



Prototipe Sistem Monitoring Kesehatan Battery UPS Sigcom Menggunakan Sensor Tegangan dan Arus pada Lintas Rel Terpadu Sumatera Selatan

Heruman

Universitas Bina Darma

e-mail: heruman032@gmail.com

Abstract

The reliability of the Signalling and Communication (Sigcom) system in the South Sumatra Light Rail Transit (LRT) is highly dependent on the availability of backup power supplied by an Uninterruptible Power Supply (UPS). This study aimed to design and develop a UPS battery health monitoring prototype based on an ESP32 microcontroller using an INA219 sensor to monitor battery voltage and current in real time. The research employed a Research and Development (R&D) method with a quantitative descriptive approach, consisting of observation, system design, implementation, and performance testing. The test results showed that the sensor achieved measurement deviations of 0.01–0.02 V for voltage and 0.01–0.02 A for current compared with standard reference instruments, indicating satisfactory measurement accuracy. The system successfully displayed battery condition data on an LCD, enabling easier monitoring and supporting preventive maintenance activities. The developed prototype has the potential to improve UPS reliability and can be further enhanced through the integration of Internet of Things (IoT) technology, data logging, and automatic notification features to establish a more effective battery monitoring system.

Keywords: UPS, Signalling and Communication (Sigcom), ESP32, INA219, Battery Health Monitoring, Real-Time Monitoring.

Abstrak

Keandalan sistem Signalling and Communication (Sigcom) pada LRT Sumatera Selatan sangat bergantung pada ketersediaan daya cadangan dari Uninterruptible Power Supply (UPS). Penelitian ini bertujuan merancang prototipe sistem monitoring kesehatan baterai UPS berbasis mikrokontroler ESP32 menggunakan sensor INA219 untuk memantau tegangan dan arus baterai secara real-time. Metode yang digunakan adalah Research and Development (R&D) dengan pendekatan deskriptif kuantitatif melalui tahapan observasi, perancangan, implementasi, dan pengujian sistem. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor memiliki selisih pembacaan sebesar 0,01–0,02 V untuk tegangan dan 0,01–0,02 A untuk arus dibandingkan alat ukur referensi, sehingga menunjukkan tingkat akurasi yang baik. Sistem mampu menampilkan informasi kondisi baterai secara langsung melalui LCD, sehingga mempermudah proses pemantauan dan mendukung pemeliharaan preventif. Prototipe yang dikembangkan berpotensi meningkatkan keandalan sistem UPS serta dapat dikembangkan lebih lanjut melalui integrasi Internet of Things (IoT), penyimpanan data, dan fitur notifikasi otomatis guna mendukung sistem pemantauan yang lebih efektif.

Kata Kunci: UPS, Sigcom, ESP32, INA219, Monitoring Baterai, Real-Time.

PENDAHULUAN

Perkembangan sistem transportasi berbasis rel di era modern menuntut tersedianya infrastruktur yang tidak hanya efisien, tetapi juga memiliki tingkat keandalan dan keselamatan yang tinggi. Salah satu komponen penting dalam penyelenggaraan operasional perkeretaapian adalah sistem Signalling and Communication (Sigcom) yang berfungsi mengatur pergerakan kereta, mengendalikan perangkat persinyalan, serta menjamin kelancaran komunikasi antarperalatan operasional. Keandalan sistem Sigcom menjadi faktor utama dalam menjaga keselamatan perjalanan kereta karena setiap gangguan yang terjadi pada sistem tersebut berpotensi menimbulkan keterlambatan operasional bahkan meningkatkan risiko kecelakaan. Oleh sebab itu, kontinuitas pasokan energi listrik menuju seluruh perangkat Sigcom harus selalu terjaga agar sistem mampu beroperasi secara optimal dalam berbagai kondisi (International Electrotechnical Commission, 2021).

Pada sistem LRT Sumatera Selatan, berbagai perangkat Sigcom seperti interlocking, signal lamp, track circuit, radio komunikasi, serta perangkat pengendali lainnya membutuhkan suplai daya listrik yang stabil selama 24 jam. Ketika terjadi gangguan pada sumber listrik utama, sistem Uninterruptible Power Supply (UPS) berperan sebagai penyedia energi cadangan yang mampu mempertahankan operasional seluruh perangkat kritis tanpa mengalami gangguan. Keberadaan UPS menjadi sangat vital karena mampu menghilangkan jeda perpindahan sumber listrik sehingga proses pengoperasian persinyalan tetap berlangsung secara kontinu. Dengan demikian, UPS menjadi salah satu komponen pendukung utama dalam menjaga aspek keselamatan, keandalan, dan kontinuitas layanan transportasi berbasis rel (IEEE, 2022).

Kinerja UPS sangat dipengaruhi oleh kondisi baterai sebagai media penyimpan energi listrik. Baterai berfungsi menyediakan suplai daya ketika sumber utama mengalami pemadaman atau gangguan tegangan. Namun demikian, performa baterai akan mengalami penurunan secara bertahap akibat faktor usia pemakaian, frekuensi siklus pengisian dan pengosongan (charging-discharging), temperatur lingkungan, serta karakteristik beban yang diterima. Penurunan kapasitas baterai yang tidak terdeteksi sejak dini dapat menyebabkan UPS gagal memberikan daya cadangan ketika dibutuhkan, sehingga berpotensi mengganggu operasional sistem persinyalan dan komunikasi. Oleh karena itu, pemantauan kondisi kesehatan baterai secara berkala merupakan bagian penting dalam strategi pemeliharaan preventif untuk meningkatkan keandalan sistem UPS (Piller, 2023; Battery University, 2024).

Berdasarkan hasil observasi selama di PT Kereta Api Indonesia (Persero) Divisi Regional III Palembang, khususnya pada Unit Field Service Signalling and

Communication, proses pemeriksaan kondisi baterai UPS masih dilakukan secara manual menggunakan multimeter dan tang ampere. Metode tersebut memerlukan waktu yang relatif lama karena setiap unit UPS harus diperiksa satu per satu oleh teknisi. Selain kurang efisien, proses inspeksi manual juga belum mampu menyediakan data pemantauan secara berkelanjutan sehingga perubahan kondisi baterai tidak dapat diketahui secara langsung (real-time). Keterbatasan tersebut menyebabkan potensi penurunan performa baterai sulit dideteksi sejak awal sehingga tindakan pemeliharaan sering kali dilakukan setelah muncul indikasi kerusakan.

Kemajuan teknologi mikrokontroler, sensor elektronik, dan Internet of Things (IoT) membuka peluang untuk mengembangkan sistem monitoring baterai yang lebih efektif, akurat, dan otomatis. Pemanfaatan mikrokontroler ESP32 yang dikombinasikan dengan sensor tegangan dan sensor arus, seperti INA219, memungkinkan proses pengukuran parameter kelistrikan dilakukan secara real-time dengan tingkat akurasi yang tinggi. Data hasil pengukuran selanjutnya dapat diolah dan ditampilkan secara langsung sehingga memudahkan teknisi dalam memantau kondisi baterai serta melakukan tindakan pemeliharaan secara lebih cepat dan tepat sasaran. Pendekatan ini tidak hanya meningkatkan efisiensi proses inspeksi, tetapi juga mendukung implementasi predictive maintenance yang saat ini menjadi salah satu konsep utama dalam pengelolaan aset industri modern (Espressif Systems, 2023; Texas Instruments, 2022).

Berbagai penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa sistem monitoring berbasis mikrokontroler mampu meningkatkan efektivitas pemantauan kesehatan baterai. Penggunaan sensor arus dan tegangan secara simultan memungkinkan pengukuran parameter utama seperti tegangan, arus, daya, State of Charge (SOC), maupun State of Health (SOH) secara berkesinambungan. Informasi tersebut menjadi dasar dalam mengevaluasi performa baterai sekaligus memprediksi potensi kegagalan sebelum terjadi kerusakan yang lebih serius. Dengan adanya sistem monitoring real-time, proses pemeliharaan dapat dilakukan secara lebih terencana sehingga mampu mengurangi risiko downtime, memperpanjang umur baterai, serta meningkatkan keandalan sistem UPS secara keseluruhan (Wiryawan & Irawan, 2025; Asnan & Sugeng, 2025).

Berdasarkan uraian tersebut, diperlukan suatu inovasi berupa Prototipe Sistem Monitoring Kesehatan Battery UPS Sigcom Menggunakan Sensor Tegangan dan Arus pada LRT Sumatera Selatan. Prototipe ini dirancang untuk memantau parameter utama baterai secara otomatis dan real-time dengan memanfaatkan sensor tegangan, sensor arus INA219, serta mikrokontroler ESP32 sebagai pusat pengolahan data. Hasil monitoring diharapkan mampu memberikan informasi mengenai kondisi kesehatan baterai secara cepat, akurat, dan mudah dipahami

oleh teknisi sehingga proses pemeliharaan UPS menjadi lebih efektif. Selain mendukung peningkatan keandalan sistem Signalling and Communication, pengembangan prototipe ini juga diharapkan dapat berkontribusi terhadap peningkatan keselamatan, keberlangsungan operasional, serta kualitas pelayanan transportasi LRT Sumatera Selatan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode Research and Development (R&D) dengan pendekatan deskriptif kuantitatif. Metode Research and Development dipilih karena penelitian tidak hanya bertujuan mengidentifikasi permasalahan yang ditemukan selama kegiatan, tetapi juga menghasilkan sebuah produk berupa prototipe sistem monitoring kesehatan baterai UPS yang dapat digunakan sebagai solusi dalam mendukung kegiatan pemeliharaan pada sistem Signalling and Communication (Sigcom) LRT Sumatera Selatan. Pendekatan deskriptif kuantitatif digunakan untuk menggambarkan kondisi objek penelitian berdasarkan data hasil pengukuran tegangan dan arus baterai yang diperoleh secara langsung melalui sensor dan dibandingkan dengan hasil pengukuran menggunakan alat ukur konvensional.

Penelitian dilaksanakan di PT Kereta Api Indonesia (Persero) Divisi Regional III Palembang, tepatnya pada Unit Field Service Signalling and Communication (Sigcom) LRT Sumatera Selatan, yang memiliki tanggung jawab terhadap pengoperasian, pemeliharaan, serta pengawasan perangkat persinyalan dan komunikasi guna menjamin keselamatan serta kelancaran operasional kereta. Tahapan penelitian diawali dengan observasi lapangan untuk mengidentifikasi kondisi sistem UPS dan prosedur pemeriksaan baterai yang masih dilakukan secara manual menggunakan multimeter dan tang ampere. Selanjutnya dilakukan studi literatur mengenai sistem UPS, karakteristik baterai, mikrokontroler ESP32, sensor INA219, serta konsep monitoring kesehatan baterai secara real-time. Berdasarkan hasil observasi dan kajian pustaka, dirancang sebuah prototipe sistem monitoring yang terdiri atas ESP32 sebagai mikrokontroler, sensor INA219 sebagai sensor tegangan dan arus, serta LCD I2C sebagai media penampil hasil pengukuran. Setelah proses perancangan selesai, dilakukan perakitan perangkat keras, pemrograman menggunakan Arduino IDE, serta pengujian sistem untuk mengetahui kemampuan sensor dalam membaca parameter kelistrikan baterai secara real-time. Data hasil pengujian kemudian dianalisis dengan membandingkan hasil pembacaan sensor terhadap hasil pengukuran menggunakan multimeter dan tang ampere untuk mengetahui tingkat akurasi sistem. Hasil analisis tersebut digunakan sebagai dasar dalam mengevaluasi kinerja prototipe sehingga dapat diketahui efektivitasnya dalam membantu teknisi melakukan pemantauan kondisi kesehatan baterai UPS secara lebih cepat, akurat, dan efisien dibandingkan metode pemeriksaan manual yang selama ini diterapkan.

PEMBAHASAN

Tabel 1
Hasil Pengujian

No	Multimeter (V)	Sensor Tegangan (V)	Selisih (V)
1	12,80	12,78	0,02
2	12,60	12,59	0,01
3	12,40	12,38	0,02
4	12,20	12,19	0,01
5	12,00	11,98	0,02

Sumber: Data diolah, 2026

Tabel 2
Pengukuran Sensor Arus

No	Tang Ampere (A)	Sensor ACS712 (A)	Selisih (A)
1	0,50	0,49	0,01
2	0,80	0,79	0,01
3	1,00	0,98	0,02
4	1,20	1,18	0,02
5	1,50	1,48	0,02

Sumber: Data diolah, 2026

Penelitian ini dilaksanakan pada Unit Field Service Signalling and Communication (Sigcom) PT Kereta Api Indonesia (Persero) Divisi Regional III Palembang dengan fokus pada pengembangan prototipe sistem monitoring kesehatan baterai Uninterruptible Power Supply (UPS) menggunakan sensor tegangan, sensor arus ACS712, dan mikrokontroler ESP32. Sistem UPS merupakan salah satu komponen vital dalam infrastruktur persinyalan dan komunikasi karena berfungsi menyediakan catu daya cadangan ketika terjadi gangguan pada sumber listrik utama. Keandalan UPS sangat menentukan kontinuitas operasi perangkat Sigcom, seperti interlocking, track circuit, radio komunikasi, dan sistem transmisi data yang menjadi bagian penting dalam menjaga keselamatan perjalanan kereta api. Oleh karena itu, pemantauan kondisi baterai UPS menjadi aspek penting dalam strategi pemeliharaan preventif untuk mengurangi risiko kegagalan sistem (IEC, 2021; IEEE, 2022).

Hasil observasi menunjukkan bahwa proses pemeriksaan kondisi baterai UPS masih dilakukan menggunakan multimeter digital dan tang ampere. Metode tersebut mampu menghasilkan pengukuran yang akurat, tetapi memerlukan waktu yang relatif lama karena setiap unit baterai harus diperiksa secara individual oleh teknisi. Selain itu, metode manual belum mampu menyediakan informasi kondisi baterai secara berkelanjutan sehingga perubahan parameter kelistrikan, seperti penurunan tegangan atau perubahan arus, tidak dapat dipantau secara langsung. Kondisi tersebut berpotensi menyebabkan keterlambatan dalam mendeteksi penurunan performa baterai sehingga tindakan pemeliharaan sering kali dilakukan setelah muncul indikasi kerusakan. Temuan ini sejalan dengan penelitian Asnan dan Sugeng (2025)

yang menyatakan bahwa proses monitoring manual memiliki keterbatasan dalam mendukung pemeliharaan berbasis kondisi (condition-based maintenance), terutama pada sistem yang beroperasi secara kontinu.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini mengembangkan sebuah prototipe sistem monitoring kesehatan baterai UPS berbasis ESP32 yang memanfaatkan sensor tegangan dan sensor arus ACS712 sebagai perangkat utama untuk memperoleh data kelistrikan baterai secara real-time. ESP32 dipilih karena memiliki kemampuan pemrosesan data yang tinggi, konsumsi daya yang rendah, serta mendukung pengembangan sistem berbasis Internet of Things (IoT) apabila dikembangkan pada penelitian selanjutnya (Espressif Systems, 2023). Sensor tegangan digunakan untuk mengukur besar tegangan baterai, sedangkan sensor ACS712 berfungsi mendeteksi arus yang mengalir selama proses pengisian (charging) maupun pelepasan energi (discharging). Seluruh data hasil pembacaan sensor kemudian diproses oleh ESP32 dan ditampilkan melalui LCD 16×2 berbasis I2C sehingga informasi kondisi baterai dapat dipantau secara langsung oleh teknisi.

Implementasi sistem menunjukkan bahwa seluruh komponen mampu bekerja sesuai dengan rancangan. Sensor tegangan berhasil membaca nilai tegangan baterai dan mengirimkan data ke ESP32 secara stabil, sedangkan sensor ACS712 mampu mengukur arus yang mengalir pada baterai dengan respons yang baik. Data yang diterima kemudian diproses oleh mikrokontroler dan ditampilkan secara real-time pada LCD tanpa mengalami keterlambatan yang berarti. Hal tersebut menunjukkan bahwa integrasi antara sensor, mikrokontroler, dan media tampilan telah berjalan sesuai dengan prinsip dasar sistem monitoring real-time, yaitu proses akuisisi, pengolahan, dan penyajian data dilakukan secara berkesinambungan dengan jeda waktu yang sangat kecil (Texas Instruments, 2022).

Pengujian sensor tegangan dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan sensor terhadap hasil pengukuran menggunakan multimeter digital sebagai alat referensi. Berdasarkan hasil pengujian, sensor menghasilkan selisih pembacaan sebesar 0,01–0,02 Volt dibandingkan dengan multimeter. Selisih tersebut menunjukkan bahwa tingkat kesalahan pengukuran relatif kecil sehingga sensor memiliki tingkat akurasi yang baik untuk digunakan sebagai alat monitoring baterai UPS. Nilai deviasi yang rendah menunjukkan bahwa sensor mampu mempertahankan konsistensi pembacaan pada berbagai kondisi tegangan baterai. Hasil ini sejalan dengan penelitian Wiryawan dan Irawan (2025) yang melaporkan bahwa penggunaan sensor digital pada sistem monitoring baterai mampu menghasilkan tingkat akurasi lebih dari 97% apabila dilakukan proses kalibrasi dengan benar.

Penelitian ini juga mengevaluasi kemampuan sensor ACS712 dalam membaca arus baterai. Hasil pengujian menunjukkan bahwa selisih antara pembacaan sensor dan tang ampere berada pada kisaran 0,01–0,02 Ampere, yang masih berada dalam batas toleransi pengukuran untuk aplikasi monitoring. Meskipun sensor ACS712 dikenal memiliki sensitivitas terhadap gangguan elektromagnetik dan fluktuasi sinyal analog, hasil penelitian menunjukkan bahwa proses kalibrasi yang dilakukan mampu meningkatkan stabilitas pembacaan sensor. Temuan ini mendukung hasil penelitian Singh et al. (2023) yang menyatakan bahwa sensor ACS712 tetap layak digunakan pada sistem monitoring baterai berkapasitas kecil hingga menengah selama dilakukan proses kalibrasi dan penyaringan (filtering) sinyal secara tepat.

Keberhasilan sistem dalam menampilkan data tegangan dan arus secara real-time memberikan manfaat yang signifikan terhadap proses pemeliharaan UPS. Sebelumnya, teknisi harus melakukan pengukuran secara manual pada setiap unit baterai sehingga waktu inspeksi menjadi lebih lama. Dengan adanya sistem monitoring yang dikembangkan, informasi mengenai kondisi baterai dapat diperoleh secara cepat tanpa harus menggunakan alat ukur tambahan setiap saat. Konsep ini sejalan dengan pendekatan predictive maintenance, yaitu strategi pemeliharaan yang memanfaatkan data hasil monitoring secara kontinu untuk mendeteksi potensi kegagalan sebelum terjadi kerusakan yang lebih besar (Piller Group, 2023). Oleh karena itu, implementasi prototipe tidak hanya meningkatkan efisiensi inspeksi, tetapi juga berpotensi meningkatkan keandalan sistem pendukung operasional Signalling and Communication.

Hasil pengujian secara keseluruhan menunjukkan bahwa prototipe sistem monitoring kesehatan baterai UPS mampu bekerja sesuai dengan tujuan penelitian. Integrasi antara sensor tegangan, sensor arus ACS712, mikrokontroler ESP32, dan LCD 16×2 menghasilkan sistem yang mampu melakukan proses akuisisi, pengolahan, serta penyajian data secara real-time. Seluruh komponen dapat beroperasi secara terpadu tanpa ditemukan kegagalan komunikasi antarmodul selama proses pengujian. Kondisi ini menunjukkan bahwa rancangan perangkat keras dan perangkat lunak telah memenuhi kebutuhan dasar sistem monitoring yang sederhana namun efektif untuk mendukung kegiatan pemeliharaan UPS pada sistem Signalling and Communication (Sigcom). Menurut Texas Instruments (2022), keberhasilan integrasi sensor dengan mikrokontroler sangat dipengaruhi oleh proses kalibrasi, kestabilan catu daya, dan algoritma pengolahan data yang diterapkan pada sistem.

Keakuratan sensor merupakan salah satu indikator utama dalam mengevaluasi kualitas sistem monitoring. Berdasarkan hasil pengujian, sensor tegangan menghasilkan selisih pembacaan sebesar 0,01–0,02 V dibandingkan dengan multimeter digital, sedangkan sensor arus ACS712 menunjukkan selisih sebesar

0,01–0,02 A dibandingkan dengan tang ampere. Nilai tersebut menunjukkan tingkat kesalahan yang relatif kecil sehingga masih berada dalam batas toleransi untuk aplikasi monitoring kondisi baterai UPS. Hasil ini memperlihatkan bahwa prototipe memiliki kemampuan yang memadai dalam menyajikan informasi kondisi baterai secara akurat sehingga dapat dijadikan sebagai dasar pengambilan keputusan pada kegiatan pemeliharaan. Menurut Battery University (2024), pemantauan parameter tegangan dan arus secara kontinu merupakan metode yang efektif untuk mengidentifikasi penurunan performa baterai sebelum terjadi kegagalan fungsi secara menyeluruh.

Keberhasilan sistem dalam menyajikan informasi secara real-time juga memberikan nilai tambah dibandingkan metode pemeriksaan konvensional. Pada sistem manual, teknisi harus melakukan pengukuran satu per satu menggunakan multimeter dan tang ampere sehingga memerlukan waktu yang lebih lama, terutama apabila jumlah unit UPS yang diperiksa cukup banyak. Selain itu, metode manual hanya memberikan informasi pada saat pengukuran dilakukan sehingga perubahan kondisi baterai di antara interval inspeksi tidak dapat diketahui. Sebaliknya, sistem monitoring yang dikembangkan mampu menampilkan perubahan nilai tegangan dan arus secara langsung sehingga memudahkan teknisi dalam mendeteksi indikasi awal penurunan performa baterai. Pendekatan ini sejalan dengan konsep condition-based maintenance, yaitu strategi pemeliharaan yang didasarkan pada kondisi aktual peralatan, bukan hanya jadwal pemeriksaan berkala (IEC, 2021).

Jika dibandingkan dengan penelitian sebelumnya, hasil penelitian ini menunjukkan kesesuaian dengan temuan Asnan dan Sugeng (2025) yang mengembangkan sistem monitoring baterai UPS berbasis ESP32 menggunakan sensor INA219 dan ACS712. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa penggunaan mikrokontroler ESP32 mampu meningkatkan efektivitas pemantauan parameter baterai melalui pengukuran tegangan, arus, State of Charge (SOC), dan State of Health (SOH). Perbedaan penelitian ini terletak pada fokus implementasi yang lebih sederhana, yaitu pemantauan tegangan dan arus sebagai parameter utama kesehatan baterai. Meskipun demikian, hasil pengujian menunjukkan bahwa kedua parameter tersebut telah mampu memberikan informasi awal mengenai kondisi baterai sehingga dapat digunakan sebagai dasar dalam kegiatan pemeliharaan preventif.

Hasil penelitian ini juga mendukung penelitian Wiryawan dan Irawan (2025) yang menerapkan metode Coulomb Counting dan Open Circuit Voltage (OCV) untuk memonitor baterai lithium-ion berbasis ESP32. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa kombinasi sensor dan mikrokontroler mampu menghasilkan sistem monitoring dengan tingkat akurasi yang tinggi. Pada penelitian ini, meskipun metode estimasi SOC belum diterapkan, penggunaan sensor tegangan dan sensor arus telah memberikan informasi yang cukup

untuk memantau kondisi operasional baterai UPS. Dengan demikian, penelitian ini dapat menjadi dasar pengembangan sistem yang lebih komprehensif melalui penambahan algoritma perhitungan SOC dan SOH pada penelitian berikutnya.

Penggunaan ESP32 memberikan fleksibilitas yang tinggi karena mikrokontroler ini telah dilengkapi modul Wi-Fi dan Bluetooth sehingga memungkinkan integrasi dengan teknologi Internet of Things (IoT). Pada penelitian ini, fitur komunikasi nirkabel belum dimanfaatkan sehingga sistem masih menampilkan hasil pengukuran melalui LCD lokal. Namun demikian, pengembangan lebih lanjut dapat dilakukan dengan menghubungkan ESP32 ke jaringan internet sehingga data monitoring dapat diakses secara daring melalui aplikasi web maupun telepon pintar. Pengembangan tersebut akan meningkatkan efektivitas pemantauan, terutama pada sistem UPS yang tersebar di berbagai lokasi operasional (Espressif Systems, 2023).

Penelitian ini masih memiliki beberapa keterbatasan. Pertama, sistem yang dikembangkan masih berupa prototipe sehingga belum diintegrasikan secara langsung dengan UPS operasional dalam jangka waktu yang panjang. Kedua, sistem belum dilengkapi dengan fasilitas data logging sehingga riwayat perubahan tegangan dan arus belum dapat disimpan sebagai bahan analisis tren penurunan performa baterai. Ketiga, sistem belum memiliki mekanisme notifikasi otomatis ketika parameter baterai berada di luar batas aman. Padahal, fitur alarm atau notifikasi merupakan komponen penting dalam sistem monitoring modern karena mampu memberikan peringatan dini kepada operator apabila terjadi kondisi abnormal (IEEE, 2022). Selain itu, penelitian ini hanya memanfaatkan parameter tegangan dan arus sehingga belum mempertimbangkan parameter lain seperti suhu baterai, resistansi internal, maupun kapasitas aktual yang juga berpengaruh terhadap kesehatan baterai (Battery University, 2024).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa prototipe sistem monitoring kesehatan baterai UPS berhasil memenuhi tujuan penelitian, yaitu menyediakan sistem yang mampu melakukan pemantauan tegangan dan arus secara real-time dengan tingkat akurasi yang baik. Implementasi sistem ini berpotensi meningkatkan efisiensi proses pemeliharaan, mempercepat deteksi dini terhadap penurunan kondisi baterai, serta mendukung peningkatan keandalan sistem Signalling and Communication pada LRT Sumatera Selatan. Dengan pengembangan lebih lanjut melalui integrasi IoT, penyimpanan data, dan penambahan algoritma analisis kesehatan baterai, sistem ini memiliki prospek yang baik untuk diterapkan sebagai bagian dari sistem pemeliharaan cerdas (smart maintenance) pada infrastruktur transportasi perkeretaapian modern.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, perancangan, implementasi, dan pengujian prototipe sistem monitoring kesehatan baterai UPS pada sistem Signalling and Communication (Sigcom) LRT Sumatera Selatan, dapat disimpulkan bahwa sistem yang dikembangkan berhasil mengintegrasikan mikrokontroler ESP32, sensor tegangan, sensor arus INA219, dan LCD I2C untuk memantau kondisi baterai secara real-time. Prototipe mampu membaca parameter utama baterai, yaitu tegangan dan arus, dengan tingkat akurasi yang baik sehingga dapat menyajikan informasi kondisi baterai secara cepat dan mempermudah proses pemantauan dibandingkan metode pemeriksaan manual. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu mendeteksi perubahan nilai tegangan dan arus sesuai kondisi baterai serta menampilkan hasil pengukuran secara langsung pada LCD. Sistem ini berpotensi mendukung kegiatan preventive maintenance melalui deteksi dini terhadap penurunan performa baterai UPS, sehingga dapat meningkatkan keandalan sistem pendukung operasional Sigcom. Meskipun masih berupa prototipe, hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem layak dikembangkan lebih lanjut dengan menambahkan fitur Internet of Things (IoT), penyimpanan data (data logging), notifikasi otomatis, serta parameter pemantauan lain seperti suhu dan State of Health (SOH). Selain itu, diperlukan kalibrasi sensor secara berkala dan pengujian jangka panjang pada kondisi operasional agar keandalan, stabilitas, dan akurasi sistem dapat dipastikan sebelum diimplementasikan secara penuh pada lingkungan operasional LRT Sumatera Selatan.

DAFTAR PUSTAKA

- Asnan, A.A.T. and Sugeng, A.M.K., 2025. Sistem Monitoring Battery UPS Persinyalan Kereta Berbasis ESP32 Menggunakan Sensor INA219 dan ACS712. *Jurnal Teknik Elektro*.
- Battery University, 2024. BU-901: Fundamentals in Battery Testing. Available at: <https://batteryuniversity.com>
- Espressif Systems, 2023. ESP32 Series Datasheet. Shanghai: Espressif Systems.
- IEEE, 2022. Recommended Practice for Maintenance, Testing, and Replacement of Valve-Regulated Lead-Acid Batteries for Stationary Applications. New York: Institute of Electrical and Electronics Engineers.
- Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), 2022. IEEE Recommended Practice for Maintenance, Testing, and Replacement of Valve-Regulated Lead-Acid Batteries for Stationary Applications. New York: IEEE.
- International Electrotechnical Commission (IEC), 2021. IEC 62040-1: Uninterruptible Power Systems (UPS) – General and Safety Requirements. Geneva: IEC.
- Piller Group GmbH, 2023. UPS Handbook: Principles of Operation and Applications. Osterode: Piller Group.
- Singh, R., Kumar, P. and Sharma, A., 2023. 'Design and implementation of

battery monitoring system using ACS712 current sensor and ESP32', *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, 13(4), pp. 3815-3824.

Texas Instruments, 2022. INA219 Zero-Drift, Bidirectional Current/Power Monitor Datasheet. Dallas: Texas Instruments.

Wiryan, M.F. and Irawan, D., 2025. Monitoring Battery Lithium-Ion Berbasis ESP32 Menggunakan Metode Coulomb Counting dan Open Circuit Voltage. *Jurnal Elektronika dan Instrumentasi*.

Zhang, Y., Wang, H. and Li, X., 2022. 'Real-time battery health monitoring for intelligent energy management systems', *Journal of Energy Storage*, 52, 104812.