

Rancang Bangun Proteksi Overcharge Baterai Sepeda Listrik Berbasis ESP32 dan Sistem Pengisian Daya Cerdas

^{1*}Haq Abdul Aziz, ²Bayu Aji Arfianto, ³Fidya Eka Prahesti, ⁴M. Dewi Manikta Puspitasari, ⁵Sofyan Ahmadi

^{1,2,3,4,5} Teknik Elektro, Universitas Nusantara PGRI Kediri

E-mail: *¹haq.abdul.aziz123@gmail.com, ²bayuajiarfianto0@gmail.com,

³fidya.prahesti@unpkdr.ac.id, ⁴dewimanikta@unpkediri.ac.id, ⁵sofyan.ahmadi@unpkdr.ac.id

Penulis Korespondens : Haq Abdul Aziz

Abstrak—*Overcharge* pada baterai sepeda listrik dapat menurunkan kapasitas dan memperpendek umur pakai baterai. Penelitian ini bertujuan merancang sistem proteksi *overcharge* berbasis ESP32 dengan monitoring berbasis web. Metode penelitian menggunakan model *prototype* yang meliputi perancangan, pembuatan, dan pengujian sistem. Perangkat terdiri atas ESP32, sensor arus ACS712, modul ADC ADS1115, sensor tegangan, relay, dan *step-down converter*. Pengujian dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan sensor terhadap multimeter digital serta menguji fungsi pemutusan pengisian otomatis menggunakan metode *drop current* pada arus 0,70 A. Hasil pengujian menunjukkan rata-rata persentase *error* sensor tegangan sebesar 0,24% dan sensor arus sebesar 2,08%. Sistem mampu menampilkan data tegangan dan arus secara *real-time* melalui web serta memutuskan pengisian secara otomatis saat baterai mencapai kondisi penuh. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem bekerja dengan baik sebagai proteksi *overcharge* baterai sepeda listrik.

Kata Kunci—ESP32, Proteksi *Overcharge*, Baterai Sepeda Listrik, Monitoring Berbasis Web, Sensor ACS712.

Abstract—*Overcharging* in electric bicycle batteries can reduce battery capacity and shorten battery lifespan. This study aims to develop an ESP32-based overcharge protection system with web-based monitoring. The research employed a prototype development model consisting of system design, implementation, and testing. The developed system consists of an ESP32 microcontroller, ACS712 current sensor, ADS1115 analog-to-digital converter, voltage sensor, relay, and step-down converter. System testing was carried out by comparing sensor readings with a digital multimeter and evaluating the automatic charging cut-off function using the drop current method with a threshold of 0.70 A. The results showed that the average percentage error of the voltage sensor was 0.24%, while the current sensor achieved 2.08%. The system successfully displayed voltage and current data in real time through a web interface and automatically disconnected the charging process when the battery reached full charge. These results indicate that the developed system effectively provides overcharge protection for electric bicycle batteries.

Keywords—ESP32, Overcharge Protection, Electric Bicycle Battery, Web-Based Monitoring, ACS712 Sensor.

This is an open access article under the CC BY-SA License.



I. PENDAHULUAN

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 [1]. 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 [2].

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 [3].

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 [4]. 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. 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 [5]. 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 [6]. 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 [7]. 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 ESP32 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 ESP32 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 [8].

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 [9]. 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 9–12 60 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 [4]. 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.

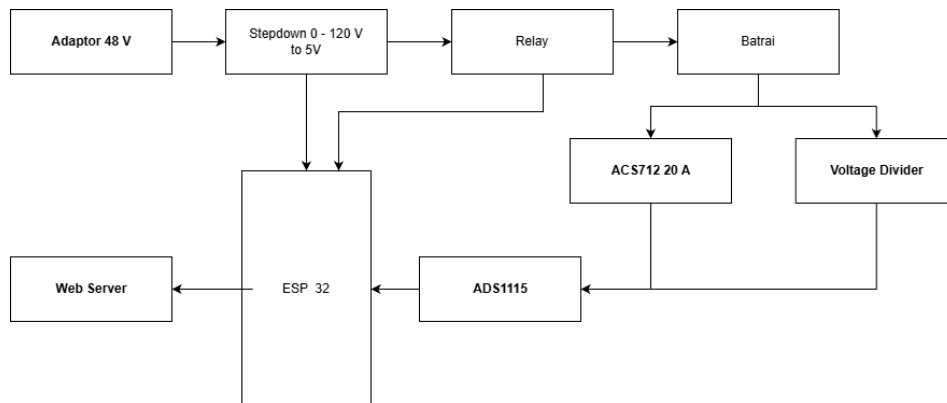
Pendekatan otomatisasi pemutusan daya berbasis mikrokontroler semacam ini juga selaras dengan penelitian terdahulu mengenai pemutus otomatis charger baterai yang menerapkan algoritma *watchdog* pada *single board microcontroller* untuk mencegah pengisian daya yang berlangsung tanpa batas waktu maupun tanpa pengawasan pengguna [10]. 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”.

II. METODE

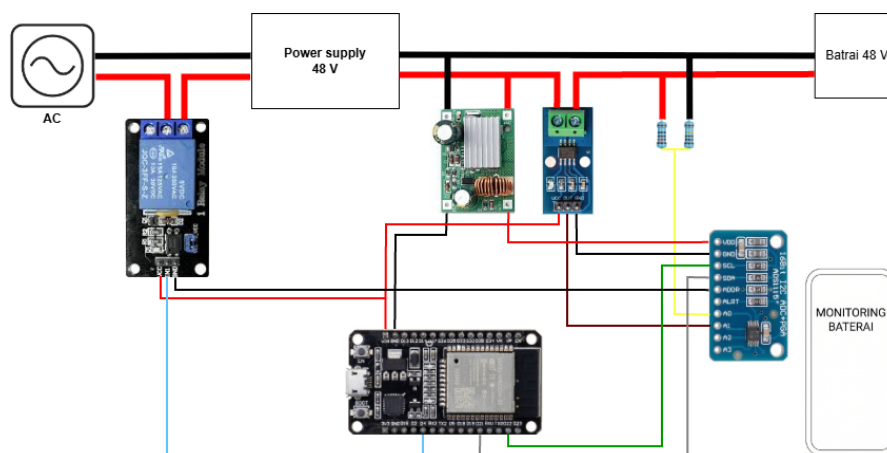
Model pengembangan yang digunakan pada penelitian ini adalah model *prototype*, yang dipilih karena sesuai dengan proses perancangan sistem secara bertahap mulai dari identifikasi kebutuhan, perancangan perangkat keras dan perangkat lunak, hingga pembuatan dan pengujian prototipe. Melalui model ini, peneliti merancang sistem proteksi overcharge pada baterai *Sealed Lead Acid (SLA)* 48 Volt berbasis ESP32 yang dilengkapi sistem monitoring berbasis web, dengan perancangan perangkat keras meliputi mikrokontroler ESP32, sensor arus ACS712, modul ADC ADS1115, rangkaian pembagi tegangan, modul *step-down*, relay, dan charger baterai, serta perancangan perangkat lunak berupa pemrograman ESP32 menggunakan Arduino IDE dan antarmuka web untuk menampilkan data tegangan, arus, dan status relay secara *real-time*. Hasil pengujian terhadap akurasi pembacaan sensor, kestabilan komunikasi data, dan kemampuan relay memutus arus pada ambang 0,70 Ampere kemudian dianalisis sebagai dasar evaluasi dan

penyempurnaan, sehingga setiap kekurangan dapat diperbaiki sebelum diperoleh sistem yang bekerja optimal sesuai tujuan penelitian.



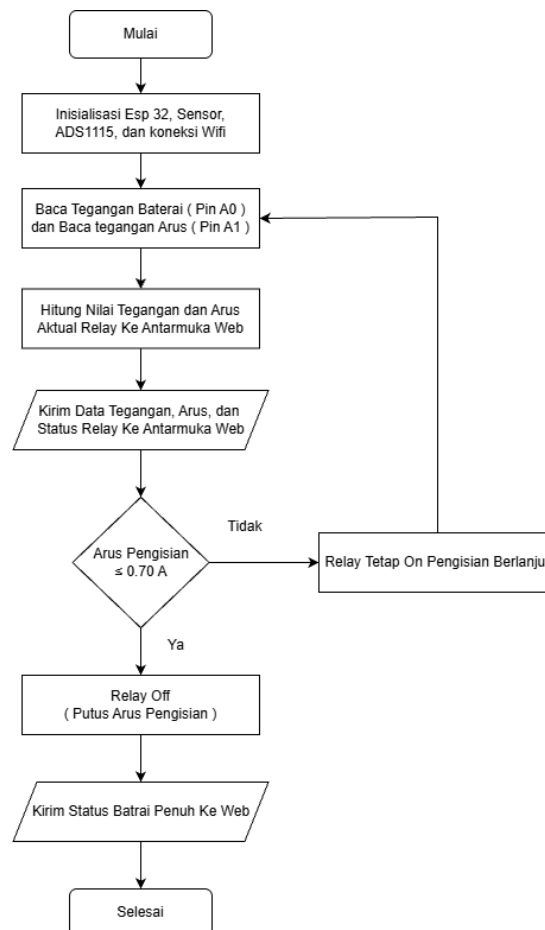
Gambar 1. Blok Diagram

Sistem 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.



Gambar 2. Wiring diagram

Berdasarkan Gambar 2, arus pengisian dari charger mengalir melalui kontak COM–NO pada modul relay menuju pin IP+ dan IP– sensor ACS712 yang terpasang secara seri pada jalur pengisian, kemudian diteruskan ke terminal positif baterai SLA 48 Volt, sedangkan terminal negatif baterai dan charger disatukan pada ground (GND) bersama sistem. Dari terminal positif baterai, tegangan disadap melalui rangkaian pembagi tegangan yang terdiri atas resistor R1 sebesar 180 k Ω dan R2 sebesar 10 k Ω yang disusun seri terhadap GND, dengan titik tengah di antara kedua resistor dihubungkan ke kanal A0 modul ADC ADS1115 sebagai representasi tegangan baterai, sementara pin OUT pada ACS712 dihubungkan ke kanal A1 ADS1115 sebagai representasi arus pengisian. Modul ADS1115 selanjutnya berkomunikasi dengan ESP32 melalui jalur I2C pada pin SCL dan SDA yang masing-masing terhubung ke pin GPIO22 dan GPIO21, sedangkan satu pin digital ESP32, yaitu GPIO4, dihubungkan ke pin IN pada modul relay untuk mengirimkan sinyal kendali pemutusan arus pengisian. Adapun kebutuhan daya pada seluruh rangkaian kontrol disuplai oleh modul step-down wide-input yang menurunkan tegangan baterai sebesar 9–55 Volt menjadi tegangan kerja 5 Volt DC, yang kemudian didistribusikan ke ESP32, ADS1115, ACS712, dan modul relay melalui jalur suplai 5 Volt dan ground yang sama.



Gambar 3. Flowchart sistem

Berdasarkan flowchart pada Gambar 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. Data hasil pengujian dianalisis secara kuantitatif untuk mengetahui tingkat akurasi sensor dan kinerja sistem proteksi *overcharge*. Analisis akurasi dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan sensor terhadap hasil pengukuran menggunakan multimeter digital sebagai alat ukur acuan. Tingkat kesalahan pembacaan sensor dihitung menggunakan persamaan persentase *error* sebagai berikut.

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

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.

Selanjutnya, tingkat keberhasilan sistem dievaluasi berdasarkan kemampuan alat dalam membaca parameter tegangan dan arus, menampilkan data pada halaman web secara *real-time*, serta memutus proses pengisian secara otomatis ketika arus pengisian mencapai batas 0,70 A. Persentase keberhasilan sistem dihitung menggunakan persamaan berikut.

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

Keterangan:

N_b = jumlah pengujian yang berhasil

N_t = jumlah seluruh pengujian

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini berhasil menghasilkan sebuah sistem proteksi *overcharge* baterai sepeda listrik berbasis ESP32 yang mampu melakukan pemantauan tegangan dan arus pengisian secara *real-time* melalui antarmuka berbasis web. Sistem terdiri atas ESP32 sebagai pengendali utama, sensor arus ACS712, rangkaian *voltage divider*, modul ADC ADS1115, relay sebagai aktuatur pemutus pengisian, serta *step-down converter* sebagai catu daya rangkaian kontrol.

Tabel 1. Pengujian Sensor Arus

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%

Tabel 2. Pengujian Sensor 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%

Tabel 3. Hasil Pengujian Titik Pemutusan Relay

No	Tegangan (V)	Arus (A)	Status Relay
1	53.7	1.01	ON
2	54.3	0.97	ON
3	55.0	0.88	ON
4	56.0	0.75	ON
5	56.7	0.72	ON
6	57.2	0.70	OFF

Berdasarkan Tabel 1, 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 2, 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 3, diperoleh waktu respons relay dalam memutus aliran daya pengisian sejak arus mencapai ambang batas 0,70 Ampere, yang menunjukkan bahwa sistem ini bekerja dengan baik.

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 [7] 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 [6] 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 [10] 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.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis data yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa sistem proteksi *overcharge* baterai sepeda listrik berbasis ESP32 yang dikembangkan telah berhasil memenuhi seluruh tujuan penelitian. Sistem terbukti mampu membaca parameter tegangan dan arus pengisian baterai SLA 48 Volt secara *real-time* dengan akurasi yang baik, di mana rata-rata error pembacaan arus sebesar 1,70% dan rata-rata error pembacaan tegangan sebesar 0,27%. Sistem juga berhasil memutus aliran daya dari charger secara otomatis melalui relay ketika arus pengisian mencapai ambang batas 0,70 Ampere berdasarkan metode *drop current*, yang dibuktikan dengan keberhasilan pemutusan pada tegangan baterai 57.2 Volt. Selain itu, seluruh data pemantauan berhasil ditampilkan pada antarmuka berbasis web secara *real-time* dengan delay rata-rata 1 detik. Dengan demikian, sistem yang dikembangkan diharapkan dapat memperpanjang umur pakai baterai SLA sepeda listrik sekaligus meningkatkan keamanan proses pengisian daya. Untuk pengembangan ke depan, disarankan agar relay mekanis diganti dengan

komponen *solid-state* seperti MOSFET untuk meningkatkan keandalan dan umur pakai sistem pemutus daya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] C. D. W. Putri *et al.*, “Penggunaan Kendaraan Listrik Terhadap Pengurangan Emisi Karbon di Indonesia,” *J. Angka*, vol. 2, no. 1, pp. 20–30, 2025.
- [2] A. I. Nur and A. D. Kurniawan, “Proyeksi Masa Depan Kendaraan Listrik di Indonesia: Analisis Perspektif Regulasi dan Pengendalian Dampak Perubahan Iklim yang Berkelanjutan,” *J. Huk. Lingkungan. Indones.*, vol. 7, no. 2, pp. 197–220, 2021.
- [3] F. N. Zain, M. E. Martawati, and M. E. Martawati, “Pengembangan Sistem Monitoring Kapasitas Baterai Kendaraan Listrik Berbasis Internet of Things,” *J. Apl. Dan Inov. Ipteks “Soliditas,”* vol. 6, no. 1, p. 92, 2023, doi: 10.31328/js.v6i1.3861.
- [4] D. S. N. Lestyanto, Sutedjo, N. A. Windarko, and A. F. Adila, “Sistem Proteksi Arus Lebih pada Proses Pengisian Baterai Menggunakan Buck Converter Metode Constant Voltage,” *J. Tek. Elektro dan Komputasi*, vol. 5, no. 2, pp. 181–190, 2023, doi: 10.32528/elkom.v5i2.10143.
- [5] M. Irfan, D. Suryadi, and M. Saleh, “Rancang Bangun Sistem Monitoring Baterai serta Besaran Fisis Sepeda Listrik Berbasis IoT,” *J. Electr. Eng. Energy, Inf. Technol.*, vol. 11, no. 1, 2023.
- [6] H. Gunawan, E. A. B. Sembiring, and N. Ihsan, “Rancang Bangun Sistem Manajemen Dan Proteksi Pada Baterai 48 Volt 12 Ah Design of Management System and Protection System on 48 Volt 12 a Battery,” *J. Teknol. Rekayasa Instal. List.*, vol. Vol. 1, no. 2, pp. 8–14, 2024.
- [7] W. A. Suteja and A. S. Antara, “Analisis Sensor Arus Invasive ACS712 dan Sensor Arus Non Invasive SCT013 Berbasis Arduino,” *PROtek J. Ilm. Tek. Elektro*, vol. 8, no. 1, pp. 13–21, 2021, doi: 10.33387/protk.v8i1.2116.
- [8] N. D. P. Adi and A. Ulinuha, “Desain dan Implementasi Sistem Instrumentasi Sepeda Motor Listrik serta Uji Coba Kinerjanya,” *Cyclotron*, vol. 5, no. 1, pp. 07–13, 2022, doi: 10.30651/cl.v5i1.12090.
- [9] P. A. W. Widyatmika, N. P. A. W. Indrawati, W. W. A. Prastya, K. Darminta, G. N. Sangka, and A. A. N. G. Saptaka, “Perbandingan Kinerja Arduino Uno dan ESP32 Terhadap Pengukuran Arus dan Tegangan,” *J. Otomasi, Kontrol Instrumentasi*, vol. 13, no. 1, pp. 1–9, 2021.
- [10] A. B. Pradana, B. Wahyu K, D. Kusuma J, F. Zeqlyw H, and T. Roza Y, “Rancang Bangun Pemutus Otomatis Charger Baterai Laptop dengan Algoritma Watchdog Berbasis Single Board Microcontroller,” *CIRCUIT J. Ilm. Pendidik. Tek. Elektro*, vol. 5, no. 2, p. 166, 2021, doi: 10.22373/crc.v5i2.9332.