

SISTEM MONITORING PARAMETER BATERAI SEPEDA MOTOR LISTRIK BERBASIS *IoT*

IoT-BASED ELECTRIC MOTOCYCLE BATTERY PARAMETER MONITORING SYSTEM

Muhammad Tatag Titis Prabowo¹, Rifano^{2*}, Ery Muthoriq³, Nanang Oktawidiandaru⁴

Politeknik Keselamatan Transportasi Jalan, Teknologi Rekayasa Otomotif Jl. Perintis Kemerdekaan No. 17,
Slerok, Tegal Timur, Kota Tegal, Jawa Tengah

e-mail: tatagpra@gmail.com, rifano1504@pktj.ac.id, ery.2002@gmail.com, nanang_octa@yahoo.com

ABSTRACT

The rapid increase in electric vehicle usage in Indonesia introduces new challenges, particularly in maintaining energy storage systems as the most critical component. Batteries in electric motorcycles are prone to accelerated degradation when exposed to unstable current and voltage conditions. In addition, uncontrolled temperature rises may lead to permanent damage or even fire hazards. For this reason, a continuous monitoring system becomes essential to maintain safety and ensure reliable operation. This study aims to develop a real-time battery health monitoring prototype by applying Internet of Things (IoT) technology. The system is built around an ESP32 microcontroller that functions as the main processing unit. Electrical parameters are measured using a PZEM-017 sensor, while temperature monitoring is conducted with an RTD PT100 sensor combined with a MAX31865 module to achieve accurate readings. All acquired data are transmitted wirelessly to a cloud platform, enabling users to access battery information remotely through smartphones. In addition, an automatic alert system is integrated using a Telegram bot to notify users when battery conditions exceed safe thresholds, such as temperatures above 35°C or voltage outside the 42–57.6 V range. The research adopts a Research and Development approach with the Analyze, Design, Develop, Implement, and Evaluate (ADDIE) model. Experimental results indicate high accuracy, with temperature readings reaching 98.15% and voltage accuracy at 99.78%. Functional testing also confirms that notification delivery operates reliably. This system is expected to support preventive maintenance and improve battery lifespan and efficiency.

Keywords: *electric motorcycle battery, IoT monitoring, ESP32, temperature sensing, early warning system.*

I. PENDAHULUAN

Sektor transportasi di Indonesia tengah berada dalam masa transisi besar dengan lonjakan adopsi Kendaraan Listrik/ *Electric Vehicle* (EV) yang sangat signifikan. Data menunjukkan bahwa hingga November 2024, populasi kendaraan listrik telah mencapai 195.084 unit, sebuah lompatan drastis jika dibandingkan dengan data tahun 2022 yang hanya berada di angka 41.743 unit. Fenomena ini didominasi oleh segmen sepeda motor listrik yang mencatatkan angka 160.578 unit, jauh melampaui kategori kendaraan listrik lainnya [1].

Pertumbuhan masif ini selaras dengan peta jalan pemerintah yang menargetkan operasional 2 juta unit mobil listrik dan 13 juta unit motor listrik pada tahun 2030 [2]. Untuk mengejar target ambisius tersebut, pemerintah memberikan berbagai stimulus mulai dari subsidi langsung bagi konsumen motor listrik hingga pemberian insentif pajak bagi manufaktur global [3]. Langkah strategis ini diperkuat dengan pemanfaatan

cadangan nikel domestik untuk produksi baterai, bahkan Indonesia telah memulai ekspor material prekursor ke Amerika Serikat untuk kebutuhan produsen besar seperti Tesla.

Dalam arsitektur kendaraan listrik, baterai memegang peranan sentral sebagai unit penyimpan energi utama yang menentukan efisiensi dan jarak tempuh. Di tengah berbagai inovasi, teknologi lithium-sulfur muncul sebagai primadona karena memiliki kepadatan energi yang sangat tinggi, mencapai 2.500 Wh/kg, yang secara teoritis jauh lebih unggul dibandingkan lithium-ion maupun jenis *solid-state* [4]. Meskipun memiliki kapasitas besar, stabilitas baterai sangat bergantung pada manajemen suhu yang ketat di kisaran 25–55°C [5]. Suhu di luar ambang batas tersebut, terutama akibat beban kerja berat saat menanjak, dapat memicu thermal runaway yang berujung pada kegagalan sistemik atau kebakaran [6], [7], [8].

Paparan panas yang tidak terkendali juga memicu rangkaian reaksi kimia merugikan, seperti dekomposisi elektrolit dan pertumbuhan lapisan

Solid Electrolyte Interphase (SEI) pada anoda yang meningkatkan resistansi internal baterai [9]. Kondisi ini menyebabkan fenomena self-discharge yang lebih cepat dan risiko korosi pada jaringan elektroda yang memperpendek usia pakai [9], [10]. Selain itu, temperatur tinggi memicu proses elektrolisis air yang menghasilkan gas berlebih, sehingga secara keseluruhan menurunkan efisiensi operasional sistem kelistrikan [11].

Aspek pemantauan tegangan dan arus juga menjadi pilar penting dalam menjaga kesehatan baterai. Ketidakstabilan tegangan dapat menghambat kinerja motor atau bahkan merusak komponen sensitif seperti *inverter* dan *controller* [12]. Di sisi lain, arus yang mengalir berlebihan (*overcurrent*) merupakan indikasi adanya beban abnormal yang dapat memicu panas berlebih pada jalur kabel dan meningkatkan risiko korsleting [13].

Sebagai solusi modern, integrasi teknologi *Internet of Things* (IoT) menggunakan mikrokontroler seperti ESP32 memberikan kemampuan pemantauan data secara nirkabel dan real-time [14]. Melalui sinkronisasi dengan bot Telegram, sistem dapat memberikan peringatan dini (*early warning*) langsung ke ponsel pengguna ketika terdeteksi fluktuasi parameter yang berbahaya. Berdasarkan pertimbangan tersebut, penelitian ini fokus pada pengembangan alat *monitoring* parameter baterai yang komprehensif untuk mendeteksi kondisi *overcharge*, *overcurrent*, hingga *overheating*, guna mendukung keamanan dan keberlanjutan penggunaan sepeda motor listrik di masa depan.

Beberapa penelitian telah berupaya mengembangkan sistem pemantauan baterai untuk kendaraan listrik, namun masih terdapat celah yang perlu disempurnakan. Penelitian oleh Kusumojakti & Zaky (2024) telah menerapkan sistem *monitoring* berbasis perangkat bergerak, namun penggunaan sensor suhu tipe *environmental* (seperti DHT22) kurang ideal untuk mendeteksi suhu inti pada sel baterai secara presisi [15]. Di sisi lain, sistem yang dikembangkan oleh Zain dkk. (2023) lebih menitikberatkan pada efisiensi konsumsi energi melalui fitur *ECO-Drive*, namun belum menyediakan fitur proteksi dini (*early warning*) yang terintegrasi terhadap risiko kegagalan termal (*thermal runaway*) [16].

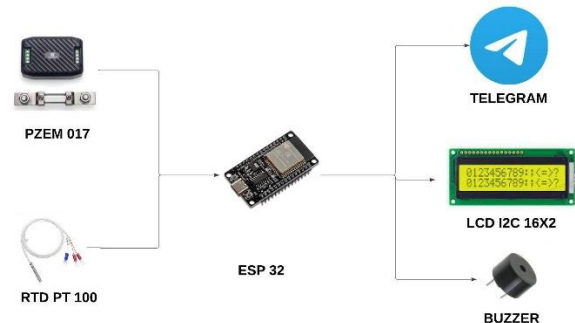
Berdasarkan keterbatasan tersebut, penelitian ini dilakukan untuk mengisi celah dengan mengembangkan prototipe *monitoring* yang mengombinasikan ketahanan komunikasi data menggunakan protokol RS485 dan penggunaan sensor termal standar industri (RTD PT100). Hal

ini penting untuk memastikan data parameter elektrik dan suhu tetap stabil di tengah gangguan induksi motor listrik. Kontribusi utama penelitian ini adalah menyediakan sistem *monitoring* yang lebih tangguh dan responsif melalui notifikasi Telegram untuk mencegah kerusakan permanen pada baterai sepeda motor listrik.

II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menerapkan metode rekayasa eksperimental yang terstruktur ke dalam empat tahapan integratif, dimulai dari pengembangan arsitektur perangkat keras melalui penggabungan ESP32 dengan sensor PZEM-017 dan RTD PT100, yang kemudian dilanjutkan dengan fase kalibrasi mendalam untuk memastikan linearitas serta akurasi pembacaan instrumen terhadap standar referensi. Selanjutnya, dilakukan validasi sistem IoT guna menguji stabilitas transmisi data dan responsivitas fitur peringatan dini secara *real-time*, hingga akhirnya ditutup dengan verifikasi teoretis untuk menyelaraskan hasil temuan lapangan dengan karakteristik teknis serta manajemen termal pada baterai sepeda listrik United Salvador 2.0.

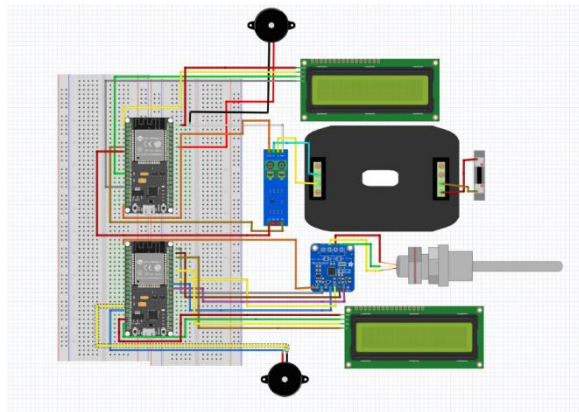
A. Desain Perangkat Keras dan Arsitektur Sistem



Gambar 1. Perancangan Perangkat Keras

Pada Gambar 1 disebutkan bahwa sistem ini mengintegrasikan ekosistem sensor presisi yang berpusat pada mikrokontroler ESP32, yang dipilih karena kemampuannya dalam mengolah data secara cepat serta ketersediaan modul konektivitas nirkabel terintegrasi. Pemantauan parameter elektrik dilakukan melalui sensor PZEM-017 yang dilengkapi dengan shunt resistor eksternal untuk pembacaan arus DC yang besar, serta modul konverter RS485 ke TTL sebagai jembatan komunikasi serial ke pengontrol utama. Sementara itu, untuk pengawasan suhu sel baterai secara akurat, digunakan sensor RTD PT100 yang didukung oleh modul penguat MAX31865. Secara arsitektural, sistem ini terbagi menjadi empat pilar fungsional: (1) unit deteksi parameter kelistrikan

dan termal, (2) unit pemrosesan pusat berbasis ESP32, (3) subsistem transmisi data IoT, dan (4) sirkuit manajemen daya. Seluruh integrasi jalur pengabelan dan penempatan komponen dilakukan dengan prinsip efisiensi jalur guna meminimalkan hambatan serta potensi gangguan induksi selama operasional pada sepeda listrik United Salvador 2.0.



Gambar 2. Gambar skematik

Sistem monitoring baterai ini beroperasi melalui siklus terintegrasi yang meliputi akuisisi data, pemrosesan terpusat, hingga pengiriman respons lintas platform, sebagaimana diilustrasikan pada Gambar 2. Pada bagian masukan (input), sensor PZEM-017 berfungsi menyadap parameter elektrik seperti tegangan, arus, dan daya melalui bantuan resistor shunt. Di saat yang sama, modul MAX31865 memperkuat sinyal hambatan dari sensor RTD PT100 guna memperoleh hasil pembacaan suhu sel baterai dengan tingkat akurasi yang tinggi. Seluruh data tersebut kemudian diolah secara real-time oleh ESP32 menggunakan logika program khusus untuk mengidentifikasi adanya anomali. Sebagai bentuk proteksi sekaligus penyajian informasi (output), sistem akan langsung memerintahkan LCD I2C untuk menampilkan data visual pada panel instrumen. Selain itu, buzzer akan aktif sebagai alarm auditif apabila parameter operasional melewati batas aman, dan notifikasi darurat akan dikirimkan melalui bot Telegram memanfaatkan jaringan Wi-Fi agar kondisi unit dapat terus dipantau dari jarak jauh.

Tabel 1 merupakan konfigurasi PZEM-017 merinci jalur komunikasi serial yang digunakan untuk mengakuisisi parameter daya pada baterai. Penggunaan jalur UART2 pada pin GPIO 16 dan 17 dipilih secara strategis agar tidak mengganggu jalur komunikasi utama (UART0) yang biasanya digunakan untuk proses uploading program dan debugging pada serial monitor. Karena sensor ini bekerja dengan protokol RS485 yang memiliki ketahanan tinggi terhadap gangguan induksi magnetik dari motor listrik, sistem memerlukan

modul konverter sebagai perantara. Melalui konfigurasi ini, ESP32 dapat membaca data tegangan, arus, dan konsumsi energi secara real-time dengan tingkat stabilitas data yang tetap terjaga meskipun kendaraan berada dalam kondisi operasional penuh.

Tabel 1. Tabel pin PZEM 017

No	Pin Modul PZEM-017	Pin Konverter RS485 to TTL	Pin ESP32	Fungsi
1	VCC	VCC	5V	Suplai Daya Modul
2	GND	GND	GND	Grounding Jalur
3	TX	RX	GPIO 16 (RX2)	Terima Data Jalur Kirim Instruksi
4	RX	TX	GPIO 17 (TX2)	

Tabel 2. Pin RTD PT100

No	Pin Modul MAX31865	Nama Jalur	Pin ESP32	Fungsi
1	VCC	Power	3V3 / 5V	Suplai Daya Sensor
2	GND	Ground	GND	Grounding Sinyal
3	CLK	SCK	GPIO 18	Detak (Clock) Output Data ke ESP32
4	SDO	MISO	GPIO 19	Input Data dari ESP32
5	SDI	MOSI	GPIO 23	Seleksi Jalur Sensor
6	CS	SS	GPIO 5	

Tabel 2 merupakan konfigurasi RTD PT100 dan modul MAX31865 menjelaskan jalur komunikasi berbasis bus SPI (*Serial Peripheral Interface*). Berbeda dengan sensor suhu analog atau digital biasa, PT100 memerlukan empat jalur data utama (CLK, SDO, SDI, dan CS) untuk menjamin akurasi pembacaan suhu sel baterai yang sangat presisi. Modul MAX31865 berfungsi sebagai penguat sinyal dan *Analog to Digital Converter* (ADC) yang sangat sensitif terhadap perubahan hambatan platinum pada sensor. Penggunaan pin GPIO 18, 19, 23, dan 5 memungkinkan transmisi data suhu dilakukan dalam kecepatan tinggi dan sinkron. Hal ini sangat krusial bagi sistem manajemen baterai untuk segera mendeteksi gejala *thermal runaway* atau kenaikan suhu di atas batas aman secara instan.

B. Kalibrasi Alat

$$\text{Akurasi} = 100\% - \left| \frac{X - Y}{Y} \right| * 100\% \quad (1)$$

Keterangan:

- (X) = Nilai yang terbaca pada sistem *monitoring* (Sensor).
- (Y) = Nilai yang terbaca pada instrumen pembanding (Standar).

1. Kalibrasi Parameter Elektrikal (PZEM-017)

Validasi parameter elektrikal dilakukan dengan melakukan komparasi data antara sensor PZEM-017 terhadap instrumen multimeter digital menggunakan *Power Supply* DC variabel sebagai sumber input tegangan yang diatur secara bertahap. Dalam pengujian ini, selisih nilai yang terbaca pada antarmuka sistem (X) dibandingkan secara langsung dengan nilai referensi yang tertera pada layar multimeter (Y) untuk mengetahui sejauh mana tingkat penyimpangan pembacaan voltase dan arus pada alat *monitoring*. Melalui penghitungan persentase akurasi menggunakan rumus selisih absolut, dapat dipastikan bahwa data kelistrikan yang dikirimkan ke pengguna melalui LCD dan Telegram tetap memiliki presisi yang tinggi dalam memantau sisa energi serta kondisi beban pada baterai United Salvador 2.0.

2. Kalibrasi Sensor Termal (RTD PT100)

Validasi data termal difokuskan untuk menjamin keandalan modul MAX31865 dalam menginterpretasikan sinyal hambatan dari sensor PT100 menjadi informasi suhu digital yang akurat. Pada proses ini, sensor PT100 (X) dan termometer referensi (Y) ditempatkan secara berdampingan dalam satu lingkungan termal yang terkontrol guna memastikan keduanya terpapar suhu yang identik secara simultan. Penghitungan tingkat akurasi berdasarkan perbandingan kedua instrumen tersebut sangat krusial untuk memvalidasi fungsi proteksi panas, sehingga sistem dapat menjamin bahwa mekanisme *early warning* melalui Buzzer dan Telegram akan teraktivasi secara tepat sesuai dengan kondisi panas aktual pada sel baterai.

3. Validasi Komunikasi IoT dan Efektivitas Sistem Umpan Balik

Evaluasi kinerja IoT dilakukan untuk menjamin stabilitas transmisi data serta kecepatan respons sistem dalam memberikan umpan balik kepada pengguna.

Mikrokontroler ESP32 dikonfigurasi untuk mengirimkan data parameter elektrikal dan termal secara nirkabel, di mana log data tersebut disinkronkan secara otomatis ke dalam *database* awan.

Pengujian dilakukan dengan mensimulasikan berbagai variasi kekuatan sinyal Wi-Fi untuk mengukur ketangguhan sistem dalam kondisi jaringan yang tidak stabil. Parameter evaluasi utama dalam tahapan ini meliputi:

- a) Latensi Transmisi Data: Mengukur selisih waktu antara akuisisi data oleh sensor dengan pembaruan informasi yang muncul pada bot Telegram.
- b) Akurasi Sinkronisasi Visual: Memastikan konsistensi data antara pembacaan pada Monitor LCD I2C di unit kendaraan dengan data yang diterima pada perangkat jarak jauh.
- c) Responsivitas Peringatan Dini: Kecepatan pengiriman notifikasi bahaya ke Telegram dan aktivasi Buzzer saat sensor mendeteksi suhu melampaui ambang kritis 35°C.
- d) Stabilitas Re-koneksi: Kemampuan ESP32 dalam melakukan penyambungan ulang otomatis ke server setelah mengalami gangguan sinyal (*signal loss*).

4. Pengujian Black-Box pada Sistem Monitoring

Pengujian *black-box* dilakukan untuk memvalidasi fungsionalitas sistem secara keseluruhan tanpa menguji logika internal kode program, melainkan berfokus pada kesesuaian antara input yang diberikan dengan output yang dihasilkan. Prosedur ini bertujuan untuk memastikan bahwa seluruh fitur proteksi dan antarmuka informasi pada alat *monitoring* baterai bekerja sesuai dengan spesifikasi rancangan. Aspek-aspek utama yang diuji dalam tahap ini meliputi:

- a) Validasi Input Sensor: Memastikan bahwa variasi beban elektrikal yang dideteksi oleh PZEM-017 dan perubahan suhu pada RTD PT100 dapat diterjemahkan secara tepat menjadi informasi digital pada sistem.
- b) Fungsionalitas Antarmuka Lokal: Menguji ketepatan penampilan data pada LCD I2C, termasuk pembaruan nilai parameter tegangan, arus, dan suhu secara

kontinu agar tetap sinkron dengan kondisi aktual sel baterai.

- c) Mekanisme Peringatan Dini (*Early Warning*): Melakukan simulasi anomali, seperti menaikkan suhu sensor hingga melewati ambang batas 35°C, untuk memastikan Buzzer aktif sebagai alarm auditif dan bot Telegram mengirimkan notifikasi bahaya secara instan ke perangkat pengguna.
- d) Interaksi Konektivitas: Menguji kemampuan ESP32 dalam mengelola pengiriman data nirkabel, termasuk pengujian respons sistem saat terjadi kegagalan jaringan Wi-Fi dan keberhasilan proses penyambungan ulang (*reconnect*) secara otomatis.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam penelitian ini, sebuah purwarupa sistem *monitoring* dirancang dan dibangun dengan fungsi utama sebagai instrumen deteksi kondisi kesehatan baterai secara real-time. Proses rancang bangun ini melibatkan integrasi komponen perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*) yang selanjutnya melalui tahap pengujian komprehensif guna memastikan performa sistem selaras dengan tujuan penelitian yang telah ditetapkan. Algoritma perancangan dan konstruksi alat diimplementasikan menggunakan pendekatan terstruktur dan sekuensial, mulai dari tahapan kalibrasi sensor, penyusunan kode program seperti terlihat pada gambar 3, hingga proses perakitan akhir pada kendaraan. Setiap fase pengerjaan dilakukan dengan menitikberatkan pada presisi pembacaan data elektrik dan termal, efisiensi kerja sistem, serta reliabilitas transmisi informasi melalui media IoT.

A. Kalibrasi sensor tegangan PZEM 017

Tabel 3. Tabel kalibrasi sensor tegangan

No	Sensor (A)	Multimeter (A)	Akurasi (%)	Error (%)
1	0.26	0.26	100.00	0.00
2	0.88	0.90	97.78	2.22
3	1.67	1.70	98.24	1.76
4	2.45	2.50	98.00	2.00
5	3.24	3.30	98.18	1.82
6	4.02	4.10	98.05	1.95
7	4.80	4.90	97.96	2.04
8	5.59	5.60	98.00	2.00
9	7.30	7.40	98.07	1.93
10	10.20	10.40	98.08	1.92



Gambar 3. Kalibrasi sensor tegangan

Berdasarkan tabel 3, pengujian akurasi pada parameter tegangan dilakukan dengan membandingkan luaran sensor PZEM-017 terhadap instrumen multimeter digital sebagai referensi standar. Proses kalibrasi ini menggunakan bantuan Power Supply DC variabel untuk menyimulasikan berbagai tingkatan tegangan operasional baterai, mulai dari kondisi tegangan rendah hingga mencapai level tegangan sistem 48V, seperti pada gambar 4. Data menunjukkan bahwa sensor memiliki stabilitas pembacaan yang sangat tinggi dengan nilai rata-rata akurasi mencapai 99,83%. Tingkat kesalahan (*error*) yang sangat rendah, dengan rata-rata hanya sebesar 0,17%, mengindikasikan bahwa sistem sangat reliabel dalam memantau fluktuasi daya secara real-time. Validitas pembacaan tegangan ini sangat krusial agar informasi yang ditampilkan pada LCD I2C dan dikirim melalui Bot Telegram dapat memberikan data yang akurat mengenai sisa energi baterai, sehingga pengguna dapat mengantisipasi kondisi baterai lemah (*low battery*) secara tepat waktu pada kendaraan sepeda motor listrik.

B. Kalibrasi sensor arus PZEM 017

Tabel 4. Tabel kalibrasi sensor arus.

Percobaan	Sensor (V)	Multimeter (V)	Akurasi (%)	Error (%)
1	12,02	12,0	99,83	0,17
2	24,10	24,2	99,80	0,20
3	31,05	31,1	99,90	0,10
4	36,00	36,1	99,70	0,30
5	40,00	40,1	99,76	0,24
6	42,60	42,7	99,80	0,20
7	44,00	44,0	100,00	0,00
8	46,60	46,6	100,00	0,00
9	47,20	47,3	99,70	0,30
10	48,00	48,1	99,79	0,21
Rata-rata			99,83%	0,17%



Gambar 4. Kalibrasi sensor arus

Evaluasi performa dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan sensor terhadap multimeter sebagai instrumen acuan dalam berbagai variasi pembebanan, sebagaimana dirangkum pada Tabel 4 hingga menyentuh angka di atas 10 A. Perluasan rentang uji ini diterapkan guna memastikan konsistensi kinerja sensor, baik saat menangani arus rendah maupun ketika sistem beroperasi di bawah beban tinggi yang menyerupai kondisi riil pada kendaraan listrik.

Merujuk pada 10 sampel representatif yang diambil, sensor terbukti dapat menjaga stabilitas pengukurannya seiring naiknya arus. Tren hubungan antara data sensor dan alat ukur referensi tetap memperlihatkan kecenderungan linier tanpa adanya deviasi yang berarti walau arus telah melampaui 10 A. Fenomena ini mengindikasikan bahwa karakteristik komponen sensor tidak mengalami penurunan performa pada beban arus tinggi.

Capaian rata-rata akurasi sebesar 98,04% dengan tingkat galat di kisaran 1,96% menegaskan ketelitian sistem yang optimal di sepanjang rentang pengujian. Konsistensi tersebut menjadi parameter krusial yang menunjukkan kemampuan sensor untuk bekerja stabil di dalam platform pemantauan berbasis IoT. Oleh karena itu, perangkat ini tidak sekadar mumpuni untuk monitoring kondisi reguler, melainkan juga sangat reliabel dalam mendeteksi lonjakan arus ekstrem sebagai fondasi sistem proteksi dini dari risiko overcurrent pada komponen baterai.

C. Kalibrasi sensor RTD PT100

Berdasarkan data pada tabel 5, pengujian akurasi sensor RTD PT100 dilakukan melalui metode simulasi menggunakan media air hangat sebagai sumber panas terkontrol. Penggunaan air hangat bertujuan untuk mendapatkan distribusi suhu yang merata pada seluruh permukaan sensor, sehingga perbandingan antara pembacaan sistem *monitoring* dengan termometer referensi dapat dilakukan secara presisi dalam kondisi termal yang stabil.

Tabel 5. Tabel kalibrasi sensor suhu

No	Sensor (°C)	Thermometer (°C)	Akurasi (%)	Error (%)
1	29,7	30,1	98,67	1,33
2	31,6	31,3	99,04	0,96
3	32,3	32,5	99,38	0,62
4	34,3	33,8	98,52	1,48
5	34,3	34,6	99,13	0,87
6	35,7	35,5	99,44	0,56
7	36,4	36,8	98,91	1,09
8	37,5	37,4	99,73	0,27
9	38,9	38,6	99,22	0,78
10	39,6	39,8	99,50	0,50
Rata-rata			99,15%	0,85%



Gambar 5. Kalibrasi sensor suhu

Dalam 10 sampel pengujian yang diambil secara bertahap, data menunjukkan bahwa integrasi modul MAX31865 dengan ESP32 mampu merespons kenaikan suhu air dengan tingkat linearitas yang sangat tinggi. Meskipun kalibrasi dilakukan menggunakan media eksternal (air hangat) dan bukan langsung pada sel baterai, hasil ini tetap merepresentasikan kemampuan sensor dalam mendeteksi perubahan suhu secara akurat. Dengan nilai akurasi rata-rata di atas 98% dan deviasi *error* minimal di bawah 1,5%, sistem dinyatakan sangat reliabel untuk diimplementasikan sebagai unit proteksi suhu pada baterai sepeda motor listrik. Validasi melalui media cair ini memberikan jaminan bahwa sensor akan memberikan respons yang identik saat mendeteksi panas pada sel baterai seperti pada gambar 5, sehingga mekanisme *early warning* melalui Buzzer dan Bot Telegram dapat bekerja secara tepat sasaran sebelum terjadi kondisi *thermal runaway*.

D. Pengujian Fitur (IoT) Berbasis Telegram

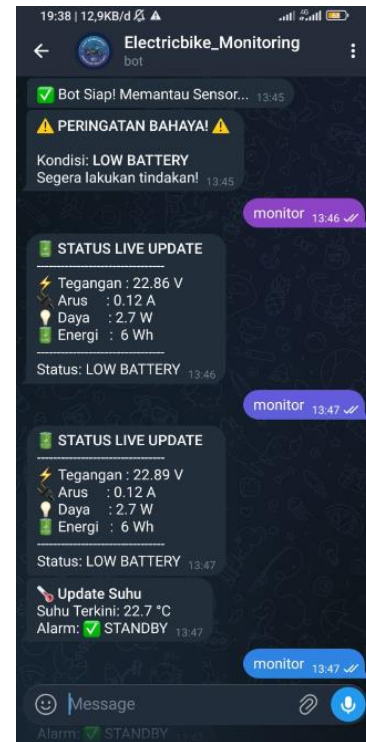
Pengujian fitur IoT dilakukan untuk mengevaluasi kinerja sistem dalam mengirimkan data secara real-time, merespons perintah pengguna, serta memberikan peringatan berdasarkan kondisi sensor. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu mengirimkan data suhu, tegangan, arus, dan daya ke Telegram secara konsisten dan dapat diakses langsung

melalui perangkat *smartphone* seperti pada gambar 6. Fitur interaktif berupa perintah monitor juga berfungsi dengan baik, dimana sistem mampu merespons permintaan pengguna dengan mengirimkan data kondisi baterai terkini secara cepat dan akurat.

Selain itu, sistem menunjukkan kemampuan responsif terhadap kondisi kritis, seperti suhu yang melebihi batas aman dan arus berlebih, dengan mengirimkan notifikasi otomatis disertai aktivasi buzzer. Waktu tunda pengiriman data relatif stabil dengan rata-rata sekitar 1,2 detik, sehingga masih memenuhi kebutuhan *monitoring* jarak jauh. Pada saat koneksi internet terputus, sistem tidak dapat mengirimkan data, namun dapat kembali beroperasi secara normal setelah jaringan tersedia kembali. Secara keseluruhan, sistem IoT berbasis Telegram yang dikembangkan mampu mendukung pemantauan kondisi baterai secara real-time dengan tingkat keandalan yang baik serta interaksi yang responsif terhadap pengguna.

Tabel 6. Tabel pengujian IOT

No	Fitur yang Diuji	Hasil Pengujian	Deskripsi Singkat
1	Pengiriman data ke Telegram	Berhasil	Data suhu, tegangan, arus, dan daya berhasil dikirim secara berkala dan ditampilkan pada bot Telegram secara real-time
2	Akses data melalui <i>smartphone</i>	Berhasil	Pengguna dapat memantau kondisi baterai secara langsung melalui aplikasi Telegram tanpa keterbatasan lokasi
3	Respon perintah "monitor"	Berhasil	Sistem mampu membaca perintah "monitor" dari pengguna dan langsung mengirimkan data kondisi baterai secara real-time
4	Notifikasi suhu tinggi (>35°C)	Berhasil	Sistem secara otomatis mengirimkan pesan peringatan ketika suhu baterai melebihi ambang batas yang ditentukan
5	Notifikasi arus tinggi	Berhasil	Ketika terjadi arus berlebih, sistem mengirimkan notifikasi melalui Telegram dan mengaktifkan buzzer sebagai peringatan lokal
6	Waktu tunda pengiriman data	±1,2 detik (stabil)	Proses pengiriman data cepat dan konsisten, menunjukkan performa komunikasi yang stabil
7	Kondisi tanpa koneksi internet	Sinkron otomatis	Data tidak dikirim saat jaringan terputus, namun tetap berfungsi dan dapat reconnect jika ada sinyal



Gambar 6 .Dokumentasi Pengujian IOT Telegram

E. Uji coba alat menggunakan Sistem Black Box

Pengujian dilakukan pada setiap komponen utama untuk memastikan sistem bekerja sesuai fungsi yang dirancang. Pada bagian ESP32, hasil menunjukkan bahwa mikrokontroler mampu menghubungkan seluruh sensor dan modul dengan baik serta dapat terhubung ke jaringan internet tanpa kendala berarti. Hal ini menjadi dasar agar sistem *monitoring* dapat berjalan secara terintegrasi.

Selanjutnya, sensor RTD PT100 mampu membaca suhu baterai dan menampilkannya secara langsung pada LCD. Nilai yang ditampilkan mengikuti kondisi aktual, sehingga dapat digunakan sebagai acuan pemantauan suhu secara real-time.

Pada sensor PZEM-017, pengukuran tegangan, arus, dan daya juga berjalan dengan baik, di mana data yang diperoleh dapat ditampilkan secara langsung tanpa keterlambatan yang signifikan.

Pengujian pada LCD menunjukkan bahwa seluruh parameter yang dibaca sensor dapat ditampilkan dengan jelas. Tampilan ini memudahkan pengguna dalam membaca kondisi sistem secara langsung. Sementara itu, buzzer berfungsi sebagai indikator peringatan ketika nilai parameter melewati batas yang telah ditentukan. Respon buzzer tergolong cepat saat kondisi tidak normal terdeteksi.

Secara menyeluruh, data hasil pengujian membuktikan bahwa setiap elemen dalam perangkat ini mampu beroperasi secara interaktif sekaligus saling mendukung guna mengoptimalkan fungsi pemantauan baterai secara real-time, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7. Jika ditinjau dari mekanisme komunikasi yang dipaparkan pada Tabel 7, fungsionalitas sistem alarm melalui Telegram telah berjalan sebagaimana mestinya. Ketika instrumen mendeteksi adanya nilai parameter yang melampaui batas aman, perangkat bakal langsung mengirimkan pesan peringatan secara otomatis. Selain itu, integrasi instruksi berupa perintah “monitor” juga dapat dieksekusi guna meminta pembaruan data paling aktual. Dalam hal ini, sistem terbukti responsif dalam memberikan balasan berupa rincian informasi parameter secara menyeluruh..

Tabel 7. Tabel *blackbox*

No	Pengujian	Hasil yang Diharapkan	Hasil Pengamatan
1	ESP32	Menghubungkan seluruh sensor dan sistem IoT	Berhasil terhubung dengan sensor, LCD, buzzer, dan Telegram
2	Sensor RTD PT100	Membaca suhu baterai	Suhu terbaca dan tampil di LCD
3	Sensor PZEM-017	Mengukur tegangan, arus, dan daya	Data tegangan, arus, dan daya terbaca dan tampil
4	LCD	Menampilkan seluruh parameter	Semua data tampil dengan jelas
5	Buzzer	Memberi peringatan saat melebihi batas	Aktif saat suhu, tegangan, arus, atau daya tidak normal
6	Notifikasi Telegram	Mengirim peringatan otomatis	Notifikasi terkirim saat kondisi tidak normal
7	Perintah "monitor"	Menampilkan data terkini	Data terkirim sesuai permintaan



Gambar 7. a,b Dokumentasi pengujian alat

F. Diskusi Komparatif

Untuk mempertegas posisi penelitian, dilakukan pemetaan fitur dan hasil terhadap beberapa penelitian terdahulu yang relevan sebagaimana disajikan pada Tabel 8.

Tabel 8. Perbandingan Fitur dan Kapabilitas Sistem Monitoring

Parameter Perbandingan	Kusumojakti & Zaky (2024) +2	Zain dkk. (2023) +1	Sistem yang Diusulkan
Sensor Suhu	DHT22 (Ambient)	Tidak Spesifik	RTD PT100 (High Precision)
Sensor Tegangan	0 - 25 V	Voltage Divider	PZEM-017 (Up to 300 V)
Protokol Data	Serial Standard	WiFi/Blynk	RS485 (Industrial Grade)
Akurasi Suhu	Tidak Disebutkan	Tidak Disebutkan	99,15%
Fitur Proteksi	Monitoring Pasif	ECO-Drive Indicator	Early Warning (Telegram)

Berdasarkan Tabel 8, terlihat bahwa sistem yang dikembangkan memiliki keunggulan pada aspek ketangguhan perangkat keras. Penggunaan protokol RS485 pada sensor PZEM-017 memberikan perlindungan terhadap gangguan induksi magnetik dari motor listrik yang tidak ditemukan pada sistem berbasis sensor analog biasa seperti pada penelitian Kusumojakti pada tahun 2024 .

Selain itu, integrasi RTD PT100 memungkinkan deteksi panas pada sel baterai dengan tingkat akurasi mencapai 99,15%, yang sangat krusial sebagai dasar aktivasi fitur peringatan dini melalui bot Telegram guna mencegah kondisi thermal runaway secara real-time.

IV. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mencapai tujuan pengembangan prototipe pemantauan baterai sepeda motor listrik yang tidak hanya fungsional secara real-time, tetapi juga menjawab celah kebaruan terkait reliabilitas data dan proteksi termal presisi. Implementasi sensor RTD PT100 terbukti mencapai akurasi suhu 99,15%, yang secara efektif mengatasi keterbatasan sensor suhu standar dalam mendeteksi gejala *thermal runaway*. Selain itu, penggunaan protokol RS485 pada sensor PZEM-017 menjamin stabilitas pembacaan elektrik dengan akurasi tegangan 99,83% dan arus 98,04% meski di bawah beban tinggi di atas 10 A. Dengan latensi pengiriman data ke Telegram sebesar 1,2 detik dan fitur peringatan dini yang responsif, sistem ini secara konkret membuktikan bahwa integrasi komponen standar industri mampu menjadi solusi pencegahan gangguan baterai kendaraan listrik yang lebih tangguh dibandingkan metode monitoring konvensional.

V. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan rasa syukur yang mendalam kepada Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik. Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada kedua orang tua yang senantiasa memberikan doa, dukungan, dan semangat tanpa henti selama proses penyusunan karya ini.

Penulis turut menyampaikan penghargaan kepada dosen pembimbing, Bapak Rifano, S.Pd., M.T., atas arahan dan bimbingan yang diberikan. Terima kasih juga kepada dosen penguji, Dr. Bapak Ery Muthoriq, S.T., M.T. dan Bapak Nanang Okta Widiandaru, S.Pd., M.Pd., atas masukan serta saran yang membangun. Tidak lupa, penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah membantu dan mendukung hingga penelitian ini dapat terselesaikan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Farhan Nurhuda, "Populasi Kendaraan Listrik di Indonesia Dekati 200 Ribu Unit!," Detik.com.
- [2] ESDM, "Ini Target Pemerintah untuk Populasi Kendaraan Listrik di Tahun 2030," 2024.
- [3] Reuters, "Indonesia to give tax incentives for EV makers BYD, Citroen, GAC Aion," reuters.com.
- [4] Muhammad Ulumul Khasan, Farid Baskoro, Nur Kholis Universitas Ne, and Arif Widodo, "Literatur Review : Analisa Performa Baterai Lithium-air, Lithium-sulfur, All-Solid-State Battery, Lithium-ion Pada Kendaraan Listrik," *Jurnal Teknik Elektro*, vol. 10, no. 3, 2021.
- [5] Muhamad Rifai, "RANCANG BANGUN SISTEM PEMANTAUAN SUHU SETIAP SEL BATERAI PADA PAKET BATERAI 20S BERBASIS INTERNET OF THINGS (IOT)," 2024.
- [6] L. AlQahtani, M. Aldossary, F. ElHamami, and A. A. Hussein, "Battery Depth-of-Discharge Optimization for Maximized Return in Electricity Markets," Aug. 2024. doi: 10.11159/icert24.110.
- [7] A. D. Dwipayana, R. R. O. Sasue, and N. L. Darmayanti, "ANALISIS FAKTOR PEMBEBANAN TERHADAP EFISIENSI DAN TERMAL PADA BATERAI LITHIUM ION 60 VOLT/ 23 Ah SEPEDA MOTOR LISTRIK YANG DIRANCANG BANGUN DENGAN DAYA 3000 WATT," *Engineering and Technology International Journal*, vol. 5, no. 02, pp. 190–197, Nov. 2023, doi: 10.55642/eatij.v5i02.365.
- [8] C. Qalbi, K. Deliasgarin Radyantho, and Y. Nickolas, "Pengaruh Penggunaan Pendingin Baterai Terhadap Temperatur Baterai Sepeda Motor Listrik Viar," *Metrotech (Journal of Mechanical and Electrical Technology)*, vol. 2, no. 1, pp. 1–6, Jan. 2023, doi: 10.33379/metrotech.v2i1.2047.
- [9] Everexceed, "Pengaruh suhu sekitar pada masa pakai baterai," everexceed.
- [10] A. Kurniawan, "Analisis Laju Perpindahan Panas pada Baterai Ion Lithium 18650 terhadap Beban Keluarannya dengan Metode Numerik," *Journal of Mechanical Design and Testing*, vol. 2, no. 2, p. 87, Dec. 2020, doi: 10.22146/jmdt.53752.
- [11] D. Fauziah and R. I. Laksono, "Prediksi usia pakai baterai pada sistem pencadangan unit 3 PLTU Suralaya," *JITEL (Jurnal Ilmiah Telekomunikasi, Elektronika, dan Listrik Tenaga)*, vol. 1, no. 2, pp. 147–154, Sep. 2021, doi: 10.35313/jitel.v1.i2.2021.147-154.

- [12] N. Tamara and W. S. Aji, "Monitoring Tegangan Aki Kendaraan Berbasis Smartphone Android," *Buletin Ilmiah Sarjana Teknik Elektro*, vol. 3, no. 3, pp. 202–209, Mar. 2022, doi: 10.12928/biste.v3i3.4184.
- [13] Unang Achlison, Joseph Teguh Santoso, Khoirur Rozikin, and F. D. Silalahi, "Analisis Pengisian Baterai Aki Kendaraan Listrik Menggunakan Sumber Daya dari Panel Surya dan PLN," *Elkom: Jurnal Elektronika dan Komputer*, vol. 17, no. 2, pp. 622–625, Dec. 2024, doi: 10.51903/elkom.v17i2.2128.
- [14] R. D. Yulendra, E. M. Indrawati, M. Maulidina, and A. Suwardono, "Rancang Bangun Alat Monitoring Notifikasi Pintu Rumah Menggunakan Bot Telegram Berbasis IoT," *G-Tech: Jurnal Teknologi Terapan*, vol. 7, no. 4, pp. 1471–1478, Oct. 2023, doi: 10.33379/gtech.v7i4.3078.
- [15] Mochamad Aqsha Pasalewa Kusumojakti and Umar Zaky, "DETEKSI REAL-TIME KONDISI BATERAI MENGGUNAKAN SISTEM MONITORING BERBASIS PERANGKAT BERGERAK," *Jurnal Informatika Teknologi dan Sains (JINTEKS)*, vol. 6, pp. 912–918, 2024.
- [16] F. N. Zain, M. E. Martawati, and F. Rohman, "Pengembangan Sistem Monitoring Kapasitas Baterai Kendaraan Listrik Berbasis Internet of Things," *JURNAL APLIKASI DAN INOVASI IPTEKS "SOLIDITAS" (J-SOLID)*, vol. 6, no. 1, p. 92, Apr. 2023, doi: 10.31328/js.v6i1.3861.