



DOI: <https://doi.org/10.38035/jim.v4i3>
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Pengembangan Sistem Monitoring Baterai UPS Persinyalan Kereta Sebagai Simulasi Berbasis *Web*

Afrizal Arief Trianto Asnan¹, Ajeng Mayang Kurniaviep Sugeng²

¹Universitas Widyatama, Jawa Barat, Indonesia, afrizal.ariief@widyatama.ac.id

²Universitas Widyatama, Jawa Barat, Indonesia, ajeng.mayang@widyatama.ac.id

Corresponding Author: afrizal.ariief@widyatama.ac.id¹

Abstract: *The reliability of railway signaling systems highly depends on the continuous power supply provided by the UPS system. Undetected battery degradation may lead to serious operational failures. This study aims to develop a web-based battery monitoring system as a simulation for railway signaling UPS. The system utilizes an ESP32 microcontroller, INA219 and ACS712 sensors for voltage and current monitoring, and a combined method of Coulomb Counting and Open Circuit Voltage (OCV) to calculate the State of Charge (SOC) and State of Health (SOH). Data is transmitted to Firebase and displayed in real-time through a web interface. The testing involved two batteries (new and old) to observe SOC and SOH performance. The INA219 and ACS712 sensors demonstrated high accuracy, at 99.96% and 99.95% respectively. The new battery's SOC dropped from 100% to 0% within 189 minutes, while the old battery reached 0% in 185 minutes, with a steeper decline. The system successfully displayed accurate battery parameters and highlighted performance differences between the new battery (SOH 100%) and the old battery (SOH 91%). The web interface performed stably in presenting real-time and historical data. This system has the potential to serve as a preventive monitoring solution to ensure UPS reliability in railway signaling systems.*

Keyword: *UPS, SOC, SOH, Web Interface, Train Signaling.*

Abstrak: Keandalan sistem persinyalan kereta sangat bergantung pada kontinuitas pasokan daya dari sistem UPS. Baterai yang mengalami degradasi tanpa terdeteksi dapat menyebabkan gangguan serius. Penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem monitoring baterai UPS berbasis web sebagai simulasi untuk sistem persinyalan kereta. Sistem dibangun menggunakan mikrokontroler ESP32, sensor INA219 dan ACS712 untuk memantau tegangan dan arus, serta metode gabungan *Coulomb Counting* dan *Open Circuit Voltage* untuk menghitung SOC (*State of Charge*) dan SOH (*State of Health*). Data dikirimkan ke *Firebase* dan ditampilkan secara *real-time* melalui antarmuka *web*. Pengujian dilakukan terhadap dua baterai (baru dan lama) untuk mengamati performa SOC dan SOH. Hasil menunjukkan bahwa sensor INA219 dan ACS712 memiliki akurasi tinggi, masing-masing 99,96% dan 99,95%. SOC baterai baru mengalami penurunan dari 100% menjadi 0% dalam 189 menit, sedangkan baterai lama turun dari 100% menjadi 0% dalam 185 menit, dengan profil penurunan yang lebih curam. Sistem berhasil menampilkan parameter baterai secara akurat, serta menunjukkan perbedaan kinerja antara baterai baru (SOH 100%) dan lama (SOH 91%). Antarmuka *web* juga bekerja stabil

dalam menampilkan data *real-time* dan histori. Sistem ini berpotensi menjadi solusi monitoring preventif untuk memastikan keandalan UPS dalam sistem persinyalan kereta.

Kata Kunci: UPS, SOC, SOH, Antarmuka Web, Persinyalan Kereta.

PENDAHULUAN

Persinyalan kereta api adalah sistem yang menggunakan bentuk, warna, atau cahaya sebagai isyarat bagi masinis untuk memberikan instruksi terkait perjalanan kereta agar tetap aman dengan *interlocking* sebagai pengendalinya (Pradana et al., 2021). Keandalan sistem persinyalan sangat bergantung pada ketersediaan pasokan listrik yang stabil dan berkelanjutan. Gangguan daya listrik dapat menyebabkan kegagalan sinyal, yang berpotensi mengakibatkan keterlambatan perjalanan, gangguan operasional, bahkan kecelakaan di jalur rel (Wibawanto et al., 2022). Untuk memastikan kelancaran suplai listrik yang tersedia, perawatan baterai perlu dilakukan secara rutin. Pemeliharaan preventif menjadi langkah penting untuk memastikan baterai *Uninterruptible Power Supply* (UPS) tetap berfungsi dengan optimal (Fath et al., 2023), dimana UPS mampu menyaring berbagai jenis gangguan dalam sistem kelistrikan, sehingga menghasilkan pasokan daya yang lebih stabil dan berkualitas (Huzair & Syahrial, 2023).

Meskipun pemeliharaan preventif dapat memperpanjang usia baterai, namun dalam praktiknya umur aktual baterai UPS pada beberapa operator perkeretaapian di Indonesia terjadi ketidaksesuaian dengan spesifikasi yang ditetapkan. Salah satu contohnya terjadi pada tahun 2023 di Stasiun Fatmawati milik PT. MRT Jakarta, di mana baterai baterai pada sistem UPS mengalami kondisi *under voltage* dengan tegangan hanya 6 Volt, padahal tegangan normalnya adalah 12 Volt (Triwijaya et al., 2025). Sistem kelistrikan di PT. MRT Jakarta belum dilengkapi dengan *web-based monitoring system*. Untuk menjaga kinerja baterai, *web-based monitoring system* diperlukan untuk menampilkan data *Stage of Charge* (SOC), *Stage of Health* (SOH), tegangan, dan arus secara *real-time* (Wahyu Cakra Nugraha et al., 2023).

Seiring dengan perkembangan *Internet of Things* (IoT), integrasi perangkat pintar dan sensor melalui jaringan internet memungkinkan proses pemantauan dilakukan secara otomatis tanpa campur tangan langsung manusia yang menjadi solusi potensial dalam implementasi sistem monitoring baterai (Susanto et al., 2022). Salah satu parameter penting dalam pemantauan baterai adalah *State of Charge* (SOC), yaitu indikator yang menunjukkan tingkat energi yang tersisa dalam baterai dibandingkan kapasitas maksimumnya. Selain itu, parameter lain yang krusial adalah *State of Health* (SOH), yang menggambarkan tingkat kesehatan baterai (Fath et al., 2023).

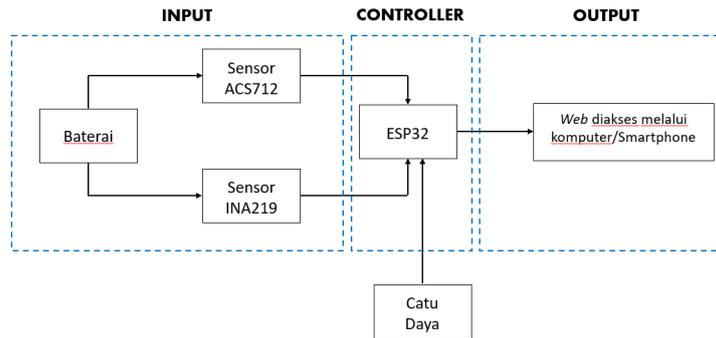
Berbagai studi telah dilakukan untuk memantau dan menganalisa kondisi baterai secara efektif seperti manajemen pemantauan baterai menggunakan *software* LabView (Wahyu Cakra Nugraha et al., 2023), pemantauan baterai UPS menggunakan energi *hybrid* menggunakan aplikasi Android (Akbar Mukhlisin & Silk, 2019), pemantauan baterai PLTS menggunakan *raspberry* sebagai pengolah data dan *smartphone* sebagai antarmuka (Alfita et al., 2021), analisa *lifetime* pada baterai *lead acid* (Fath et al., 2023), serta analisa kinerja kemampuan UPS untuk menyuplai perangkat sinyal telekomunikasi (Ibnu Hajar, 2023).

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan merancang dan membangun sistem monitoring baterai UPS pada persinyalan kereta menggunakan ESP32 sebagai pengolah data yang memungkinkan integrasi dengan berbagai sensor tanpa memerlukan modul tambahan (Nizam et al., 2022) dan platform *firebase* sebagai layanan milik *google* yang berfungsi menyimpan dan menyikronkan data secara *real-time* ke dalam aplikasi berbasis Android, IOS, maupun *web* (Payara & Tanone, 2018). Sistem diharapkan dapat menampilkan data tegangan, arus, SOC, dan SOH secara *realtime* serta memungkinkan pengguna untuk melakukan analisis historis terhadap kinerja baterai UPS.

METODE

Diagram Blok

Gambar 1 di bawah ini menunjukkan diagram blok dari sistem monitoring baterai UPS yang menggunakan sensor ACS712 dan sensor INA219 di mana ESP32 sebagai *controller*.

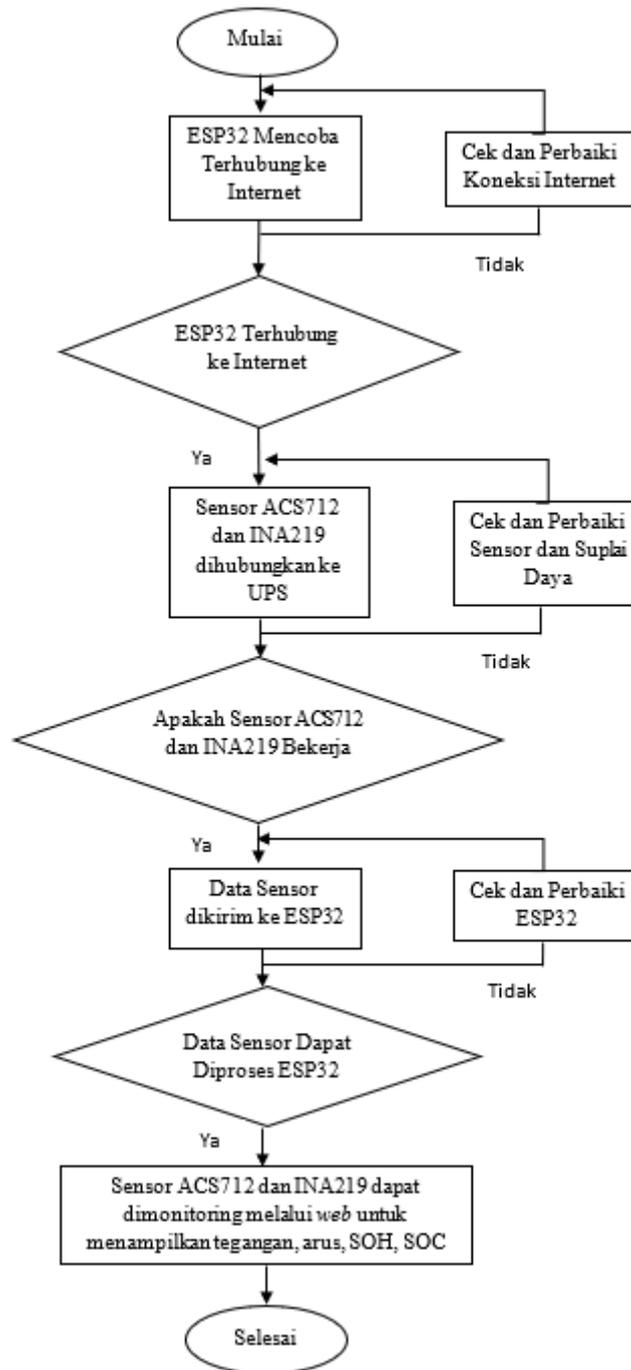


Gambar 1. Diagram Blok

Pada bagian input, sumber daya berasal dari baterai yang kemudian dimonitor oleh dua jenis sensor, yaitu sensor ACS712 dan INA219. Sensor ACS712 adalah sebuah sensor IC arus yang yang dikemas dalam ukuran kompak, sehingga dapat menggantikan transformator arus yang cenderung lebih besar (Taif et al., 2019) dengan tegangan kerja 5V dan resistansi internal 1,2mΩ (Prima et al., 2020). Sedangkan sensor INA219 merupakan sensor yang digunakan memantau tegangan dan arus listrik secara langsung dalam suatu rangkaian (Ardiansyah, 2022). Kedua sensor ini memberikan data pengukuran yang kemudian dikirimkan ke mikrokontroler ESP32 sebagai unit pemroses utama dengan tegangan kerja 3,3V (Imran & Rasul, 2020). Output dari sistem ini ditampilkan melalui antarmuka berbasis *web* yang dapat diakses menggunakan perangkat komputer maupun *smartphone*. Dengan demikian, pengguna dapat memantau kondisi arus dan tegangan baterai secara *real-time* melalui jaringan nirkabel.

Flowchart Alur Kerja Sistem

Flowchart keseluruhan tahapan operasional sistem monitoring tegangan dan arus yang dikendalikan oleh mikrokontroler ESP32 seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Flowchart Alur Kerja Sistem

Sistem ini dirancang untuk dapat beroperasi secara otomatis, serta mampu melakukan identifikasi kesalahan pada setiap tahap proses. Proses diawali dengan inialisasi perangkat, di mana ESP32 akan mencoba untuk terkoneksi dengan jaringan internet. Konektivitas ini merupakan komponen penting karena data hasil monitoring nantinya akan ditransmisikan dan ditampilkan melalui antarmuka web berbasis jaringan. Apabila proses koneksi ke internet gagal, sistem akan mengarahkan pengguna untuk memeriksa dan memperbaiki sambungan jaringan terlebih dahulu.

Setelah ESP32 berhasil terhubung ke internet, tahap selanjutnya adalah memverifikasi keterhubungan sensor arus dan tegangan, yaitu ACS712 dan INA219, terhadap baterai UPS. Hal ini dilakukan untuk memastikan bahwa kedua sensor mendapatkan suplai daya yang stabil dan siap untuk melakukan proses pengukuran. Jika koneksi sensor ke UPS tidak terdeteksi,

maka sistem akan meminta pengguna untuk mengecek integritas sambungan sensor dan memastikan suplai daya dalam kondisi baik.

Jika sensor telah terhubung dan dikenali oleh sistem, ESP32 akan memeriksa apakah keduanya bekerja dengan benar. Pengujian ini meliputi deteksi respons sinyal dari sensor untuk memastikan bahwa sensor memberikan data sesuai dengan parameter pengukuran yang diharapkan. Bila salah satu atau kedua sensor tidak menunjukkan respons yang sesuai, sistem akan menghentikan proses dan memberikan peringatan kepada pengguna untuk melakukan pemeriksaan dan perbaikan pada sensor atau rangkaian yang terkait.

Apabila kedua sensor berfungsi dengan baik, data hasil pengukuran akan dikirimkan ke ESP32. Mikrokontroler ini kemudian akan memproses data tersebut untuk memastikan format dan nilai data dapat diolah dengan benar. Langkah terakhir dalam alur ini adalah menampilkan data tegangan, arus, SOC, dan SOH yang telah diproses ke dalam antarmuka *web*. Antarmuka ini dapat diakses melalui perangkat komputer atau smartphone yang terhubung ke jaringan internet.

Metode Pengujian

Pengujian yang dilakukan pada penelitian ini dilakukan dalam empat skema. Skema pertama adalah pengujian fungsi sensor tegangan. Skema kedua adalah pengujian sensor arus. Akurasi sensor diperoleh melalui perhitungan rata-rata kesalahan (*error*) dari beberapa kali pengujian. Nilai *error* ini dapat dihitung dengan rumus (Dewantoro & Bahrul Ulum, 2021):

$$Error(\%) = \frac{(\text{Nilai Sensor} - \text{Nilai Alat ukur})}{\text{Nilai Alat Ukur}} \times 100\% \quad (1)$$

$$\text{Rata - Rata Error} (\%) = \frac{\sum Error}{\sum \text{uji coba}} \times 100\% \quad (2)$$

Skema ketiga adalah pengujian pengosongan SOC dan SOH baterai terhadap waktu. Metode perhitungan SOC dapat menggunakan 2 metode, yaitu metode *Coloumb Counting* (CC) dan *Open Circuit Voltage* (OCV). SOC metode CC dapat dihitung dengan rumus berikut (Inovtek & Elektro, n.d.):

$$SOC = SOC_0 + \left(\frac{\int_{t_0}^{t_n} I dt}{Q_{rate}} \right) \times 100 \quad (3)$$

Definisi:

SOC_0 = Nilai SOC sebelum pengisian atau pengosongan (%)

t = waktu (detik)

t_0 = Waktu sebelum pengisian atau pengosongan (detik)

t_n = Waktu saat t = n (detik)

Q_{rate} = Nilai maksimum kapasitas baterai (Couloumb)

SOC metode OCV dapat dihitung dengan rumus berikut (Otong & Aribowo, 2019):

$$SOC = \frac{V_{\text{saat ini}} - V_{\text{min}}}{V_{\text{max}} - V_{\text{min}}} \times 100\% \quad (4)$$

Definisi:

$V_{\text{saat ini}}$ = Tegangan saat ini

V_{min} = Tegangan minimal

V_{max} = Tegangan maksimal

Untuk SOH dapat dihitung menggunakan rumus berikut (Liu et al., 2022):

$$SOH = \frac{Q}{Q_{rate}} \times 100\% \quad (5)$$

Definisi:

Q = Kapasitas aktual baterai saat ini

Q_{rate} = Kapasitas nominal baterai

Skema keempat adalah menguji antarmuka *web* menggunakan *firebase* dengan hasil pengujian. Proses pengujian tegangan dan arus dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran sensor terhadap instrumen standar, seperti multimeter.

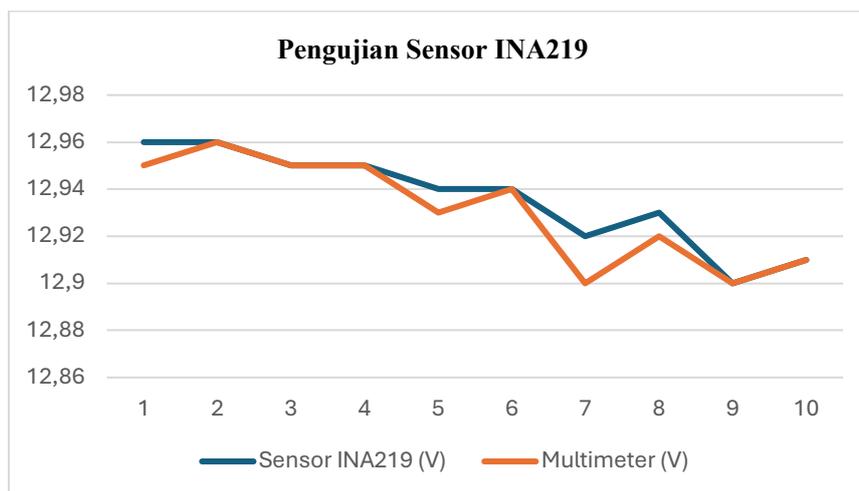
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian Sensor INA219

Pada pengujian ini menggunakan sensor tegangan INA219. Evaluasi sensor dilakukan melalui perbandingan data hasil pembacaan sensor dengan nilai referensi yang diperoleh dari multimeter. Hasil pengukuran akan tampil di halaman *web* yang dibuat. Berikut hasil pengujiannya:

Tabel 1. Hasil Pengujian Sensor INA219

Pengujian	Sensor INA219 (V)	Multimeter (V)	Error (%)
1	12,96	12,95	0,08
2	12,96	12,96	0
3	12,95	12,95	0
4	12,95	12,95	0
5	12,94	12,93	0,08
6	12,94	12,94	0
7	12,92	12,90	0,15
8	12,93	12,92	0,08
9	12,90	12,90	0
10	12,91	12,91	0
	Rata-rata		0,039



Gambar 3. Pengujian Sensor INA219

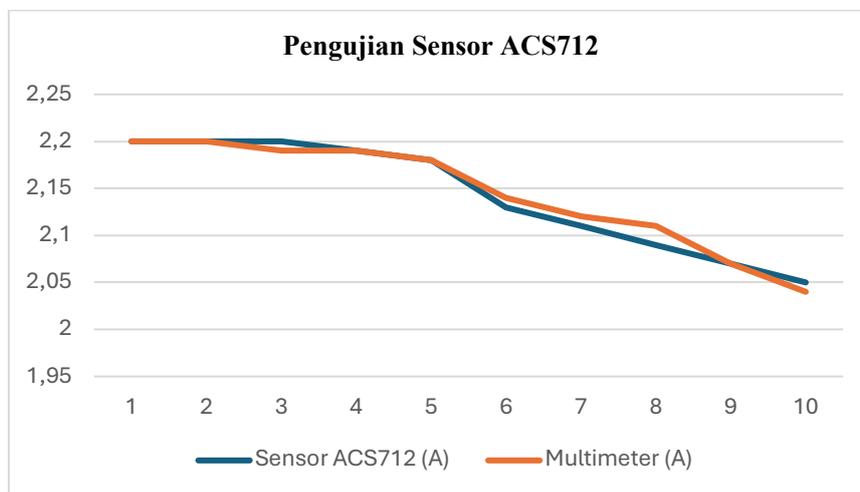
Berdasarkan data yang tercantum pada Tabel 1, dapat disimpulkan bahwa tingkat akurasi sensor tegangan mencapai 99,96%, yang diperoleh dari pengurangan 0,039% terhadap nilai maksimum 100%. Data tersebut kemudian divisualisasikan dalam bentuk grafik pada Gambar 3.

Pengujian Sensor ACS712

Pada pengujian ini menggunakan sensor tegangan ACS712. Evaluasi sensor dilakukan melalui perbandingan data hasil pembacaan sensor dengan nilai referensi yang diperoleh dari multimeter. Hasil pengukuran akan tampil di halaman *web* yang dibuat. Berikut hasil pengujianya:

Tabel 2. Hasil Pengujian Sensor ACS712

Pengujian	Sensor ACS712 (A)	Multimeter (A)	Error (%)
1	2,2	2,2	0
2	2,2	2,2	0
3	2,2	2,19	0,08
4	2,19	2,19	0
5	2,18	2,18	0
6	2,13	2,14	0,08
7	2,11	2,12	0,08
8	2,09	2,11	0,15
9	2,07	2,07	0
10	2,05	2,04	0,08
	Rata-rata		0,047



Gambar 4. Pengujian Sensor ACS712

Berdasarkan data yang tercantum pada Tabel 2, dapat disimpulkan bahwa tingkat akurasi sensor tegangan mencapai 99,95%, yang diperoleh dari pengurangan 0,047% terhadap nilai maksimum 100%. Data tersebut kemudian divisualisasikan dalam bentuk grafik pada Gambar 4.

Pengujian SOC dan SOH

Pada pengujian ini akan dilakukan uji pengosongan dengan menggunakan dua baterai dengan spesifikasi 12V dan kapasitas 5Ah. Dimana sampel yang digunakan baterai baru dan baterai lama. Jenis beban yang digunakan adalah 2 lampu tegangan 12V dan daya 30W.

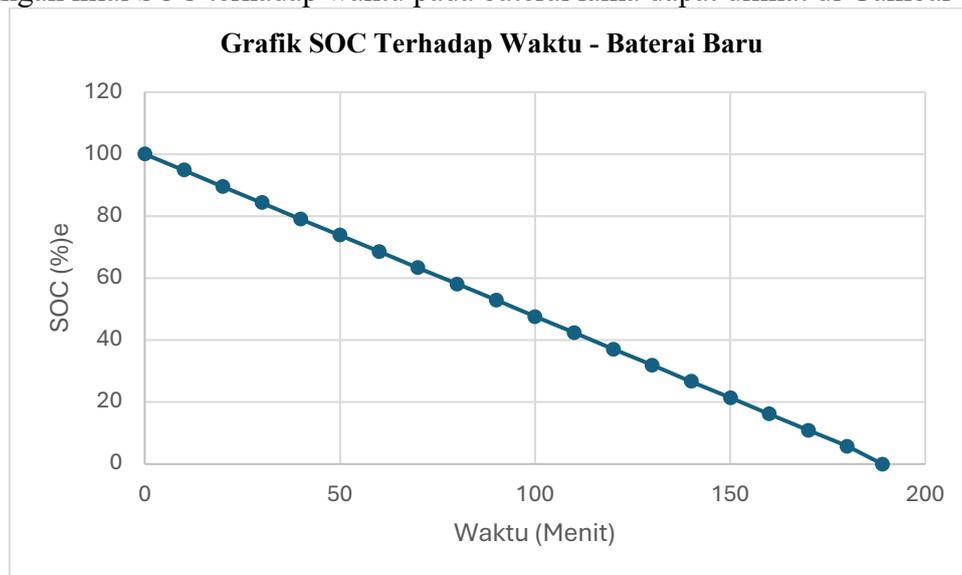
Pengujian pengosongan baterai dilakukan untuk memantau perubahan parameter tegangan, arus, nilai SOC dan SOH selama proses pengosongan. Sebelum pengujian baterai sudah dalam kondisi penuh sekitar 12V. Selanjutnya, baterai akan tercatat di antarmuka *web* untuk memonitoring pengujian. Berikut hasil pengujianya:

Tabel 3. Hasil Pengujian Pengosongan Baterai Baru

Waktu (Menit)	Tegangan (V)	Arus (A)	SOC (%)	SOH (%)
0	12,96	2,2	100	100
10	12,83	2,2	94,8	100
20	12,7	2,2	89,5	100
30	12,57	2,2	84,3	100
40	12,44	2,2	79	100
50	12,31	2,2	73,8	100
60	12,18	2,2	68,6	100
70	12,05	2,2	63,3	100
80	11,92	2,2	58,1	100
90	11,79	2,2	52,9	100
100	11,66	2,2	47,6	100
110	11,53	2,2	42,4	100
120	11,4	2,2	37,1	100
130	11,27	2,2	31,9	100
140	11,14	2,2	26,7	100
150	11,01	1,885	21,4	100
160	10,89	1,424	16,2	100
170	10,76	0,963	10,9	100
180	10,64	0,502	5,7	100
189	10,51	0,049	0	100

Berdasarkan hasil pengukuran pada Tabel 3, tegangan baterai menurun secara bertahap dari 12,96V hingga mencapai nilai *cut-off* sebesar 10,51V dalam waktu 189 menit. Selama proses pengosongan, nilai SOC dihitung menggunakan metode gabungan antara OCV dan *Coulomb Counting*, yang menunjukkan penurunan bertahap dari 100% hingga 0%. Secara umum, nilai SOC turun secara linier sesuai dengan ekspektasi dari metode *discharge* konstan.

Sementara itu, nilai SOH tetap berada pada 100% sepanjang pengujian, karena kapasitas aktual mendekati kapasitas nominal 5Ah, menunjukkan bahwa baterai masih dalam kondisi prima dan belum mengalami degradasi signifikan. Penurunan tegangan, SOC, dan arus yang terukur menunjukkan perilaku *discharge* yang normal untuk baterai baru, serta validasi bahwa sistem monitoring mampu merekam parameter baterai secara *real-time* dan akurat. Perbandingan nilai SOC terhadap waktu pada baterai lama dapat dilihat di Gambar 5.



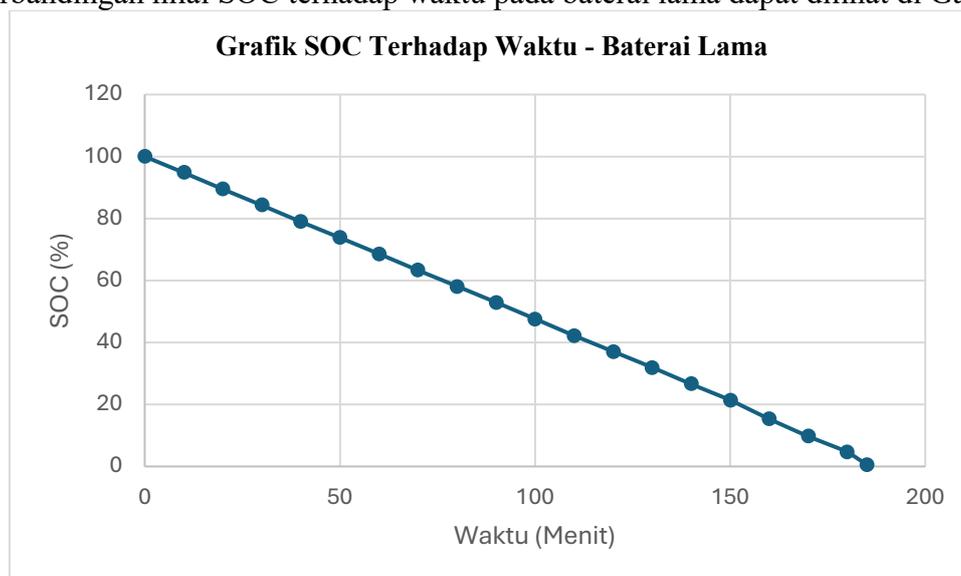
Gambar 5. Grafik SOC Terhadap Waktu – Baterai Baru

Tabel 4. Hasil Pengujian Pengosongan Baterai Lama

Waktu (Menit)	Tegangan (V)	Arus (A)	SOC (%)	SOH (%)
0	12,54	2,2	100	91
10	12,43	2,2	94,8	91
20	12,32	2,2	89,5	91
30	12,21	2,2	84,3	91
40	12,11	2,2	79	91
50	12	2,2	73,8	91
60	11,89	2,2	68,6	91
70	11,79	2,2	63,3	91
80	11,68	2,2	58,1	91
90	11,57	2,2	52,9	91
100	11,47	2,2	47,6	91
110	11,36	2,2	42,2	91
120	11,25	2,2	37,1	91
130	11,14	2,2	31,9	91
140	11,04	2,2	26,7	91
150	10,93	1,885	21,4	91
160	10,82	1,324	15,3	91
170	10,72	0,963	9,8	91
180	10,61	0,458	4,7	91
185	10,5	0,037	0	91

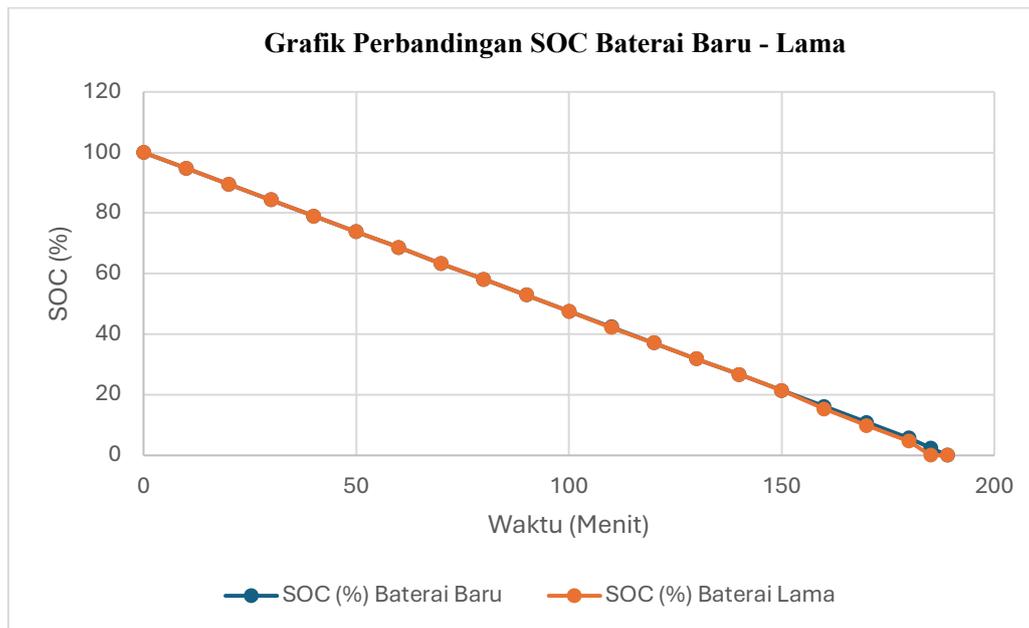
Berdasarkan hasil pengukuran pada Tabel 4, hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai SOC menurun secara bertahap dari 100% menjadi 0% dalam waktu 185 menit. Penurunan SOC ini dihitung berdasarkan gabungan OCV dan *Coulomb Counting*. Selama 150 menit pertama, arus relatif stabil di kisaran 2,2 A, namun setelah itu terjadi penurunan arus signifikan hingga hanya 0,037 A pada menit ke-185. Penurunan arus ini menunjukkan bahwa baterai mulai kehilangan kemampuannya dalam menyuplai beban secara konstan.

Meskipun nilai SOC turun drastis, nilai SOH baterai tetap berada pada 91% selama pengujian. Hal ini menunjukkan bahwa kapasitas aktual baterai lama berada pada kisaran 91% dari kapasitas nominal. Berdasarkan durasi pengosongan dan profil arus, kapasitas efektif baterai lama diperkirakan sekitar 4,55 Ah. Hal ini mengindikasikan bahwa meskipun baterai telah mengalami degradasi, kinerjanya masih cukup baik dan belum memasuki kategori rusak berat. Perbandingan nilai SOC terhadap waktu pada baterai lama dapat dilihat di Gambar 6.



Gambar 6. Grafik SOC Terhadap Waktu – Baterai Lama

Dari kedua data tersebut maka dapat dibandingkan antara nilai SOC terhadap waktu untuk baterai lama dan baterai baru dalam bentuk grafik sebagai berikut:



Gambar 7. Grafik Perbandingan SOC Baterai Baru – Lama

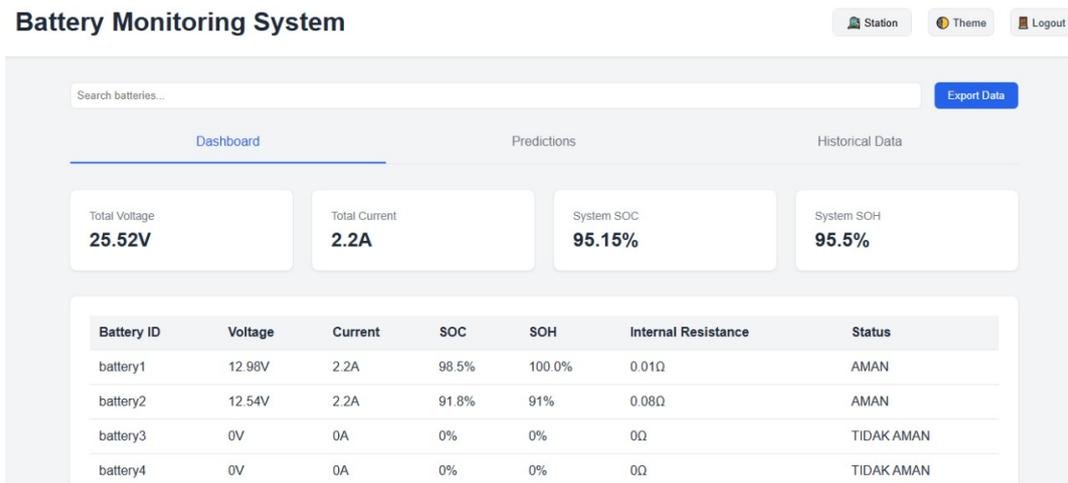
Dari Gambar 7, dapat diketahui bahwa berdasarkan hasil pengujian SOC terhadap baterai baru dan baterai lama, diperoleh perbedaan karakteristik penurunan daya selama proses pengosongan. Baterai baru menunjukkan penurunan SOC yang lebih stabil dan linier, dengan kemampuan mempertahankan daya hingga mencapai SOC 0% pada menit ke-189. Sebaliknya, baterai lama mengalami penurunan SOC 0% lebih cepat pada menit ke-185, dengan grafik yang lebih curam dan penurunan arus yang lebih signifikan pada menit-menit akhir.

Pengujian Antarmuka Web

Pengujian antarmuka *web* dilakukan untuk memastikan bahwa data hasil pemantauan baterai, seperti tegangan, arus, SOC, dan SOH, dapat ditampilkan secara *real-time* melalui platform *web* yang terhubung dengan *firebase*. Sistem ini dirancang menggunakan ESP32 sebagai mikrokontroler utama yang mengirimkan data secara berkala ke *Firestore Realtime Database*.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh parameter dapat diakses secara stabil melalui *web browser* tanpa terjadi keterlambatan yang signifikan. Data yang ditampilkan pada antarmuka *web* sesuai dengan data aktual yang terbaca oleh sensor di lapangan, dengan selisih waktu pembaruan data rata-rata per 5 detik. Selain menampilkan data *real-time*, antarmuka juga menyediakan riwayat data yang dapat digunakan untuk menganalisis performa baterai dalam jangka waktu tertentu.

Dengan adanya antarmuka ini, pengguna dapat memantau kondisi baterai dari jarak jauh tanpa perlu mengakses perangkat secara langsung, sehingga meningkatkan efisiensi dalam proses pemeliharaan dan deteksi dini terhadap potensi kerusakan baterai.



Gambar 8. Antarmuka web browser melalui PC

KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil merancang dan mengimplementasikan sistem monitoring baterai UPS berbasis ESP32 dan antarmuka web menggunakan Firebase. Sistem mampu memantau parameter penting baterai seperti tegangan, arus, SOC, dan SOH secara real-time dan historis. Pengujian sensor tegangan INA219 menunjukkan tingkat akurasi 99,96% dan sensor arus ACS712 menunjukkan tingkat akurasi 99,95%. Perhitungan SOC menggunakan metode gabungan OCV dan CC memberikan hasil yang stabil dan linier terhadap waktu pengosongan. Hasil nilai SOC terhadap waktu menunjukkan bahwa baterai lama mengalami penurunan SOC lebih cepat dan memiliki SOH lebih rendah dibanding baterai baru. Selain itu, antarmuka web yang dibangun mampu menampilkan data secara akurat dan responsif, memudahkan pemantauan jarak jauh oleh user. Dengan demikian, sistem ini dapat menjadi solusi preventif dalam manajemen dan pemeliharaan baterai UPS, khususnya pada sistem persinyalan kereta api yang memerlukan keandalan daya tinggi. Untuk penelitian selanjutnya dapat dilengkapi fitur alarm atau kendali jarak jauh pada sistem apabila mengalami kegagalan.

REFERENSI

- Akbar Mukhlisin, A., & Silk, Lady. (2019). RANCANG BANGUN KONTROL DAN MONITORING BATERAI UNINTERRUPTIBLE POWER SUPPLY (UPS) MENGGUNAKAN ENERGI HYBRID DENGAN KONSEP INTERNET OF THING (IOT). *Seminar Nasional Inovasi Teknologi Penerbangan (SNITP)*.
- Alfita, R., Joni, K., & Darmawan, F. D. (2021). Design of Monitoring Battery Solar Power Plant and Load Control System based Internet of Things. *TEKNIK*, 42(1), 35–44. <https://doi.org/10.14710/teknik.v42i1.29687>
- Ardiansyah, B. (2022). *IOT-BASED BIRD RETRACTOR DESIGN WITH 32 NODEMCU AND BATTERY POWER SUPPLY*.
- Dewantoro, W., & Bahrul Ulum, M. (2021). RANCANG BANGUN SISTEM MONITORING KUALITAS AIR PADA BUDIDAYA IKAN HIAS AIR TAWAR BERBASIS IOT. *Jurnal Komputasi Unila*, 9 No.2.
- Fath, A., Fajari, R., Fahmi Arsyad, M., & Prasteyo, P. H. (2023). Effects of Preventive Maintenance Lifetime Battery Lead Acid for Signaling Electric Train. *3Program Studi Rekayasa Infrastruktur Dan Lingkungan, Fakultas Teknik Transportasi Dan Logistik, Institut Transportasi Dan Logistik Trisakti*, 2(1). <https://jtt.itltrisakti.ac.id>
- Huzair, F., & Syahrial. (2023). *Analisis Baterai di Sistem UPS pada Ruang Operasi Rumah Sakit X*.
- Ibnu Hajar, D. (2023). ANALISA PERFORMANSI KEMAMPUAN UPS MENYUPLAI PERANGKAT SINYAL TELEKOMUNIKASI SEBAGAI LOAD CRITICAL DI LRT

- SUMATERA SELATAN STASIUN JAKABARING. *Skripsi Thesis, Universitas Muhammadiyah Palembang*.
- Imran, A., & Rasul, M. (2020). *PENGEMBANGAN TEMPAT SAMPAH PINTAR MENGGUNAKAN ESP32* (Vol. 17, Issue 2).
- Inovtek, J., & Elektro, S. (n.d.). Aplikasi Battery Management System (BMS) Dengan State Of Charge (Soc) Menggunakan Metode Modified Coulomb Counting. *Vol. 1, No. 1*.
- Liu, X., Li, J., Yao, Z., Wang, Z., Si, R., & Diao, Y. (2022). Research On Battery SoH Estimation Algorithm Of Energy Storage Frequency Modulation System, *Energy Reports*, Vol. 8, Pp. 217–223,. *Doi: 10.1016/J.Egyr.2021.11.015.*, 8, 217–223.
- Nizam, M., Yuana, H., & Wulansari, Z. (2022). MIKROKONTROLER ESP 32 SEBAGAI ALAT MONITORING PINTU BERBASIS WEB. In *Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika* (Vol. 6, Issue 2).
- Otong, M., & Aribowo, D. (2019). Perancangan Modular Baterai Lithium Ion(Li-Ion) Untuk Beban Lampu Led. *Jurnal Ilmiah Setrum*, 8(2), 260–273.
- Payara, G. R., & Tanone, R. (2018). Penerapan Firebase Realtime Database Pada Prototype Aplikasi Pemesanan Makanan Berbasis Android. *Jurnal Teknik Informatika Dan Sistem Informasi*, 397–406.
- Pradana, R., Surya Wibowo, A., & Sugiana, A. (2021). *PERANCANGAN DAN SIMULASI SISTEM PERSINYALAN KERETA API SECARA NIRKABEL DESIGN AND SIMULATION RAILWAY SIGNAL SYSTEM WIRELESSLY*.
- Prima, T., Puspasari, F., Prisyanti, H., & Meilana Saragih, E. R. (2020). PERANCANGAN DAN ANALISIS SISTEM ALAT ARUS LISTRIK MENGGUNAKAN SENSOR ACS712 BERBASIS ARDUINO UNO DENGAN STANDARD CLAMPMETER. *Jurnal SIMETRIS*, 11.
- Susanto, F., Komang Prasiani, N., & Darmawan, P. (2022). IMPLEMENTASI INTERNET OF THINGS DALAM KEHIDUPAN SEHARI-HARI. In *Jurnal IMAGINE* (Vol. 2, Issue 1). Online. <https://jurnal.std-bali.ac.id/index.php/imagine>
- Taif, M., Yunus, M., Abbas, H., & Jamil, M. (2019). *Penggunaan Sensor ACS712 dan Sensor Tegangan untuk Pengukuran Jatuh Tegangan Tiga Fasa Berbasis Mikrokontroler dan Modul GSM shield* (Vol. 06, Issue 1). www.TheEngineeringProjects.com
- Triwijaya, S., Pradipta, A., Prasetyo, Y., Wati, T., Perkeretaapian, P., Madiun, I., Madiun, P. N., & Aditama, I. T. (2025). Comparison OCV, CC and Integration OCV-CC Method for Estimated SOC Battery for RTU System. *Jurnal Perkeretaapian Indonesia (Indonesian Railway Journal)*, 9(1).
- Wahyu Cakra Nugraha, I., Triwijaya, S., Wiarco, Y., Rukmana, M., Elektro Perkeretaapian, T., & Perkeretaapian Indonesia Madiun, P. (2023). Prototipe Battery Management System dalam Fasilitas Operasi Perkeretaapian. *Jurnal Perkeretaapian Indonesia (Indonesian Railway Journal)*, 7(Oktober), p.
- Wibawanto, B. S., Hapsari, J. P., Suprajitno, A., & Arifianto, T. (2022). Analisis Peralatan Persinyalan Kereta Api dengan Persinyalan Elektrik Silsafe4000 Di Stasiun Lempuyangan Yogyakarta. *Jurnal Perkeretaapian Indonesia (Indonesian Railway Journal)*, 6(2).