, meskipun memiliki densitas energi yang lebih rendah dibandingkan baterai *Lithium-Ion* Nur & Kurniawan, (2021) Pada penelitian ini, digunakan 4 buah baterai *SLA* 12 Volt yang disusun seri sehingga menghasilkan tegangan kerja total sebesar 48 Volt.



Gambar 2.1 Aki *SLA*

2. Mikrokontroler ESP32

ESP32 adalah mikrokontroler buatan Espressif Systems yang memiliki prosesor *dual-core* serta modul Wi-Fi dan *Bluetooth* yang terintegrasi langsung pada chip, sehingga sangat sesuai untuk dikembangkan menjadi aplikasi berbasis *Internet of Things (IoT)* tanpa memerlukan modul komunikasi tambahan. Dibandingkan dengan mikrokontroler Arduino Uno yang hanya memiliki 14 pin input/output dan 6 pin ADC dengan arsitektur 8-bit, ESP32 memiliki jumlah pin yang lebih banyak, memori yang lebih besar, serta arsitektur 32-bit, dan pada pengujian akurasi pembacaan tegangan dan arus menunjukkan tingkat kesalahan yang lebih kecil dibandingkan Arduino Uno (Widyatmika et al., 2021). Pada penelitian ini, ESP32 digunakan sebagai pengendali utama yang membaca data sensor melalui modul ADC eksternal, mengendalikan *relay* pemutus, serta mengirimkan data ke antarmuka berbasis web.

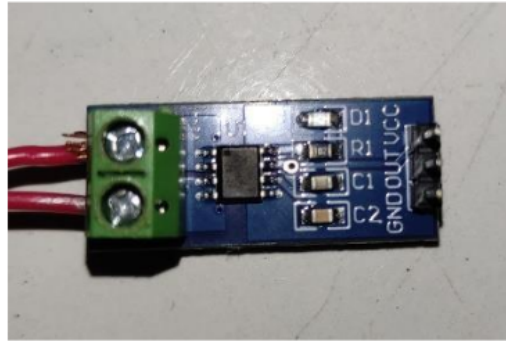


Gambar 2.2 ESP 32

3. Sensor Arus ACS712

ACS712 adalah sensor arus yang beroperasi berdasarkan prinsip efek Hall (*Hall effect*), yaitu timbulnya tegangan yang tegak lurus terhadap arah arus Listrik dan medan magnet yang melingkupinya. Arus listrik yang mengalir melalui jalur konduktor di dalam sensor menghasilkan medan magnet yang ditangkap oleh *integrated Hall IC* dan diubah menjadi tegangan keluaran yang proporsional terhadap besar arus yang terdeteksi, dengan tegangan kerja sensor sebesar 5 Volt (Suteja & Antara, 2021). Pada varian 20A yang digunakan dalam penelitian ini, sensor menghasilkan tegangan keluaran 2,5 Volt pada kondisi

tanpa arus, yang akan naik atau turun secara proporsional sesuai arus yang mengalir. Sensor ACS712 dipasang seri pada jalur pengisian baterai dengan keluaran analognya dihubungkan ke kanal A1 pada modul ADC eksternal ADS1115.



Gambar 2.3 Sensor ACS712

4. Modul ADC Eksternal ADS1115 dan Rangkaian Pembagi Tegangan

ADS1115 merupakan modul *Analog to Digital Converter* (ADC) dengan resolusi 16-bit yang berkomunikasi dengan mikrokontroler melalui jalur I2C dan menyediakan empat kanal masukan yang dapat dikonfigurasi sebagai kanal single-ended maupun diferensial. Pemanfaatan ADS1115 sebagai *transducer* antara sensor dan mikrokontroler telah diterapkan pada sistem instrumentasi sepeda motor listrik, di mana tegangan baterai dibaca melalui rangkaian pembagi tegangan dan arus diukur menggunakan sensor arus berbasis *Hall-effect*, dengan hasil pengujian menunjukkan selisih pembacaan yang relatif kecil terhadap alat ukur standar (Adi & Ulinuha, 2022). Rangkaian pembagi tegangan (*voltage divider*) sendiri merupakan rangkaian yang berfungsi mengubah suatu tegangan masukan yang besar menjadi tegangan keluaran yang lebih kecil menggunakan dua resistor yang disusun seri, dengan persamaan berikut:

$$V_{\text{out}} = V_{\text{in}} \times \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

Pada penelitian ini, digunakan kombinasi resistor 180 kΩ dan 10 kΩ sebagai R1 dan R2, sehingga tegangan baterai 48 Volt yang dapat mencapai sekitar 55 Volt saat pengisian dapat diturunkan ke nilai yang aman dibaca oleh kanal A0 pada ADS1115.



Gambar 2.4 ADS1115

5. Relay dan Metode *Drop current*

Relay merupakan sakelar elektromekanis yang dapat menghubungkan atau memutuskan aliran arus pada rangkaian bertegangan tinggi menggunakan sinyal kendali tegangan rendah dari mikrokontroler. *Relay* banyak dimanfaatkan sebagai aktuator pada sistem proteksi otomatis karena kemampuannya mengisolasi rangkaian kendali dari rangkaian beban. Penentuan titik pemutusan *relay* pada penelitian ini tidak hanya didasarkan pada nilai tegangan, tetapi juga pada penurunan arus pengisian yang terjadi secara alami saat baterai mendekati kondisi jenuh (metode *drop current*), sejalan dengan metode *constant voltage* pada sistem proteksi arus lebih untuk pengisian baterai *lead-acid*, di mana *relay* memutuskan rangkaian begitu parameter arus melewati ambang yang ditetapkan (Lestyanto et al., 2023). Pada penelitian ini, ambang batas pemutusan arus pengisian ditetapkan pada 0,70 Ampere.



Gambar 2.5 Relay

6. Modul *Step-down wide-input*

Modul *step-down* atau *buck converter* adalah konverter DC-ke-DC yang berfungsi menurunkan tegangan masukan menjadi tegangan keluaran yang lebih rendah. Modul dengan rentang masukan lebar (*wide-input*) dirancang untuk menerima variasi tegangan masukan yang besar, sehingga sesuai digunakan pada sistem kelistrikan baterai yang tegangannya berubah-ubah selama proses pengisian dan pengosongan (Lestyanto et al., 2023). Pada penelitian ini, digunakan modul *step-down wide-input* 9 sampai 120 Volt menuju 5 Volt yang dihubungkan langsung ke sistem kelistrikan baterai untuk menyuplai daya bagi ESP32, sehingga sistem tidak memerlukan sumber daya eksternal tambahan.



Gambar 2.6 Step-down

7. Sistem Monitoring Berbasis Web

Internet of Things (IoT) merupakan konsep menghubungkan perangkat fisik ke jaringan internet sehingga data dari sensor dapat dikirim dan ditampilkan kepada pengguna melalui antarmuka berbasis web yang dapat diakses melalui browser pada komputer maupun smartphone. Pemanfaatan ESP32 untuk sistem monitoring baterai berbasis *IoT* telah diterapkan pada sistem monitoring baterai serta besaran fisis sepeda listrik, dengan hasil pengiriman data dan akurasi pembacaan sensor yang baik (Irfan et al., 2023). Pada penelitian ini, sistem monitoring berbasis web dirancang untuk menampilkan data tegangan baterai, arus pengisian, dan status relay pemutus daya secara *real-time*.



Gambar 2.7 Tampilan web

C. Kerangka Berpikir

Sistem Berdasarkan latar belakang permasalahan dan kajian teori yang telah diuraikan, kerangka berfikir dalam penelitian ini disusun untuk menggambarkan alur logis dari permasalahan hingga solusi yang ditawarkan. Permasalahan utama yang melatarbelakangi penelitian ini adalah belum adanya sistem otomatis yang dapat memantau dan memutus aliran daya pengisian baterai 48 Volt pada sepeda listrik ketika kondisi baterai telah penuh, sehingga risiko *Overcharge* yang dapat merusak baterai masih tinggi.

Untuk menjawab permasalahan tersebut, dirancang sebuah sistem yang mengintegrasikan beberapa komponen utama. Mikrokontroler ESP32 berperan sebagai pengendali pusat yang membaca data dari sensor arus ACS712 dan rangkaian pembagi tegangan melalui modul ADC eksternal ADS1115, di mana sensor arus terhubung pada kanal A1 dan pembagi tegangan terhubung pada kanal A0. Data arus dan tegangan yang terbaca kemudian diolah oleh ESP32 untuk menentukan kondisi pengisian baterai secara *real-time*.

Ketika arus pengisian yang terbaca mengalami penurunan hingga mendekati ambang batas 0,70 Ampere, yang menandakan baterai telah mencapai kondisi penuh berdasarkan metode *drop current*, ESP32 akan mengirimkan sinyal kendali kepada *relay* untuk memutus aliran daya dari charger menuju baterai secara otomatis. Selama proses tersebut berlangsung, seluruh rangkaian kontrol disuplai daya secara mandiri oleh modul *step-down wide-input* yang terhubung langsung ke sistem kelistrikan baterai. Di sisi lain, ESP32 juga mengirimkan data tegangan, arus,

dan status *relay* menuju antarmuka berbasis web melalui konektivitas *Wi-Fi* yang dimilikinya, sehingga pengguna dapat memantau kondisi pengisian baterai secara jarak jauh.

Dengan kerangka berfikir tersebut, diharapkan sistem proteksi *Overcharge* yang dirancang dapat bekerja secara otomatis, akurat, dan andal dalam mencegah kerusakan baterai *SLA* akibat pengisian daya yang berlebihan, sekaligus memberikan kemudahan bagi pengguna dalam memantau kondisi baterai sepeda listriknya melalui tampilan berbasis web.

METODE PENELITIAN

A. Model Pengembangan

Model pengembangan yang digunakan pada penelitian ini adalah model prototype. Model prototype dipilih karena sesuai dengan proses perancangan sistem yang dilakukan secara bertahap, mulai dari perancangan awal, pembuatan prototipe, hingga pengujian dan penyempurnaan sistem. Melalui model ini, peneliti dapat membuat rancangan awal alat kemudian melakukan evaluasi berdasarkan hasil pengujian, sehingga setiap kekurangan yang ditemukan dapat diperbaiki sebelum diperoleh sistem yang bekerja secara optimal. Dengan demikian, alat yang dikembangkan dapat disesuaikan dengan kebutuhan penelitian dan mampu memberikan hasil sesuai dengan tujuan yang telah ditetapkan.

Pada penelitian ini, model prototype digunakan untuk merancang sistem proteksi *Overcharge* pada baterai *Sealed Lead Acid (SLA)* 48 Volt berbasis ESP32 yang dilengkapi dengan sistem monitoring berbasis web. Proses pengembangan diawali dengan identifikasi kebutuhan sistem, kemudian dilanjutkan dengan perancangan perangkat keras yang meliputi mikrokontroler ESP32, sensor arus ACS712, modul ADC ADS1115, rangkaian pembagi tegangan (*voltage divider*), modul step-down, *relay* sebagai pemutus arus pengisian, serta charger baterai. Selanjutnya dilakukan perancangan perangkat lunak berupa pemrograman ESP32 menggunakan *Arduino IDE* dan pembuatan antarmuka web yang berfungsi untuk menampilkan data tegangan baterai, arus pengisian, serta status *relay* secara *real-time* melalui browser.

Setelah tahap perancangan selesai, dilakukan proses pembuatan dan pengujian prototipe untuk mengetahui kinerja sistem yang telah dikembangkan. Pengujian dilakukan terhadap kemampuan sensor dalam membaca nilai tegangan dan arus pengisian, kestabilan komunikasi data antara ESP32 dan halaman web, serta kemampuan *relay* dalam memutus aliran daya secara otomatis ketika arus pengisian turun hingga mencapai ambang batas 0,70 Ampere sesuai metode *drop current*. Hasil pengujian kemudian dianalisis sebagai dasar untuk melakukan evaluasi dan penyempurnaan sistem apabila masih ditemukan kekurangan. Dengan

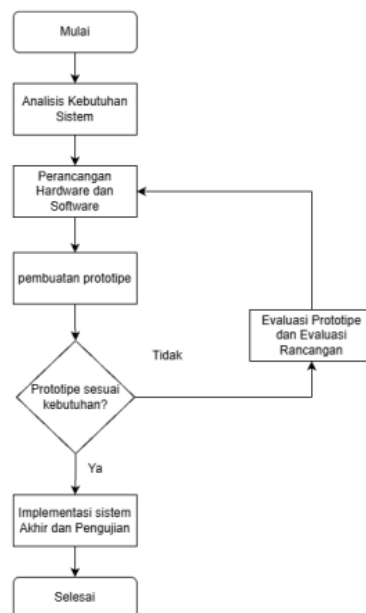
proses tersebut diharapkan sistem yang dikembangkan mampu bekerja secara andal dalam mencegah terjadinya *Overcharge*, memperpanjang umur pakai baterai, serta memberikan kemudahan kepada pengguna dalam memantau proses pengisian daya secara *real-time* melalui media berbasis web.

4

B. Prosedur Pengembangan

Prosedur pengembangan dalam penelitian ini merupakan tahapan yang dilakukan secara sistematis untuk menghasilkan prototipe sistem proteksi *Overcharge* baterai sepeda listrik berbasis ESP32 yang dilengkapi dengan sistem monitoring berbasis web. Tahapan pengembangan dimulai dari analisis kebutuhan sistem hingga evaluasi hasil pengujian. Agar alur pelaksanaan penelitian lebih mudah dipahami, prosedur pengembangan disajikan dalam bentuk diagram alir (*flowchart*) pada Gambar 3.1

16



Gambar 3.1 *Flowchart* Alur Pengembangan

Berdasarkan diagram alir pada Gambar 3.1, tahapan prosedur pengembangan penelitian dijelaskan sebagai berikut :

- a. Tahap Analisis dan kebutuhan

65

Pada tahap ini dilakukan identifikasi permasalahan yang terjadi pada proses pengisian baterai sepeda listrik, yaitu risiko *Overcharge* akibat tidak adanya sistem pemutus arus otomatis. Selanjutnya dilakukan analisis kebutuhan perangkat keras dan perangkat lunak yang akan digunakan dalam pengembangan sistem, meliputi ESP32, sensor arus ACS712, modul ADS1115, rangkaian pembagi tegangan, *relay*, modul *step-down*, serta sistem monitoring berbasis web.

b. Tahap Perancangan Sistem

48

Tahap perancangan meliputi penyusunan desain perangkat keras dan perangkat lunak. Perancangan perangkat keras dilakukan dengan membuat diagram blok sistem, skema rangkaian, dan menentukan hubungan antar komponen. Sementara itu, perancangan perangkat lunak dilakukan dengan menyusun algoritma kerja ESP32 untuk membaca data sensor, mengendalikan *relay* berdasarkan metode *drop current*, serta mengirimkan data monitoring ke halaman web secara *real-time*.

c. Tahap Pembuatan Prototipe

55

Pada tahap ini dilakukan perakitan seluruh komponen sesuai dengan rancangan yang telah dibuat. Setelah proses perakitan selesai, dilakukan pemrograman ESP32 menggunakan Arduino IDE serta pembuatan antarmuka web sebagai media monitoring tegangan, arus, dan status *relay* selama proses pengisian baterai berlangsung.

d. Tahap Pengujian Sistem

Pengujian dilakukan untuk mengetahui kinerja setiap bagian sistem, meliputi pembacaan sensor arus dan tegangan, komunikasi data antara ESP32 dan web monitoring, serta fungsi *relay* sebagai pemutus otomatis. Selain itu dilakukan kalibrasi sensor agar hasil pembacaan memiliki tingkat akurasi yang baik dibandingkan alat ukur standar.

e. Tahap Evaluasi

Tahap evaluasi dilakukan dengan menganalisis hasil pengujian sistem. Apabila masih ditemukan kesalahan pembacaan sensor atau sistem proteksi belum bekerja sesuai yang diharapkan, maka dilakukan perbaikan pada perangkat keras maupun perangkat lunak. Tahap ini bertujuan untuk memperoleh sistem

13

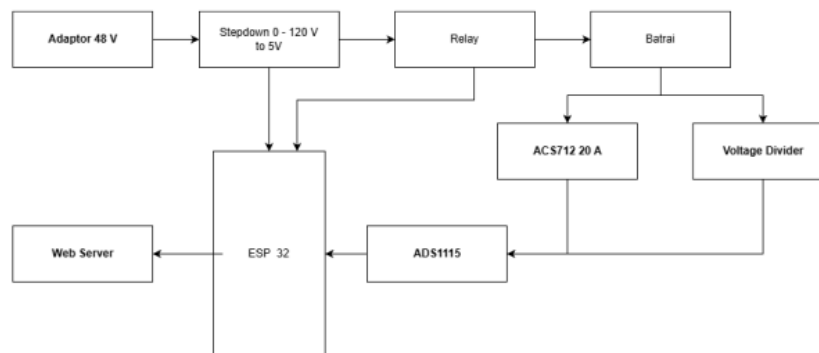
yang mampu memonitor proses pengisian baterai secara *real-time* dan memutus arus pengisian secara otomatis ketika baterai telah mencapai kondisi penuh.

C. Desain Pengembangan

Desain pengembangan pada penelitian ini digunakan untuk menggambarkan rancangan sistem proteksi *Overcharge* baterai sepeda listrik berbasis ESP32 secara keseluruhan. Desain ini meliputi blok diagram sistem, *wiring diagram*, dan *flowchart* program yang bertujuan untuk menjelaskan hubungan antar komponen perangkat keras serta alur kerja perangkat lunak dalam mengendalikan proses pengisian baterai secara otomatis.

4

1. Blok Diagram Sistem

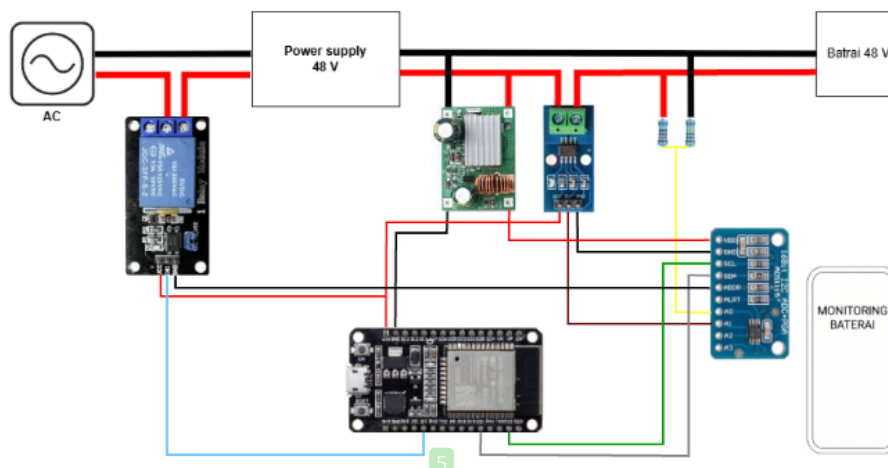


Gambar 3.2 Diagram Blok

Berdasarkan Gambar 3.2 arus pengisian dari charger mengalir melalui *relay* menuju sensor arus ACS712 yang dipasang secara seri pada jalur pengisian, kemudian diteruskan ke baterai SLA 48 Volt. Tegangan baterai dibaca melalui rangkaian pembagi tegangan yang disusun dari resistor 180 k Ω dan 10 k Ω . Keluaran analog dari sensor ACS712 dihubungkan ke kanal A1, sedangkan keluaran rangkaian pembagi tegangan dihubungkan ke kanal A0 pada modul ADC eksternal ADS1115. Data digital hasil konversi ADS1115 selanjutnya dikirim ke ESP32 melalui jalur komunikasi I2C. ESP32 mengolah data tersebut untuk menentukan kondisi pengisian baterai dan mengirimkan sinyal kendali ke *relay* apabila kondisi penuh terdeteksi. Selain itu, ESP32 juga mengirimkan data

tegangan, arus, dan status *relay* ke antarmuka monitoring berbasis web melalui konektivitas *Wi-Fi* yang dimilikinya. Untuk menyuplai daya bagi rangkaian kontrol, digunakan modul *step-down wide-input* yang dihubungkan langsung ke sistem kelistrikan baterai sehingga dapat menurunkan tegangan baterai yang dapat mencapai sekitar 55 Volt saat pengisian menjadi tegangan kerja 5 Volt DC bagi ESP32.

2. Wiring Diagram



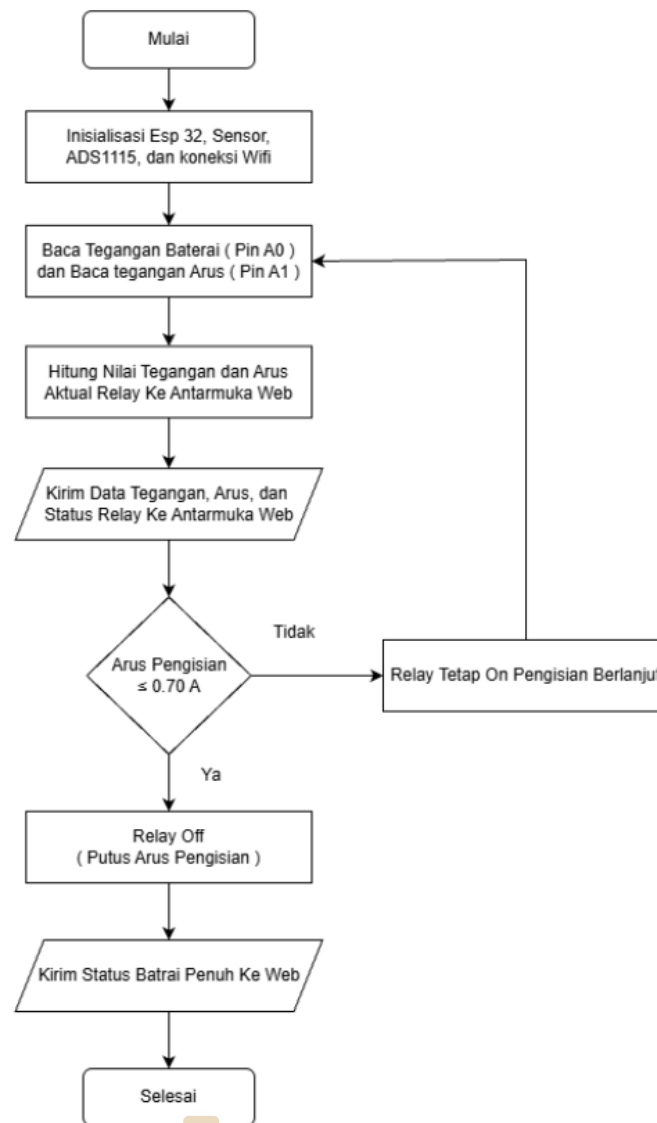
Gambar 3.3 Wiring Diagram

Wiring diagram digunakan untuk menunjukkan hubungan fisik antar komponen yang digunakan pada sistem. Diagram ini menjadi acuan dalam proses perakitan perangkat keras sehingga setiap komponen dapat bekerja sesuai dengan fungsi yang dirancang. Berikut adalah komponen-komponen yang saling terhubung :

- ESP32 sebagai pengendali utama terhubung dengan modul ADS1115 menggunakan komunikasi I2C.
- Sensor arus ACS712 dihubungkan ke kanal input ADS1115 untuk membaca arus pengisian baterai.
- Rangkaian pembagi tegangan dihubungkan ke kanal ADS1115 untuk membaca tegangan baterai.
- Modul *relay* dihubungkan ke salah satu pin digital ESP32 sebagai aktuator pemutus arus pengisian.

- e. Modul *step-down* digunakan untuk menurunkan tegangan baterai menjadi 5 Volt sebagai sumber catu daya seluruh rangkaian.
- f. ESP32 terhubung ke jaringan *Wi-Fi* sehingga data hasil pembacaan sensor dapat ditampilkan pada halaman web monitoring.

3. Desain Alur Program



Gambar 3.5 Alur program

Berdasarkan Gambar 3.3, sistem terlebih dahulu melakukan inisialisasi ESP32, modul ADC ADS1115, dan koneksi Wi-Fi. Selanjutnya, sistem membaca

nilai tegangan baterai melalui kanal A0 dan arus pengisian melalui kanal A1 pada ADS1115, kemudian menghitung nilai tegangan dan arus aktual berdasarkan hasil pembacaan tersebut. Data yang diperoleh dikirimkan ke antarmuka monitoring berbasis web agar dapat dipantau pengguna secara *real-time*. Sistem kemudian memeriksa apakah arus pengisian telah mencapai atau berada di bawah ambang batas 0,70 Ampere. Apabila arus pengisian masih di atas ambang batas tersebut, *relay* tetap dalam kondisi ON dan sistem akan kembali membaca data sensor secara berulang. Sebaliknya, apabila arus pengisian telah mencapai atau berada di bawah 0,70 Ampere, yang menandakan baterai telah mencapai kondisi penuh berdasarkan metode *drop current*, maka ESP32 akan mengirimkan sinyal kendali untuk memutus *relay* serta mengirimkan status “Baterai Penuh” ke antarmuka web.

D. Tempat dan Waktu Pengembangan

Proses perancangan, perakitan perangkat keras (*hardware*), pemrograman perangkat lunak (*software*), hingga pengujian fisis sirkuit otomatisasi *BMS Cut-off* ini seluruhnya dilaksanakan di Laboratorium Teknik Elektronika, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer (FTIK), Universitas Nusantara PGRI Kediri. Pemilihan lokasi ini didasarkan pada ketersediaan instrumen pengukuran yang memadai, seperti *digital multimeter* presisi dan catu daya yang dibutuhkan selama proses pengujian simulasi pengisian baterai seri. Penelitian dan pengembangan purwarupa sistem manajemen pengisian daya baterai sepeda listrik ini dilaksanakan selama kurang lebih 4 (empat) bulan, terhitung mulai dari bulan Maret hingga Juni 2026. Linimasa pelaksanaan tahapan penelitian secara terperinci dijabarkan pada Tabel 3.1 berikut:

Tabel 3.1. Waktu Pengembangan

NO	Jenis kegiatan	Maret				April				Mei				Juni			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Studi Lapangan																
2	Studi Literatur																
3	Pengambilan Judul																
4	Pembuatan Alat																
5	Pengujian Alat																
6	Pngumpulan Data																
7	Evaluasi Alat																

E. Teknik Analisis Data

Teknik analisis data pada penelitian ini menggunakan analisis deskriptif kuantitatif, yaitu dengan membandingkan hasil pembacaan sensor terhadap alat ukur standar (multimeter digital), kemudian menganalisis keberhasilan sistem proteksi *Overcharge* dan sistem monitoring berbasis web. Analisis dilakukan terhadap akurasi sensor arus, sensor tegangan, serta keberhasilan kerja sistem secara keseluruhan.

1. Analisis Presentase Error Sensor

Analisis persentase *error* digunakan untuk mengetahui tingkat akurasi hasil pembacaan sensor dibandingkan dengan alat ukur standar. Semakin kecil nilai *error*, maka semakin tinggi tingkat akurasi sensor yang digunakan.

Persentase *error* dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$\text{Error}(\%) = \frac{|X_s - X_r|}{X_r} \times 100\%$$

Keterangan:

Error (%) = Persentase kesalahan pengukuran (%)

X_s = Nilai hasil pembacaan sensor

X_r = Nilai hasil pengukuran menggunakan alat ukur standar (multimeter)

Persamaan tersebut digunakan baik untuk pengujian sensor tegangan maupun sensor arus.

2. Analisis Rata-Rata Presentase Error

Setelah seluruh data pengujian diperoleh, nilai persentase *error* dihitung rata-ratanya untuk mengetahui tingkat akurasi sensor secara keseluruhan.

Rata-rata *error* dihitung menggunakan persamaan:

$$\bar{Error} = \frac{\sum Error}{n}$$

Keterangan:

a. $\bar{Error}$ = Rata-rata persentase *error* (%)

b. $\sum Error$ = Jumlah seluruh nilai *error* hasil pengujian

c. n = Jumlah data atau jumlah pengujian

Semakin kecil nilai rata-rata *error*, maka semakin baik tingkat akurasi sistem pengukuran yang dikembangkan.

3. Analisis Persentase Keberhasilan Sistem

Analisis ini digunakan untuk mengetahui tingkat keberhasilan sistem dalam menjalankan fungsi utama, yaitu membaca data sensor, mengirimkan data ke halaman web, dan memutus arus pengisian secara otomatis menggunakan *relay*. Persentase keberhasilan dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$\text{Keberhasilan}(\%) = \frac{N_b}{N_t} \times 100\%$$

Keterangan:

Keberhasilan (%) = Persentase keberhasilan sistem (%)

- a. N_b = Jumlah pengujian yang berhasil
- b. N_t = Jumlah seluruh pengujian yang dilakukan

Kriteria keberhasilan sistem pada penelitian ini meliputi:

- a. Sensor arus dan sensor tegangan mampu membaca nilai pengukuran dengan baik.
- b. Data tegangan dan arus berhasil ditampilkan pada halaman web secara *real-time*.
- c. *Relay* mampu memutus arus pengisian secara otomatis ketika arus pengisian mencapai batas 0,70 A sesuai metode *drop current*.
- d. Sistem dapat bekerja secara stabil selama proses pengisian baterai berlangsung.

F. Metode Uji Coba

Pengujian terhadap sistem proteksi *Overcharge* dan pengisian daya cerdas pada penelitian ini dilakukan secara bertahap, mulai dari pengujian setiap blok fungsional secara terpisah hingga pengujian sistem secara terintegrasi. Metode uji coba yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Pengujian sensor arus ACS712, yaitu membandingkan hasil pembacaan arus pengisian oleh sensor dengan hasil pengukuran multimeter digital pada beberapa nilai arus yang berbeda untuk mengetahui tingkat akurasi pembacaan sensor.
2. Pengujian rangkaian pembagi tegangan dan modul ADC ADS1115, yaitu membandingkan hasil pembacaan tegangan baterai oleh sistem dengan hasil pengukuran multimeter digital pada beberapa kondisi tegangan baterai yang berbeda.
3. Pengujian titik pemutusan *relay (cut-off)*, yaitu menguji ketepatan sistem dalam memutus aliran daya pengisian ketika arus pengisian mencapai ambang batas 0,70 Ampere, serta mencatat waktu respons *relay* sejak ambang batas terdeteksi hingga *relay* benar-benar terputus.

4. Pengujian sistem monitoring berbasis web, yaitu menguji kemampuan sistem dalam menampilkan data tegangan, arus, dan status *relay* secara *real-time*, serta menguji kestabilan koneksi dan kecepatan pembaruan data yang ditampilkan pada antarmuka web.
5. Pengujian integrasi sistem, yaitu menguji keseluruhan sistem yang telah terintegrasi mulai dari pembacaan sensor, pengolahan data oleh ESP32, hingga pemutusan *relay* dan tampilan data pada web, untuk memastikan seluruh blok sistem dapat bekerja secara bersamaan tanpa kendala.
6. Pengujian pada unit sepeda listrik, yaitu menerapkan dan menguji sistem secara langsung pada baterai *SLA* 48 Volt yang terpasang pada sepeda listrik dalam skala prototipe, untuk mengetahui kinerja sistem pada kondisi penggunaan yang sebenarnya.

Hasil dari keseluruhan pengujian tersebut selanjutnya dianalisis menggunakan teknik analisis data yang telah dijabarkan pada bagian sebelumnya, sehingga dapat diketahui tingkat keberhasilan dan keandalan sistem proteksi *Overcharge* dan pengisian daya cerdas yang telah dibangun pada penelitian ini.

Penentuan ambang batas pemutusan relay sebesar 0,70 A didasarkan pada hasil pengamatan terhadap karakteristik charger otomatis yang digunakan sebagai acuan. Berdasarkan beberapa kali pengukuran menggunakan multimeter digital, charger tersebut menghentikan proses pengisian ketika arus pengisian berada pada kisaran 0,66 A. Oleh karena itu, pada sistem yang dikembangkan ditetapkan ambang batas sebesar 0,70 A untuk mengakomodasi toleransi pembacaan sensor dan fluktuasi pengukuran, sehingga proses pengisian dapat dihentikan sebelum terjadi *overcharge*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Data Produk Hasil pengembangan

Bagian ini menyajikan data produk akhir yang dihasilkan dari proses rancang bangun sebagaimana telah dijabarkan pada Bab III. Produk akhir berupa sebuah sistem proteksi *Overcharge* dan pengisian daya cerdas yang terpasang pada baterai *Sealed Lead Acid (SLA)* 48 Volt sepeda listrik, terdiri atas rangkaian sensor, modul pengolah data, aktuator *relay*, dan antarmuka monitoring berbasis web yang telah terintegrasi dalam satu kesatuan alat.

Spesifikasi teknis produk akhir yang dihasilkan pada penelitian ini ditunjukkan pada Tabel

Tabel 4.1 spesifikasi Produk Akhir

No	Komponen/Parameter	Spesifikasi
1	Mikrokontroler	ESP32
2	Sensor arus	ACS712 20A
3	Modul ADC eksternal	ADS1115
4	Rangkaian pembagi tegangan	Resistor 180 k Ω dan 10k Ω
5	Aktuator pemutus	Stepdown
6	Modul suplai daya control	SLA 48 Volt (4 x 12 Volt seri)
7	Baterai objek pegujian	0,70 Ampere
8	Ambang batas cut off	Halaman web,
9	Antarmuka pemantauan	menampilkan tegangan, arus, dan status <i>relay</i> secara <i>real-time</i>
10	Dimensi casing alat	15cm x 15cm

Berdasarkan Tabel 4.1, produk akhir yang dihasilkan telah memenuhi rancangan fungsional yang ditetapkan pada Bab III, yaitu mampu membaca tegangan dan arus pengisian baterai secara *real-time*, memutus aliran daya pengisian secara otomatis ketika arus pengisian mencapai ambang batas 0,70 Ampere, serta menampilkan data pemantauan melalui antarmuka berbasis web.

B. Data Uji Coba

Data uji coba pada bagian ini diperoleh dari pengujian yang dilakukan sesuai dengan metode uji coba yang telah dijabarkan pada Bab III, yaitu pengujian sensor arus ACS712, pengujian rangkaian pembagi tegangan dan modul ADS1115, pengujian titik pemutusan *relay*, pengujian sistem monitoring berbasis web, pengujian integrasi sistem, serta pengujian pada unit sepeda listrik.

1. Hasil Pengujian Sensor Arus ACS712

Pengujian dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan arus pengisian oleh sensor ACS712 dengan hasil pengukuran multimeter digital pada beberapa nilai arus yang berbeda. Hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 4.2

Tabel 4.2 Hasil Pengujian Sensor Arus712

No	Arus Multimeter (A)	Arus Terbaca Sistem (A)	Selisih	Error%
1	1.80	1.75	0.05	2.78%
2	1.53	1.48	0.05	3.27%
3	1.29	1.27	0.02	1.55%
4	1.09	1.08	0.01	0.92%
5	0.96	1.00	0.04	0.00%
6	0.87	0.88	0.01	1.15%
7	0.76	0.76	0.00	0.00%
8	0.72	0.74	0.02	2.78%

2. Hasil Pengujian Pembagi Tegangan dan Modul ADS1115

Pengujian dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan tegangan baterai oleh sistem dengan hasil pengukuran multimeter digital pada beberapa kondisi tegangan yang berbeda. Hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Hasil Pengujian Pembacaan tegangan

No	Tegangan Multimeter (V)	Tegangan Terbaca Sistem (V)	Selisih	Error%
1	49.7	49.5	00.0	0.40%
2	48.1	48.0	00.1	0.21%
3	50.5	50.5	00.0	0.00%
4	52.6	52.8	00.2	0.38%
5	53.4	53.2	00.2	0.38%
6	55.1	54.9	00.2	0.36%
7	56.5	56.5	00.0	0.00%
8	57.2	57.1	0.01	0.17%

Penentuan nilai ambang batas arus pengisian sebesar 0,70 Ampere sebagai titik pemutusan relay pada penelitian ini didasarkan pada standar teknis pengisian baterai Sealed Lead Acid (SLA). Berdasarkan prinsip pengisian baterai lead-acid metode Constant Voltage (CV), baterai dinyatakan telah mencapai kondisi penuh ketika arus pengisian turun secara alami hingga berada pada kisaran 3% hingga 5% dari nilai kapasitas nominal baterai (Battery University, 2024). Baterai SLA yang digunakan pada penelitian ini memiliki kapasitas nominal 12 Ah per unit, sehingga diperoleh rentang nilai ambang terminasi antara 0,36 Ampere ($3\% \times 12 \text{ Ah}$) hingga 0,60 Ampere ($5\% \times 12 \text{ Ah}$). Selanjutnya ditambahkan margin keamanan sebesar 0,10 Ampere untuk mengantisipasi keterlambatan respons perangkat keras, sehingga ditetapkan nilai akhir sebesar 0,70 Ampere. Dasar perhitungan tersebut dirangkum pada Tabel 4.4.

3. Pengujian Sistem Proteksi *Overcharge*

Pengujian dilakukan untuk mengetahui titik pemutusan pengisian (*cut-off*) yang digunakan sebagai acuan dalam sistem proteksi *overcharge*. Sebelum melakukan pengujian pada sistem yang dikembangkan, dilakukan pengukuran terhadap charger otomatis bawaan sebagai pembanding untuk mengetahui karakteristik pemutusan arus pengisian.

Tabel 4.4 Hasil Pengukuran Arus Cut-off Charger Referensi

No	Pengujian	Arus <i>cut-off</i> (A)
1	Pengujian 1	0.66
2	Pengujian 2	0.67
3	Pengujian 3	0.66
4	Pengujian 4	0.66
5	Pengujian 5	0.66
6	Pengujian 6	0.66
7	Pengujian 7	0.67
8	Pengujian 8	0.66
9	Pengujian 9	0.66
10	Pengujian 10	0.67

Sebelum melakukan pengujian pada sistem yang dikembangkan, dilakukan pengukuran terhadap charger otomatis sebagai acuan. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa charger menghentikan proses pengisian secara otomatis pada arus sekitar 0,66 A. Berdasarkan hasil tersebut, ambang batas pemutusan relay pada sistem ditetapkan sebesar 0,70 A dengan mempertimbangkan toleransi pembacaan sensor dan fluktuasi arus selama proses pengisian.

Tabel 4.5 Kondisi awal pengisian

No	Tegangan	Arus	Status relay
1	46.7	1.86	ON
2	46.9	1.86	ON
3	47.0	1.84	ON
4	47.3	1.85	ON
5	47.9	1.83	ON
6	48.0	1.83	ON
7	48.3	1.82	ON
8	48.5	1.82	ON
9	48.9	1.81	ON
10	49.0	1.80	ON

Tabel 4,5 Kondisi Batrai Full

No	Tegangan	Arus	Status relay
1	55.1	0.89	ON
2	55.4	0.89	ON
3	55.7	0.86	ON
4	56.0	0.85	ON
5	56.2	0.85	ON
6	56.5	0.84	ON
7	56.7	0.84	ON
8	56.8	0.85	ON
9	56.8	0.82	ON
10	56.9	0.81	ON

Tabel 4.6 Kondisi Pemutusan Relay

No	Tegangan	Arus	Status relay
1	57.0	0.78	ON
2	57.1	0.77	ON
3	57.2	0.76	ON
4	57.2	0.75	ON
5	57.3	0.74	ON
6	57.2	0.73	ON
7	57.3	0.72	ON
8	57.3	0.71	ON
9	57.4	0.70	OFF
10	57.3	0	OFF

Berdasarkan Tabel 4.4 sampai Tabel 4.6 terlihat bahwa selama proses pengisian, tegangan baterai meningkat secara bertahap, sedangkan arus pengisian mengalami penurunan. Relay tetap aktif selama arus masih berada di atas nilai ambang. Ketika arus mencapai 0,70 A, ESP32 mengirimkan sinyal ke relay untuk memutus proses pengisian secara otomatis sehingga baterai terlindungi dari kondisi *overcharge*.

4. Hasil Pengujian Sistem Keseluruhan

Pengujian dilakukan dengan menjalankan keseluruhan sistem yang telah terintegrasi, mulai dari pembacaan sensor, pengolahan data oleh ESP32, hingga pemutusan relay dan tampilan data pada web, untuk memastikan seluruh blok sistem dapat bekerja secara bersamaan tanpa kendala. Hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 4.6.

Tabel 4.5 Hasil Pengujian Sistem

No	Parameter yang diuji	Hasil Pengamatan
1	Pembacaan tegangan	Berhasil
2	Pembacaan arus	Berhasil
3	Data tampil pada web	Berhasil
4	Relay memutus pada arus $\leq 0,70$ A	Berhasil

C. Teknik Analisis Data

Analisis data dilakukan terhadap seluruh data hasil uji coba yang telah disajikan pada bagian sebelumnya, menggunakan teknik analisis deskriptif kuantitatif sebagaimana dijabarkan pada Bab III. Tingkat akurasi pembacaan sensor dihitung menggunakan persamaan persentase error berikut:

$$\text{Error}(\%) = \frac{|X_s - X_r|}{X_r} \times 100\%$$

Berdasarkan Tabel 4.2, diperoleh rata-rata persentase error pembacaan arus oleh sensor ACS712 sebesar 2.08%, yang menunjukkan bahwa sensor mampu mengukur arus dengan tingkat akurasi yang baik dan masih layak digunakan pada system monitoring pengisian baterai sepeda listrik. Berdasarkan Tabel 4.3, diperoleh rata-rata persentase error pembacaan tegangan oleh rangkaian pembagi tegangan dan modul ADS1115 sebesar 0.24%, yang menunjukkan bahwa sistem mampu mengukur tegangan dengan tingkat akurasi yang sangat baik.

Berdasarkan Tabel 4.4, diperoleh waktu respons rata relay dalam memutus aliran daya pengisian sejak arus mencapai ambang batas 0,70 Ampere, yang

menunjukkan bahwa sistem ini bekerja dengan baik. Berdasarkan Tabel 4.5, hasil pengujian sistem keseluruhan juga berhasil terpenuhi pada tampilan web dan program yang berhasil memutus saat mencapai ambang batas 0,70A dan berhasil menampilkan data secara *real-time* dengan delay rata-rata sebesar 1s.

D. Kajian Produk Akhir

Berdasarkan data uji coba dan analisis deskriptif kuantitatif yang telah dijabarkan, produk akhir berupa sistem proteksi *Overcharge* dan pengisian daya cerdas pada baterai *SLA* 48 Volt sepeda listrik berbasis ESP32 telah berhasil menjalankan seluruh fungsi yang ditetapkan. Sistem mampu membaca arus pengisian dengan akurasi 98,30% dan tegangan baterai dengan akurasi 99,73%, memutus aliran daya pengisian secara otomatis tepat pada ambang batas 0,70 Ampere, serta menampilkan data pemantauan secara *real-time* melalui antarmuka berbasis web. Tingkat akurasi pembacaan sensor arus yang diperoleh pada penelitian ini sejalan dengan hasil analisis yang dilakukan oleh Suteja & Antara, (2021) yang menyimpulkan bahwa sensor ACS712 mampu bekerja dengan tingkat akurasi yang baik pada rentang pengukuran yang sesuai dengan spesifikasinya, sehingga penggunaannya pada penelitian ini terbukti tepat untuk aplikasi monitoring arus pengisian baterai sepeda listrik.

Dibandingkan dengan penelitian yang dilakukan oleh Gunawan et al., (2024) yang membangun sistem manajemen dan proteksi pada baterai 48 Volt, penelitian ini memiliki kesamaan pada objek baterai yang digunakan namun memberikan nilai tambah berupa fitur monitoring berbasis web secara *real-time* yang memungkinkan pengguna memantau kondisi pengisian dari jarak jauh melalui *smartphone* maupun komputer tanpa memerlukan aplikasi tambahan. Dari sisi mekanisme pemutusan daya, sistem yang dibangun pada penelitian ini bekerja dengan prinsip yang serupa dengan penelitian Pradana et al., (2021) yang membuktikan bahwa sistem pemutus charger otomatis berbasis mikrokontroler mampu bekerja dengan andal, namun pada penelitian ini pemutusan dilakukan berdasarkan metode *drop current* dengan memantau penurunan arus pengisian secara *real-time*, sehingga pemutusan terjadi secara adaptif sesuai kondisi baterai tanpa bergantung pada pengaturan timer.

Secara keseluruhan, kelebihan dari produk yang dihasilkan pada penelitian ini antara lain tingkat akurasi pembacaan sensor yang tinggi (di atas 97%), kemampuan proteksi aktif yang terbukti efektif pada baterai *SLA* 48 Volt, serta kemudahan pemantauan kondisi pengisian melalui antarmuka web. Keterbatasan yang masih ditemukan antara lain sistem belum dilengkapi penyimpanan data historis pengisian (data logging), antarmuka web belum mendukung notifikasi otomatis kepada pengguna, serta pengujian baru dilakukan pada satu unit sepeda listrik sehingga generalisasi hasil perlu dikonfirmasi pada lebih banyak unit. Untuk pengembangan lebih lanjut, disarankan penambahan fitur data logging, integrasi notifikasi melalui platform pesan instan, serta pengujian pada variasi jenis dan kapasitas baterai *SLA* yang lebih beragam.

PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian sistem proteksi *Overcharge* pada pengisian baterai sepeda listrik berbasis ESP32, dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Sistem proteksi overcharge pada baterai *SLA* 48 Volt sepeda listrik berbasis mikrokontroler ESP32 telah berhasil dirancang dan dibangun, di mana sistem mampu memutus aliran daya dari charger secara otomatis melalui aktuator relay ketika kondisi penuh baterai terdeteksi, dengan tingkat keberhasilan pemutusan sebesar 100% pada seluruh skenario pengujian.
2. Integrasi sensor arus ACS712, rangkaian pembagi tegangan ($R_1 = 180\text{ k}\Omega$ dan $R_2 = 10\text{ k}\Omega$), dan modul ADC eksternal ADS1115 berhasil dilakukan dan menghasilkan pembacaan yang akurat, dengan rata-rata persentase error pembacaan arus sebesar 1,70% (akurasi 98,30%) dan rata-rata persentase error pembacaan tegangan sebesar 0,27% (akurasi 99,73%).
3. Ambang batas pemutusan arus pengisian sebesar 0,70 Ampere berdasarkan metode *drop current* berhasil diterapkan pada sistem.
4. Sistem monitoring berbasis web berhasil dirancang dan berjalan pada mikrokontroler ESP32 melalui konektivitas *Wi-Fi*, menampilkan data tegangan baterai, arus pengisian, dan status relay secara *real-time* yang dapat diakses pengguna dari smartphone maupun komputer tanpa memerlukan aplikasi tambahan.

B. Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran untuk pengembangan penelitian selanjutnya sebagai berikut.

1. Relay mekanis dapat diganti dengan komponen *solid-state* seperti MOSFET berdaya tinggi untuk pemutusan arus yang lebih halus dan umur pakai lebih panjang. Penelitian selanjutnya dapat menggunakan sensor arus dengan tingkat

akurasi yang lebih tinggi untuk meningkatkan ketelitian pembacaan selama proses pengisian baterai.

2. Sistem dapat dikembangkan dengan penambahan fitur data logging ke kartu SD atau platform cloud untuk menyimpan riwayat pengisian.
3. Antarmuka web dapat ditingkatkan dengan fitur notifikasi otomatis ke pengguna ketika baterai penuh.
4. Pengujian lanjutan disarankan dilakukan pada lebih banyak unit sepeda listrik dengan variasi kondisi penggunaan.

ORIGINALITY REPORT

17%
SIMILARITY INDEX

13%
INTERNET SOURCES

9%
PUBLICATIONS

6%
STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

- 1 Muhammad Febriyanda Wiryawan, Denny Irawan. "MONITORING STATE OF CHARGE (S BATERAI LITHIUM ION BERBASIS WEB", INTECOMS: Journal of Information Technology and Computer Science, 2026
Publication
- 2 es.scribd.com
Internet Source
- 3 Prasetyo Wahyudi Hardyanto, Sujito Sujito, Syahrul Zain Firmansyah, Muh. Fahri Fathurrahman. "Fast Fault Detection In ESP32 Overcurrent Protection Networks Via Du Inverse Curves", Academia Open, 2026
Publication
- 4 docplayer.info
Internet Source
- 5 Submitted to Universitas Sangga Buana YPKP
Student Paper
- 6 repositori.uma.ac.id
Internet Source
- 7 prin.or.id
Internet Source
- 8 repository.umsu.ac.id
Internet Source
- 9 eprints2.undip.ac.id
Internet Source
- 10 jurnal.untan.ac.id
Internet Source
- 11 jurnal.umk.ac.id
Internet Source
- 12 Yudi Eka Putra, Oktavia Eka Rahayu, Yenni Afrida, Jeckson Jeckson, Fitrono Fitrono. "Sistem Monitoring Konsumsi Daya Listrik Berbasis IoT untuk Efisiensi Energi pada Gedung PENMARU Universitas Muhammadiyah Lampung", Electrician : Jurnal Rekayasa dan Teknologi Elektro, 2026
Publication

13 Taufiqurrohman Yuares. "PENGEMBANGAN SISTEM SMART PET FEEDER BERBASIS IOT DENGAN KENDALI JARAK JAUH MENGGUNAKAN BLYNK", Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan, 2026

Publication

14 eprints3.upgris.ac.id

Internet Source

15 www.blogliterasi.com

Internet Source

16 Submitted to UIN Sunan Ampel Surabaya

Student Paper

17 Haikal Yunus, Marina Artiyasa. "Perancangan dan Implementasi Meteran Air Digital Berbasis Internet of Things untuk Monitoring Real-Time dan Kontrol Aliran Air", RIGGS: Journal of Artificial Intelligence and Digital Business, 2026

Publication

18 123dok.com

Internet Source

19 id.123dok.com

Internet Source

20 Ahmad Tubagus Nabil Maulana -, Muhammad Rafi Catur Wijayanto -, Muhammad Daffa Ariq Fadilah -. "IMPLEMENTASI KONTROL JEMURAN SERTA MONITORING SUHU BERBASIS ESP32 DENGAN INTEGRASI BLYNK DAN TELEGRAM", Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan, 2026

Publication

21 Aeltri Jeacfky Gozal Go, Fajerin Biabdillah, Agusma Wajiansyah. "SMART AGRICULTURE: PEMANFAATAN SENSOR DHT11 BERBASIS INTERNET OF THINGS (IOT) UNTUK PEMANTAUAN SUHU DAN KELEMBAPAN UDARA", Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan, 2026

Publication

22 Verna Albert Suoth, Dolfie Paulus Pandara, Hesky Stevy Kolibu. "Internet of Things-Based Current and Voltage Monitoring System for a 50 Wp Solar Panel to Evaluate Performance and Energy Efficiency", Jurnal Ilmiah Sains, 2026

Publication

23 eprints.ums.ac.id

Internet Source

24 jurnalmahasiswa.unesa.ac.id

Internet Source

25 online.bpostel.com

Internet Source

-
- 26 zombiedoc.com
Internet Source
-
- 27 Submitted to College of the Canyons
Student Paper
-
- 28 Jumawal, Harianto, Mahpuz, Muhammad Wasil. "Perbandingan Performa Sensor DHT1 DHT22, dan 808H5V5 terhadap Pengukuran Kelembapan Udara Berbasis Internet Of Things", Infotek: Jurnal Informatika dan Teknologi, 2026
Publication
-
- 29 Submitted to Universitas Bengkulu
Student Paper
-
- 30 eprints.uny.ac.id
Internet Source
-
- 31 epub.imandiri.id
Internet Source
-
- 32 journal.um-surabaya.ac.id
Internet Source
-
- 33 Submitted to Universitas Diponegoro
Student Paper
-
- 34 repository.teknokrat.ac.id
Internet Source
-
- 35 repository.ub.ac.id
Internet Source
-
- 36 repository.umy.ac.id
Internet Source
-
- 37 Putri Salsabila Utami, Aryanti Aryanti, Lindawati Lindawati, Ibnu Asrafi. "Smart Oven berbasis IoT menggunakan Fuzzy Mamdani untuk Pengeringan Cepat Kerupuk Kempla Edumatic: Jurnal Pendidikan Informatika, 2025
Publication
-
- 38 Submitted to Institut Agama Islam Al-Zaytun Indonesia
Student Paper
-
- 39 Submitted to Universitas Sumatera Utara
Student Paper
-
- 40 repository.uksw.edu
Internet Source
-
- 41 Dava Febrian Dava, Kamdan Kamdan, Zaenal Alamsyah. "Pemanfaatan Tongkat Berbas IoT dan Yolo V3 Untuk Meningkatkan Mobilitas dan Keamanan Penyandang Tunanetra'

-
- 42 Mhd Zahir Az Zikri, Dicky Apdilah, Dea Tiara Azhari, Heri Kusniadi. "Implementasi Alat Pendeteksi Pencuri Berbasis IoT Menggunakan ESP32 dan Sensor Magnet untuk Keamanan Rumah", Jurnal Pengabdian Masyarakat dan Riset Pendidikan, 2026

Publication

-
- 43 Submitted to SMA Alfa Centauri

Student Paper

-
- 44 Submitted to Universitas Airlangga-1

Student Paper

-
- 45 repository.unsulbar.ac.id

Internet Source

-
- 46 ejournal.poltekbangsby.ac.id

Internet Source

-
- 47 eprints.binadarma.ac.id

Internet Source

-
- 48 eprints.undip.ac.id

Internet Source

-
- 49 ftik.unpkediri.ac.id

Internet Source

-
- 50 www.researchgate.net

Internet Source

-
- 51 Submitted to Konsorsium PTS Batch 5

Student Paper

-
- 52 Moch. Abduh Andrian Syach. "RANCANG BANGUN TINGKAT KUALITAS AIR PADA TEMP/ MINUM DI PETERNAK ITIK BERBASIS PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA", Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan, 2025

Publication

-
- 53 Wa ode denada mar ella -, Fajerin Biabdillah -, Agusma Wajiansyah -, Abbizar Mulia -. "SMARTSOIL: SISTEM MONITORING KELEMBABAN TANAH BERBASIS INTERNET OF THIN (IOT) MENGGUNAKAN ESP32 DAN SENSOR SOIL MOISTURE", Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan, 2026

Publication

-
- 54 ejournal.poltektedc.ac.id

Internet Source

-
- 55 repo.itera.ac.id

Internet Source

56	repository.radenfatah.ac.id Internet Source
57	artikel-teknologi.com Internet Source
58	docobook.com Internet Source
59	e-journal.hikmahuniversity.ac.id Internet Source
60	elektro.studentjournal.ub.ac.id Internet Source
61	eprints.uad.ac.id Internet Source
62	kapukmas.com Internet Source
63	media.neliti.com Internet Source
64	qdoc.tips Internet Source
65	repository.its.ac.id Internet Source
66	repository.trisakti.ac.id Internet Source
67	repository.uinjkt.ac.id Internet Source
68	Submitted to Institut Teknologi Sumatera Student Paper
69	Muchammad Alif Fudin, Indah Sulistiyowati, Agus Hayatal Falah. "IoT Integrated Electric Car Energy Monitoring System: Case Study of IMEI TEAM UMSIDA", Jambura Journal of Electrical and Electronics Engineering, 2024 Publication
70	digilibadmin.unismuh.ac.id Internet Source
71	downloadptkptssdsmpsma.blogspot.com Internet Source
72	etheses.uin-malang.ac.id Internet Source

73 lib.unnes.ac.id
Internet Source

74 ojs.polmed.ac.id
Internet Source

75 text-id.123dok.com
Internet Source

76 www.coursehero.com
Internet Source

77 www.scribd.com
Internet Source

78 repository.usd.ac.id
Internet Source

Exclude quotes Off
Exclude bibliography On

Exclude matches Off