E-ISSN : 3025-1311
https://ejournal.warunayama.org/kohesi

Kohesi: Jurnal Multidisiplin Saintek
Volume 10 No 8 Tahun 2026

SISTEM BATERAI CHARGER OTOMATIS UNTUK SISTEM MONITORING BERBASIS ESP32

I Putu Agus Arya Astaman[1], Lie Jasa[2], I Wayan Setiawan[3]

[1234567] Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana
Jl. Raya Kampus Unud Jimbaran, Kec. Kuta Selatan, Kabupaten Badung, Bali 80361
putu.agus005@student.unud.ac.id[1],liejasa@unud.ac.id[2],setiawan@unud.ac.id[3]

ABSTRAK

Sistem baterai charger otomatis merupakan rangkaian elektronik yang dirancang untuk mengisi baterai secara otomatis sekaligus mencegah overcharging dan overdischarging yang dapat merusak sel baterai dan menurunkan umur pakainya. Penelitian ini bertujuan merancang, merealisasikan, dan mengevaluasi kinerja sistem baterai charger otomatis yang dapat menjaga kontinuitas daya pada sistem monitoring berbasis ESP32 agar beroperasi secara berkesinambungan. Sistem menggunakan baterai Lithium-Ion 18650 sebagai sumber daya utama yang dilengkapi Battery Management System (BMS) untuk perlindungan sel baterai dari kondisi overcharge, overdischarge, dan ketidakseimbangan muatan antar sel. Pengendalian pengisian dan pemutusan beban dilakukan oleh modul XH-M602 berdasarkan batas tegangan 11,5 V sebagai batas bawah dan 12,4 V sebagai batas atas. Tegangan keluaran baterai diatur oleh modul step-down LM2596 agar sesuai kebutuhan sistem monitoring sebesar 5 VDC. Sistem ini dirancang agar bekerja otomatis, aman, dan andal tanpa intervensi manual. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem bekerja stabil pada skenario discharge maupun charging. Selama discharge, baterai menyuplai daya secara konsisten dengan penurunan tegangan bertahap, menandakan kondisi baterai sehat. Pada proses charging, arus pengisian awal tinggi kemudian menurun bertahap sesuai metode constant voltage (CV), sehingga proses pengisian berlangsung optimal dan aman bagi baterai. Sistem ini dapat menjadi solusi andal untuk menjaga kontinuitas suplai daya pada sistem elektronik berbasis mikrokontroler dan dapat diterapkan pada berbagai perangkat IoT atau sistem monitoring yang memerlukan daya cadangan.

Kata kunci: Baterai Charger Otomatis, Lithium-Ion 18650, BMS, XH-M602, LM2596

ABSTRACT

The automatic battery charger system is an electronic circuit designed to charge batteries automatically while preventing overcharging and over-discharging, which can damage battery cells and reduce their lifespan. This study aims to design, implement, and evaluate the performance of an automatic battery charger system capable of maintaining a continuous power supply for an ESP32-based monitoring system. The system utilizes Lithium-Ion 18650 batteries as the main power source, equipped with a Battery Management System (BMS) to protect cells from overcharge, over-discharge, and imbalance. The XH-M602 module functions as the main charging controller, disconnecting or reconnecting the load

Article History
Received: Januari 2026
Reviewed: Januari 2026
Published: Januari 2026

Plagiarism Checker No 824
Prefix DOI : Prefix DOI : 10.8734/Kohesi.v1i2.365
Copyright : Author
Publish by : Kohesi

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License

based on predefined voltage thresholds of 11.5 V (lower limit) and 12.4 V (upper limit). The battery output voltage is then regulated by an LM2596 step-down converter to meet the 5 V operating requirements of the monitoring system. The system operates automatically, safely, and efficiently without manual intervention. Experimental results indicate stable operation under both discharge and charging conditions. During discharge, the battery provides power steadily with a gradual voltage decrease, indicating a healthy battery condition. During charging, the current is initially high and gradually decreases as battery voltage rises, reflecting the normal behavior of a constant voltage (CV) charging method. These findings demonstrate that the proposed system is reliable for maintaining uninterrupted power supply in microcontroller-based electronic systems and can be applied to various IoT devices requiring backup power.

***Key words**: Automatic Battery Charger, Lithium-Ion 18650, BMS, XH-M602, LM2596*

1. PENDAHULUAN

Ketersediaan sumber daya listrik yang stabil merupakan faktor penting dalam mendukung kinerja sistem elektronik, terutama sistem monitoring berbasis mikrokontroler yang bekerja secara terus-menerus. Gangguan pasokan listrik dapat menyebabkan sistem berhenti beroperasi, sehingga data penting dapat hilang. Penggunaan baterai sebagai sumber daya cadangan merupakan solusi yang umum dilakukan, namun tanpa sistem pengisian yang baik, baterai rentan mengalami overcharging maupun overdischarging yang dapat menurunkan umur pakai dan performa baterai.

Oleh karena itu, dibutuhkan sistem baterai charger otomatis yang mampu mengatur pengisian dan pemakaian baterai secara aman, andal, dan efisien. Penelitian ini fokus pada pengembangan sistem baterai charger otomatis berbasis modul XH-M602 dan step-down LM2596, menggunakan baterai Lithium-Ion 18650 yang dilengkapi BMS untuk memastikan kontinuitas daya pada sistem monitoring berbasis ESP32. Sistem ini diharapkan mampu menjaga ketersediaan daya secara otomatis tanpa memerlukan intervensi manual.

2. STUDI PUSTAKA

2.1 Sistem Baterai Charger Otomatis

Sistem Baterai Charger Otomatis adalah sebuah rangkaian elektronik yang dirancang bangun untuk mengisi baterai secara otomatis, sekaligus mencegah overcharging (pengisian berlebih) atau over-discharging (pengosongan daya yang berlebihan). Sistem ini menggunakan pengontrol atau modul tertentu untuk mengatur pengisian daya berdasarkan tegangan atau arus yang diukur dari baterai. Sistem ini dirancanng untuk dapat mengalirkan tegangan kepada modul - modul yang ada dan ESP32 supaya tetap bekerja tanpa adanya gangguan.

2.2 Baterai Lithium-Ion 18650

Baterai Lithium-Ion (Li-Ion) terdiri dari elektroda positif (katode) berbahan Litium, elektroda negatif (anode) dari karbon seperti grafit, dan elektrolit dari garam

litium seperti LiPF6, LiAsF6, LiClO4, LiBF4, atau LiCF3SO3. Katode dapat menggunakan berbagai jenis litium, seperti LiCoO2, LiFePO4, atau LiMn2O4.



Gambar 1 Baterai *Lithium-Ion* 18650 (Sumber: https://id.shieldenchannel.com)

Baterai Li-Ion 18650 memiliki bentuk silinder dengan diameter 18 mm dan panjang 65 mm (Khairi dkk., 2018) (Gambar 2.24). Baterai ini dapat disusun secara seri untuk menaikkan tegangan, paralel untuk menaikkan kapasitas/arus, atau kombinasi keduanya untuk meningkatkan tegangan dan arus.

Proses pengisian umumnya menggunakan metode Constant Voltage (CV), Constant Current (CC), atau gabungan CCCV. Tegangan pengisian standar baterai 18650 adalah 4,2 ± 0,005 V, dengan arus pengisian 0,3C–1C (0,3–1 kali kapasitas baterai)

2.2.1 Kapasitas Baterai Lithium-Ion 18650

Perancangan kapasitas baterai dilakukan untuk memastikan pemilihan baterai yang tepat guna dalam menyuplai energi listrik ke beban tertentu selama waktu yang telah ditentukan hingga dapat diisi kembali oleh power supply. Perancangan baterai bertujuan untuk mengetahui total daya yang dipergunakan oleh beban pada sistem monitor. Sebelum menentukan kapasitas baterai yang digunakan, rincian kebutuhan daya dari setiap komponen pada sistem harus diketahui. Untuk dapat mengetahui rincian daya, kita harus mengetahui daya suatu komponen lewat spesifikasi produsennya. Jika informasi spesifikasi tidak tersedia, daya suatu komponen dapat dihitung menggunakan rumus daya, yaitu :

$$P = V. I \qquad (2.5)$$

Dengan:

P : Daya (W)

V : Tegangan kerja komponen (V) I : Arus kerja komponen (A)

Setelah mendapatkan spesifikasi daya dari setiap komponen, langkah berikutnya adalah menghitung energi yang digunakan oleh masing-masing komponen selama waktu operasionalnya. Hal ini dilakukan dengan mengalikan daya setiap komponen dengan waktu operasionalnya, sehingga didapatkan energi yang dikonsumsi per jam. Rumusnya adalah sebagai berikut :

$$\text{Energi Komponen/hari} = N \times P \times t \qquad (2.6)$$

Dengan:

N : Jumlah Komponen

P : Spesifikasi Daya Komponen

t : Waktu Operasional Komponen

Setelah mendapatkan nilai total penggunaan daya pada komponen sistem monitoring dan perangkat pendukung, faktor 20% perlu ditambahkan ke dalam pembebanan sebagai pengganti rugi-rugi sistem dan untuk faktor keamanan melalui rumus sebagai berikut:

$$\textbf{Rugi – Rugi Sistem} = \textbf{Energi Harian (kWh)} \times \mathbf{20}\ \% \quad (2.7)$$

Setelah menambahkan faktor 20% kedalam pembebanan, maka dapat dilakukan perhitungan kapasitas baterai melalui rumus sebagai berikut :

$$c = \frac{Ed}{Vs \times DOD} \qquad (2.8)$$

Dengan:

C : Kapasitas Baterai (Ampere - hour)

Ed : Konsumsi Energi Harian (kWh)

Vs : Tegangan Baterai (Volt)

DOD : Kedalaman maksimum untuk pengosongan baterai

2.2.2 Battery Management System (BMS)

Battery Management System (BMS) adalah komponen elektronik yang mengelola pengisian dan pemakaian sel baterai, terutama jenis Lithium (Li-Ion, Li-Po, LiFePO4), serta menyediakan proteksi agar baterai tetap aman dan tahan lama. BMS berperan penting dalam pemantauan baterai, menjaga kinerja optimal, dan mencegah kerusakan sel akibat pengisian tidak merata.

Salah satu fungsi utama BMS adalah balancing, yaitu memastikan semua sel baterai terisi penuh secara bersamaan. Proses ini dibantu oleh resistor dan transistor (Hilal dkk., 2023). Pengisian baterai dilakukan dari tegangan cut-off rendah hingga tegangan cut-off tinggi sesuai kapasitas baterai dan pengaturan charger, dengan waktu pengisian dapat dihitung menggunakan rumus :

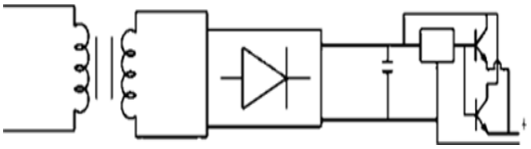
$$h = \frac{Ah\ (Baterai)}{A\ (charger)} \qquad (2.9)$$

Dengan:

H : Lama waktu pengisian baterai
Ah : Total kapasitas baterai
A : Arus pengisian baterai

2.2.3 Power Supply

Power Supply atau catu daya merupakan suatu rangkaian elektronik yang berfungsi sebagai pengubah arus AC (bolak-balik) menjadi DC (arus listrik searah). Rangkaian Power Supply yang di buat terdiri dari transformator, penyearah, kapasitor filter, IC regulator 7812, dan transistor TIP3055 untuk meningkatkan arus . Blok diagram dari Power Supply dapat dilihat pada Gambar 2



Gambar 2 Blok Diagram Power Supply
(Sumber : Muhammad dkk., 2021)

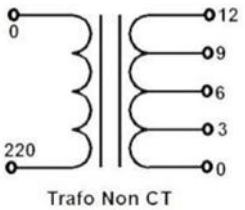
Power supply yang dirancang terdiri dari lima bagian: transformator, penyearah (rectifier), penyaring kapasitor (filter capacitor), regulator (IC 7812), dan penguat arus (transistor). Transformator memiliki kumparan primer dan sekunder, di mana tegangan pada primer diinduksikan ke sekunder melalui inti trafo, dengan besar tegangan bergantung pada jumlah lilitan masing-masing kumparan. Penentuan jumlah lilitan primer dan sekunder dapat dihitung menggunakan rumus :

$$V_2 = \frac{N1}{N2} \times V_1 \qquad (2.10)$$

Dengan:

V2 : Tegangan sekunder (V)
V1 : Tegangan primer (V)
N2 : Jumlah lilitan sekunder
N1 : Jumlah lilitan primer

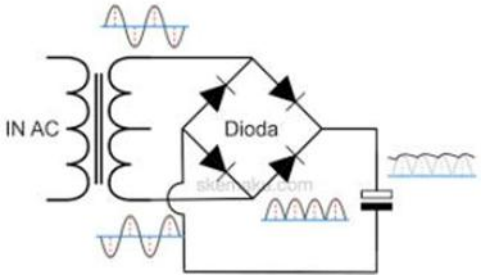
Transformator yang digunakan pada Power Supply berupa transformator yang fungsinya sebagai penurun tegangan dari 220 V ke 9 V, 12 V, 15 V, 18 V dan 25 V seperti Gambar 3



Gambar 3 Skematik Trafo Step Down
(Sumber: Muhammad dkk., 2021)

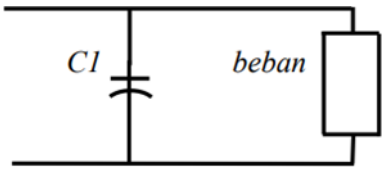
Rangkaian penyearah (rectifier) berfungsi sebagai pengubah tegangan bolak-balik (AC) menjadi tegangan searah (DC). Rangkaian ini menggunakan kompone

semikonduktor berupa diode sebagai penyearah. Diode dirangkai menjadi penyearah gelombang penuh yang umum dikenal diode bridge seperti Gambar 4



Gambar 4 Rangkaian Diode Bridge
(Sumber: Muhammad dkk., 2021)

Bagian selanjutnya adalah filter kapasitor. Bagian ini terdiri dari kapasitor sebagai penyaring tegangan DC. Kapasitor berfungsi untuk mengurangi denyut tegangan keluaran dari rangkaian diode bridge. Rangkaian filter kapasitor disajikan pada Gambar 5.



Gambar 5. Filter Tegangan Dengan Kapasitor
(Sumber: Muhammad dkk., 2021)

Power Supply ini dirancang bangun untuk menghasilkan tegangan 12 VDC dan arus yang dapat diatur, sehingga rangkaian berikutnya menggunakan IC regulator 7812 dan transistor TIP 3055.

2.3 Modul XH-M602

XH-M602 adalah modul pengontrol pengisian baterai digital yang menghubungkan dan memutus arus dari charger ke baterai secara otomatis sesuai pengaturan (Mahardi & Shodiqin, 2021). Modul ini memiliki terminal input untuk tegangan AC 220 V dan terminal output untuk baterai. Bentuk fisiknya dapat dilihat pada Gambar.



Gambar 6 Modul XH-M602
(Sumber: www.makerselectronics.com)

Fitur utama XH-M602 meliputi:

1. Kontrol Pengisian Otomatis: Modul ini secara otomatis memutus aliran listrik saat baterai mencapai tingkat pengisian yang ditentukan, mencegah overcharging dan memperpanjang umur baterai.
2. Pengaturan Parameter yang Mudah: Pengguna dapat mengatur batas tegangan atas dan bawah sesuai dengan kebutuhan spesifik baterai yang digunakan.
3. Layar Digital: Dilengkapi dengan layar yang menampilkan status pengisian dan parameter yang telah diatur, memudahkan pemantauan proses pengisian.

Modul ini kompatibel dengan berbagai jenis baterai, termasuk baterai lithium dan timbal-asam, menjadikannya pilihan yang serbaguna untuk berbagai aplikasi pengisian daya.

2.3.1 Step-down IC LM2596 DC-DC

Modul step-down ini menggunakan IC LM2596, sebuah sirkuit terpadu untuk konverter DC-DC dengan rating arus 3 A. Terdapat versi adjustable, seperti yang digunakan pada modul ini, dan versi fixed voltage. Keunggulan LM2596 adalah tegangan output tetap stabil meski tegangan input berubah. Modul ini menurunkan tegangan baterai Lithium-Ion 12 V menjadi 5 V agar sesuai dengan tegangan operasi modul dan ESP32 . Bentuk fisiknya dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7 Step-down IC LM2596 DC-DC
(Sumber: Sirmayanti, 2021)

Spesifikasi Step-down LM2596 sebagai berikut:

1. Input Voltage: > 40 V
2. Output Voltage: DC 1,23 V - 37 V (tegangan output harus lebih rendah dengan selisih minimal 1.5 V)
3. Arus maks: 3 A
4. Ukuran Board: 42 mm x 20 mm x 14 mm

3. METODE PENELITIAN

3.1 Komponen Pada Sistem Baterai Charger Otomatis

1. Baterai Lithium-Ion 18650
2. Power Supply
3. Modul XH-M602
5. Step-down
6. BMS S3

3.2 Rencana Pengujian Baterai Charger Otomatis

3.2.1 Proses Discharge Baterai

Pengujian discharge bertujuan untuk mengetahui berapa lama baterai dapat menyuplai tegangan ke ESP32, modul sensor, LCD, DC/DC converter, dan detektor AC. Proses dilakukan hingga tegangan baterai mencapai batas bawah 11,5 V.

3.2.2 Proses Charging Baterai dengan Beban

Pengujian charging bertujuan untuk mengetahui waktu pengisian baterai dari batas bawah 11,5 V hingga batas atas 12,4 V, dengan baterai tetap menyuplai beban yang sama. Proses berlangsung hingga tegangan baterai mencapai 12,4 V.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Realisasi Sistem Baterai Charger Otomatis

Sistem baterai charger otomatis bertujuan untuk menjaga ketersediaan daya untuk sistem monitoring yang isinya ESP32, Modul Sensor ACS712, Modul Sensor ZMPT101B, LCD I2C 20 x 4, Modul Sensor PZEM-004T dan Sensor Detektor AC secara berkelanjutan. Sistem baterai charger otomatis ini dilengkapi dengan beberapa modul seperti BMS (Battery Management System), modul XH-M602, step-down dan power supply seperti pada Gambar 8.



Gambar 8 Realisasi Sistem Baterai Charger Otomatis

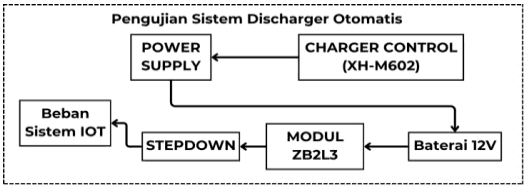
Pada Gambar 8, Modul XH-M602 berperan sebagai pengendali utama dalam proses pengisian dan perlindungan baterai 12 V. Modul ini bekerja dengan prinsip memutus atau menyambung sumber daya berdasarkan batas tegangan yang telah ditentukan, yaitu 11,5 V sebagai batas bawah untuk mencegah overdischarge dan 12,4 V sebagai batas atas untuk mencegah overcharge. Tegangan AC 220 V dari jaringan listrik diturunkan menjadi 12 VDC melalui adaptor sebelum masuk ke XH-M602. Baterai 12 V dilengkapi Battery Management System (BMS) untuk melindungi sel dari kerusakan, menjaga keseimbangan antar sel, dan memastikan kinerja baterai tetap optimal.

Dari sisi output, sistem menggunakan step-down converter untuk menurunkan tegangan dari 12 V menjadi 5 VDC, sehingga dapat menyuplai berbagai perangkat monitoring, termasuk ESP32, modul sensor ACS712 dan ZMPT101B, LCD I2C 20×4, modul sensor PZEM-004T, serta sensor detektor AC. Dengan konfigurasi ini, sistem pengisian

menjadi lebih aman dan andal; baterai tidak terkuras terlalu dalam, tidak terisi berlebihan, dan tetap stabil saat digunakan. Langkah proteksi ganda dari XH-M602 dan BMS memastikan baterai memiliki umur lebih panjang sekaligus menyediakan suplai daya yang konsisten bagi seluruh perangkat yang terhubung.

4.2 Pengujian Hasil Discharger Baterai

Hasil pengujian baterai charger otomatis dilakukan dalam dua tahapan, yaitu pengujian data discharge penggunaan baterai untuk mengetahui berapa lama baterai mampu menyuplai tegangan ke ESP32 dan modul sensor yang ada sampai mencapai batas bawah 11,5V sehingga modul XH-M602 akan menghubungkan arus listrik dari power supply ke baterai. Pengujian discharge menggunakan alat ukur yaitu modul ZB2L3 sebagai alat ukur ampere-hour (Ah), arus (A) dan tegangan (V) pada baterai saat proses discharger. Diagram blok sistem pengujian discharge baterai dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Diagram Blok Pengujian Sistem Discharge

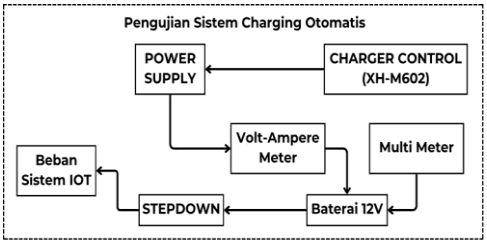
Pengujian discharge baterai dilakukan untuk mengetahui kemampuan baterai dalam menyuplai daya ke beban tetap sebesar 1,5 W, menggunakan modul ZB2L3 sebagai alat ukur. Pengujian berlangsung dari pukul 09.30 hingga 22.00 WITA dengan interval pembacaan data setiap 30 menit. Tegangan awal baterai tercatat 12,50 V dan menurun secara bertahap hingga 11,61 V pada akhir pengujian, menunjukkan proses pelepasan energi kimia normal selama discharge.

Daya yang disuplai sebagian besar waktu tetap stabil pada 1,5 W, sedangkan pada akhir pengujian menurun menjadi 1,2 W, kemungkinan karena tegangan mendekati batas minimum operasional. Arus berkisar antara 0,120 A hingga 0,131 A, cenderung meningkat sedikit seiring penurunan tegangan untuk mempertahankan daya tetap. Kapasitas baterai yang digunakan meningkat dari 0,003 Ah hingga 1,627 Ah, menandakan akumulasi energi yang tersalurkan ke beban.

Hasil ini menunjukkan bahwa baterai mampu menyuplai daya secara kontinu selama sekitar 12,5 jam dengan performa stabil. Penurunan tegangan terjadi secara bertahap tanpa lonjakan signifikan, mengindikasikan proses discharge yang efisien dan kondisi baterai masih baik. Secara keseluruhan, baterai terbukti andal untuk digunakan dalam menyuplai daya ke beban konstan dengan total kapasitas efektif sebesar 1,627 Ah.

4.3 Pengujian Hasil *Charging* Baterai

Pengujian kedua dengan proses charging baterai dengan posisi menggunakan beban ESP32 dan modul sensor yang ada. Proses charging dilakukan sampai baterai mencapai batas atas 12,4 V. sedangkan alat ukur untuk sistem charging menggunakan Volt-Ampere sebagai alat ukur power supply dan Multimeter sebagai alat ukur tegangan pada baterai jadi kedua alat ukur ini bekerja secara bersamaan. Diagram blok sistem pengujian charging baterai dapat dilihat pada Gambar 10.



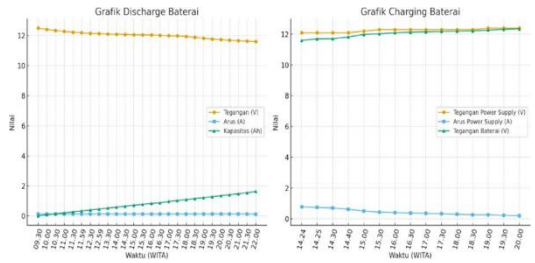
Gambar 10. Diagram Blok Pengujian Sistem Charging

Proses pengisian baterai dilakukan menggunakan power supply dengan tegangan sekitar 12 V, yang tetap stabil sepanjang pengisian, menunjukkan penerapan metode tegangan konstan (Constant Voltage/CV). Selama proses, arus yang diberikan oleh power supply menurun bertahap dari 0,77 A di awal menjadi 0,19 A setelah 30 menit, menandakan baterai mulai terisi dan resistansi internalnya meningkat sehingga arus yang dibutuhkan semakin kecil.

Tegangan baterai meningkat secara progresif dari 11,60 V menjadi 12,35 V dalam periode yang sama, menunjukkan proses pengisian berjalan optimal dan baterai mendekati kondisi penuh. Tren penurunan arus sekaligus kenaikan tegangan ini merupakan karakteristik normal dari pengisian yang efisien dan sehat. Secara keseluruhan, pengisian baterai berlangsung stabil, daya diterima baterai optimal, dan kondisi baterai masih baik.

4.4 Analisis Keseluruhan Hasil Pengujian Sistem Baterai *Charger* Otomatis

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, sistem baterai chager otomatis yang dirancang menunjukkan performa yang stabil dan sesuai dengan parameter yang direncanakan. Pengujian dilakukan dalam 2 tahapan yaitu discharger untuk mengetahui berapa lama waktu penggunaan baterai untuk mencapai tegangan batas bawah baterai di 11,5 V. Sedangkan untuk pengujian charging untuk mengetahui waktu pengisian baterai untuk mencapai batas atas di 12,4 V. Dari hasil pengamatan pengujian pada kedua skenario tersebut dapat disajikan dalam bentuk grafik perbandingan seperti pada Gambar 11.



Gambar 11 Grafik Perbandingan Discharger dan Charging

Berdasarkan hasil pengujian, kinerja baterai dapat dilihat dari proses discharge dan charging yang dilakukan. Pada tahap discharge, baterai diuji mulai pukul 09.30 hingga

22.00 WITA dengan beban konstan sebesar 1,5 W. Tegangan awal baterai tercatat sebesar 12,50 V dan secara perlahan menurun hingga 11,61 V pada akhir pengujian. Penurunan tegangan ini bersifat bertahap dan stabil tanpa adanya lonjakan atau penurunan mendadak, yang menunjukkan bahwa baterai masih berada dalam kondisi sehat. Arus yang tersalur juga relatif konstan, berada pada kisaran 0,120 hingga 0,131 A, sesuai dengan beban konstan yang diberikan. Sementara itu, kapasitas baterai yang digunakan bertambah secara linear dari 0,003 Ah hingga 1,627 Ah selama kurang lebih 12,5 jam. Hal ini menunjukkan bahwa baterai mampu menyuplai energi secara stabil dalam waktu yang cukup panjang tanpa kehilangan performa signifikan.

Proses charging dilakukan pada sore hingga malam hari, yaitu dari pukul 14.24 hingga 20.00 WITA, dengan menggunakan power supply bertegangan 12,1 hingga 12,4 V. Tegangan input dari power supply stabil dan sesuai untuk pengisian baterai 12 V. Pada awal pengisian, arus yang masuk ke baterai cukup besar yaitu 0,77 A, namun secara bertahap menurun hingga 0,19 A pada akhir proses. Pola penurunan arus ini merupakan karakteristik normal dari metode pengisian constant current – constant voltage (CC-CV), di mana arus tinggi diberikan pada awal pengisian lalu berkurang ketika baterai semakin penuh. Tegangan baterai yang semula 11,60 V meningkat secara bertahap hingga mencapai 12,35 V. Kenaikan tegangan ini berlangsung mulus tanpa lonjakan yang berlebihan, menandakan bahwa baterai dapat menerima energi dengan baik dan proses pengisian berlangsung optimal.

Jika dibandingkan antara proses discharge dan charging, terlihat bahwa baterai mampu memberikan kapasitas 1,627 Ah saat digunakan, kemudian dapat kembali menyerap energi dengan baik saat diisi ulang. Arus discharge relatif kecil karena beban yang digunakan juga kecil, sedangkan arus charging lebih besar pada awal pengisian lalu menurun sesuai karakteristik baterai yang mendekati penuh. Pola ini menunjukkan bahwa baterai masih memiliki efisiensi kerja yang baik, dengan resistansi internal yang rendah sehingga tidak ada kehilangan energi yang signifikan dalam bentuk panas.

Secara keseluruhan, hasil pengujian menunjukkan bahwa baterai berada dalam kondisi sehat dan stabil. Pada saat discharge, baterai mampu menyuplai beban kecil dalam durasi panjang dengan tegangan yang turun secara bertahap. Sementara pada saat charging, baterai menunjukkan karakteristik normal dengan kenaikan tegangan dan penurunan arus yang konsisten. Tidak ada indikasi adanya kerusakan pada sel baterai maupun penurunan kualitas yang signifikan. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa baterai masih memiliki performa yang baik, efisiensi tinggi, serta layak untuk digunakan dalam siklus pengisian dan penggunaan energi selanjutnya.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan pengujian yang dilakukan, sistem baterai charger otomatis yang menggunakan baterai Lithium-Ion 18650, modul XH-M602, BMS, dan step-down LM2596 terbukti bekerja secara stabil, aman, dan andal. Selama proses discharge, baterai mampu menyuplai daya ke beban konstan 1,5 W selama sekitar 12,5 jam dengan penurunan tegangan bertahap, arus stabil, dan akumulasi kapasitas mencapai 1,627 Ah, menunjukkan kondisi baterai yang sehat. Pada proses charging, arus pengisian awal tinggi kemudian menurun secara bertahap sesuai metode CC-CV, sementara tegangan baterai meningkat progresif hingga mencapai batas atas 12,4 V, menandakan proses pengisian optimal dan aman bagi baterai.

Secara keseluruhan, sistem ini mampu menjaga kontinuitas daya bagi sistem monitoring berbasis ESP32, memastikan baterai tidak mengalami overcharge maupun overdischarge, serta mempertahankan efisiensi tinggi dengan resistansi internal rendah. Dengan performa stabil dan kemampuan pengisian-discharge yang baik, sistem baterai charger otomatis ini layak diterapkan pada perangkat IoT atau sistem monitoring lain yang memerlukan suplai daya cadangan secara berkesinambungan.

4. DAFTAR PUSTAKA

[1] Darma, S. (2017). Analisa Perkiraan Kemampuan Daya yang Dibutuhkan Untuk Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Jurnal Ampere, 2(1), 39–53.

[2] Hilal, Y. N., Muliandhi, P., & Ardina, E. N. (2023). Analisa Balancing Battery Management System (BMS) pada Pengisian Baterai Lithium-Ion Tipe INR 18650 Dengan Metode Cut-Off. Simetris: Jurnal Teknik Mesin, Elektro dan Ilmu Komputer, 14(2), 367–374. https://doi.org/10.24176/simet.v14i2.9852

[3] Khairi, A., Soeprapto, & Maulana, E. (2018). Perancangan Battery Management System pada Baterai Pak Mobil Listrik Lithium-Ion 18650 Tersusun 20 Seri. Jurnal Teknik Elektro dan Komputer (TEUB), 6(2), 54–61.

[4] Fadilah, Sofiah, & Rikardo, A. (2023). Analisis Kerja Low Voltage Disconnect (LVD) Multisistem Pada Akumulator 12 Volt Pada Panel Surya. Jurnal Surya Energy, 7(2), 54–59. https://doi.org/10.32502/jse.v7i2.5757

[5] Efendi, Y. (2018). Internet of Things (IoT) Sistem Pengendalian Lampu Menggunakan Raspberry Pi Berbasis Mobile. Jurnal Ilmiah Ilmu Komputer, 4(2), 21–27. https://doi.org/10.35329/jiik.v4i2.41

[6] Lazuardi, I. A., Farid, I. W., & Priananda, C. W. (2021). Automatic Transfer Switch Dilengkapi Fitur Monitoring Website Pada On-Grid Solar Home System. Jurnal Teknik ITS, 10(2). https://doi.org/10.12962/j23373539.v10i2.68713

[7] Ibrahim, R. R., & Yulianti, B. (2022). Rancang Bangun Monitoring Pemakaian Arus Listrik PLN Berbasis IoT. Jurnal Teknologi Industri, 11(1), 43–51.

[8] Messenger, R. A. ., & Abtahi, A. (1999). Photovoltaic Systems Engineering. Dalam Photovoltaic Systems Engineering. CRC Press/Taylor & Francis. https://doi.org/10.1201/b12389

[9] Muhammad, U., Mukhlisin, Nuardi, Mansur, A., & Maulana, M. (2021). Rancang Bangun Power Supply Adjustable Current pada Sistem Pendingin Berbasis Termoelektrik. Journal Of Electrical Engginering (Joule), 2(2), 106–110.

[10] Mahardi, R., & Shodiqin, A. (2021). Smart Relay Based Automatic Transfer Switch in Internet Server Room Automatic Transfer Switch Berbasis Smart Relay Pada Ruang Server Internet. JURNAL EDUKASI ELEKTROMATIKA (JEE), 2(1), 42–47.

[11] Jepri, Hendrayudi, S. (2022). Rancang Bangun Sistem Keamanan Kendaraan Sepeda Motor Menggunakan Sidik Jari Berbasis Arduino Uno. Jurnal Informatika dan Komputer (JIK), 13(1), 27–33.