

MONITORING STATE OF CHARGE (SOC) BATERAI LITHIUM ION BERBASIS WEB

WEB-BASED MONITORING OF THE STATE OF CHARGE (SOC) OF LITHIUM-ION BATTERIES

Muhammad Febriyanda Wiryawan¹, Denny Irawan²

Teknik Elektro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Gresik¹

Teknik Elektro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Gresik²

muhammadfebriyandawiryawan@gmail.com¹, den2mas@umg.ac.id²

ABSTRACT

The development of lithium-ion battery-based energy storage technology requires a monitoring system capable of observing battery conditions in real time to maintain battery performance and safety. This study aims to design and implement a web-based State of Charge (SoC) monitoring system using the ESP32 microcontroller. The system was designed using a 4S lithium-ion battery, voltage sensor, ACS758 and ACS712 current sensors, INA219 module, thermistor with MAX6675 module, and a 4S Battery Management System (BMS). The SoC calculation method used Coulomb Counting combined with OCV (Open Circuit Voltage) correction during idle conditions. Voltage, current, temperature, and SoC data were transmitted to a web server via Wi-Fi and displayed on a real-time monitoring dashboard. The test results showed that the system was able to monitor battery parameters properly. Voltage sensor testing produced an average error of 7%, while current sensor testing showed an average error of 1%. The web-based monitoring system successfully displayed battery data stably and in real time through a local network, making it easier to monitor battery conditions remotely.

Keywords: ESP32, Lithium-Ion Battery, Monitoring, State Of Charge, IoT

ABSTRAK

Perkembangan teknologi penyimpanan energi berbasis baterai lithium-ion memerlukan sistem monitoring yang mampu memantau kondisi baterai secara real-time untuk menjaga performa dan keamanan baterai. Penelitian ini bertujuan merancang dan mengimplementasikan sistem monitoring State of Charge (SoC) baterai lithium-ion berbasis web menggunakan mikrokontroler ESP32. Sistem dirancang menggunakan baterai lithium-ion 4S, sensor tegangan, sensor arus ACS758 dan ACS712, sensor INA219, thermistor dengan modul MAX6675, serta Battery Management System (BMS) 4S. Metode perhitungan SoC dilakukan menggunakan metode Coulomb Counting dan koreksi OCV (Open Circuit Voltage) saat kondisi idle. Data tegangan, arus, suhu, dan SoC dikirimkan ke web server melalui koneksi Wi-Fi dan ditampilkan pada dashboard monitoring secara real-time. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu melakukan monitoring parameter baterai dengan baik. Pengujian sensor tegangan menghasilkan rata-rata error sebesar 7%, sedangkan pengujian sensor arus menunjukkan rata-rata error sebesar 1%. Sistem monitoring berbasis web juga berhasil menampilkan data baterai secara stabil dan real-time melalui jaringan lokal sehingga memudahkan proses pemantauan kondisi baterai dari jarak jauh.

Kata Kunci: ESP32, Baterai Lithium-Ion, Monitoring, State of Charge, IoT

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi energi listrik dan sistem penyimpanan energi semakin pesat, khususnya pada pemanfaatan baterai sebagai komponen utama penyimpanan energi dalam pengembangan energi baru dan terbarukan (Rosikin et al. 2025). Baterai *lithium-ion* banyak digunakan pada aplikasi berdaya tinggi seperti kendaraan listrik, sistem penyimpanan energi, dan perangkat elektronik industri karena memiliki densitas energi tinggi, efisiensi pengisian yang baik, serta umur siklus yang panjang.

Namun, penggunaan pada beban besar dapat menyebabkan stres elektrokimia dan termal yang mempercepat degradasi kapasitas, meningkatkan resistansi internal, serta berpotensi menimbulkan overheating maupun thermal runaway jika tidak dikendalikan dengan baik.

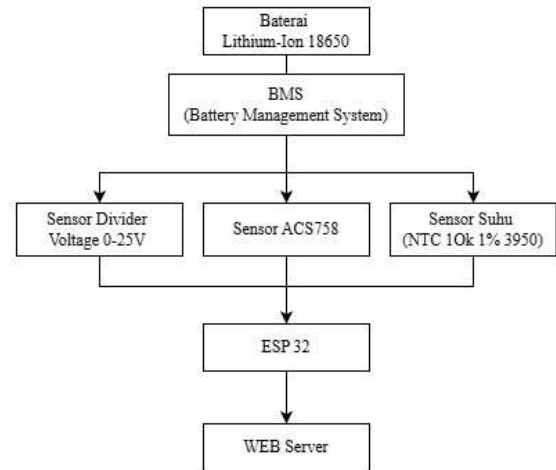
Proses pengisian baterai dilakukan dengan mengalirkan arus DC yang memiliki beda potensial sesuai dengan baterai, sedangkan proses pengosongan terjadi saat baterai dihubungkan dengan beban dalam waktu tertentu (Cahyaning Nur Karimah, Alex Taufiqurrohman Zain,

Dwi Djoko Suranto, Azzamataufiq Budiprasojo 2025). Untuk menjaga performa baterai tetap optimal, diperlukan sistem pemantauan kondisi baterai secara *real-time*, terutama parameter tegangan, arus, suhu, dan *State of Charge* (SoC). SoC menunjukkan tingkat kapasitas energi baterai yang tersisa dalam bentuk persentase (Triwijaya et al. 2025).

Monitoring parameter listrik secara *real-time* sangat penting untuk mengetahui kondisi dan performa sistem energi. Peningkatan parameter input pada sistem energi dapat mempengaruhi perubahan nilai tegangan dan arus yang dihasilkan sehingga diperlukan sistem pemantauan yang akurat dan berkelanjutan. Hal ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa peningkatan energi masukan akan menyebabkan peningkatan tegangan dan arus keluaran sistem energy (Denny Irawan 2023).

Kemajuan teknologi *Internet of Things* (IoT) memungkinkan pemantauan baterai dilakukan dari jarak jauh melalui internet. Data sensor dapat dikirim ke server menggunakan protokol MQTT atau HTTP dan ditampilkan pada *dashboard website* secara *real-time*. MQTT mendukung perangkat IoT karena bekerja pada *low power* dan *bandwidth* kecil (Bhawiyyuga et al. n.d.), serta menggunakan arsitektur *publish/subscribe* yang mampu menangani ribuan *client* hanya dengan satu server (Cosmas Haryawan n.d.). Sistem ini mempermudah analisis performa baterai, memberikan peringatan dini terhadap kondisi abnormal, dan menyediakan data yang akurat untuk evaluasi. Oleh karena itu, penelitian ini mengusulkan perancangan sistem monitoring baterai *lithium-ion* berbasis IoT untuk menganalisis performa baterai pada beban besar dengan tampilan monitoring interaktif berbasis web.

METODE



Gambar 1. Diagram Blok Sistem

Sistem monitoring berbasis ESP32 bekerja dengan menerima data dari beberapa sensor. Sensor pembagi tegangan digunakan untuk mengukur tegangan setiap sel dan tegangan total baterai agar dapat dibaca oleh ADC ESP32. Pengukuran arus dilakukan menggunakan sensor ACS758 dan ACS712 yang bekerja berdasarkan efek Hall untuk mendeteksi arus pengisian dan pengosongan baterai. Sementara itu, pengukuran suhu menggunakan sensor thermistor yang terhubung dengan modul MAX6675 untuk membaca perubahan suhu baterai secara lebih stabil dan akurat. Data dari seluruh sensor kemudian diproses oleh ESP32 untuk sistem monitoring baterai secara *real-time*.

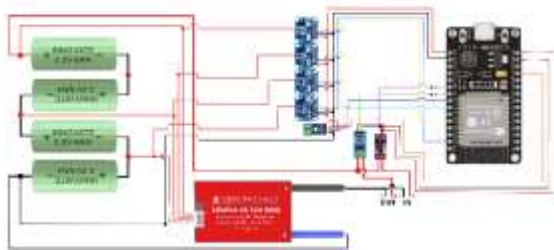
Sensor pembagi tegangan digunakan untuk mengukur tegangan 0–25 VDC agar dapat dibaca ADC ESP32 (Habib Wildan Fahruri, Widi Aribowo, Mahendra Widartono 2021). Sensor arus ACS758 mengukur arus menggunakan efek Hall dengan kemampuan pembacaan arus tinggi (I Kadek Adyana Putra, I Nyoman Satya Kumara 2023), sedangkan sensor suhu thermistor digunakan untuk mendeteksi perubahan suhu baterai berdasarkan perubahan resistansi (Widharma and PUTU 2020). Seluruh data sensor diproses menggunakan ESP32 yang mendukung konektivitas Wi-Fi dan Bluetooth untuk sistem IoT (Yulianda, Sunarno, and Ari 2024).

ESP32 berfungsi sebagai pusat kendali dan pengolah data pada sistem

monitoring dengan mengubah sinyal analog dari sensor menjadi data berupa tegangan, arus, dan suhu. Data tersebut diproses untuk memantau kondisi baterai dan parameter kelistrikan lainnya sebelum dikirim ke Web Server secara *real-time*. Proses pemrograman ESP32 dilakukan menggunakan Arduino IDE yang menggunakan Arduino IDE yang merupakan platform physical computing bersifat open source. Arduino IDE berfungsi sebagai editor untuk menulis program (programming), melakukan kompilasi (compiling) menjadi kode biner, serta melakukan uploading program ke memori mikrokontroler Arduino maupun ESP32 (Denny Irawan, Eka Putra Prastya 2023).

Pada bagian keluaran, Web Server menampilkan informasi hasil pengolahan ESP32 agar dapat diakses secara online melalui komputer maupun perangkat seluler. Dengan demikian, pengguna dapat memantau nilai tegangan, arus, dan suhu secara *real-time* melalui antarmuka *website*.

Perancangan Desain *Hardware*



Gambar 2. Desain *Hardware*

Perancangan perangkat keras untuk sistem pemantauan *State of Charge* (SoC) baterai *lithium-ion* berbasis web ini dibuat untuk mengumpulkan data tegangan, arus, dan suhu secara *real-time*, serta mengirimkan informasi tersebut ke server web menggunakan modul ESP32. Seluruh komponen dirancang agar proses pembacaan data berlangsung stabil, akurat, dan sesuai dengan karakteristik masing-masing sensor.

Untuk memantau kondisi tegangan baterai, sistem menggunakan beberapa modul sensor tegangan yang terhubung pada setiap titik sel baterai dan tegangan total paket baterai 4S. Sensor ini berfungsi membaca tegangan tiap sel maupun tegangan keseluruhan baterai sehingga kondisi baterai dapat dipantau secara menyeluruh.

Pengukuran arus dilakukan menggunakan dua sensor, yaitu ACS758 dan ACS712. Sensor ACS758 digunakan untuk mendeteksi arus utama pada jalur baterai dengan kapasitas arus besar, sedangkan ACS712 digunakan sebagai sensor arus tambahan untuk pembacaan arus dengan skala yang lebih kecil. Kedua sensor menghasilkan sinyal analog yang kemudian diproses oleh ESP32 untuk mengetahui kondisi arus pengisian maupun pengosongan baterai.

Selain itu, sistem juga menggunakan modul INA219 yang berfungsi untuk memonitor tegangan secara digital dengan tingkat akurasi yang lebih baik. Modul ini membantu proses pemantauan daya baterai dan mendukung perhitungan parameter *State of Charge* (SoC).

Untuk memantau suhu baterai, sistem menggunakan sensor thermistor yang terhubung dengan modul MAX6675. Modul MAX6675 berfungsi mengubah data suhu dari sensor menjadi data digital yang dapat dibaca oleh ESP32 dengan lebih stabil dan akurat. Sensor ini digunakan untuk mendeteksi perubahan suhu baterai selama proses pengisian maupun pengosongan sehingga kondisi termal baterai dapat dipantau secara *real-time*.

Sistem baterai dilengkapi dengan BMS 4S (*Battery Management System*) yang berfungsi sebagai sistem proteksi baterai terhadap kondisi *overcharge*, *overdischarge*, arus berlebih, dan hubung singkat. Dengan adanya BMS, keamanan dan kestabilan paket baterai tetap terjaga selama proses pengukuran maupun penggunaan sistem.

Seluruh sensor dan rangkaian diintegrasikan dengan mikrokontroler

ESP32 sebagai pusat pengolahan data. ESP32 membaca data tegangan, arus, dan suhu dari seluruh sensor, kemudian memproses dan mengirimkannya ke server web melalui koneksi Wi-Fi. Dengan demikian, sistem mampu menampilkan kondisi baterai secara *real-time* melalui platform monitoring berbasis web.

Perancangan Desain Software

Perancangan *software* bertujuan untuk mengatur prosedur kerja perangkat lunak, struktur proses, dan metode perhitungan yang diterapkan pada sistem pemantauan *State of Charge* (SoC) baterai *lithium-ion* berbasis ESP32. *Software* ini dirancang untuk membaca parameter kelistrikan seperti tegangan, arus, dan suhu secara *real-time*, melakukan perhitungan SoC, serta mengirim dan menampilkan data melalui server web sehingga kondisi baterai dapat dipantau secara online.

Mulai (Inisialisasi Sistem)

Sistem memulai proses dengan melakukan inisialisasi perangkat keras dan perangkat lunak, meliputi konfigurasi ESP32, koneksi Wi-Fi, inisialisasi sensor, buffer data, serta variabel perhitungan *State of Charge* (SoC).

Pembacaan Data Sensor

Pada tahap ini ESP32 membaca seluruh parameter baterai, yaitu:

1. Tegangan setiap sel dan tegangan total baterai menggunakan sensor tegangan.
2. Arus baterai menggunakan sensor ACS758, ACS712, dan INA219.
3. Suhu baterai menggunakan thermistor yang terhubung dengan modul MAX6675.

Data yang diperoleh masih berupa data mentah dari sensor, kemudian dikonversi menjadi nilai listrik seperti Volt, Ampere, dan °C.

Perhitungan *State of Charge* (SoC)

Perhitungan SoC dilakukan menggunakan metode berikut:

1. Coulomb Counting

SoC dihitung berdasarkan integrasi arus terhadap waktu:

$$SOC = SOC_{sebelumnya} + \frac{I \cdot \Delta t}{Q_{rated}}$$

2. Koreksi OCV saat Idle

Ketika arus mendekati nol atau baterai dalam kondisi *idle*, nilai SoC dikoreksi menggunakan metode hubungan OCV-SOC untuk meningkatkan akurasi pembacaan. Tahap ini menjaga estimasi SoC tetap stabil meskipun terjadi perubahan beban.

Perhitungan Kapasitas Terpakai (ΔQ)

Setelah nilai SoC diperbarui, sistem menghitung kapasitas baterai yang telah digunakan dengan rumus:

$$\Delta Q = \sum I \cdot \Delta t$$

Nilai ΔQ dicatat secara kumulatif selama proses pengukuran berlangsung.

Estimasi Kapasitas Penuh Baterai (Q_{full})

Saat terjadi penurunan SoC yang signifikan, sistem melakukan estimasi kapasitas penuh baterai menggunakan persamaan:

$$Q_{full} = \frac{\Delta Q}{\Delta SOC}$$

Nilai Q_{full} digunakan sebagai acuan untuk mengetahui kondisi kapasitas baterai.

Perhitungan *State of Health* (SoH)

Perhitungan *State of Health* dilakukan menggunakan pendekatan kapasitas baterai:

$$SOH = \frac{Q_{full}}{Q_{rated}} \times 100\%$$

Nilai SoH menunjukkan tingkat kesehatan baterai dibandingkan kapasitas nominal pabrikan (Q_{rated}).

Pengiriman Data ke Web Server

Nilai SoC, tegangan, arus, dan suhu dikirim secara berkala ke web server berbasis HTTP dalam format JSON sehingga dapat diakses melalui jaringan lokal maupun internet.

Menampilkan Data Secara *Real-Time*

ESP32 menjalankan web server yang menampilkan data SoC, tegangan, arus, dan suhu secara *real-time*. Halaman web akan diperbarui secara berkala sehingga pengguna dapat memantau kondisi baterai secara langsung melalui perangkat komputer maupun smartphone.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini berhasil merancang dan mengimplementasikan sistem monitoring *State of Charge* (SoC) baterai *lithium-ion* berbasis web menggunakan mikrokontroler ESP32. Sistem terdiri dari baterai *lithium-ion* 4S, sensor tegangan, sensor arus ACS758 dan ACS712, sensor INA219, sensor suhu berbasis thermistor dengan modul MAX6675, serta *Battery Management System* (BMS) 4S sebagai sistem proteksi baterai.

ESP32 digunakan sebagai pusat pengolahan data yang membaca parameter tegangan, arus, dan suhu baterai, kemudian mengirimkan data ke web server melalui koneksi Wi-Fi. Sistem monitoring yang dibuat mampu menampilkan data baterai secara *real-time* melalui *dashboard website* sehingga memudahkan pengguna dalam melakukan pengawasan kondisi baterai.

Hasil implementasi perangkat keras menunjukkan bahwa seluruh sensor dapat bekerja dengan baik dan mampu membaca parameter kelistrikan sesuai fungsi masing-masing. Sistem monitoring berhasil membaca parameter tegangan, arus, suhu, dan SoC baterai secara *real-time*. ESP32 digunakan sebagai pusat pengolahan data karena memiliki fitur Wi-Fi terintegrasi yang mendukung sistem IoT (Yulianda et al. 2024). Proses pengiriman data menuju web server menggunakan komunikasi berbasis HTTP dan MQTT (Bhawiyuga et al. n.d.).

Pengujian Koneksi ESP32

Pengujian komunikasi dilakukan untuk mengetahui kemampuan ESP32

dalam mengirim data ke web server secara *real-time*.

Tabel 1. Pengujian Koneksi Esp32

No	Pengujian	Hasil yang Diharapkan	Hasil Pengujian
1	Komunikasi serial ESP32	Data tampil pada serial monitor	Berhasil
2	Koneksi ESP32 ke Wi-Fi	ESP32 terhubung ke jaringan Wi-Fi	Berhasil
3	Pengiriman data ke web server	Data tampil pada <i>dashboard</i> web	Berhasil
4	Pengujian reconnect jaringan	Sistem reconnect otomatis saat jaringan kembali	Berhasil
5	Pengiriman data berulang	Tidak terjadi kegagalan pengiriman data	Berhasil
6	Pengujian tampilan <i>dashboard</i>	Data tampil secara <i>real-time</i>	Berhasil

Berdasarkan Tabel 4.1 ESP32 berhasil terhubung dengan jaringan Wi-Fi dan mampu mengirimkan data sensor ke halaman web tanpa gangguan komunikasi yang signifikan.

Pada saat koneksi internet melemah, sistem masih mampu melakukan proses reconnect secara otomatis sehingga pengiriman data dapat kembali berjalan normal. Pengiriman data secara berulang juga menunjukkan hasil stabil tanpa adanya kehilangan data yang berarti.

Hasil pengujian ini menunjukkan bahwa sistem monitoring berbasis ESP32 dan web server mampu bekerja dengan baik sebagai media pemantauan baterai secara jarak jauh.

Pengujian Sensor Tegangan

Pengujian sensor tegangan dilakukan untuk mengetahui kemampuan sensor dalam membaca tegangan setiap sel baterai dan tegangan total baterai 4S. Pengukuran dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan sensor terhadap alat ukur multimeter digital.



Gambar 3. Pengujian Sensor Tegangan

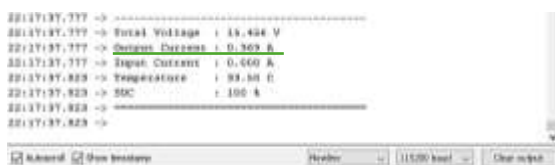
Tabel 2. Pengujian Sensor Tegangan

No	Sel Baterai	Multimeter (V)	Sensor (V)	Error (%)
1	V1	3.890	3.876	5.36
2	V2	3.868	3.864	6.10
3	V3	3.864	3.860	8.45
4	V4	3.860	3.856	9.20
5	Total Baterai	15.470	15.456	5.85
Rata-rata Error				7%

Berdasarkan Tabel 2, sensor tegangan mampu membaca tegangan setiap sel dan tegangan total baterai dengan hasil yang mendekati pengukuran multimeter. Nilai error pada setiap pengukuran terlihat fluktuatif akibat pengaruh noise pembacaan ADC dan perubahan kondisi baterai saat pengujian berlangsung. Namun, rata-rata error keseluruhan sebesar 7%, sehingga sensor masih layak digunakan untuk monitoring tegangan baterai secara *real-time*.

Pengujian Sensor Arus

Pengujian sensor arus dilakukan menggunakan sensor ACS758 dan ACS712 untuk mengetahui kemampuan sistem dalam membaca arus pengisian maupun pengosongan baterai.

**Gambar 4. Pengujian Sensor Arus****Gambar 5. Tampilan Serial Monitor**

Berdasarkan gambar 4&5, sensor arus mampu membaca arus baterai pada berbagai variasi beban kecil dengan hasil yang mendekati pengukuran clamp meter. Sensor ACS758 digunakan untuk

pembacaan arus masuk, sedangkan ACS712 digunakan sebagai pembanding pembacaan arus keluar. Beban yang digunakan merupakan fan dc 0.3A, nilai yang terbaca pada sensor yaitu 0.369A. nilai error pembacaan terlihat fluktuatif akibat sensitivitas sensor dan noise ADC, namun rata-rata error sebesar 1% menunjukkan bahwa kedua sensor masih layak digunakan untuk monitoring arus baterai secara *real-time*. Hasil pengujian sensor tegangan menunjukkan bahwa sensor mampu membaca tegangan setiap sel baterai dengan baik menggunakan metode pembagi tegangan (Habib Wildan Fahruri, Widi Aribowo, Mahendra Widartono 2021). Pengujian sensor arus ACS758 dan ACS712 menunjukkan bahwa sensor Hall Effect mampu membaca arus baterai secara stabil pada beban kecil (I Kadek Adyana Putra, I Nyoman Satya Kumara 2023).

Hasil Perhitungan State of Charge (SoC)

Perhitungan *State of Charge* (SoC) dilakukan menggunakan metode *Coulomb Counting* berdasarkan hasil pembacaan arus terhadap waktu. Sistem menghitung kapasitas baterai yang digunakan secara terus-menerus selama proses pengujian berlangsung. Selain itu, metode OCV (*Open Circuit Voltage*) digunakan sebagai koreksi saat kondisi baterai berada pada keadaan idle untuk meningkatkan akurasi pembacaan SoC.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai SoC mengalami penurunan secara bertahap seiring bertambahnya waktu penggunaan baterai dan besarnya arus beban yang digunakan. Semakin besar arus yang mengalir pada baterai, maka penurunan nilai SoC terjadi lebih cepat. Data hasil monitoring SoC ditampilkan secara *real-time* melalui *dashboard* web sehingga pengguna dapat memantau kondisi kapasitas baterai secara langsung.

Tabel 3. Pengujian State of Charge (SoC)

Tegangan Total (V)	Arus (A)	Suhu (°C)	SoC (%)
15.46	0.11	33.5	100

15.32	0.22	34.1	95
15.18	0.34	34.6	89
15.02	0.45	34.9	82
14.87	0.56	35.4	75

Berdasarkan Tabel 3, nilai SoC baterai mengalami penurunan seiring bertambahnya waktu penggunaan dan meningkatnya arus beban. Tegangan total baterai juga mengalami penurunan dari 15.46 V menjadi 14.87 V, sedangkan suhu baterai meningkat akibat proses pengosongan baterai. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu melakukan monitoring SoC secara *real-time* dan menampilkan perubahan kondisi baterai dengan baik. Sensor suhu thermistor juga berhasil membaca perubahan suhu baterai selama proses pengosongan baterai (Widharma and PUTU 2020).

Tampilan Monitoring Berbasis Web

Sistem monitoring berbasis web berhasil menampilkan informasi kondisi baterai *lithium-ion* secara *real-time*. Data yang ditampilkan meliputi tegangan setiap sel baterai, tegangan total, arus, suhu, serta nilai *State of Charge* (SoC). Seluruh data diperoleh dari hasil pembacaan sensor yang diproses oleh ESP32 dan dikirimkan ke web server melalui koneksi Wi-Fi.



Gambar 6. Tampilan Website

Pada tampilan dashboard monitoring baterai, nilai *State of Charge* (SoC) ditampilkan dalam bentuk persentase dan progress bar sehingga pengguna dapat mengetahui kapasitas baterai secara visual dan lebih mudah dipahami. Dashboard juga menampilkan parameter setiap sel baterai (Cell 1–Cell 4), tegangan total baterai, arus masuk, arus keluar, serta suhu baterai dalam bentuk indikator digital secara *real-time*. Dengan adanya tampilan tersebut,

kondisi baterai *lithium-ion* dapat dipantau secara lebih akurat dan informatif. Selain monitoring secara langsung, sistem web dilengkapi fitur riwayat data monitoring yang menyimpan hasil pengukuran berdasarkan waktu pengambilan data. Pada menu tersebut, pengguna dapat melakukan filter data berdasarkan rentang tanggal tertentu untuk mempermudah proses pencarian data monitoring. Sistem juga menyediakan fitur export Excel sehingga data hasil pengukuran dapat disimpan dan digunakan untuk kebutuhan dokumentasi maupun analisis lebih lanjut.

Berdasarkan hasil pengujian, dashboard monitoring berhasil diakses menggunakan komputer maupun smartphone melalui jaringan lokal dengan proses pembaruan data yang berjalan stabil dan *real-time*. Tampilan website mampu menampilkan seluruh parameter baterai secara responsif, mulai dari tegangan tiap sel, tegangan total, arus, suhu, hingga nilai SoC. Hal ini menunjukkan bahwa sistem monitoring berbasis web yang dirancang mampu memberikan kemudahan dalam pemantauan kondisi baterai *lithium-ion* secara jarak jauh dan berkelanjutan. Pengembangan tampilan dashboard dilakukan menggunakan Visual Studio Code (Firnando et al. 2023), sedangkan sistem web server digunakan untuk menampilkan dan menyimpan data monitoring baterai (Sesanti and Rahmanto 2025).

SIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian sistem monitoring *State of Charge* (SoC) baterai *lithium-ion* berbasis web yang telah dilakukan, maka dapat diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Sistem monitoring baterai berbasis ESP32 berhasil dirancang dan diimplementasikan untuk memantau parameter tegangan, arus, suhu, dan *State of Charge* (SoC) baterai *lithium-ion* secara *real-time*.

2. Sensor tegangan mampu membaca tegangan setiap sel dan tegangan total baterai dengan rata-rata error sebesar 7%, sehingga masih layak digunakan untuk proses monitoring baterai.
3. Sensor arus ACS758 dan ACS712 mampu melakukan pembacaan arus pengisian maupun pengosongan baterai dengan rata-rata error sebesar 1%, sehingga hasil pembacaan arus tergolong cukup stabil.
4. Metode Coulomb Counting dan koreksi OCV (*Open Circuit Voltage*) berhasil diterapkan untuk menghitung nilai SoC baterai berdasarkan kondisi penggunaan baterai secara bertahap.
5. Sistem monitoring berbasis web berhasil menampilkan data tegangan, arus, suhu, dan SoC secara stabil melalui jaringan Wi-Fi sehingga dapat diakses menggunakan komputer maupun smartphone secara jarak jauh.

DAFTAR PUSTAKA

- Bhawiyuga, Adhitya, Achmad Basuki, Program Studi, Teknik Informatika, Fakultas Ilmu Komputer, and Universitas Brawijaya. n.d. "Rancang Bangun IOT Cloud Platform Berbasis Protokol Komunikasi MQTT." *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi Dan Ilmu Komputer* 2(2):479–85.
- Cahyaning Nur Karimah, Alex Taufiqurrohman Zain, Dwi Djoko Suranto, Azzamataufiq Budiprasojo, Abdul Malik. 2025. "Pengembangan Rancangan Monitoring Tegangan Dan Suhu Baterai Rakitan Lithium Ion 18650 Dengan Metode ADDIE." *J-Proteksion: Jurnal Kajian Ilmiah Dan Teknologi Teknik Mesin* 9(2):88–93. doi: 10.32528/jp.v9i2.2687.
- Cosmas Haryawan, Aloysius Agus S. n.d. "ANALISIS DAN PERANCANGAN SISTEM INFORMASI PEMBAYARAN BIAYA STUDI MAHASISWA DI STMIK AKAKOM YOGYAKARTA MENGGUNAKAN PIECES FRAMEWORK." in *Peluang Riset dan Inovasi Bisnis Menggunakan Internet of Things*.
- Denny Irawan, Eka Putra Prastya, Alief Hidayah. 2023. "KOORDINASI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA (PLTS) BERBASIS ALGORITMA MULTIPLE SEQUENCE ALIGNMENT (MSA)." *Multitek Indonesia: Jurnal Ilmiah* 17(1):17–26.
- Denny Irawan, Zizin Anggun Kinanti. 2023. "Performance Analysis of Wind Turbine." *KONTRIBUSIA* 6(1).
- Firnando, Januar, Billy Franko, Surya Pratama Tanzil, Nicholas Wilyanto, Christianto Tan, and Ery Hartati M. Kom. 2023. "Pembuatan Website Menggunakan Visual Studio Code Di SMA Xaverius 3 Palembang." *JURNAL PENGABDIAN KEPADA MASYARAKAT FORDICATE (INFORMATICS ENGINEERING DEDICATION)* 3(1):1–8.
- Habib Wildan Fahruri, Widi Aribowo, Mahendra Widyartono, Aditya Chandra Hermawan. 2021. "Monitoring Arus , Tegangan , Dan Suhu Pada Prototype Thermoelectric Generator Berbasis IoT." *Jurnal Teknik Elektro* 10(1):137–44.
- I Kadek Adyana Putra, I Nyoman Satya Kumara, I. G. A. Putu Raka Agung. 2023. "RANCANG BANGUN SISTEM MONITORING TEGANGAN, ARUS, DAN KECEPATAN MOBIL LISTRIK AGNIJAYA WEIMANA." *Jurnal SPEKTRUM* 10(4):205–15.
- Rosikin, Fahrul, Hilmi Zainul Rizka, Muhammad Alfaridzi Rusdiansyah, Ryan Afrianto, Devan Andriansyah, Irsyad Al Fatah, and Eka Cahya Muliawati. 2025. "Literature Review Dan Perbandingan Baterai Lithium-Ion , Nikel-Kadmium , LiFePO4 , Dan Perak Oksida Di Indonesia Menganalisis Karakteristik Dan

- Potensi Pengembangan . Data Yang Digunakan Dalam Penelitian.” *JURNAL TECNOSCIENZA* 9(2).
- Sesanti, Ani, and Yuri Rahmanto. 2025. “Design of a Gas Leak Detection System Based on IoT and Web Server.” *MALCOM: Indonesian Journal of Machine Learning and Computer Science* 5(April):550–57.
- Triwijaya, Santi, Andri Pradipta, Yuli Prasetyo, Trisna Wati, Politeknik Perkeretaapian, Indonesia Madiun, and Politeknik Negeri Madiun. 2025. “Comparison OCV , CC and Integration OCV-CC Method for Estimated SOC Battery for RTU System.” *Jurnal Perkeretaapian Indonesia (Indonesian Railway Journal)* 9(1):2550–1127.
- Widharma, I. Gede Suputra, and PUTU. 2020. *SENSOR SUHU DALAM TELEMETRI BERBASIS IoT SISTEM KENDALI ANALOG*.
- Yulianda, Friko, Epyk Sunarno, and Mochamad Ari. 2024. “Battery Management System Dengan Fitur Adaptive Current Protection Terhadap Suhu.” *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika* 12(2):2459–9638.